



unesco

Engenharia para o desenvolvimento sustentável

ICEE

International Centre for Engineering Education under the auspices of UNESCO

国际工程教育中心
联合国教科文组织支持



中央编译出版社
Central Compilation & Translation Press

Publicado em 2022 pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, França; pelo International Center for Engineering Education (ICEE) sob os auspícios da UNESCO, Room 417, Wennan Building, Tshinghua University, Haidian District, Beijing 100084, China; pela Central Compilation and Translation Press (CCTP), Part B Hongru Building, #B-5 Chegongzhuang Street, Xicheng District, Beijing 100044, China; e pela Representação da UNESCO no Brasil, em cooperação com a Caixa de Assistência dos Profissionais do CREA (Mutua).

© UNESCO 2022

ISBN: 978-65-86603-26-2



Esta publicação está disponível em acesso livre ao abrigo da licença Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). Ao utilizar o conteúdo da presente publicação, os usuários aceitam os termos de uso do Repositório UNESCO de acesso livre (www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-port).

Título original: *Engineering for sustainable development: delivering on the Sustainable Development Goals*. Publicado em 2021 pela UNESCO, pelo ICEE e pela CCTP.

As indicações de nomes e a apresentação do material ao longo desta publicação não implicam a manifestação de qualquer opinião por parte da UNESCO a respeito da condição jurídica, nome ou soberania de qualquer país, território, cidade, região ou de suas autoridades, tampouco da delimitação de suas fronteiras ou limites.

As ideias e as opiniões expressas nesta publicação são as dos autores e não refletem obrigatoriamente as da UNESCO, nem comprometem a Organização.

Créditos da versão original:

Capa: Abracadabra

Design gráfico: Abracadabra e UNESCO/Aurélia Mazoyer

Formatação: UNESCO/Aurélia Mazoyer

Créditos da versão em português:

Coordenação técnica da Representação da UNESCO no Brasil:

Marlova Jovchelovitch Noleto, diretora e representante

Fábio Eon Soares, coordenador do Setor de Ciências Naturais

Tradução: Caixa de Assistência dos Profissionais do CREA (Mutua)

Revisão técnica: Setor de Ciências Naturais da Representação da UNESCO no Brasil

Revisão editorial e diagramação: Unidade de Publicações da Representação da UNESCO no Brasil

Esclarecimento: a UNESCO mantém, no cerne de suas prioridades, a promoção da igualdade de gênero, em todas as suas atividades e ações. Devido à especificidade da língua portuguesa, adotam-se, nesta publicação, os termos no gênero masculino, para facilitar a leitura, considerando as inúmeras menções ao longo do texto. Assim, embora alguns termos sejam escritos no masculino, eles referem-se igualmente ao gênero feminino.

Engenharia para o desenvolvimento sustentável

- Cumprir com os Objetivos de
- Desenvolvimento Sustentável

BREVE RESUMO

Engenharia dos ODS

O Relatório destaca o papel essencial da engenharia na consecução de cada um dos 17 ODS. Mostra como a igualdade de oportunidades para todos é fundamental para garantir uma profissão inclusiva e equilibrada em termos de gênero e que possa responder melhor à falta de engenheiros para implementar os ODS. Fornece um retrato das inovações da engenharia que estão moldando nosso mundo, especialmente tecnologias emergentes como *big data* e inteligência artificial (IA), que são cruciais para enfrentar os desafios prementes que a humanidade e o planeta enfrentam. Analisa a transformação da educação em engenharia e a capacitação no despertar da Quarta Revolução Industrial, que permitirá aos engenheiros enfrentar os desafios futuros. Destaca o esforço global necessário para resolver as disparidades regionais específicas, ao mesmo tempo que resume as tendências da engenharia nas diferentes regiões do mundo.

Ao apresentar estudos de caso e abordagens, bem como possíveis soluções, o Relatório revela por que a engenharia é fundamental para o desenvolvimento sustentável e por que o papel dos engenheiros é vital para atender às necessidades humanas básicas, como aliviar a pobreza, fornecer água limpa e energia, responder às necessidades em casos de desastres naturais, construir infraestruturas resilientes e reduzir a divisão do desenvolvimento, entre muitas outras ações, sem deixar ninguém para trás.

Espera-se que o Relatório sirva como referência para governos, organizações de engenharia, universidades e instituições educacionais, assim como para a indústria, com o objetivo de forjar parcerias globais e catalisar a colaboração na área de engenharia, de modo a cumprir os ODS.

É imprescindível que os jovens, especialmente as **meninas**, considerem a **engenharia** como carreira.



“Uma vez que as guerras se iniciam nas mentes dos homens, é nas mentes dos homens que devem ser construídas as defesas da paz.”

Agradecimentos

Dez anos após sua publicação histórica e o primeiro Relatório de Engenharia deste tipo, a comunidade de engenharia se reuniu mais uma vez para esclarecer o trabalho pioneiro de engenheiros que estão definindo uma nova visão da engenharia em um momento em que uma pandemia deixou ainda mais evidente as linhas divisórias das desigualdades em todo o mundo; entre elas, a gritante distância científica, tecnológica e digital entre os países, que é particularmente prejudicial para a juventude. Este segundo Relatório de Engenharia é, portanto, um lembrete oportuno do papel decisivo desempenhado pelos engenheiros e pela profissão de engenharia na resposta decisiva aos desafios prementes e aos novos requisitos trazidos pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

Graças à estreita parceria da UNESCO com a Academia Chinesa de Engenharia, a Universidade Tsinghua e a World Federal Engineering Organizations (WFEO), este segundo Relatório de Engenharia se tornará uma referência sobre como a engenharia pode cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A UNESCO reconhece seu patrocinador entusiástico e de apoio valioso nesta importante publicação, sem a qual este relatório não teria sido possível. Agradecimentos especiais ao ICEE e sua equipe de especialistas, Li Xiaohong, Zhou Ji, Zhu Gaofeng, Qiu Yong, Deng Xiuxin, Wu Qidi, Gong Ke, Yang Bin, Yuan Si, Wu Guokai, Wang Sunyu, Kang Jincheng, Qiao Weifeng, Xu Lihui, Fan Xinyan, Tian Qi, Liu Wei, Ji Xue, Li Manli, Zhong Zhou, Xie Zheping e Wu Fan, por seu trabalho neste relatório desde o início. A UNESCO também reconhece com gratidão a XuetangX por seu patrocínio a este relatório, bem como as instituições, pesquisadores, profissionais e especialistas individualmente considerados que representam todas as regiões do mundo, por seus conhecimentos e contribuições valiosas.

A concepção, o desenvolvimento e a elaboração do Relatório foram conduzidos por um certo número de peritos proeminentes no domínio da engenharia metalúrgica e de materiais. Os membros do Conselho Consultivo, copresidido por Zhou Ji e Tariq Durrani, e os membros do Comitê Gestor forneceram conselhos, *insights* e visões inestimáveis que lançaram as bases do Relatório, pelos quais a UNESCO é eminentemente grata.

A imensa gratidão é estendida aos autores que, por meio de sua experiência, conhecimento e *expertise*, deram destaque ao trabalho dos engenheiros e ao papel fundamental que estes desempenham na realização dos ODS: Gong Ke, Marlene Kanga, Dawn Bonfield, Renetta Tull, Dhinesh Radhakrishnan, Jennifer J. DeBoer, Shankar Krishnan, Ratko Magjarević, José Vieira, Tomás Sancho, Anil Mishra, Will Logan, Yin Chen, Toshio Koike, Abou Amani, Claire Marine Hugon, Darrel J. Danyluk, Soichiro Yasukawa, Sérgio Esperancinha, Jean-Eudes Moncomble, Jürgen Kretschmann, Sudeendra Koushik, Li Pan, George Liu, Paolo Rocca, Jianping Wu, Ajeya Bandyopadhyay,

Anette Kolmos, Soma Chakrabarti, Alfredo Soeiro, Nelson Baker, Eli Haugerud, Yuan Si, Milda Pladaitė, Philippe Pypaert, Jorge Emilio Abramian, José Francisco Sáez, Carlos Mineiro Aires, Yashin Brijmohan, Gertjan van Stam, Martin Manuhwa e Zainab Garashi.

A UNESCO também reconhece com gratidão os autores individuais e os copidesques por suas importantes contribuições, a saber: Bernard Amadei, Iana Aranda, Hossein Azizpour, Madeline Balaam, Virginia Dignum, Sami Domisch, Anna Felländer, Rob Goodier, Ashley Huderson, Andrew Johnston, Christopher Joseph, Paul Jowitt, Noah Kaiser, Andrew David Lamb, Simone Daniela Langhans, Iolanda Leite, Vladimir López-Bassols, Mariela Machado, Tony Marjoram, David McDonald, Shane McHugh, Michelle Mycoo, Francesco Fuso Nerini, Max Tegmark, Evan Thomas, Ricardo Vinuesa e Sarantuyaa Zandaryaa.

A equipe editorial da UNESCO foi liderada por Shamila Nair-Bedouelle, diretora-geral adjunta de Ciências Naturais, que construiu o terreno preparado por Gretchen Kalonji e Flavia Schlegel, ex-diretora-geral adjunta de Ciências Naturais, e que foi apoiada por Peggy Oti-Boateng, Rovani Sigamoney, Christine Iskandar, Angelos-Zaid Haïdar, Natalia Tolochko, Ernesto Fernandez Polcuch e Shahbaz Khan. Todos os aspectos da produção do Relatório foram facilitados e apoiados por Ian Denison e Martin Wickenden, e o trabalho de *design* gráfico da Abracadabra e dos colaboradores das fotografias também são reconhecidos. Agradecimentos especiais são estendidos a Aurélia Mazoyer, por sua preciosa ajuda na concepção e no *layout* do Relatório e a Cathy Lee, que supervisionou a conclusão efetiva do Relatório com entusiasmo graças à sua atenção precisa a cada detalhe.

A palavra final de agradecimento é reservada à formidável força-tarefa que orientou magistralmente o Relatório durante todo o seu desenvolvimento. A UNESCO reconhece seu profundo apreço pelo apoio infalível fornecido pela administração de Gong Ke e sua equipe excepcional de Marlene Kanga, José Vieira, Jacques de Méreuil e Théo Bélaud da WFEO por sua orientação paciente, críticas valiosas e conhecimento especializado, e por defender a causa da profissão do engenheiro. Em particular, a UNESCO deseja transmitir sua imensa gratidão a Gong Ke, que liderou a equipe de especialistas em diferentes fusos horários, forneceu orientação no desenvolvimento desta iniciativa e cujo apoio ao trabalho da UNESCO no campo da engenharia foi fundamental para concretizar esta publicação.

Por fim, a UNESCO deseja agradecer aos muitos milhares de engenheiros e à comunidade de engenharia por seu trabalho diário no avanço da especialização científica e de engenharia, e por seu compromisso e senso de dever quanto a responder à Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que se reflete neste Relatório.

Siglas

ABCD	Ativo, misto, colaborativo e democrático	GDPR	Regulamento Geral de Proteção de Dados
ADB	Asian Development Bank	GEDC	Global Engineering Deans Council
IA	Inteligência artificial	LAC	América Latina e Caribe
Cacee	Central Asia Centre for Engineering Education	LLL	aprendizagem ao longo da vida
CEE	<i>continuing engineering education</i>	ML	<i>machine learning</i>
COP	Conferência das Partes	NAP	National Adaptation Plan
CPD	desenvolvimento profissional contínuo	NFIF	não formal e informal
Crida	<i>climate risk informed decision analysis</i>	OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
CSI	<i>enhancing climate services for infrastructure investment</i>	PBL	aprendizagem baseada em projetos
TC	tomografia computadorizada	EPI	equipamento de proteção individual
DH	saúde digital	PPP	parceria público-privada
DRR	redução do risco de desastres	RAEng	Royal Academy of Engineering (UK)
EO	observação da Terra	P&D	pesquisa e desenvolvimento
EPSC	Sistema de Certificação Profissional de Engenharia	ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (Agência de Desenvolvimento, Alemanha)	STEM	ciência, tecnologia, engenharia e matemática
Iacee	International Association for Continuing Engineering Education	ULB	órgão local urbano
ICEE	International Centre for Engineering Education ICT	UNDP	Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas
TIC	tecnologia(s) da informação e comunicação	UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
UTI	Unidade de Terapia Intensiva	UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
IEA	International Engineering Alliance	UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
Ifees	International Federation of Engineering Education Societies	UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
IoMT	internet das coisas médicas	WASH	água, saneamento e higiene
IoT	internet das coisas	WCCE	World Council of Civil Engineers
UIT	União Internacional de Telecomunicações	WFEO	Federação Mundial das Organizações de Engenharia
Fidic	Federação Internacional de Engenheiros Consultores	OMS	Organização Mundial da Saúde
PIB	Produto Interno Bruto		

Sumário

Prefácio Diretora-geral da UNESCO	8		
Prefácio Academia Chinesa de Engenharia e Universidade Tsinghua	11		
Introdução	12		
1. FAZER ENGENHARIA PARA UM MUNDO MAIS SUSTENTÁVEL	18		
2.1	Diversidade e inclusão na engenharia	45	
2.2	Mulheres na engenharia	49	
2.3	Jovens engenheiros e seu papel	53	
3. INOVAÇÕES DA ENGENHARIA E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL			58
3.1	Inovações da engenharia para combater a COVID-19 e melhorar a saúde humana		61
3.2	Engenharia hídrica para o desenvolvimento sustentável		69
3.2.1	Água limpa e saúde humana		71
3.2.2	Hidrologia para os ODS		76
3.3	Mudança climática: uma emergência climática		81
3.4	Engenharia: uma ferramenta determinante para a redução do risco de desastres		87
3.5	Desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis e resilientes		92
3.6	Engenharia de minas para o futuro		97
3.7	Engenharia e <i>big data</i>		102
3.8	Engenharia e inteligência artificial		108
3.9	Engenharia para cidades inteligentes		113

4. **EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E CAPACITAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL** **120**

- | | | |
|-----|---|-----|
| 4.1 | Educação em engenharia para o futuro | 123 |
| 4.2 | Aprendizagem em engenharia ao longo da vida: um imperativo para alcançar os ODS | 130 |
| 4.3 | Desenvolvimento profissional contínuo dos engenheiros | 137 |

5. **TENDÊNCIAS REGIONAIS NA ÁREA DE ENGENHARIA** **142**

- | | | |
|-----|---------------------------------------|-----|
| 5.1 | Principais tendências inter-regionais | 144 |
| 5.2 | Europa e América do Norte | 151 |
| 5.3 | Ásia e Pacífico | 159 |
| 5.4 | América Latina e Caribe | 166 |
| 5.5 | África | 172 |
| 5.6 | Estados Árabes | 180 |

Prefácio

Diretora-geral da UNESCO

A engenharia desempenha um papel vital no atendimento das necessidades humanas básicas, melhorando nossa qualidade de vida e criando oportunidades para o crescimento sustentável nos âmbitos local, nacional, regional e global. Fundamentalmente, também contribui para as duas prioridades globais da UNESCO: África e Igualdade de Gênero.

A engenharia tem um grande potencial, mas precisamos fazer um uso ainda melhor dela, especialmente incluindo meninas e mulheres. Os governos de todo o mundo têm a responsabilidade de proporcionar oportunidades para todos e atrair os jovens a considerarem a engenharia como uma vocação e uma profissão. Essas escolhas de carreira dependem do acesso a currículos de qualidade em disciplinas nas áreas de STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática, na sigla em inglês), orientação, acesso a informações e comunicações valiosas, e apoio e bolsas de estudos do governo.

Abordar o desenvolvimento sustentável dentro dos desafios relacionados a mudança climática, crescimento populacional e urbanização exigirá uma engenharia inovadora e soluções baseadas em tecnologia. A capacidade da engenharia e as atividades de desenvolvimento de competências são essenciais para garantir que haja um número adequado de engenheiros capazes e prontos para trabalhar nesses desafios globais. Isso é particularmente importante na África, onde o número *per capita* de profissionais de engenharia é menor do que em outras regiões do mundo. Em Essuatíni (antiga Suazilândia), por exemplo, há um graduado em engenharia para mais de 170 mil pessoas, em comparação com o Reino Unido, onde há um graduado em engenharia para 1,1 mil pessoas. Abordar essa lacuna de conhecimento é vital e um dos principais desafios enfrentados pela engenharia.

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram concebidos para aumentar a conscientização sobre os diferentes aspectos da sustentabilidade, delineando metas específicas que abrangem um plano de ação em uma ampla gama de questões sociais, ambientais e tecnológicas, desde a redução da pobreza, saúde para todos, desenvolvimento de infraestrutura, educação e igualdade de gênero até o uso sustentável dos oceanos, energia, água e saneamento. Todos

os 17 ODS podem estar relacionadas à engenharia, e cada um deles requer a engenharia para atingir suas metas.

Este relatório, “Engenharia para o desenvolvimento sustentável: cumprir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável”, apresenta as diferentes áreas da engenharia, nas quais os engenheiros podem contribuir para a realização da Agenda 2030 e dos ODS. Ao fornecer exemplos de inovações e ações, bem como recomendações, este Relatório mostra a relevância da profissão de engenheiro para responder aos desafios da sustentabilidade e como a educação inclusiva e equitativa pode trazer novas perspectivas e, assim, responder à escassez de engenheiros – um dos principais entraves ao crescimento econômico.

No despertar da Quarta Revolução Industrial, este Relatório destaca os avanços tecnológicos atuais em inteligência artificial, *big data* e internet das coisas que estão transformando a maneira como vivemos e interagimos com nosso espaço físico, biológico e digital. Essas transformações podem ser vistas em todos os campos da engenharia e afetam profundamente os sistemas industriais, a produção e a governança.

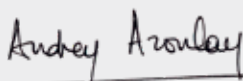
Este Relatório foi finalizado e publicado durante a pandemia de COVID-19. Longe de diminuir a relevância da engenharia global, esta crise ampliou a necessidade de cooperação global para se criar soluções que abordem as causas profundas das questões ambientais crônicas e emergentes. A comunidade global respondeu à pandemia com urgência e eficiência, mas, nesse processo, corre o risco de retirar recursos dos esforços para abordar outras questões prementes, como mudança climática, degradação ambiental e acesso a água potável e energia.

Além disso, a atual pandemia colocou mais pressão sobre o ensino de engenharia. Para treinar nossos melhores engenheiros para enfrentar esses desafios globais, precisamos que os jovens estudem matemática e ciência desde pequenos. No entanto, a pandemia global levou ao fechamento de instituições educacionais para 1,5 bilhão de estudantes em todo o mundo – mais de 90% da população escolar do mundo –, com consequências terríveis para sua educação. Diante dessa catástrofe educacional, a UNESCO, juntamente com a

Coalizão Global de Educação, tem trabalhado para garantir a continuidade da aprendizagem, particularmente na ciência.

A engenharia sempre fez parte da UNESCO. Foi a intenção dos fundadores, em novembro de 1945, que o “S” da sigla UNESCO se referisse a “ciência e tecnologia”. De fato, a UNESCO foi estabelecida na Instituição dos Engenheiros Civis, em Londres, uma das instituições de engenharia mais antigas do mundo. Ao longo dos anos, o Programa de Engenharia da UNESCO vem desenvolvendo educação em engenharia por meio de seus projetos de capacitação humana e institucional, particularmente na África, e tem combatido a sub-representação das mulheres na engenharia para diminuir a lacuna de conhecimento e promover a cooperação intercultural do seu apoio às organizações internacionais de engenharia e ONGs. Em 1968, a UNESCO participou da criação da Federação Mundial das Organizações de Engenharia (WFEO), que tem voz nos mais altos níveis de governo e da política internacional. Nos últimos anos, iniciativas importantes, como o Dia Mundial da Engenharia e a Semana da Engenharia da UNESCO na África, foram estabelecidas para celebrar as conquistas dos engenheiros e suas contribuições para a sustentabilidade e uma melhor qualidade de vida para todos.

Assim, a publicação “Engenharia para o desenvolvimento sustentável: cumprir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” é um marco importante no trabalho de definição de padrões da UNESCO, e eu desejo estender minha gratidão à equipe da UNESCO por trás deste Relatório e aos nossos parceiros, a WFEO, a Academia Chinesa de Engenharia (CAE), a Universidade Tsinghua e o International Centre of Engineering Education (ICEE), por realizarem esta importante publicação, que incorpora perfeitamente o espírito de cooperação em nossa visão compartilhada de um mundo sustentável.



Audrey Azoulay

Diretora-geral da UNESCO

Prefácio

Academia Chinesa de Engenharia e Universidade Tsinghua

A engenharia, a ciência e a tecnologia funcionam como os motores do desenvolvimento econômico e fornecem uma fonte inesgotável de recursos para o progresso da civilização humana.

A engenharia tem um papel central na Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável, que foi aprovada pelas Nações Unidas em 2015 e estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que constituem um plano de ação mundial para enfrentar os problemas de desenvolvimento. A engenharia apoia todos os 17 ODS e desempenha um papel fundamental no desenvolvimento sustentável. Acreditamos que a publicação do Relatório de Engenharia de 2020 da UNESCO, “Engenharia para o desenvolvimento sustentável: cumprir com os objetivos de desenvolvimento sustentável”, contribuirá para o desenvolvimento sustentável e para o desenvolvimento mundial da engenharia para o futuro.

A engenharia vive um momento de profunda transformação e enfrenta imensos desafios. Como área de conhecimento, tem se expandido rapidamente e criado soluções com base em artefatos para atuar nos sistemas econômicos, ecológicos e sociais. Essa evolução ocorre em um contexto mais amplo, no qual é cada vez mais curto o prazo de novas descobertas, novas tecnologias, novos materiais e novos produtos. Enquanto isso, os desafios enfrentados pela engenharia, incluindo aqueles presentes nos ODS, estão se tornando cada vez mais complexos e, muitas vezes, exigem soluções multidisciplinares e interculturais entre os países. Tais soluções transfronteiriças têm desempenhado um papel inestimável na prevenção e no controle da pandemia da COVID-19.

O alcance dos ODS depende da inovação do ensino de engenharia. A promoção de um grande contingente de talentos na área de engenharia, com uma mentalidade criativa, exigirá o desenvolvimento da sustentabilidade e da educação em engenharia orientada para a criatividade. Cada ramo da educação em engenharia deve assumir a responsabilidade de tornar a sustentabilidade uma competência essencial para cultivar uma geração de futuros engenheiros centrados na inovação e na criatividade e com uma mentalidade ética. Devemos desenvolver profissões e atividades de engenharia alinhadas com a sustentabilidade e a inovação. Nosso objetivo comum deve ser o de incluir a ideia de sustentabilidade em cada aspecto da atividade de engenharia, e fazer dela responsável por uma confiança mútua entre as empresas e os profissionais de engenharia.

O alcance dos ODS depende do fortalecimento das parcerias na área de engenharia. Atualmente, porém, os recursos para a engenharia, a ciência e a tecnologia, bem como para a educação em engenharia, não são distribuídos de maneira equitativa. Os países e regiões em desenvolvimento, em particular, carecem de engenheiros qualificados e recursos de engenharia. Portanto, pedimos à comunidade mundial de engenharia que trabalhe para estabelecer um mundo mais equitativo, inclusivo, desenvolvimentista e mutuamente benéfico para todos, trabalhando em estreita colaboração com o governo, com a indústria e com as universidades; capacitando profissionais de engenharia em regiões com áreas desfavorecidas; e enfrentando os desafios globais por meio de esforços conjuntos.

O ICEE foi cofundado em 2016 pela Academia Chinesa de Engenharia e pela Universidade Tsinghua, sob os auspícios da UNESCO. A missão do ICEE é apoiar, em todo o mundo, o alcance dos ODS das Nações Unidas por meio de esforços coordenados em engenharia, especialmente na área de educação em engenharia. Essa missão inclui a preparação, a organização e a compilação deste Relatório. Com isso, o ICEE espera trabalhar em estreita cooperação com seus pares na área de engenharia da comunidade internacional e da área de educação em engenharia, para cumprir sua contribuição para o alcance dos ODS das Nações Unidas.

Esperamos que este Relatório de Engenharia de 2020 da UNESCO ajude as partes interessadas do governo, da indústria e das universidades a articularem o valor da engenharia, inspirar ideias para aperfeiçoar e inovar a engenharia, e ajudar a alcançar todo o potencial desta área para beneficiar o desenvolvimento sustentável da humanidade e do planeta Terra.



Zhou Ji

Presidente honorário do Conselho de Administração Academia Chinesa de Engenharia
Copresidente do Conselho Consultivo do ICEE

Gong Ke¹

Introdução

Engenharia para acelerar o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



¹ Presidente da WFEO.

Um novo Relatório de Engenharia

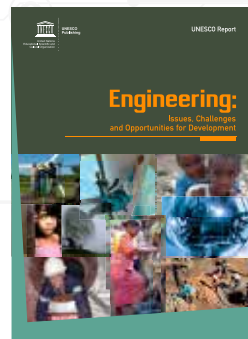
A engenharia diz respeito ao conhecimento e à prática de resolver problemas. Durante milhares de anos, a engenharia, como profissão e disciplina, evoluiu com o desenvolvimento da humanidade. A engenharia tem ajudado a resolver nossos problemas diários e nossas necessidades de produção, por meio da aplicação de conhecimento científico, métodos técnicos, *design* e princípios de gestão. De fato, a engenharia, com sua gama de subdisciplinas, tem sido um dos principais fatores que contribuem para a sobrevivência da humanidade na Terra e para melhorar a nossa qualidade de vida. Ela contribuiu para nossa capacidade de sobreviver a desastres e desafios de saúde pública, garantir alimentos e água, comunicar, transportar, inovar e criar novos produtos e serviços. Onde quer que haja um problema, há a necessidade de soluções de engenharia. O principal problema que o mundo enfrenta atualmente é sustentar o desenvolvimento humano e preservar o planeta. Nesse contexto, a engenharia tem um papel central a desempenhar.

Publicado em 2010, o primeiro relatório de engenharia, “Engineering: issues, challenges and opportunities for development” (UNESCO, 2010), enfatizou a importância da ciência, da tecnologia e da engenharia para abordar as dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento humano em todo o mundo, no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)² – um marco e um roteiro das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável para o período de 2000 a 2015.

O primeiro Relatório de Engenharia enfatizou o grande impacto da engenharia e a necessidade de sua promoção como “uma atividade humana e social, bem como uma atividade científica, tecnológica e inovadora, em contextos sociais, econômicos e culturais”. O Relatório também ressaltou a necessidade de:

- desenvolver a sensibilização do público e das políticas, bem como a compreensão da engenharia, afirmando o papel desta como motor da inovação e do desenvolvimento social e econômico;
- desenvolver informações sobre a engenharia, destacando a necessidade urgente de melhores estatísticas e indicadores sobre ela;
- transformar o ensino, os currículos e os métodos de ensino em engenharia, para enfatizar a relevância e uma abordagem de resolução de problemas para a área; e
- inovar e aplicar mais de forma mais eficaz a engenharia e a tecnologia em questões e desafios globais, como a redução da pobreza, o desenvolvimento sustentável e as alterações climáticas, e desenvolver urgentemente uma engenharia mais ecológica e tecnologias de baixo carbono.

O primeiro Relatório de Engenharia (2010) da UNESCO



Desde a publicação do primeiro Relatório de Engenharia, avanços significativos foram realizados na engenharia em todo o mundo, e as principais contribuições dos engenheiros avançaram no campo do desenvolvimento sustentável. Ao mesmo tempo, existem desafios cada vez mais prementes que ameaçam a sustentabilidade da humanidade e do planeta. Reconhecendo as dimensões social, econômica e ambiental desses desafios, os líderes mundiais se reuniram por ocasião do 70º aniversário das Nações Unidas, em 2015, para formular um novo plano de ações para o desenvolvimento sustentável em uma declaração de intenções no documento histórico, “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development” (United Nations, 2015).

Esta nova agenda representa um projeto ambicioso para a construção de um futuro de paz e prosperidade, e de um planeta saudável para todas as pessoas. Engloba 17 Objetivos e 169 Metas construídos a partir dos ODM e busca mobilizar ações durante os próximos 15 anos em áreas de importância crítica para a humanidade e para o planeta. Alcançar os ODS envolve a mitigação e a adaptação à mudança climática, a construção de infraestruturas resilientes, a garantia de abastecimento de alimentos e nutrição, o fornecimento de energia e água limpa e acessível, a conservação e a restauração da biodiversidade nos ambientes terrestres e aquáticos e muito mais. Para isso, soluções de engenharia inovadoras serão de vital importância, e espera-se que os engenheiros assumam mais responsabilidades do que nunca.

Uma década depois, este segundo Relatório de Engenharia publicado pela UNESCO reitera a importância da engenharia, pois busca responder aos novos desafios e expectativas trazidos pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. Este Relatório reúne as vozes de engenheiros que aderiram ao chamado para criar e implementar soluções a fim de abordar as questões de sustentabilidade que afetam todos os aspectos de nossas vidas, posicionando a engenharia como determinante para alcançar um mundo mais sustentável.

² Para mais informações sobre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM): www.un.org/millenniumgoals

A pandemia da COVID-19 acelerou o pedido por ações urgentes para cumprir os ODS, mas afirmando a relevância da engenharia para o desenvolvimento sustentável

A versão original do relatório “Engenharia para o desenvolvimento sustentável: cumprir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” foi finalizada e publicada em meio à pandemia da COVID-19. Essa crise mortal revelou a urgência e a importância da inovação científica, tecnológica e de engenharia para os desafios que surgem, à medida que os engenheiros procuram criar soluções para cumprir os ODS, a fim de transformar o nosso mundo em um mundo mais resiliente, inclusivo e sustentável.

A COVID-19 desencadeou uma crise sanitária, econômica e social sem precedentes, que ameaça a vida e os meios de subsistência de toda a humanidade, independentemente de nacionalidade, raça, gênero ou *status* social e econômico. A resposta coletiva em todo o mundo ilustra o potencial da solidariedade para os seres humanos ajudarem uns aos outros. No entanto, o impacto na saúde pública e os efeitos econômicos da pandemia não são experimentados da mesma maneira em diferentes países e entre diferentes grupos de pessoas, como resultado de desigualdades históricas em suas condições econômicas, sociais e ambientais.

O *Relatório de 2020* constatou que a pandemia “expôs e exacerbou as desigualdades e injustiças existentes” (United Nations, 2020). E continua dizendo: “nas economias avançadas, as taxas de mortalidade foram mais altas entre os grupos marginalizados. Nos países em desenvolvimento, os mais vulneráveis – incluindo aqueles empregados na economia informal, idosos, crianças, pessoas com deficiência, povos indígenas, migrantes e refugiados – correm o risco de serem atingidos ainda mais” (UNDESA, 2020).

O “*Sustainable Development Goals report 2020*” (Relatório dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de 2020, em tradução livre) analisou o impacto da COVID-19 em todos os ODS e revelou que (em junho de 2020) os meios de subsistência de metade da força de trabalho global foram gravemente afetados, e dezenas de milhões de pessoas estão sendo empurradas de volta para a pobreza extrema e para a fome, anulando o progresso modesto realizado nos últimos anos. No momento da redação (4 de fevereiro de 2021), mais de 105 milhões de pessoas em todo o mundo foram infectadas, com o número de mortes se aproximando de 2,5 milhões e continuando a subir, com quase nenhum país tendo sido poupado. Esta crise mostra a necessidade urgente de se alcançar os ODS, como destacado pelo secretário-geral das Nações Unidas, António Guterres, em seu prefácio ao relatório de progresso das Nações Unidas, “longe de

enfraquecer os ODS, as causas profundas e os impactos desiguais da COVID-19 demonstram precisamente por que precisamos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, do Acordo de Paris sobre as alterações climáticas e da Agenda de Ação de Adis Abeba, e ressaltam a urgência de sua implementação. Por isso, pedi, de forma consistente, uma resposta internacional coordenada e abrangente e um esforço de recuperação, com base na ciência e em dados sólidos e orientados pelos ODS.

A engenharia deve desempenhar um papel mais proativo na luta contra a COVID-19, em busca de uma recuperação verdadeiramente transformadora para reconstruir melhor. Juntos, os engenheiros podem trabalhar ao lado de outros profissionais nos países para identificar e dismantelar causas como a existência de pobreza em âmbito mundial, empoderando assim todas as pessoas e seus ambientes, e implementando as recomendações deste Relatório para acelerar ações de engenharia na prática sobre os ODS.

Compreender o papel da engenharia na consecução dos ODS

A ciência, a tecnologia e a engenharia estão no centro do desenvolvimento sustentável. Como salientou o secretário-geral das Nações Unidas, António Guterres, em sua carta de felicitações ao Global Engineering Congress, em comemoração ao 50º aniversário da Federação Mundial de Organizações de Engenharia (World Federation of Engineering Organizations – WFEO) em 2018, “nos esforçamos para alcançar os 17 Objetivos – o modelo mundial para construir um futuro de paz e prosperidade para todos, em um planeta saudável. Cada um dos Objetivos requer soluções enraizadas na ciência, na tecnologia e na engenharia” (Guterres, 2018). Em 2019, impulsionada pela WFEO, juntamente com outros parceiros de engenharia da UNESCO e mais de 75 instituições, a 40ª Conferência Geral da UNESCO proclamou, por unanimidade, o dia 4 de março como o Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável³. Este é um reconhecimento global do importante papel da engenharia para os ODS e representa uma oportunidade única para destacar o papel dos engenheiros e da engenharia e, com isso, promover soluções para o avanço dos ODS.

É importante reconhecer o papel da ciência, da tecnologia e da engenharia para os ODS, pois são essas áreas que estabelecem a base factual, antecipam consequências futuras e contribuem para encontrar caminhos inovadores para as transformações da sustentabilidade; elas são a alavanca para fazer avançar os ODS de forma integrada. Em paralelo, é essencial aumentar a conscientização do público sobre o papel da engenharia para os ODS por meio do Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável, pois é a engenharia que aplica o conhecimento científico, os métodos técnicos e os princípios de

3 Para mais informações sobre o Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável, consulte: <https://en.unesco.org/commemorations/engineering>

design à prática a fim de resolver os problemas que impedem o desenvolvimento sustentável, e é ela que garante o bem-estar de todas as pessoas e a saúde do planeta.

O Capítulo 1 deste Relatório, “Fazer engenharia para um mundo mais sustentável”, explica o papel fundamental que a engenharia desempenha na transformação do mundo e faz uma breve revisão histórica para mostrar como a engenharia e seus praticantes – os engenheiros – têm transformado o mundo há milênios, desde a invenção das primeiras ferramentas de pedra e dispositivos simples, como a polia e a alavanca nos tempos antigos, à aplicação das mais avançadas técnicas de inteligência artificial (IA) e tecnologias de engenharia biomédica para melhorar a vida e o trabalho das pessoas. Uma análise completa das funções potenciais da engenharia, associadas a cada um dos 17 ODS, demonstra o papel indispensável que a engenharia e os engenheiros desempenham na consecução de cada ODS até 2030. O capítulo também indica as lacunas que existem entre as capacidades atuais da engenharia e os requisitos para se alcançar os ODS, e pede uma estreita sinergia entre os governos, as indústrias, os institutos de educação e pesquisa, a sociedade civil e a comunidade de engenharia para fornecer um investimento robusto em apoio ao desenvolvimento da engenharia.

Na mesma linha, a comunidade de engenharia e os engenheiros individualmente considerados, inspirados e guiados pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, devem adquirir uma compreensão mais clara de seus papéis e responsabilidades na consecução dos ODS. As comunidades de engenharia em todo o mundo devem abraçar a missão final da engenharia e dos engenheiros nos dias de hoje quanto ao avanço dos ODS, a fim de ajudar a moldar um futuro sustentável para a humanidade e para o planeta e, assim, realizar práticas de engenharia de uma forma mais sustentável, inovadora, inclusiva, ecológica e segura, ao mesmo tempo em que alcança o nível zero de emissões líquidas de carbono.

A própria engenharia precisa de uma transformação para se tornar mais inovadora, inclusiva, cooperativa e responsável

Para alcançar os ODS, a própria engenharia necessita passar por avanços transformadores em todo o mundo, para enfrentar os desafios multifacetados da humanidade. A Agenda 2030 declara que “estamos determinados a mobilizar os meios necessários para implementar esta Agenda por meio de uma Parceria Global para o Desenvolvimento Sustentável revitalizada, baseada num espírito de solidariedade global reforçada, centrada em particular nas necessidades dos mais pobres e vulneráveis e com a participação de todos os países, todas as partes interessadas e

todas as pessoas” (United Nations, 2015). Isso também é verdade para as parcerias dentro da comunidade de engenharia em todo o mundo e com todas as partes interessadas, como governos e formuladores de políticas, universidades e educadores, indústria, fundações e sociedade civil. O Relatório salienta a importância fundamental das parcerias globais entre as comunidades de engenharia e ressalta a necessidade de se reforçar as capacidades nos países em desenvolvimento.

O Capítulo 2 deste Relatório, “Igualdade de oportunidades para todos”, descreve como a diversidade e a inclusão na engenharia são vitais para garantir que um número suficiente de profissionais, que representam diferentes pontos de vista e origens, sejam atraídos para a profissão de engenharia. Uma força de trabalho diversificada na área de engenharia pode abordar os ODS de forma mais eficaz, encontrando soluções criativas que sejam relevantes para todos e garantindo que futuras soluções na área evitem preconceitos e discriminação, ao mesmo tempo em que combatem as injustiças sociais. O capítulo oferece uma visão abrangente dessa questão, com ênfase nas engenheiras e nos jovens engenheiros. Embora tenham sido alcançados avanços significativos – graças aos esforços conjuntos de organizações de engenharia, governos e instituições de ensino, entre outros –, o processo ainda é desequilibrado. Muito mais deve ser feito para melhorar ainda mais a diversidade e a inclusão na profissão de engenheiro, e uma abordagem mais interdisciplinar – com uma mentalidade mais inclusiva – é de vital importância para se alcançar essa ambição. A comunidade de engenharia deve fortalecer ainda mais suas colaborações com vários setores da sociedade para enfrentar os desafios dos ODS de uma forma mais equilibrada e holística, garantindo que o progresso obtido quanto a um Objetivo seja simultaneamente equilibrado em relação aos outros.

Para resolver os problemas da insustentabilidade e transformar o nosso mundo, são necessárias soluções de engenharia que sejam inovadoras. Embora a gama de aplicações da engenharia seja vasta, o Capítulo 3, “Inovações da engenharia e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável”, apresenta algumas áreas de trabalho selecionadas que mostram como a inovação da engenharia com tecnologias emergentes pode ajudar a alcançar os ODS. O papel da engenharia em relação aos ODS é demonstrado de forma mais concreta, e as lacunas entre as capacidades da engenharia atual e as necessárias para se alcançar os ODS também são reconhecidas.

O investimento e a colaboração em pesquisa e desenvolvimento (P&D) na engenharia, no contexto da Quarta Revolução Industrial (Schwab, 2017), são o caminho a ser seguido para se enfrentar os desafios cada vez mais prementes de alcançar o bem-estar e a saúde humana, água limpa e segurança alimentar (para uma população em rápido crescimento), emergência climática, descarbonização energética, gestão de riscos de desastres, biodiversidade, desenvolvimento urbano e outros desafios vitais.

O ensino de engenharia e a capacitação são a chave para habilitar a engenharia para os ODS

O ensino de engenharia e a capacitação são abordados no Capítulo 4 deste Relatório, “Educação em engenharia e capacitação para o desenvolvimento sustentável”. Ele explica como o ensino é fundamental para desenvolver as capacidades da engenharia e atender à demanda de engenheiros em todo o mundo, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade. É importante notar que a capacitação em engenharia é um processo contínuo, que começa na escola, passa pelo ensino superior com programas formais, e continua por toda a carreira profissional de um engenheiro, tecnólogo ou técnico, em uma ótica de desenvolvimento profissional contínuo, a fim de atender ao rápido crescimento em conhecimento e habilidades.

A formação de engenheiros para a implementação dos ODS não requer apenas novas competências de aprendizagem e pensamento criativo, resolução de problemas complexos, cooperação interdisciplinar e internacional e atitude ética, mas também requer uma mudança na própria educação na área, que saia de um caminho acadêmico com foco no conhecimento técnico e vá para uma abordagem interdisciplinar muito mais ampla da aprendizagem, e de um foco no professor para um mais centrado no estudante e com base em problemas. Isso exigirá a construção de uma abordagem estruturada, com garantia de qualidade e acreditação conexas, para promover a aprendizagem ao longo da vida e o desenvolvimento profissional. Revisões periódicas dos atributos e das competências profissionais dos graduados, envolvendo várias partes interessadas, ajudarão a orientar o ensino de engenharia para atender às demandas em constante mudança do desenvolvimento sustentável, ao mesmo tempo em que um sistema global de credenciamento é necessário para ajudar a garantir a qualidade dos profissionais na realização de práticas de engenharia para implementar os ODS – assim como para ajudar os engenheiros a trabalharem além das fronteiras nacionais.

Promover o desenvolvimento da engenharia por meio de esforços conjuntos de governos, universidades, indústria, organizações de engenharia e sociedade civil

Orientados pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, os engenheiros de todo o mundo realizaram grandes avanços na promoção dos ODS e no aumento das capacidades de engenharia

para esses Objetivos. O Capítulo 5 deste Relatório, “Tendências regionais na área de engenharia”, apresenta uma visão geral e mostra como a cooperação inter-regional facilitou o progresso de todas as regiões para alcançar os ODS. O capítulo demonstra que a engenharia é, de fato, um facilitador para o desenvolvimento regional e para as parcerias inter-regionais a fim de “melhorar a cooperação regional e internacional Norte-Sul, Sul-Sul e triangular e o acesso à ciência, à tecnologia e à inovação”, para “melhorar o compartilhamento de conhecimento em termos acordados, inclusive por meio de uma melhor coordenação entre os mecanismos existentes”, e “reforçar o apoio internacional para a implementação de capacitação eficaz e direcionada nos países em desenvolvimento, para apoiar os planos nacionais para implementar todas as metas de desenvolvimento sustentável, inclusive por meio da cooperação Norte-Sul, Sul-Sul e triangular” (United Nations, 2015). O projeto UNESCO-WFEO da Semana Africana de Engenharia⁴, realizado pela Federação Africana das Organizações de Engenharia (FAEO), e o projeto Africa Catalyst (Africa Catalyst, 2014), apoiado pela Royal Academy of Engineering (RAEng) e pela WFEO, fornecem bons exemplos da implementação dos 17 ODS sobre parcerias para os Objetivos.

No entanto, ainda existem lacunas significativas entre os progressos alcançados e as metas estabelecidas pela Agenda 2030, com as quais os Estados-membros das Nações Unidas se comprometeram. Observando as lacunas, é evidente que são fatores de destaque a falta de capacidades, interdisciplinaridade internacional e cooperação intersetorial para o desenvolvimento da engenharia, entre várias outras causas. O mundo deve superar um grande número de desafios para cumprir os ODS até 2030, entre os quais o desequilíbrio no desenvolvimento entre as diferentes regiões é o mais grave. Isso enfatiza ainda mais a necessidade de parcerias globais na construção de capacidades de engenharia, especialmente nos países em desenvolvimento. Este Relatório reconhece os desafios enfrentados com vistas ao desenvolvimento da engenharia em todo o mundo e em diferentes regiões e, assim, propõe um conjunto de recomendações aos governos, indústrias, universidades, instituições de ensino e sociedade civil como o caminho a ser seguido. Em resumo, o Relatório pede a todas as partes interessadas que compreendam o papel crucial da engenharia para os ODS, reconheçam as demandas urgentes da engenharia e se unam para promover o desenvolvimento da engenharia por meio de investimento e cooperação em todos os países, em todas as regiões e em todo o mundo, para transformar a engenharia em uma verdadeira área facilitadora, equalizadora e aceleradora para cumprir os ODS.

⁴ Para mais informações sobre a Semana Africana de Engenharia: <http://www.wfeo.org/wfeo-in-africa/>

Referências

AFRICA CATALYST. *Africa Catalyst*: building engineering capacity to underpin Human and Economic Development in Africa; concept note. Disponível em: <http://africacatalyst.org>

GUTERRES, A. Welcome statement from UN Secretary General António Guterres. In: GLOBAL ENGINEERING CONGRESS, 22 Oct. 2018. *Proceedings...*, 2018. Disponível em: <https://www.ice.org.uk/events/global-engineering-congressday-one>

SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. London: Penguin Books Limited, 2017.

UNITED NATIONS. *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. New York, 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>

UNITED NATIONS. UN report finds COVID-19 is reversing decades of progress on poverty, healthcare, and education. *UN News*, 7 Jul. 2020. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/en/news/sustainable/sustainable-development-goals-report-2020.html>

UNDESA – United Nations Department of Economic and Social Development. *The sustainable development goals report 2020*. New York, 2020. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020.pdf>

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Engineering: issues, challenges, and opportunities for development*. Paris, 2010. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000189753>

Marlene Kanga¹

1. FAZER ENGENHARIA PARA UM MUNDO MAIS SUSTENTÁVEL

¹ Presidente da WFEO de 2017 a 2019.





Resumo. Os engenheiros desempenharam um papel fundamental na transformação do mundo por meio da invenção e do desenvolvimento de novas tecnologias, o que teve um impacto significativo no crescimento econômico e na qualidade de vida. Os ODS das Nações Unidas buscam uma abordagem integrada do desenvolvimento que atenda às necessidades de todas as pessoas, exigindo oportunidades equitativas e prosperidade econômica para todos, ao mesmo tempo em que mitigam seus efeitos deletérios no planeta. A engenharia é determinante para o avanço de cada um dos 17 Objetivos, como mostra o Quadro 1. A demanda por engenheiros em todo o mundo é alta, tanto em países desenvolvidos nas áreas de alta tecnologia, *software*, IA e comunicações, quanto em países em desenvolvimento para a infraestrutura básica das cidades, sistemas de transporte e redes de abastecimento de energia e água. Também é vital que a educação em engenharia atenda às necessidades atuais e futuras dos empregadores. Governo, educadores de engenharia e instituições profissionais da área precisam trabalhar juntos para garantir que os padrões de educação em engenharia atendam aos ODS e que os mais jovens, especialmente meninas, considerem uma carreira na área.

A engenharia molda o nosso mundo

Engenheiros têm inovado e transformado o mundo há séculos. Desde a invenção das primeiras ferramentas de pedra até dispositivos tão simples como a polia e a alavanca, que permitiam levantar e mover objetos pesados que estão além da capacidade de uma única pessoa. A palavra *engenheiro* vem do latim *ingenium*, que também é a raiz de *engenhosidade* e se refere a qualidades inatas, especialmente a agilidade mental. Por milênios, os engenheiros foram reconhecidos como indivíduos com a capacidade de encontrar soluções para problemas cotidianos,

usando ciência, matemática e engenhosidade para fazer o que nunca foi feito, ir aonde ninguém esteve e alcançar o que antes era considerado impossível.

A engenharia é realmente uma profissão notável e extraordinária, que abrange muitas disciplinas, desde as mais antigas façanhas militares e civis, até a engenharia mecânica, elétrica, eletrônica e química, bem como disciplinas emergentes mais recentes, como engenharia ambiental, mecatrônica (que combina mecânica e eletrônica), biomédica, bioquímica e outras ainda a serem nomeadas. O surgimento dessas novas disciplinas é uma característica fundamental da engenharia, que constantemente vai além dos limites do que pode ser alcançado por meio da engenhosidade e do pensamento inteligente.²

Evidências do impacto notável da engenharia podem ser encontradas em locais que remontam aos tempos antigos. A Acrópole e o Partenon, na Grécia, o Coliseu romano, as pirâmides no Egito e as cidades e pirâmides dos impérios Maia, Inca e Asteca são testemunhos da engenhosidade dos engenheiros. Engenheiros civis e militares construíram os aquedutos romanos e estradas como a Via Ápia, bem como a Grande Muralha da China, que serviu às ambições políticas e militares dos governantes do país. Para populações comuns, os engenheiros construíram cidades no Vale do Indo, por volta de 2600 a.C., e no Delta do Nilo (3300 a.C. a 2600 a.C.) com grades de ruas retangulares, grandes edifícios e banhos públicos. A engenharia sustentava o poder político, militar e econômico.

A Primeira Revolução Industrial ocorreu no século XVIII na Grã-Bretanha e em outros lugares da Europa, e foi impulsionada por invenções como o motor a vapor, que reformulou o mundo, produzindo melhorias maciças na produtividade para aqueles que tinham os meios e a determinação para implementá-las. Os avanços tecnológicos da Segunda Revolução Industrial, nos séculos XIX e XX, foram liderados por avanços na geração de eletricidade e obras de engenharia civil, como redes de abastecimento de água e esgoto, e a construção de estradas e pontes, o que marcou o surgimento da engenharia como profissão. Essas inovações transformaram os países de economias agrícolas para as de manufatura, resultando em aumento de renda e prosperidade, especialmente na Europa e na América do Norte. A Terceira Revolução Industrial ocorreu na segunda metade do século XX e foi impulsionada pelos avanços na computação e na tecnologia da informação – é a era da informação.

A criatividade dos engenheiros mudou o mundo, impactando a qualidade da vida humana em quase todas as partes do globo. O mundo agora se encontra no limiar da Quarta Revolução

² O primeiro Relatório de Engenharia da UNESCO definiu a engenharia como “o campo ou disciplina, prática, profissão e arte que se relaciona com o desenvolvimento, aquisição e aplicação de conhecimentos técnicos, científicos e matemáticos sobre a compreensão, o projeto, o desenvolvimento, a invenção, a inovação e o uso de materiais, máquinas, estruturas, sistemas e processos para fins específicos”. O Relatório explorou as principais disciplinas de engenharia estabelecidas que prevaleciam há 10 anos, bem como as necessidades prementes da profissão de engenheiro. Não muito se alterou desde então, exceto que as necessidades se tornaram mais prementes, novas disciplinas em engenharia surgiram, e a sociedade está exigindo mais dos engenheiros no contexto do desenvolvimento sustentável para atender às necessidades básicas de todos, protegendo o planeta e garantindo prosperidade para todos (UNESCO, 2010).

Industrial, na qual os dados e a interconectividade das máquinas e da internet das coisas (*Internet of Things* – IoT) impulsionarão novas formas de eficiência e inovações. A engenharia permanece no centro dessa revolução, com inovações emergentes e avanços científicos transformando novas ideias em invenções e produtos. Os engenheiros continuam a fazer o que sempre fizeram; usam ciência, matemática e habilidades intelectuais altamente desenvolvidas para transformar o mundo. A principal diferença hoje é que o ritmo da mudança está se acelerando, de tal forma que os avanços tecnológicos acumulados dos últimos 100 anos excederam os dos últimos milhares de anos.

O trabalho dos engenheiros não é apenas de moldar cidades e indústrias – ele está transformando interações sociais e políticas por meio de avanços nas tecnologias da informação e comunicação (TIC). Só nos últimos 30 anos, ocorreu um rápido crescimento no uso de computadores e novas tecnologias de comunicação, com a invenção do *smartphone* em 2007, o que alterou o comportamento social. Hoje, os jovens simplesmente não conseguem imaginar a vida sem um *smartphone*. A tecnologia também impulsionou mudanças sociais e políticas. Por exemplo, os protestos da Primavera Árabe, que ocorreu no Oriente Médio em 2012 (Beaumont, 2011) e a agitação política na Malásia em 2017 (Abdullah; Anuar, 2018) foram desencadeados pelas mídias sociais. Em muitos países, essas mídias desempenham um papel fundamental nas eleições, envolvendo os jovens como nunca antes – um avanço que não teria sido possível sem a extraordinária acessibilidade possibilitada pelas telecomunicações móveis (Newkirk, 2017).

Os efeitos positivos importantes da engenharia são visíveis em termos de produção, produtividade e crescimento, bem como na capacidade inovadora das economias (Maloney; Caicedo, 2016). Os engenheiros desempenham um papel fundamental no apoio ao crescimento e ao desenvolvimento de infraestruturas essenciais, como estradas, pontes ferroviárias, barragens, comunicações, gestão de resíduos, abastecimento de água e saneamento, energia e infraestruturas digitais. Eles permitem que a economia de um país cresça e se desenvolva, o que, por sua vez, pode levar a melhores resultados econômicos e sociais, incluindo maior expectativa de vida, maiores taxas de alfabetização e melhor qualidade de vida.

Países ao redor do mundo agora percebem que a engenharia, a ciência e a tecnologia são o caminho para o crescimento econômico, e que não é possível ter uma economia moderna sem a engenharia. Seis grandes tendências impactam o mundo atual: a rápida urbanização e o desenvolvimento das grandes cidades; mudanças no poder econômico global; a mudança climática; mudanças demográficas com o envelhecimento da população no mundo desenvolvido; inovações tecnológicas; e o surgimento de uma cultura de empreendedorismo. Essas tendências levam ao reconhecimento da importante ligação entre a capacidade de

engenharia de um país (ou seja, o número e a “qualidade” de seus engenheiros) e seu desenvolvimento econômico.

Os engenheiros e a inovação na área de engenharia têm estado na vanguarda das ações para gerenciar os impactos e a disseminação do vírus da COVID-19, bem como o uso de tecnologias inovadoras para detectar, monitorar e prevenir a disseminação do coronavírus. Sensores e IA estão sendo usados para verificar a temperatura das pessoas quando entram em determinadas instalações, pois a febre é um importante indicador do vírus. Os sensores também monitoram o esgoto, para rastrear a propagação do vírus em áreas urbanas. A IA está sendo aplicada na análise rápida do desempenho de possíveis novas vacinas e abordagens terapêuticas, e a fabricação em 3D está sendo usada para produzir protetores faciais e outros equipamentos de proteção individual (EPIs), bem como respiradores e equipamentos médicos com alta demanda. As comunicações móveis estão sendo usadas para rastrear e monitorar pessoas que podem estar transmitindo o vírus. É importante ressaltar que as comunicações também facilitaram o aprendizado *online* para milhões de jovens em todo o mundo e para aqueles que trabalham em casa após a implementação de *lockdowns* (WFEO, 2020a).

Consequentemente, no mundo pós COVID-19, os engenheiros e a engenharia mais do que nunca serão reconhecidos como a principal força motriz para os países desenvolverem suas economias em todas as áreas, incluindo educação, saúde, transportes, habitação, cidades inteligentes e indústrias que fornecem empregos para todos.

O crescimento populacional e a urbanização são áreas-chave que impulsionam a demanda por engenheiros. Mais de 50% da população mundial agora vive em cidades, uma proporção que aumentará 2,5 bilhões até 2050 (UNDESA, 2014). Na Índia, por exemplo, de acordo com o McKinsey Global Institute, o ritmo de urbanização é semelhante a uma revolução 3 mil vezes maior do que a Revolução Industrial do século XIX (Paul, 2016). A rápida urbanização requer soluções de engenharia para o transporte, a qualidade do ar, a segurança alimentar, o abastecimento de água e saneamento, a energia e as telecomunicações. Para cidades expostas a desastres naturais e ao aumento do nível do mar, os engenheiros devem desenvolver abordagens sustentáveis para mitigar tais riscos e construir resiliência. Estes são apenas alguns exemplos dos enormes benefícios econômicos e sociais da engenharia.

O “Global sustainable development report” (Relatório de desenvolvimento sustentável global, em tradução livre) das Nações Unidas (United Nations, 2019) reconheceu a importância da ciência e da tecnologia para o avanço do desenvolvimento sustentável, especialmente nas cidades, como uma das quatro alavancas para alcançar a Agenda 2030. Novas tecnologias estão evoluindo rapidamente e sendo implementadas para tornar as cidades mais inteligentes, seguras e sustentáveis. Por exemplo, a implementação de TIC, dispositivos de IoT, vídeo e outros sensores monitoram e

1

fornecem dados para gerenciar as cidades (WFE0, 2020b). Tecnologias avançadas, como a modelagem integrada de informações geoespaciais e de construção (BIM) para o planejamento urbano, incluindo o uso de gêmeos digitais, permitem a proteção de estruturas patrimoniais, o monitoramento dos impactos da mudança climática e a mitigação dos impactos de desastres naturais, e agora estão se tornando essenciais para o desenvolvimento sustentável (WFE0, 2020c). Isso é reconhecido pela União Internacional de Telecomunicações (UIT) e pela UNESCO, que propôs um *moonshot digital* para implementar a banda larga na África com o objetivo de acelerar o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável (Broadband Commission, 2019). Da mesma forma, o Comitê de Especialistas das Nações Unidas em Gestão Global de Informações Geoespaciais recomendou abordar a “exclusão digital geoespacial” para as infraestruturas sustentáveis e desenvolvimento de cidades (UN-GGIM, 2018).

Além disso, os engenheiros estão em crescente demanda não apenas por suas habilidades com tecnologias avançadas, mas também para fornecer *expertise* para as infraestruturas na África, na Ásia e na América Latina. Por exemplo, a *Belt and Road Initiative* (BRI), liderada pela China³ e que abrange mais de 65 países, facilitará o desenvolvimento de estradas, ferrovias e portos em toda a África, Ásia Central e Europa, e aumentará a demanda por engenheiros (Wijeratne; Rathbone; Lyn, 2017). Espera-se que os engenheiros desenvolvam inovações de infraestrutura verde para novas cidades inteligentes e desenvolvam fontes de energia renováveis. Os engenheiros também são essenciais para mitigar os riscos de desastres naturais e implementar soluções integradas de gestão hídrica para o uso da água em ambientes urbanos (UNDESA, 2019).

Os avanços tecnológicos e a ascensão de uma nova geração de empreendedores levaram a uma explosão de novas empresas e *startups* lideradas ou apoiadas por engenheiros. As maiores novas empresas da China (Baidu, Alibaba e Tencent) e da Índia (Flipkart, Ola e outras) estão conduzindo uma revolução que está se espalhando para outras partes da Ásia e da África (ETtech, 2018). Essas empresas estão criando novos setores e empregos que têm efeitos colaterais no resto da economia.

Os países que têm um número suficiente de engenheiros experimentam um impacto positivo significativo em termos de crescimento do PIB (CEBR, 2015). No entanto, a qualidade e a quantidade afetam os resultados dos projetos de engenharia e suas contribuições para a economia. Os engenheiros não só precisam ser tecnicamente competentes, mas também precisam incorporar os imperativos e valores do século XXI: o uso responsável dos recursos, a consciência sobre os possíveis impactos negativos de seu trabalho na sociedade e no meio ambiente, a necessidade de mitigá-los na medida

do possível e a importância do desenvolvimento inclusivo, que apoie as populações urbanas e rurais, sem deixar ninguém para trás. É essencial que um país tenha seu próprio grupo de engenheiros, que se valha de seus melhores intelectos, homens e mulheres, capazes de projetar, construir e manter obras de engenharia que atendam aos objetivos nacionais e cumpram os padrões internacionais reconhecidos, para oferecer o máximo de benefício à economia.

O papel da engenharia no desenvolvimento sustentável

Em setembro de 2015, os 193 membros da Assembleia Geral das Nações Unidas se reuniram para declarar seu compromisso com os ODS. Esses 17 Objetivos representam uma abordagem integrada para abordar os imperativos da redução da pobreza, a necessidade urgente de serviços básicos para muitos (incluindo educação, saúde e saneamento), a igualdade de gênero, os impactos da mudança climática e o rápido esgotamento dos recursos mundiais. Em dezembro de 2015, na 21ª Conferência das Partes (COP) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP21), realizada em Paris⁴, o mundo chegou a um acordo sobre as metas globais de emissões e se comprometeu a limitar o aquecimento do clima a menos de 2 °C (UNFCCC, 2015).

Cada nação tem compromissos a manter, que serão cumpridos por meio do trabalho dos engenheiros, e o alcance de cada um dos 17 ODS exigirá um papel da engenharia (ver Quadro 1). Esses desafios globais exigem um engenhosidade quase sem precedentes por parte dos engenheiros, para desenvolver e implementar as soluções necessárias para avançar esses objetivos. Agora, é preciso que os engenheiros mudem o mundo novamente para ajudar a criar um mundo mais inteligente, comprometido com o desenvolvimento sustentável para todos. Isso requer novos tipos de engenharia e de engenheiros para incorporar os valores e objetivos do desenvolvimento sustentável em seu trabalho. O governo, os formuladores de políticas e a comunidade precisam entender o papel fundamental da engenharia para o desenvolvimento sustentável, e iniciativas como o Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável têm um papel fundamental na promoção dessa conscientização (Caixa 1).

Por exemplo, estima-se que aproximadamente 12% da população mundial não tinha eletricidade em suas casas em 2016 (*Our World in Data*⁵). Em 2015, três em cada dez (ou 2,1 bilhões de) pessoas não tinham acesso a água potável, e seis em cada dez (ou 4,5 bilhões) não tinham instalações sanitárias administradas com segurança (WWAP, 2019). Enfrentar esses desafios requer uma

3 A *Belt and Road Initiative* (BRI) se refere ao Cinturão Econômico da Rota da Seda e à Rota da Seda Marítima do Século XXI. A rede conecta África, Ásia Central e Europa, e passa por mais de 65 países e regiões, abrangendo uma população de cerca de 4,4 bilhões e um terço da economia global. Ela envolverá significativas obras de engenharia para o desenvolvimento de estradas, ferrovias, portos, aeroportos e outras infraestruturas, bem como grandes capacidades de fabricação, envolvendo investimentos, financiamento e comércio.

4 Conhecido como o Acordo de Paris.

5 Veja o número de pessoas com e sem acesso à eletricidade em: <https://ourworldindata.org/grapher/number-of-people-with-and-without-electricity-access>

abordagem mais ponderada que englobe os impactos sociais, humanos, econômicos e ambientais da engenharia. Além disso, essa engenharia baseada em valores ainda não foi incorporada ao currículo da área na maioria das instituições de ensino.

Caixa 1. Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

O Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável, 4 de março, é um dia anual da UNESCO para a celebração de engenheiros e da engenharia.

A proposta do Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável foi liderada pela WFEO, que reconheceu o importante papel da engenharia na consecução dos ODS das Nações Unidas. O Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável é uma oportunidade para celebrar engenheiros e a engenharia em todo o mundo, bem como envolver a comunidade, o governo e os formuladores de políticas no importante papel da engenharia na vida moderna.

Oitenta cartas de apoio foram recebidas de instituições internacionais e nacionais, academias e Comissões Nacionais da UNESCO, representando 23 milhões de engenheiros em todo o mundo, com um impacto estimado em 2 bilhões de pessoas. Essa resolução foi apoiada pelos Estados-membros da UNESCO e por mais de 40 nações de todos os continentes, incluindo: Arábia Saudita, Bangladesh, China, Costa do Marfim, Egito, Etiópia, Filipinas, França, Gabão, Gâmbia, Guatemala, Guiné Equatorial, Ilhas Comores, Irã, Iraque, Jordânia, Libéria, Madagascar, Mali, Moçambique, Namíbia, Nicarágua, Nigéria, Omã, Paquistão, Palestina, Polónia, Quênia, Reino Unido, República Dominicana, Rússia, Senegal, Sérvia, Tanzânia, Tunísia, Turquia, Uruguai, Zimbábue e outros. Esse apoio generalizado por parte dos governos demonstra o seu reconhecimento quanto ao importante papel da engenharia no desenvolvimento sustentável.

O logotipo do Dia Mundial da Engenharia transmite o papel da engenharia e do desenvolvimento sustentável em todo o mundo. Celebrações coordenadas para esse Dia Mundial da Engenharia em todo o mundo são uma oportunidade para se obter cobertura da mídia para eventos sobre o perfil da engenharia. Os canais de mídia social interagem com os jovens em particular, e as instituições que celebram o dia internacional são solicitadas a registrar seus eventos em um *site* destinado a impulsionar as comemorações. Noventa eventos em 50



países foram celebrados em 2020, e espera-se que cresçam a cada ano e tenham sua importância ampliada, à medida que cada nação celebra a engenharia⁶ e incorpora o Dia Mundial da Engenharia.

O Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável é uma oportunidade de se envolver com o governo e com a indústria, para abordar o papel e o impacto da engenharia na economia e na sociedade, reconhecer a necessidade de capacidades de engenharia e engenheiros de qualidade em todo o mundo, e desenvolver estruturas estratégicas e melhores práticas para a implementação de soluções de engenharia no desenvolvimento sustentável. É também uma oportunidade para incentivar as mulheres jovens a considerar as oportunidades da engenharia como uma carreira profissional.

É importante ressaltar que o Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável pode ser utilizado para se envolver com jovens em todos os lugares, para dizer: “Se você quer fazer mudanças para um mundo melhor – torne-se um engenheiro”.

Entender os números: a demanda e a oferta de engenheiros

Embora os engenheiros sejam cruciais para o avanço dos ODS e para atender às aspirações dos países em desenvolvimento, atualmente o mundo está enfrentando uma escassez desses profissionais e no nível das habilidades de engenharia disponíveis.

A crescente demanda por engenheiros é evidente a partir de dados estatísticos globais – embora limitados –, com a transformação das tecnologias aumentando a demanda em países em desenvolvimento e desenvolvidos. Os campos com maior procura na África são a engenharia agrícola e a engenharia civil para apoiar o desenvolvimento da agricultura que, atualmente, representa 15% do PIB, bem como o desenvolvimento de infraestruturas (Gachanja, 2019). Na África do Sul, a escassez está se aproximando de um ponto de crise (Nyatumba, 2017).

Em países desenvolvidos, dados do Bureau of Labor Statistics dos EUA mostram que os cargos que envolvem tecnologia e engenharia de computadores devem aumentar 12,5% ao ano até 2024, e que esses cargos também terão salários acima da média (Fayer; Lacey; Watson, 2017). Dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) também mostram que o crescimento de empregos é mais alto nas áreas de engenharia e TIC, em resposta à transformação digital das economias de todo o mundo (OECD, 2017a). O “Future of Jobs Report 2016”, elaborado pelo Fórum Econômico Mundial, também mostra que se espera desses campos uma maior demanda até 2020 (WEF, 2016). Engenheiros de *software* e engenheiros civis, mecânicos e elétricos estão em demanda em muitos países ao redor do mundo, com escassez crítica sendo relatada em algumas regiões (OECD, 2017b).

A participação das mulheres na engenharia também representa uma lacuna significativa e que deve ser abordada com urgência, não apenas para aumentar o número de engenheiros disponíveis em todo o mundo, mas também para garantir que os melhores intelectos sejam capazes de resolver os desafios apresentados pelo desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2018).⁷ Questões relacionadas ao aumento da diversidade e inclusão na engenharia são abordadas no Capítulo 2.

É claro que as políticas governamentais devem ser direcionadas a fornecer o número de engenheiros necessários para que a economia cresça e prospere. Os governos precisam aumentar a atração da engenharia como uma carreira para homens e mulheres

6 Saiba mais sobre o Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável, em: <https://worldengineeringday.net/>

7 Dados globais sobre a participação das mulheres na engenharia não estão disponíveis; no entanto, evidências de vários países, como Austrália, Canadá, Estados Unidos e Nova Zelândia, bem como evidências pontuais, indicam os baixos níveis de participação das mulheres na engenharia. O projeto *STEM and Gender Advancement (SAGA)* da UNESCO tem o propósito de abordar a falta de dados nesta área.

jovens, bem como garantir o apoio financeiro e institucional necessário para ajudar mais engenheiros a se formarem. Um bom exemplo de política governamental bem-sucedida pode ser encontrado na Malásia, onde uma abordagem estratégica para a educação em ciência, tecnologia, engenharia e matemática (*science, technology, engineering and mathematics* – STEM) resultou em um aumento significativo do número de engenheiros dos sexos masculino e feminino nos últimos dez anos (MOHE, 2010). Há também a necessidade de se destacar as contribuições da engenharia para a comunidade, bem como as contribuições realizadas por engenheiros e pela engenharia no passado, e sua capacidade de contribuir para um mundo melhor no futuro.

Entender as habilidades: a qualidade dos engenheiros além das capacidades técnicas

Uma questão fundamental para muitos países consiste em garantir não apenas que os engenheiros se formem em número suficiente para atender às demandas da economia, mas também a qualidade desses graduados (ver Capítulo 4). Muitos países produzem um grande número de formados que não têm as habilidades básicas necessárias para trabalhar como engenheiros competentes. Os imperativos do desenvolvimento sustentável também exigem uma revisão urgente dos currículos de engenharia, para incorporar as novas habilidades exigidas pelos empregadores e pela sociedade a fim de enfrentar os desafios associados, ou seja, mitigar os impactos da mudança climática e garantir que as obras de engenharia atendam às aspirações e às necessidades da sociedade.

O ecossistema necessário para o desenvolvimento do capital humano para a engenharia é eminentemente um assunto nacional. Abrange as instituições de ensino e os órgãos de engenharia que asseguram a qualidade da educação por meio de processos de acreditação e regulamentação dos engenheiros praticantes por meio de sistemas de registro.

A qualidade dos graduados em engenharia é geralmente assegurada pela acreditação de instituições com mandatos conferidos pelos departamentos governamentais relacionados a instituições de ensino ou de engenharia profissional. O desenvolvimento profissional contínuo e a competência dos engenheiros são garantidos principalmente por meio de treinamento fornecido por instituições de engenharia profissionais que concedem credenciais profissionais, como o engenheiro “Afretado”. O registro de engenheiros pode ser

realizado por órgãos que atuam sob a legislação governamental ou sob os auspícios de instituições profissionais de engenharia. O sistema é complexo e varia entre os países, bem como as disciplinas de engenharia dentro de um mesmo país. Geralmente, as disciplinas de engenharia que envolvem construção (civil, estrutural, mecânica e elétrica) são regulamentadas pelo governo, devido às implicações de segurança de edifícios e outras estruturas. Novas disciplinas da área de engenharia, como a nanoengenharia e a engenharia biomédica, têm baixos ou nenhum nível de regulamentação formal.

Acordos internacionais bilaterais e multilaterais facilitam o reconhecimento mútuo de sistemas de ensino de engenharia que alcançaram os padrões acordados (Hanrahan, 2013). Estes são importantes para garantir que os sistemas nacionais atinjam um padrão adequado em relação aos *benchmarks* internacionais. No entanto, existe uma infinidade de sistemas regionais e internacionais e que abrangem disciplinas únicas ou múltiplas.⁸ Os dois maiores acordos multilaterais são a *European Network for Accreditation of Engineering Education* (ENAAE⁹), que autoriza o credenciamento, e as agências de garantia de qualidade que conferem o selo EUR-ACE[®] a programas de graduação em engenharia credenciados, principalmente na Europa, com 22 signatários. A International Engineering Alliance (IEA) administra sete acordos multilaterais relacionados à educação em engenharia e competências profissionais para engenheiros, tecnólogos e técnicos em 30 países e regiões (IEA agreements.org)¹⁰. Na América Latina, o Lima Accord¹¹, assinado em dezembro de 2016, prevê o reconhecimento mútuo e atualmente conta com sete signatários, cujas normas e procedimentos, bem como seu *site*, estão em desenvolvimento.

As disciplinas emergentes na área de engenharia, como a engenharia de *software*, estão cobertas por outros acordos, incluindo o Seoul Accord¹², que atualmente fornece reconhecimento mútuo para programas de computação e tecnologia da informação e tem oito signatários. Além disso, instituições mundiais de disciplina única fornecem credenciamento para programas de educação em engenharia relevantes para seus campos, como, por exemplo, o Instituto dos Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE)¹³ para profissionais das áreas de elétrica e eletrônica. Com frequência, os cursos de engenharia química são credenciados pela Institution of Chemical Engineers in the United Kingdom (IChemE.org).¹⁴ Alguns organismos nacionais de acreditação, como o US-based Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET)¹⁵, prestam serviços de acreditação internacional aos vários sistemas. Em muitos países, as instituições atingem valores de referência internacionais por meio dessa via, embora tenha um custo elevado.

8 Para mais informações: www.ifees.net/iideas/

9 Site oficial da European Network for Accreditation of Engineering Education: www.enaee.eu

10 Site oficial do IEA agreements.org www.ieagrements.org

11 Site oficial do Lima Accord: <https://limaaccord.org/>

12 Site oficial do Seoul Accord: <https://www.seoulaccord.org>

13 Comitê de Acreditação do IEEE: www.ieee.org/education/accreditation/accred-committees/ceaa.htm

14 IChemE.org. Universidades: credencie seu diploma e consulte www.icheme.org/education/universities-accredit-your-degree

15 Site oficial do Accreditation Board for Engineering and Technology: www.abet.org

De forma clara, os sistemas de reconhecimento mútuo do ensino de engenharia e acreditação de programas de ensino da área – nacionais e internacionais – são complexos. Isso significa que, para desenvolver sua capacidade (aumentando o número e a qualidade dos profissionais), todo o ecossistema de engenharia deve ser apoiado para crescer. É necessário um esforço significativo para construir a capacidade do ecossistema de educação em engenharia, para que as instituições elevem seus padrões, atendam aos requisitos dos empregadores relativos a engenheiros competentes e atendam à necessidade de os países se desenvolverem de forma sustentável.

A maioria dos signatários dos acordos de reconhecimento mútuo são países e regiões de alta e média renda. O pequeno número de signatários dos vários acordos significa que grande parte da África, Ásia e América Latina está atrasada em alcançar os padrões globais de ensino de engenharia. Em muitos países, as organizações necessárias, como organismos de acreditação ou instituições profissionais de engenharia, simplesmente não existem.

Há uma lacuna significativa na capacidade de muitas nações de produzir engenheiros com as habilidades necessárias que, agora, estão em uma situação de necessidade urgente. Por exemplo, acadêmicos de engenharia podem exigir treinamento e orientação sobre como alcançar os resultados de graduação desejados, e pode ser necessário o estabelecimento de sistemas de credenciamento para garantir que as instituições educacionais sejam legítimas e tenham os recursos e sistemas apropriados para fornecer treinamento profissional contínuo para manter a competência. Na maioria dos países, os esforços para desenvolver as capacidades tendem a se concentrar em uma parte do ecossistema de cada vez (em geral, universidades de engenharia). No âmbito internacional, a falta de financiamento significa que o desenvolvimento desses sistemas e o apoio necessário dependem do trabalho de um pequeno número de voluntários e, portanto, o progresso é muito lento.

É necessária uma ação urgente para fornecer orientação e apoio em países que não são signatários de acordos multilaterais, de modo a garantir o desenvolvimento de instituições fortes como parte de sistemas nacionais de ensino de engenharia, capazes de produzir graduados com os padrões exigidos. Isso não apenas garantirá o uso eficiente e eficaz dos recursos educacionais nesses países, mas também agilizará a formação de uma nova geração de engenheiros com as habilidades necessárias para contribuir eficazmente para seu país.

Idealmente, é necessária uma ação coordenada no âmbito internacional. Lideradas pela UNESCO, organizações como a WFEO e órgãos de financiamento, incluindo o Banco Mundial, podem garantir que um padrão global único de engenharia seja reconhecido e que a fragmentação dos sistemas seja

evitada. A fragmentação somente resulta em múltiplos sistemas e padrões, com impactos potencialmente adversos que podem prejudicar o alcance dos ODS.

Dada a grande demanda reprimida, não surpreende que vários sistemas já tenham sido desenvolvidos nos últimos cinco anos, o que pode levar a uma maior fragmentação de um contexto já complexo. Por exemplo, a Federation of Engineering Institutions of Asia and the Pacific (Feiap) estabeleceu um programa de orientação e apoio para as instituições na Ásia e na África. O reconhecimento das instituições ocorre por meio das Diretrizes de Educação em Engenharia da Feiap (FEEG), que leva ao reconhecimento do registro de engenheiros como “Engenheiros APEC”. Embora inicialmente estabelecido para apoiar os países da Ásia e do Pacífico diante da enorme demanda, a orientação e o apoio foram ampliados à Nigéria por meio do Conselho para o Regulamento de Engenharia na Nigéria (Coren) e para Ruanda (Chuah, 2013; Liu; Liang; Than, 2016).

O Digital @ B&R Double Hundred Universities Cooperation Program (DHUCP) é um projeto colaborativo entre o Sugon Ruiyi Education Cooperation Center, na China, e a Academy of Engineering and Technology of the Developing World (AETDEW), com sede na Malásia, com o objetivo de apoiar o treinamento e o desenvolvimento de habilidades nos 68 países da Belt and Road Initiative (BRI) (AETDEW, 2019). O foco atual desse programa são as novas tecnologias da informação, incluindo IA e *big data*, mas também pode se expandir para incluir outras disciplinas de engenharia e funcionar como uma nova referência para o ensino de engenharia.

O governo da Alemanha aumentou o orçamento para a colaboração no ensino de engenharia, especialmente com os países subsaarianos. As universidades alemãs buscam transferir o conhecimento de engenharia do país para a África e colaborar nas áreas de pesquisa e educação de acordo com os padrões europeus (Sawahel, 2018).

O projeto Africa Catalyst, da Royal Academy of Engineering (RAEng) e do Global Challenges Research Fund (GCRF), recebeu financiamento significativo do UK Department for International Development (DfID)¹⁶ para apoiar a capacitação na África e o desenvolvimento de instituições de engenharia profissional, bem como atrair mais mulheres para a área.¹⁷ O financiamento adicional da Lloyds Foundation permitiu a publicação “Global Engineering Capability Review” (RAEng, 2020), que recomenda “produzir engenheiros de alta qualidade, capazes de realizar o trabalho que lhes é exigido”, bem como dados globais mais precisos sobre engenharia, o que é consistente com as recomendações propostas neste capítulo.

Outras instituições, incluindo a International Federation of Engineering Education Societies (Ifees)¹⁸ e o Global Engineering Deans Council (GEDC), estão empenhadas em melhorar os padrões

16 O Department for International Development foi substituído pelo Foreign, Commonwealth & Development Office (FCDO).

17 Para mais informações: <https://www.raeng.org.uk/global/sustainable-development/africa-grants/africa-catalyst>

18 Para mais informações: www.ifees.net/iideas/

Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

de ensino de engenharia por meio de treinamento e orientação de acadêmicos em países em desenvolvimento. O World Council of Civil Engineers (WCCE) também está revisando os padrões atuais de educação na área de engenharia civil para garantir que atendam às necessidades atuais e futuras da indústria.¹⁹

A WFEO, como o corpo da engenharia, que representa quase 100 nações e 30 milhões de engenheiros, está liderando a ação para desenvolver a capacidade no ensino da área. Com base em seu alcance global e em seu amplo mandato que abrange todas as disciplinas de engenharia, está desempenhando um papel fundamental na liderança e na coordenação de projetos para desenvolver uma referência internacional reconhecida sobre atributos de graduação e competências profissionais, e para desenvolver as capacidades de engenharia necessárias para alcançar os ODS no longo prazo.

A WFEO mobilizou o ecossistema de acadêmicos e universidades, governo, indústria e instituições de engenharia, negócios e profissionais como partes interessadas em uma parceria que otimiza a produção de engenharia para obter os melhores resultados para todos. Os membros nacionais e internacionais da WFEO, que representam as principais instituições profissionais de engenharia, têm um papel fundamental a desempenhar nesse esforço e nas respostas específicas de países e regiões em desenvolvimento.

Como exemplo de como os ODS podem avançar por meio de parcerias (17 ODS), a WFEO estabeleceu colaborações com as seguintes organizações internacionais de engenharia para realizar ações coordenadas no ensino e nos negócios na área:

- A International Engineering Alliance (IEA) acolhe os acordos internacionais para o reconhecimento mútuo de qualificações em engenharia.
- A International Federation of Engineering Education Societies (Ifees) e o Global Engineering Deans Council (GEDC) têm membros que são instituições de ensino de engenharia e acadêmicos na vanguarda do ensino na área.
- A Federação Internacional de Engenheiros Consultores (Fidic), o corpo máximo de associações de consultoria em engenharia em todo o mundo, representa organizações do setor de consultoria que empregam aproximadamente 40% dos engenheiros de todo o mundo.
- A International Network of Women Engineers and Scientists (Inwes), o órgão máximo de associações de mulheres engenheiras e cientistas em todo o mundo, representa a voz de mulheres e meninas em STEM no âmbito internacional.
- Os principais Centros de Categoria 2 da UNESCO incluem o International Science, Technology and Innovation Centre (ISTIC), na Malásia, com foco na Cooperação Sul-Sul para capacitação em engenharia; e o ICEE da

Universidade Tsinghua, com foco na capacitação para o ensino de engenharia nos países em desenvolvimento.

Essa crescente rede de organizações reúne as principais partes interessadas no ecossistema de engenharia, a fim de produzir resultados consistentes que apoiam internacionalmente os padrões de ensino e garantem o reconhecimento mútuo e a mobilidade global dos engenheiros. A rede permite que engenheiros com a formação, treinamento e experiência necessários sejam implementados, em âmbito global, onde são mais necessários para desenvolver soluções para o desenvolvimento sustentável.

Os requisitos específicos para o ensino de engenharia são objeto do Capítulo 4 e não serão abordados aqui. Os detalhes dos projetos liderados pela WFEO são fornecidos na Caixa 2 (WFEO, 2018).

A UNESCO, a WFEO e a IEA realizaram muitos avanços na revisão dos parâmetros de referência para graduação de engenheiros, tecnólogos e técnicos profissionais e para suas competências profissionais, uma vez que eles entram na força de trabalho. Essas mudanças incluem o foco no uso de tecnologias da informação, dados e análises, e a capacidade de aprender e se adaptar a tecnologias novas e emergentes, juntamente com uma maior responsabilidade para com a sociedade e o meio ambiente e a incorporação da necessidade de abordar os ODS por meio de uma abordagem integrada às soluções de engenharia que leve em consideração as pessoas, o planeta e a prosperidade. Outra conquista é a incorporação de culturas, comportamentos e valores para se ter uma profissão mais diversificada e inclusiva, e uma ampla abordagem ética e de responsabilidade em relação ao desenvolvimento de soluções de engenharia. Os *lockdowns* ocasionados pela COVID-19 aceleraram a comunicação *online* e as consultas dentro da profissão de engenharia, e sua aceitação global foi notavelmente rápida, o que demonstra que os engenheiros reconhecem a necessidade de mudanças urgentes para manter a licença social para soluções de engenharia contemporâneas e relevantes.

Governos e organizações de financiamento, como a UNESCO e o Banco Mundial, desempenham um papel fundamental no apoio a essas atividades. Seus planos de trabalho foram definidos e programados e abordam a multiplicidade de sistemas, as necessidades de padrões de ensino que atendam às necessidades atuais e futuras, e os requisitos para apoiar os sistemas nacionais de ensino de engenharia nos países em desenvolvimento. O financiamento determinará a rapidez com que as mudanças ocorrerão, mas o impacto potencial de tais iniciativas é imenso e beneficiará milhões de pessoas em todo o mundo.

¹⁹ Para mais informações: <https://wcce.biz/index.php/issues/education/268-effed>

Caixa 2. Plano 2030 de Engenharia da WFEO

A Federação Mundial de Organizações de Engenharia estabeleceu um plano para abordar a necessidade de engenheiros de qualidade para obter avanços em direção aos ODS. Os projetos que fazem parte deste plano foram estabelecidos no início de 2018 e continuarão até 2030, com informação anual sobre seu progresso.

Os projetos em andamento e futuros, desenvolvidos pela WFEO e seus parceiros internacionais, incluem as seguintes ações:

- Revisar os padrões atuais de educação internacional em engenharia para atributos de graduação e competências profissionais, a fim de garantir que eles atendam aos requisitos dos empregadores atuais e futuros, e incorporar os valores e princípios do desenvolvimento sustentável, diversidade e inclusão, e a prática de engenharia ética. As recomendações deste relatório são uma importante contribuição para este projeto, que está avançando bem, como uma parceria entre a UNESCO, a WFEO e a International Engineering Alliance (IEA).
- Melhorar os padrões de ensino nos sistemas nacionais de engenharia, inclusive por meio do treinamento de educadores e, assim, ampliar o reconhecimento multilateral do ensino de engenharia e o desenvolvimento profissional de engenheiros por meio de iniciativas de orientação e apoio de instituições que já alcançaram padrões internacionais. Essas instituições são membros nacionais da WFEO e são apoiadas na África, na Ásia e na América Latina.
- Facilitar a formação profissional ao longo da vida para apoiar os engenheiros em suas carreiras, em parceria com os principais empregadores desses profissionais, como a Federação Internacional de Engenheiros Consultores (Fidic), para a qual os membros nacionais da WFEO fornecem o mecanismo de entrega.
- Aumentar a participação de mulheres e meninas na engenharia, por meio de programas que as atraem para a ciência e a matemática e as incentivam a considerar carreiras na área de engenharia e promovem mudanças nos currículos e nos requisitos de desenvolvimento profissional que apoiarão sua retenção na área. As recomendações deste relatório abordam a diversidade e a inclusão na engenharia e constituem uma importante contribuição para esse projeto.
- Apoiar as atividades dos Centros de Categoria 2 da UNESCO, como o ICEE, com sede na Universidade Tsinghua, na China, e o International Science, Technology and Innovation Centre (ISTIC), com sede na Malásia, bem como outros centros na África e nas Américas.
- Apoiar abordagens para o reconhecimento regional e internacional de qualificações de engenharia e as credenciais profissionais, em parceria com a IEA e a UNESCO.

Conclusão

Os engenheiros têm transformado o mundo por milênios. Avanços na ciência, na engenharia e na tecnologia levaram a soluções subjacentes a sucessivas revoluções industriais que impulsionaram o crescimento econômico. No meio dos confinamentos ocasionados pela COVID-19 e no limiar da Quarta Revolução Industrial, os engenheiros são mais necessários do que nunca. Esses profissionais e as habilidades de engenharia são fundamentais para o crescimento econômico e para o avanço dos ODS.

No entanto, falta compreensão por parte de governos, formuladores de políticas e a comunidade em geral sobre o papel dos engenheiros e da engenharia nas sociedades modernas e no avanço do desenvolvimento sustentável. Há também uma escassez global de engenheiros, especialmente aqueles com as habilidades necessárias para enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável. Também é essencial abordar o déficit na participação de mulheres e meninas na área de engenharia. Sua participação é essencial para aumentar o número de engenheiros e garantir a diversidade de pensamento e inovação, essencial para desenvolver as soluções necessárias para alcançar os ODS.

Exigem-se ações urgentes por parte de governos, indústria, universidades e pela profissão de engenharia para colaborar a fim de aumentar o número de engenheiros, financiar e apoiar uma abordagem harmonizada em âmbito internacional para atributos de graduação em engenharia e competências profissionais contínuas necessárias para se atingir as metas de desenvolvimento sustentável. Esses padrões devem ser reconhecidos em todo o mundo e formam a base dos sistemas nacionais de ensino de engenharia para engenheiros com as habilidades certas, especialmente na Ásia, na África e na América Latina. Não há tempo a perder, pois essa ação é fundamental para o avanço da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

Recomendações

1. O governo, os educadores de engenharia, a indústria e as instituições profissionais da área devem promover uma maior compreensão sobre o papel decisivo desempenhado pelos engenheiros e pela engenharia na construção de um mundo mais sustentável.
2. Governo, educadores de engenharia, indústria e instituições profissionais da área devem colaborar para financiar e apoiar estratégias a fim de aumentar o número de engenheiros, introduzir uma abordagem harmonizada em âmbito internacional para os atributos de graduação em engenharia, e promover competências profissionais contínuas para garantir a alta qualidade dos engenheiros, de modo a alcançar os ODS. Esses *benchmarks* devem ser reconhecidos em todo o mundo e formam a base dos sistemas nacionais de ensino de engenharia para formar profissionais com as habilidades certas, especialmente na Ásia, na África e na América Latina.
3. Governos e formuladores de políticas devem tomar medidas urgentes para encorajar mais jovens, especialmente meninas, a considerar a engenharia como uma carreira, a fim de suprir o déficit de engenheiros e garantir a diversidade de pensamento e a participação inclusiva, que são essenciais para alcançar os ODS.

Referências

- ABDULLAH, N.; ANUAR, A. Old politics and new media: social media and Malaysia's 2018 elections, *The Diplomat*, 8 May 2018. Disponível em: <https://thediplomat.com/2018/05/old-politics-and-newmedia-social-media-and-malaysias-2018-elections>.
- AETDEW – The Academy of Engineering and Technology of the Developing World. *Data@China Hundred Universities Project (DCHUP)*. 2019. Disponível em: http://en.aetdewobor.com/?page_id=2096.
- BEAUMONT, P. The truth about Twitter, Facebook and the uprisings in the Arab world, *The Guardian*, 25 Feb. 2011. Disponível em: www.theguardian.com/world/2011/feb/25/twitter-facebook-uprisings-arab-libya.
- BROADBAND COMMISSION. *Connecting Africa through broadband: a strategy for doubling connectivity by 2021 and reaching universal access by 2030*. Broadband Commission Working Group on Broadband for All: A “Digital Moonshot for Africa”, 2019.
- CHUAH, Hean Teik. *Engineer mobility and FEIAP engineering education guideline*. 2013. Disponível em: <http://feiap.org/wpcontent/uploads/2013/10/Engineer%20Mobility%20and%20FEIAP%20Guideline%202013%20.pdf>.
- ETtech. *Economic Times India start up barometer 2018*. 17 Aug. 2018. Disponível em: <https://tech.economictimes.indiatimes.com/news/startups/et-india-startup-barometer-2018/65434582>.
- FAYER, S.; LACEY, A.; WATSON, A. *STEM occupations: past, present, and future*. Washington, DC: US Bureau of Labor Statistics, 2017. Disponível em: www.bls.gov/spotlight/2017/science-technologyengineering-and-mathematics-stem-occupations-pastpresent-and-future/pdf/science-technology-engineering-andmathematics-stem-occupations-past-present-and-future.pdf.
- GACHANJA, N. *10 most sought after jobs in Africa*. 2019. Disponível em: www.africa.com/top-10-most-sought-after-jobs-in-africa.
- HANRAHAN, H. *Towards global recognition of engineering qualifications accredited in different systems*. Presentation at the ENAEE Conference, Leuven, Belgium, Sep. 2013. Disponível em: <https://www.enaee.eu/wp-content/uploads/2018/11/HANRAHAN-Paper-130820.pdf>
- ITU; UNESCO; CEBR. *The contribution of engineering to the UK Economy: the multiplier impacts; a report for Engineering UK*. London: International Telecommunication Union, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Centre for Economics and Business Research Ltd., 2015. Disponível em: www.engineeringuk.com/media/1323/jan-2015-cebr-the-contribution-of-engineering-to-the-uk-economy-the-multiplier-impacts.pdf.
- LIU, M.; LIANG, J. L.; THAN, C. *IEET's mentoring of Myanmar in engineering accreditation system*. Paper presented at the 5th ASEE International Forum, New Orleans, 25 Jun. 2016. Disponível em: <https://peer.asee.org/ieet-s-mentoringof-myanmar-in-engineering-accreditation-system>.
- MOHE Malaysia. *The national higher education strategic plan beyond 2020*. Putrajaya: Ministry of Higher Education, 2010. Disponível em: www.ilo.org/dyn/youthpol/en/equest.fileutils.dochandle?p_uploaded_file_id=477.
- MALONEY, W. F.; CAICEDO, F. V. *Engineering growth: innovative capacity and development in the Americas*. 2016. (CESifo working paper series, 6339). Disponível em: <http://eh.net/eha/wp-content/uploads/2016/09/Engineers-County7A.pdf>.
- NEWKIRK, V. R. How redistricting became a technological arms race, *The Atlantic*, 28 Oct. 2017. Disponível em: www.theatlantic.com/politics/archive/2017/10/gerrymanderingtechnology-redmap-2020/543888.
- NYATSUMBA, K. M. *South Africa's escalating engineering crisis*. 2017. Disponível em: www.iol.co.za/business-report/south-africasescalating-engineering-crisis-11670238.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017*. Paris: OECD Publishing, 2017a. Disponível em: www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technologyand-industry-scoreboard-2017_9789264268821-en
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. *Getting skills right: skills for jobs indicators*. Paris: OECD Publishing, 2017b. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/employment/getting-skills-rightskills-for-jobs-indicators_9789264277878-en#page1.
- PAUL, A. India's urbanization is like a revolution: McKinsey's Jonathan Woetzel. *LiveMint*, 19 Aug. 2016. Disponível em: www.livemint.com/Companies/RwcvW8fmZJkAOljuywblK/Indiasurbanization-is-like-a-revolution-McKinseys-Jonath.html
- RAEng. *Global engineering capability review*. London: Royal Academy of Engineering, 2020. Disponível em: <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/global-engineering-capability-review>.
- SAWAHEL, W. Practice-oriented German universities reach Africa, *University World News*, 13 Nov. 2018. Disponível em: www.universityworldnews.com/post.php?story=20181113091432460.
- UNDESA – United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World urbanization prospects: the 2014 revision, highlights*. New York, 2014. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>.
- UNDESA – United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World urbanization prospects 2018: highlights*. New York, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Engineering: issues, challenges and opportunities for development*. Paris: UNESCO Publishing, 2010.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Telling SAGA: improving measurement and policies for gender equality in science, technology and innovation*. Paris: UNESCO Publishing, 2018. (SAGA Working Paper 5). Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000266102>.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. *The Paris Agreement*. New York, 2018. Disponível em: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf.

UN-GGIM. *Integrated geospatial information framework*. United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management and the World Bank, 2018. Disponível em: <https://ggim.un.org/meetings/GGIMcommittee/8th-Session/documents/Part%201-IGIFOverarching-Strategic-Framework-24July2018.pdf>.

UNITED NATIONS. *Global sustainable development report 2019: the future is now*. Science for Achieving Sustainable Development. New York, 2019. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *WFEO engineering 2030: a plan to advance the achievement of the UN Sustainability Goals through engineering*. Paris, 2018. (Progress report, 1). Disponível em: www.wfeo.org/wp-content/uploads/un/WFEO-ENgg-Plan_final.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *Covid-19 Information Portal*. Paris 2020a. Disponível em: <http://www.wfeo.org/covid-19-proposals-from-engineers/>.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *Smart cities: adoption of future technologies*. Paris: Committee for Information and Communication, 2020b. Disponível em: <https://worldengineeringday.net/wp-content/uploads/2020/03/Smart-City-IOT-WFEO-Version-1.pdf>.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *The value of integrated geospatial and Building Information Modelling (BIM) solutions to advance the United Nations Sustainable Development Goals (Agenda 2030) with specific focus on resilient infrastructure*. Paris: World Federation of Engineering Organizations, World Geospatial Industry Council, UN Committee of Experts on Global Geospatial Information Management, 2020c. Disponível em: <https://www.wfeo.org/wfeo-wgic-unggim-whitepaper-geospatial-engg-sustainable-development/>.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *Declaration: Global Engineering Education Standards and Capacity Building for Sustainable Development*. Paris, 2020d. Disponível em: http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/declarations/UNESCO_IEA_WFEO_Declaration_Global_Engg_Education.pdf.

WIJERATNE, D.; RATHBONE, M.; LYN, F. *Repaving the ancient silk routes*. PwC Growth Markets Centre, 2017. Disponível em: www.pwc.com/gx/en/growth-markets-centre/assets/pdf/pwcgmc-repaving-the-ancient-silk-routes-web-full.pdf.

WEF – World Economic Forum. *The future of jobs: employment, skills, and workforce strategy of the fourth industrial revolution*. The global challenge insight report. Geneva, 2016. Disponível em: www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf.

WWAP – World Water Assessment Programme. *United Nations World Water Development Report 2019: leaving no one behind*. Paris: UNESCO Publishing, 2019. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>.

Quadro 1. A engenharia e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas

ODS 1



A engenharia pode lidar com a pobreza urbana extrema. © Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

A engenharia impulsiona o crescimento econômico e reduz a pobreza. O desenvolvimento de infraestruturas básicas, como estradas, ferrovias, telecomunicações e outras sustenta as economias modernas. No entanto, ainda há muito trabalho a ser feito na área para desenvolver tecnologias que melhorem o acesso a serviços básicos, como água potável e saneamento, energia confiável e combustíveis limpos para cozinhar (SDG Tracker).²⁰ Como as abordagens tradicionais para desenvolver tais infraestruturas têm um custo alto, os engenheiros estão criando abordagens inovadoras e novas tecnologias para enfrentar esses desafios (consulte ODS 6: Água limpa e saneamento, e ODS 7: Energia acessível e limpa).

Além dos serviços básicos, grandes populações em países de baixa renda exigem acesso às mais recentes tecnologias. A inovação moderada permite o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e confiáveis, que podem ser acessadas por usuários de baixa renda (Chabba; Raikundalia, 2018). Na Índia, por exemplo, mais de 100 milhões de usuários de baixa renda, principalmente nas áreas rurais, têm acesso a telefones celulares que custam menos de US\$ 25. Esses dispositivos melhoram muito a comunicação, permitindo que os usuários administrem melhor seu trabalho, sua produção agrícola e suas finanças (LiveMint, 2019).

Os engenheiros indianos também permitiram o acesso ao transporte pessoal e familiar de baixo custo, o que é fundamental para aumentar a produtividade. O carro Tata “Nano” representa um avanço no transporte de baixo custo, com inúmeras inovações e um peso de apenas 600 kg. Os engenheiros continuam a inovar nesse campo, com o desenvolvimento de veículos elétricos e movidos a energia solar. Tais inovações de baixo custo têm efeitos indiretos importantes, ao incentivar o empreendedorismo e o desenvolvimento de pequenas empresas que geram empregos.

ODS 2



Mecanização projetada da agricultura para a produção de alimentos na Índia. © Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

A engenharia já mecanizou a agricultura e a produção de alimentos, e aumentou a produtividade com o uso de fertilizantes e pesticidas. Esses avanços são obra de engenheiros agrícolas, mecânicos e químicos.

As futuras inovações tecnológicas dos engenheiros eletrônicos e agrícolas com vistas ao desenvolvimento sustentável incluem sensores automatizados para o monitoramento da umidade e das condições do solo para otimizar a entrega de água e fertilizantes escassos; robótica para a aplicação de pesticidas e fertilizantes e para a capina e o plantio; e tecnologias de comunicação para monitorar o clima, prever e avisar sobre desastres naturais, bem como para fornecer aos agricultores informações precisas e atualizadas sobre o potencial das colheitas, o que é essencial para alcançar a segurança alimentar global (GEO, 2020).

Um exemplo de abordagem utilizada em escala global para melhorar a segurança alimentar com tecnologia é a Rede de Sistemas de Aviso Prévio contra Fome, uma rede de tecnologias de monitoramento e sensoriamento remoto baseadas na terra e via satélite, que fornecem alertas precoces e análises sobre segurança alimentar. Financiado pela US Agency for International Development (Usaid), ela conecta a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA), a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA), o US Department of Agriculture (USDA) e o US Geological Survey (USGS).

O monitoramento por satélite e em terra, bem como o gerenciamento avançado de dados, são usados para monitorar o clima e, portanto, a segurança alimentar em 34 países da África e da Ásia, permitindo que as agências de assistência se planejem e respondam a crises humanitárias (FEWS)²¹.

As tecnologias também estão sendo implementadas por engenheiros para ajudar os agricultores em âmbito local. Por exemplo, uma iniciativa é o *FarmerLink*, um serviço inovador de consultoria para agricultores com base em dispositivos móveis que conecta os agricultores de coco a um sistema de alerta precoce e a compradores nas Filipinas, fornecendo acesso a treinamento agrícola vital e a serviços financeiros (Gatti, 2018).

20 Pesquise no SDG Tracker por “no poverty”, em: <https://sdg-tracker.org/no-poverty>
 21 Site oficial da Famine Early Warning Systems Network: <https://fews.net/sobre-n%C3%B3s>

ODS 3

3 SAÚDE E BEM-ESTAR



Visão de câmera com IA para a detecção de febre por COVID-19 em multidões.

© Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

A engenharia melhorou a saúde global ao erradicar inúmeras doenças, como a febre tifoide e a cólera, por meio da melhoria da água e do saneamento. Os avanços na engenharia biomédica continuam a melhorar a qualidade de vida, com dispositivos médicos para membros superiores e inferiores, audição, saúde do coração e funcionamento do cérebro. A robótica, a visão computacional e a IA continuarão a impulsionar os avanços na saúde.

Por exemplo, as tecnologias de visão computacional estão sendo usadas em vários tipos de varredura para fins de diagnóstico e detecção, que são elas próprias o resultado de tecnologias avançadas. A IA e *big data* estão sendo aplicados para analisar tendências em dados de saúde, produzindo novos *insights* sobre as causas e o tratamento de doenças. Tecnologias avançadas, como a impressão em 3D, estão sendo usadas para produzir próteses e outras partes do corpo para se combinar com as dimensões físicas de um indivíduo, aumentando assim o conforto. Enquanto isso, as tecnologias de laser, robótica e câmeras em miniatura revolucionaram os procedimentos cirúrgicos.

O acesso universal e inclusivo às tecnologias da saúde é um objetivo fundamental para o desenvolvimento sustentável. A desenvolvimento de dispositivos médicos de baixo custo, incluindo máquinas de eletrocardiógrafo e ultrassom, próteses e dispositivos médicos que facilitam operações de baixo custo, como a cirurgia de catarata, estão melhorando os resultados de saúde para milhões de pessoas em países de baixa renda.

Os engenheiros da General Electric desenvolveram uma máquina de eletrocardiógrafo portátil de baixo custo que pode ser transportada para locais remotos. Ela requer apenas energia de bateria, tem uma interface simples de dois botões (o que reduz a necessidade de treinamento) e custa 10% menos do que as máquinas convencionais usadas no mundo desenvolvido, permitindo assim o acesso a diagnósticos de saúde em áreas rurais de países em desenvolvimento (GEHealthcare, 2011; Nesta, 2019).

Outra inovação de baixo custo é a “Jaipur Foot”²², uma prótese feita de borracha para pessoas que foram amputadas abaixo do joelho. A invenção permite que milhares de pessoas com deficiência tenham mais mobilidade.

A Healthcubed é uma *startup* que fornece acesso a diagnósticos médicos de baixo custo para condições crônicas de saúde em países em desenvolvimento, particularmente em áreas remotas. Ela usa telefones celulares de baixo custo, análise, armazenamento e acesso de dados em nuvem para auxiliar os médicos no diagnóstico de certas condições, incluindo doenças cardíacas, diabetes e outras doenças crônicas (Healthcubed²³).

As respostas da engenharia durante os *lockdowns* ocasionados pela COVID-19 aceleraram a adoção de tecnologias de telessaúde, que levou serviços médicos para comunidades remotas e rurais (Keshvardoost; Bahaadinbeigy; Fatehi, 2020). Engenheiros biomédicos estão acelerando métodos para detectar e tratar o coronavírus (Washington University, 2020); engenheiros estão desenvolvendo soluções de fabricação/manufatura avançada e impressas em 3D para equipamentos de proteção individual destinados a equipes médicas (Zhang, 2020); e a IA está sendo usada para acompanhar o desenvolvimento de vacinas (Ross, 2020).

ODS 4

4 EDUCAÇÃO DE QUALIDADE



Jovens engenheiros aprendendo sobre engenharia e desenvolvimento sustentável.

© WFEO

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

A educação, em todos os seus níveis (primário, secundário e terciário) é um facilitador fundamental do desenvolvimento (Roser; Ortiz-Ospina, 2019). Assim, os engenheiros estão facilitando a oferta de educação por meio da criação de novas tecnologias, como ferramentas de aprendizagem *online* e tecnologias que dependem de comunicação rápida. Esses avanços melhoram a acessibilidade e reduzem os custos para os estudantes. As redes sem fio (*wi-fi*) são uma dessas tecnologias – que foi inventada em 1977 por um engenheiro australiano, John O’Sullivan –, e agora é implementada em mais de 40 bilhões de dispositivos em todo o mundo, sustentando os avanços na educação e possibilitando milhões de outras aplicações.²⁴

Os engenheiros de *software* e telecomunicações estão expandindo rapidamente o acesso à internet e a um mundo de conectividade, por meio do rápido desenvolvimento de satélites de baixo custo e outros dispositivos aéreos, para fornecer informações e serviços a comunidades remotas e de baixa renda. O acesso a tecnologias de baixo custo, como os *tablets* Aakash e UbiSLate, disponíveis por US\$ 35, permite que o governo da Índia vincule 25 mil faculdades e 400 universidades a programas de *e-learning* (ensino remoto). Atualmente, o *e-learning* oferece uma ampla gama de programas educacionais das melhores universidades do mundo para os países mais pobres (Datawind²⁵).

22 Para mais informações sobre a Jaipur Foot: <https://www.jaipurfoot.org/how-we-do/technology.html>

23 Site oficial da Healthcubed: www.healthcubed.com

24 Para mais informações: <https://www.csiro.au/en/Research/Technology/Telecommunications/Wireless-LAN>

25 Para mais informações sobre a Datawind, fabricante dos *tablets* UbiSLate: www.datawind.com/about-datawind.html

A IA está sendo usada para desenvolver *chatbots* que responderão às perguntas mais comuns dos estudantes, promovendo assim uma aprendizagem mais rápida. Os engenheiros estão desenvolvendo sistemas de aprendizagem que usam IA para permitir avanços significativos nos métodos convencionais de ensino, fornecendo conteúdo e instrução personalizados que sejam relevantes para o âmbito local, inclusivos quanto a gênero e etnia, dinâmicos e interativos. Tais tecnologias podem permitir o rastreamento em tempo real dos progressos, antecipar o desempenho futuro, tomar ações corretivas e apoiar professores experientes, de modo a obter resultados de aprendizagem superiores e a baixo custo (Marr, 2018).

Com mais de 1 bilhão de estudantes impactados em todo o mundo por medidas de confinamento e impossibilitados de frequentar a escola, as redes de telecomunicações têm sido essenciais para sustentar oportunidades de aprendizagem inclusiva para todos; é uma significativa mudança de paradigma que terá impactos para além de 2020 (UNESCO, 2020).²⁶

ODS 5

5 IGUALDADE DE GÊNERO



Mulheres engenheiras trabalhando em sistemas elétricos de alta tensão.

© Chinese Society for Electrical Engineering

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Garantir o acesso das mulheres à tecnologia e à engenharia servirá para preencher muitas lacunas de gênero e garantir que as mulheres poderão se beneficiar e participar da revolução tecnológica, bem como assumir posições de liderança (SDG Tracker²⁷).

Uma declaração do Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (ECOSOC, 2017) na Comissão sobre a Situação das Mulheres (Commission on the Status of Women – CSW) reconheceu o potencial transformador das novas tecnologias, como automação avançada, telecomunicações, robótica e impressão 3D para o mundo do trabalho e para a participação das mulheres em uma força de trabalho conectada digitalmente.

A participação das mulheres no desenvolvimento de tecnologias avançadas, especialmente a engenharia, é fundamental para a consecução dos ODS. A diversidade de pensamento é vital para a inovação e para o desenvolvimento de soluções que reflitam padrões, valores e aspirações da comunidade.

Em reconhecimento a esse imperativo, as instituições profissionais da área de engenharia vêm desenvolvendo abordagens estratégicas para aumentar a participação das mulheres na engenharia (Diversity Agenda²⁸; Engineers Canada, 2019; RAEng²⁹). Programas inovadores, como o WomEng³⁰, devem atrair 1 milhão de meninas para as áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) até 2027 e estão tendo um impacto particularmente significativo na África. Outros têm mostrado a conquista de mulheres engenheiras como líderes, bem como estratégias para transformar a cultura de trabalho na área para uma profissão mais inclusiva (Ifees, 2019; Kanga, 2014)

As novas tecnologias desenvolvidas pelos engenheiros cada vez mais capacitam as usuárias. Por exemplo, as comunicações móveis e a internet facilitaram o acesso aos serviços bancários, financeiros e de informação por diferentes setores e a vários níveis de renda. Em muitos países, essas novas tecnologias e sistemas de comunicação têm apoiado o desenvolvimento do empreendedorismo – especialmente em pequenas empresas – entre as mulheres. Proporcionar a elas acesso à internet facilitará o fluxo de informação em áreas como saúde, educação e cuidados infantis, produzindo melhores resultados. Outras novas tecnologias, como os sistemas biométricos, garantem a segurança pessoal das mulheres, capacitam-nas a possuir terras e bens, permitem que acessem históricos educacionais e médicos precisos e as ajudam a se tornarem ativas nos sistemas financeiros.

ODS 6

6 ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO



Tecnologias avançadas de engenharia com uso de escaneamento a laser para monitorar a barragem de Cahora Bassa, Moçambique, uma das maiores barragens do mundo.

© Antonio Berberan, Eliane Portela e João Boavida

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Engenheiros civis e ambientais salvaram bilhões de vidas por meio de tecnologias projetadas para realizar o tratamento de água e esgoto. Esses avanços já erradicaram muitas doenças transmitidas pela água no mundo desenvolvido, como a cólera e a febre tifoide. Engenheiros elétricos e mecânicos continuam a garantir que esses sistemas operem de forma confiável em todo o mundo. Inovações mais recentes no tratamento e na reciclagem hídrica garantem água limpa para todos, mesmo em zonas áridas. No entanto, mais de 1 bilhão de pessoas ainda não têm acesso à água potável, e 2 bilhões não têm acesso ao saneamento básico (SDG Tracker³¹). São necessárias ações urgentes, inclusive por engenheiros, para enfrentar esse desafio.

Novos sistemas estão substituindo abordagens tradicionais baseadas em projetos para serviços de água e saneamento. Por exemplo, a Agenda for Change (A4C) fornece serviços de água e saneamento com o estabelecimento de parcerias entre várias agências não governamentais (consulte ODS 17: Parcerias), impulsionando assim uma abordagem de sistemas nacionais e locais para resultados sustentáveis e econômicos (WASH Agenda for Change³²).

26 Leia mais sobre a Coalizão Global de Educação da UNESCO para Resposta à COVID-19, em: <https://iite.unesco.org/news/global-education-coalition-for-covid-19-response>

27 Pesquise no SDG Tracker por "gender", em: <https://sdg-tracker.org/gender-equality>

28 Site oficial da Diversity Agenda: www.diversityagenda.org, Engineering New Zealand

29 Consulte o site da Royal Academy of Engineering sobre diversidade e inclusão, em: www.raeng.org.uk/policy/diversity-in-engineering

30 Site oficial da WomEng: www.womeng.org

31 Pesquise no SDG Tracker por "water", em: <https://sdg-tracker.org/water-and-sanitation>

32 Site oficial da WASH Agenda for Change: www.washagendaforchange.net

Os engenheiros também estão desenvolvendo novas tecnologias que utilizam sensores inteligentes para avaliar a disponibilidade de água subterrânea, assim como estão obtendo avanços no uso de estruturas metálicas orgânicas para sistemas de purificação de água de baixo consumo de energia. Em pequena escala, a empresa liderada por mulheres Banka BioLoo³³ desenvolveu uma abordagem sustentável para eliminar a defecação a céu aberto e gerenciar resíduos biológicos sólidos.

Os impactos das alterações climáticas tornarão os sistemas integrados de gestão hídrica que incorporam soluções de engenharia um imperativo, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento, especialmente em áreas áridas. O modelo de governança hídrica espanhol é projetado para se adaptar ao meio ambiente por meio de um sistema com base em planejamento, participação público-privada, desenvolvimento tecnológico e inovação por engenheiros (Mapama, 2014).

Em todo o mundo, a WFEO trabalha com engenheiros em abordagens para a gestão integrada de recursos hídricos e bacias hidrográficas, para o desenvolvimento e a adaptação de infraestruturas sustentáveis, modelagem hidrológica para fins de planejamento e adaptação aos impactos da mudança climática (WFEO, 2018a).

ODS 7



Os engenheiros são essenciais para projetar, construir e manter a infraestrutura de energia.

© Chinese Society for Electrical Engineering

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

A eletricidade é essencial para o crescimento econômico e para melhores padrões de vida, mas quase 1 bilhão de pessoas, principalmente na África Subsaariana e no Sul da Ásia, ainda não têm acesso a uma fonte confiável de eletricidade (Ritchie; Roser, 2019).

Engenheiros elétricos, mecânicos e ambientais têm sido fundamentais para o desenvolvimento de soluções energéticas renováveis de baixo custo, incluindo energia eólica, solar, de ondas e geotérmica – todas as quais fornecem acesso à eletricidade em regiões remotas, ao mesmo tempo em que mitigam os impactos da mudança climática. Por exemplo, o desenvolvimento de células fotovoltaicas que convertem a energia luminosa do sol em eletricidade permitiu o desenvolvimento de painéis solares: uma fonte de energia segura, confiável e acessível. Hoje, 20% do mundo tem acesso à energia solar, com a consequente redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Essa solução é cada vez mais uma fonte essencial de energia nas economias desenvolvidas e em desenvolvimento (Amelang, 2018; UNDP³⁴).

Geração e distribuição de energia doméstica, mini redes e redes inteligentes são todas inovações desenvolvidas por engenheiros elétricos, eletrônicos, mecânicos e de telecomunicações que estão transformando o acesso à energia, reduzindo os impactos ambientais. Os avanços no armazenamento de energia estão tornando acessíveis fontes de energia confiáveis. Por exemplo, o Banco Mundial está facilitando o fornecimento de tecnologias solares na África através da educação do consumidor, garantia de qualidade dos produtos e financiamento para os consumidores (Lighting Africa³⁵).

O acesso a energias renováveis limpas também apoia a agricultura por meio da operação de bombas de irrigação, permitindo a refrigeração de alimentos e medicamentos e fornecendo energia para eletrodomésticos, como televisores e refrigeradores. A implementação bem-sucedida de uma tecnologia solar acessível e de baixo custo nos países em desenvolvimento, especialmente em áreas rurais remotas, tem impacto significativo no tecido social e nas economias dessas nações.

7 ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL



ODS 8



A engenharia de transportes é essencial para o crescimento econômico e para cidades sustentáveis. © Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Aproximadamente metade da população mundial vive com menos de US\$ 2 por dia e com acesso incerto a um trabalho regular (SDG Tracker³⁶).

Os países desenvolvidos se beneficiaram de avanços significativos na prosperidade econômica, os quais foram possibilitados pelas inovações na área de engenharia da Revolução Industrial. Agora, a engenharia é reconhecida como um facilitador essencial do crescimento econômico. Além disso, um relatório recente do Centre for Economics and Business Research para a Royal Academy of Engineering demonstrou a relação positiva que existe entre o crescimento econômico e a quantidade de engenheiros em um país em uma base global (CEBR, 2016).

Estradas, ferrovias, aeroportos, abastecimento de água, eletricidade e telecomunicações são considerados infraestruturas essenciais que sustentam todas as economias. Todas elas são projetadas, desenvolvidas e mantidas por engenheiros civis, mecânicos, elétricos e ambientais. Água limpa, energia e habitação

8 TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO



33 Para mais informações sobre a Banka BioLoo: www.bankabio.com

34 Para fatos e dados do UNDP sobre o Objetivo 7: Energia acessível e limpa, acesse: www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html

35 Site oficial da Lighting Africa: www.lightingafrica.org

36 Pesquise no SDG Tracker por “economic growth”, em <https://sdg-tracker.org/economic-growth>

são equipamentos básicos – também desenvolvidos por engenheiros – que permitem que os cidadãos tenham uma vida saudável e, portanto, produtiva, e obtenham trabalhos decentes. Um relatório recente elaborado pelo Banco Mundial estima que aproximadamente 4,5% do PIB são necessários para que os países de baixa renda média e baixa supram a lacuna de infraestrutura. Essa lacuna não se refere apenas às novas infraestruturas, mas também às infraestruturas já existentes que precisam ser mantidas para o desenvolvimento sustentável. Esse é o trabalho essencial de engenheiros e técnicos (Rozenberg; Fay, 2019).

Os engenheiros também têm um papel a desempenhar na diversificação das economias nacionais e na criação de oportunidades de emprego (ODS 8.2), bem como no desenvolvimento de tecnologias e inovações que criem empregos em novos setores industriais, de forma a gerenciar o consumo de recursos – um objetivo fundamental para o desenvolvimento sustentável (ODS 8.4). A necessidade de construir e manter infraestruturas é uma fonte de empregos em muitos países em desenvolvimento. Por exemplo, projetos de energia renovável ampliaram as oportunidades de emprego na África e na Ásia (Irena, 2018).

ODS 9

9 INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA



Estudantes desenvolvem inovações em engenharia de processos químicos.

© Technische Hochschule Georg Agricola (THGA)

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Uma economia moderna não pode existir sem a engenharia. As Nações Unidas reconhecem que o crescimento da produtividade e dos rendimentos, bem como a melhora dos resultados de saúde e educação, exigem investimentos em infraestrutura (United Nations, 2019).

Os engenheiros são responsáveis pelo projeto, pela construção e pela manutenção das infraestruturas. Estradas, transporte, comunicação, abastecimento de água e energia são todos resultados do trabalho de engenheiros civis, mecânicos e elétricos. O desafio para os engenheiros consiste em desenvolver uma infraestrutura sustentável, resiliente e inclusiva, especialmente em países expostos aos impactos adversos da mudança climática (ver ODS 13: Ação climática).

A infraestrutura permite que a indústria se desenvolva e prospere. A indústria também precisa de engenheiros de todas as especialidades em áreas como mineração, petróleo, química e processamento de alimentos. Todo tipo de fabricação/manufatura é sustentado por engenheiros: mecânicos, elétricos, químicos e ambientais. Os avanços industriais nesses setores resultam no aumento do nível de emprego e produção de bens para os mercados interno e externo. A infraestrutura construída por engenheiros também facilita o comércio por meio do desenvolvimento de estradas e ferrovias transfronteiriças, portos e aeroportos.

Existe uma correlação positiva entre o número de engenheiros de um país e sua capacidade inovadora e produtiva (Maloney; Caicedo, 2014).

A engenharia também é fonte de inovação. O desenvolvimento de novas indústrias e investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) é um objetivo importante (ver ODS 9.5). Inovações em IA, robótica, computação em nuvem e *big data* estão ocorrendo rapidamente e impulsionarão o crescimento econômico e o emprego no futuro. Por exemplo, a IA está transformando os cuidados de saúde, fornecendo *insights* sobre o tratamento de doenças crônicas, como a asma. Também fornece *insights* sobre: i) finanças para monitorar atividades fraudulentas; ii) expedição e transporte para a movimentação logística e veículos autônomos; e iii) educação para desenvolver programas específicos para os estudantes. A robótica está sendo usada em uma ampla gama de indústrias para substituir tarefas repetitivas ou perigosas, ou onde é necessária alta precisão, como em procedimentos cirúrgicos. As novas tecnologias criarão indústrias e postos de trabalho, permitindo igualmente que milhões de pessoas se tornem empreendedoras e criativas no trabalho.

ODS 10

10 REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES



A engenharia gera trabalho e renda.

© Ingénieurs et Scientifiques de France

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

As desigualdades mundiais em termos de renda, saúde, educação e propriedade de ativos continuam a ser um desafio importante do desenvolvimento sustentável, para garantir que ninguém seja deixado para trás (SDG Tracker³⁷). Assim, o trabalho dos engenheiros e da engenharia é fundamental para reduzir as desigualdades por meio do desenvolvimento de infraestrutura (ver ODS 8: Trabalho decente e crescimento econômico) e novas tecnologias e inovações (ver ODS 9: Indústria, inovação e infraestrutura), que criam empregos e oferecem oportunidades para todos. Esses resultados permitem o acesso à habitação, à alimentação, à saúde e a uma vida digna para todos.

Garantir que as inovações mais recentes sejam acessíveis, especialmente em países de baixa renda, é essencial para reduzir as desigualdades em todo o mundo. Isso inclui o acesso a: i) comunicações e telefones celulares de baixo custo; ii) informação e educação por meio de dispositivos móveis de baixo

37 Pesquisa no SDG Tracker por “inequalities”, em: <https://sdg-tracker.org/inequality>

custo; iii) diagnóstico e tratamento médico de baixo custo³⁸ (ver ODS 3: Boa saúde e bem-estar); e iv) sistemas nacionais de dados e identidade que permitem a proteção de ativos (The Economist, 2017).

As tecnologias que capacitam as mulheres a aumentar sua participação na força de trabalho e que abordam a desigualdade econômica crônica baseada em gênero incluem eletrodomésticos que funcionam com energia solar e sistemas de refrigeração de baixo custo. Exemplos disso incluem a geladeira Chotukool, que custa US\$ 69 e mantém a comida fresca, permitindo que as mulheres gastem mais tempo em atividades econômicas (WIPO, 2013).

Outras tecnologias desenvolvidas por engenheiros incluem sistemas de pagamento móveis. Por exemplo, na África, o sistema de transferência de dinheiro M-Pesa baseado em tecnologia móvel permite transações financeiras, inclusive para indivíduos sem conta bancária (Safaricom³⁹).

ODS 11



A infraestrutura de engenharia, como este túnel subterrâneo do metrô, é essencial para o desenvolvimento sustentável. © Mr Pung Chun Nok, Hong Kong Institution of Engineers

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Até 2050, mais de dois terços da população mundial viverá em cidades. O desenvolvimento de cidades seguras, inclusivas e resilientes é, portanto, um ODS chave (SDG Tracker⁴⁰).

O acesso à habitação e ao transporte público a preços acessíveis é uma prioridade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Outros imperativos para as cidades são o ar limpo, a água e a energia, a proteção dos ativos do patrimônio natural e cultural, e a resiliência contra desastres naturais (SmartCitiesWorld, 2018).

Engenheiros civis, estruturais, elétricos, mecânicos, ambientais, de *software* e de telecomunicações têm um papel importante a desempenhar no envolvimento com formuladores de políticas e planejadores urbanos para projetar e desenvolver cidades habitáveis, sustentáveis e resilientes. Os engenheiros e a engenharia são essenciais para cidades inteligentes e sustentáveis, que incorporam eficiência energética em edifícios, iluminação inteligente, sistemas de transporte eficientes, fontes renováveis de energia e gerenciamento eficaz de recursos hídricos. Por exemplo, a Índia construirá 100 cidades inteligentes⁴¹ até 2022, as quais exigirão engenharia para soluções sustentáveis. As cidades também estão colaborando para compartilhar as melhores práticas, por exemplo, por meio da Resilient Cities Network.⁴²

Atualmente, tecnologias avançadas são usadas por engenheiros para atingir muitas das metas necessárias para o desenvolvimento de cidades sustentáveis. Por exemplo, engenharia geoespacial, modelagem integrada de informações e análise de dados podem ser usadas em cidades inteligentes, para tornar os sistemas de transporte mais eficientes e sustentáveis (Massoumi, 2018; WFEO, 2020a).

A lâmpada de LED azul inventada por engenheiros e cientistas é um exemplo de invenção que reduziu de forma significativa as emissões de GEEs. Esses dispositivos eficientes em termos energéticos estão agora instalados em cidades de todo o mundo – incluindo Bhubaneswar, na Índia –, como uma solução sustentável, de baixo custo e baixa energia, que melhora a segurança e a proteção dos cidadãos (Ramanath, 2017).



ODS 12



Biogás de esgoto tratado, usado para gerar eletricidade na Estação de Tratamento de Águas Residuais North Head, Sydney, Austrália. © Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Engenheiros de mineração, civis, mecânicos, elétricos e ambientais desempenham papéis críticos na gestão eficiente dos recursos da mineração, processamento de minerais essenciais, geração de energia a partir de recursos renováveis, garantia do uso eficaz dos recursos hídricos, produção agrícola e gestão da biodiversidade.

Os engenheiros desenvolvem soluções para a gestão de recursos e consumo responsável por meio do conceito de *economia circular*, segundo o qual as saídas e os produtos podem se tornar insumos em outros processos e produtos, conservando assim os recursos da Terra (TNO⁴³).

Inovações tecnológicas foram desenvolvidas para reciclar ou reutilizar materiais residuais. Por exemplo, a empresa EcoPost, sediada no Quênia, recicla resíduos plásticos urbanos e os transforma em madeira plástica com aplicações como cercas, sinalização rodoviária e móveis para áreas externas. Essa inovação cria empregos, reduz o desmatamento e ajuda a lidar com a mudança climática. Os engenheiros químicos também desenvolvem soluções tecnológicas para aumentar



38 Veja Nesta UK (National Endowment for Science Technology and Arts) para exemplos de inovações moderadas, como a máquina de baixo custo GE Electro Cardiograph (ECG), em: <https://www.nesta.org.uk/feature/frugal-innovations/ge-ecg-machine/>

39 Leia mais sobre o sistema M-Pesa Tips, em: www.safaricom.co.ke/personal/m-pesa/getting-started/m-pesa-tips

40 Pesquise no SDG Tracker por "cities", em <https://sdg-tracker.org/cities>

41 Para mais informações sobre a Smart Cities Mission: www.smartcities.gov.in

42 Site oficial da Resilient Cities Network: <https://resilientcitiesnetwork.org/>

43 Leia mais na Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) sobre a economia circular, a base para uma sociedade sustentável, em: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/circular-economy/>

a reciclabilidade do plástico, abordando a estrutura molecular dos componentes químicos e permitindo sua reutilização em novos produtos (Lozkowski, 2018).

Na indústria hídrica, já estão sendo usadas tecnologias para gerenciar e tratar os fluxos de águas residuais para reutilização na irrigação e água potável.

Hoje, bilhões de celulares, computadores e *tablets* estão em uso. O gerenciamento de resíduos eletrônicos é, portanto, fundamental para a gestão de recursos em geral. Os engenheiros desenvolveram processos para extrair metais de resíduos eletrônicos, os quais podem então ser reciclados em outros produtos (Strom, 2016). Outra empresa desenvolveu uma máquina de impressão 3D a partir de componentes descartados encontrados em lixões (Ungerleider, 2013).

As tecnologias usadas para produzir energia a partir da biomassa e, assim, reduzir as emissões de GEEs, estão se tornando cada vez mais comuns (Scallan, 2020).

ODS 13

13
AÇÃO CONTRA A
MUDANÇA GLOBAL
DO CLIMA



Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Os engenheiros estão na vanguarda do combate à mudança climática, por meio do desenvolvimento de uma ampla gama de tecnologias para reduzir as emissões de GEEs, especialmente da geração de energia, para remover aqueles gases da atmosfera e mitigar os impactos da mudança climática por meio do desenvolvimento de infraestruturas resilientes.

Os engenheiros desenvolveram tecnologias para fontes alternativas de energia que têm emissão zero de carbono. Estas incluem a energia de usinas hidrelétricas, hidrogênio verde, energia solar, eólica e de ondas. A fissão nuclear é também uma tecnologia bem estabelecida. Os engenheiros agora estão trabalhando para acessar as enormes quantidades de energia solar disponíveis no espaço sideral e que já estão sendo usadas para alimentar as estações espaciais.⁴⁴



Em janeiro de 2020, os impactos da mudança climática causaram incêndios florestais intensos e neblina de fumaça sobre Sydney.
© Marlene Kanga

Os engenheiros utilizam várias estratégias e tecnologias para remover os GEEs. A captura de carbono pode ser ampliada por meio de reflorestamento e restauração de habitats, e pela mudança de práticas agrícolas, como a lavoura e a rotação de culturas para aumentar o teor de carbono nos solos, bem como adicionar biocarvão a estes. A captura e o sequestro de carbono no subsolo, ou a transformação de biossólidos em energia de gás, estão agora em uso em todo o mundo. Os métodos utilizados para absorver carbono da atmosfera incluem a fertilização oceânica (para aumentar a taxa de fotossíntese nos oceanos) e a construção com madeira de projetos de reflorestamento de rápido crescimento. O uso de concreto de baixo carbono em construções é outro exemplo de tecnologia disponível atualmente (RAEng, 2018).

As tecnologias futuras utilizam novos materiais para absorver o dióxido de carbono. Por exemplo, as estruturas orgânicas metálicas permitem o armazenamento em volumes significativamente menores do que o sequestro convencional (Zhao *et al.*, 2016).

Uma nova tecnologia que está sendo desenvolvida por engenheiros químicos é o uso de processamento químico para remover carbono do ar, para ser usado como matéria-prima química pela indústria. Os engenheiros também estão liderando pesquisas colaborativas sobre a vida de baixo carbono nas cidades, com foco em materiais de construção, uso de energia e água, e tecnologias de transporte inteligentes (Low Carbon Living CRC⁴⁵).

Os engenheiros são responsáveis pela concepção, pela construção e pela manutenção de infraestruturas essenciais para as cidades, tais como transportes, água e energia, e sistemas de comunicações. A incorporação de princípios de resiliência contra os impactos da mudança climática pode ter enormes benefícios econômicos e sociais, bem como permitir uma recuperação mais rápida de desastres naturais, como ciclones e inundações, cuja frequência está aumentando (OECD, 2018).

Em 2015, o Committee on Engineering and the Environment (CEE), da WFEO, desenvolveu um guia para engenheiros, o “Model code of practice: principles of climate change adaptation for engineers”, sobre os princípios-chave para o desenvolvimento de uma infraestrutura resiliente a desastres naturais e que mitiga os impactos da mudança climática (WFEO, 2015). Em meio à pandemia da COVID-19, a WFEO repetiu o apelo do secretário-geral das Nações Unidas para “reconstruir melhor”, a fim de acelerar a mitigação dos impactos da mudança climática com soluções de engenharia (WFEO, 2020b).

44 Ver, por exemplo, National Space Society UK (NSS) sobre energia solar espacial, em: <https://space.nss.org/space-solar-power>

45 Saiba mais sobre o Low Carbon Living Co-operative Research Centre (CRC), Austrália, em: <http://www.lowcarbonlivingcrc.com.au/>

ODS 14



A engenharia é necessária para a proteção contra o aumento do nível do mar e a crescente erosão das praias nas comunidades costeiras. © Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

Os oceanos são um recurso vital para o planeta. Eles fornecem água, alimentos de origem marinha e meios de transporte, ao mesmo tempo em que regulam o clima. Preservar e proteger os oceanos e mares, e a vida que existe neles, é uma tarefa vital para os engenheiros.

Os engenheiros marítimos estão trabalhando com cientistas e com outras áreas da engenharia para implementar soluções a fim de lidar com a degradação causada pela pesca, pela poluição dos oceanos e pela superexploração de recursos, incluindo energia das ondas e exploração de petróleo e gás.

Por exemplo, os engenheiros estão trabalhando em uma solução de limpeza para a Grande Ilha de Lixo do Pacífico (*Great Pacific Garbage Patch* – GPGP⁴⁶), que abrange aproximadamente 80 mil toneladas de resíduos de plástico. Esses resíduos não só demoram a se biodegradar, como também se decompõem em microplásticos que são prejudiciais à vida marinha, privando-a de alimentos, causando emaranhamento e eventualmente afetando a cadeia alimentar humana. O trabalho dos engenheiros na análise desses materiais plásticos e no desenvolvimento de soluções viáveis é decisiva para realizar uma limpeza bem-sucedida dos oceanos.

O Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan para a Grande Barreira de Coral⁴⁷ fornece ações e resultados claros para sua gestão e aborda impactos cumulativos, incluindo ameaças como a mudança climática.

O Australian Institute of Marine Science (AIMS⁴⁸) está inovando em soluções de engenharia, incluindo o sombreamento para recife e robôs aéreos e subaquáticos para melhorar o monitoramento e a proteção.

14

VIDA NA ÁGUA



ODS 15



A inovação em geoenharia é essencial para descobrir e proteger os recursos da Terra. © Technische Hochschule Georg Agricola (THGA)

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

A proteção das florestas, que cobrem 30% da superfície da Terra, é essencial para combater as alterações climáticas e proteger a biodiversidade da flora e da fauna, bem como para prevenir a desertificação e garantir o abastecimento alimentar (SDG Tracker⁴⁹).

Os engenheiros têm um papel importante a desempenhar na gestão da biodiversidade, por meio do uso responsável dos recursos florestais e da preservação dos habitats para mitigar os impactos das indústrias mais perigosas. Engenheiros também desenvolveram tecnologias inovadoras para mapear a superfície da Terra. Aquelas fornecem informações geoespaciais valiosas que podem ser usadas no monitoramento agrícola, no projeto de infraestruturas e na previsão de desastres naturais, como terremotos.

Um exemplo disso é o desenvolvimento de sistemas de informação geográfica participativa e de modelação 3D pelo Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation ACP-EU (CTA). Essa ferramenta é um meio eficaz para que os grupos desfavorecidos, incluindo as comunidades indígenas, reforcem a sua capacidade de mapear, analisar e negociar o desenvolvimento adequado e sustentável de seus recursos, ao mesmo tempo em que protegem as florestas naturais. Essas ferramentas têm sido usadas de forma eficaz na África, no Caribe e nas ilhas do Pacífico Sul (CTA, 2016).

Tecnologias de sensores e drones estão sendo usadas para mapear populações de animais ameaçados de extinção. O sequenciamento de DNA também está sendo usado para rastrear animais de amostras de água em habitats conhecidos. Um exemplo disso inclui o monitoramento dos ornitorrincos na Austrália (Cesar⁵⁰).

O International Meridian Circle Project é um exemplo de colaboração entre engenheiros da China, da Polônia e da Rússia. Ele utiliza informações de satélite para monitorar a Terra e fornece alertas precoces de terremotos (NSSC, 2017).

15

VIDA TERRESTRE



46 Para mais informações sobre o trabalho do Ocean CleanUp 2019 e do GPGP: www.theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch

47 Leia mais sobre o Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan, em: www.environment.gov.au/marine/gbr/publications/reef-2050-long-term-sustainability-plan-2018

48 Site oficial do Australian Institute of Marine Science: www.aims.gov.au

49 Pesquise no SDG Tracker por “biodiversity”, em: <https://sdg-tracker.org/biodiversity>

50 Leia mais sobre o trabalho do Centre for Environmental Stress and Adaptation Research (Cesar), em: <http://cesaraustralia.com/biodiversity-conservation/environmental-dna-edna>

ODS 16



Engenheiros de todo o mundo discutem sobre instituições fortes para o ensino de engenharia na International Engineering Alliance Meeting, em Hong Kong, junho de 2019. © Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

A promoção da paz, da justiça e de sociedades inclusivas por meio de uma boa governança e de instituições fortes é uma prioridade para todos na sociedade, incluindo os engenheiros.

A prática de engenharia envolve aplicar os valores da diversidade e da inclusão, práticas sustentáveis e engenharia ética, todos essenciais para fornecer soluções de engenharia seguras e sustentáveis. Os engenheiros também realizam parcerias para desenvolver instituições fortes para o ensino na área, assim como sua acreditação e regulamentação, que são essenciais para garantir a competência dos engenheiros em todos os lugares. Por exemplo, a WFEO tem uma parceria com a International Engineering Alliance (IEA) e seus pares na engenharia de âmbito internacional para garantir que os padrões de ensino para os graduados do futuro reflitam os valores da engenharia sustentável, ética e inclusiva. Essas organizações também estão trabalhando em parceria para desenvolver instituições de acreditação fortes, para regulamentar os sistemas de ensino universitário e instituições de engenharia profissionais, a fim de apoiar o desenvolvimento profissional de engenheiros na força de trabalho (WFEO, 2018b).

A WFEO desenvolveu um “Código de ética modelo” para os engenheiros (WFEO, 2010), que tem sido usado como base para os códigos de ética de outras instituições profissionais, como a Engineers Australia (Engineers Australia, 2019).

O Committee on Anti-Corruption da WFEO⁵¹ firmou parceria com outras organizações internacionais, como a OCDE e o World Justice Project, para promover mecanismos para lidar com a corrupção na engenharia, com o objetivo de maximizar o benefício dos investimentos em infraestrutura que apoiam o desenvolvimento sustentável. O comitê é membro do International Standards Organization Technical Committee TC-309, que desenvolveu a Norma Antissuborno ISO 37001 e a Diretriz ISO 37000 para a governança das organizações, a serem lançadas no início de 2021 (ISO 37001, 2016; WFEO 2020c).

O Global Infrastructure Anti-Corruption Centre (GIACC)⁵², do Reino Unido, é uma organização independente sem fins lucrativos que fornece recursos para auxiliar a compreensão, a identificação e a prevenção da corrupção nos setores de infraestrutura, construção e engenharia.

ODS 17



Estados-membros da UNESCO discutem a declaração que estabeleceu 4 de março como Dia Mundial da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável. © Marlene Kanga

Como a engenharia pode fazer isso acontecer

As parcerias na área de engenharia são essenciais para o avanço das metas de desenvolvimento sustentável, seja dentro de disciplinas da área ou em instituições de engenharia nacionais e internacionais, envolvendo governo, indústria e universidades. Essas parcerias desenvolvem soluções inovadoras para abordar os problemas atuais e do futuro e fornecem roteiros para a implementação de tecnologias para o desenvolvimento sustentável, com a finalidade de construir mecanismos de capacitação e transferência de conhecimento para abordagens inclusivas ao desenvolvimento sustentável.

Por exemplo, a WFEO estabeleceu parcerias com organizações internacionais de engenharia semelhantes, incluindo a International Engineering Alliance (IEA), a Federação Internacional de Engenheiros Consultores (Fidic), a International Network of Women Engineers and Scientists (Inwes) e a International Federation of Engineering Education Societies (Ifees). Essas parcerias abrangem organizações mundiais de engenharia que visam desenvolver padrões internacionais para o ensino na área, para ter atributos de graduação e competências profissionais, e para apoiar o desenvolvimento de capacidades em engenharia na África, na Ásia e na América Latina (WFEO, 2018b).

Em março de 2018, essas organizações assinaram a Declaração de Paris como um compromisso de avançar os ODS por meio da engenharia (WFEO, 2018c). Em dezembro de 2018, então, a Inwes e a WFEO colaboraram na Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 24) em Katowice, na Polônia, para mostrar boas práticas de engenharia que mitigam o impacto da mudança climática, com foco na inovação realizada por mulheres engenheiras (INWES, 2018).

Parcerias para desenvolver soluções a fim de avançar os outros 16 ODS estão sendo implementadas de forma eficaz em todo o mundo. Por exemplo, a Resilient Cities Network⁵³ é uma rede colaborativa que compartilha as melhores práticas para alcançar o ODS 11 em cidades e comunidades sustentáveis.

A WASH Agenda for Change⁵⁴ é uma parceria firmada entre várias agências não governamentais que impulsiona abordagens de sistemas nacionais e locais para a prestação econômica e sustentável de serviços de água, saneamento e higiene (WASH) na África e na Ásia, os quais são essenciais para o avanço do ODS 6, sobre água potável e saneamento.

51 Para mais informações sobre o WFEO Committee on Anti-Corruption: www.wfeo.org/committee-anti-corruption
 52 Site oficial do Global Infrastructure Anti-Corruption Centre: <https://giaccentre.org>
 53 Site oficial da Resilient Cities Network: <https://resilientcitiesnetwork.org/>
 54 Site oficial da WASH Agenda for Change: www.washagendaforchange.net

Referências

- AMELANG, S. Renewables cover about 100% of German power use for first time ever. *Clean Energy Wire*, 5 Jan. 2018. Disponível em: www.cleanenergywire.org/news/renewablescover-about-100-german-power-use-first-time-ever.
- CEBR – Centre for Economics and Business Research. *Engineering and economic growth: a report by CEBR for the Royal Academy of Engineering*. 2016. Disponível em: www.raeng.org.uk/publications/reports/engineering-and-economic-growth-a-global-view.
- CHABBA, R.; RAIKUNDALIA, S. Inexpensive impact: the case for frugal innovations. *Next Billion*, 21 Nov. 2018. Disponível em: <https://nextbillion.net/inexpensive-impact-frugal-innovations>.
- CTA – Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation ACP-EU. *The power of maps: bringing the third dimension to the negotiating table*. 2016. Disponível em: <https://pacificfarmers.com/wp-content/uploads/2016/07/The-power-of-maps-Bringing-the-3rd-dimension-to-the-negotiation-table.pdf>
- ECOSOC – United Nations Economic and Social Council. *Women's economic empowerment in the changing world of work*. Report of the Secretary General, Commission on the Status of Women, 61st session. New York, 2017. Disponível em: <http://undocs.org/E/CN.6/2017/3>.
- ENGINEERS AUSTRALIA. *Code of ethics and guidelines on professional conduct*. Sydney, 2019. Disponível em: <https://www.engineersaustralia.org.au/sites/default/files/resource-files/2020-02/828145%20Code%20of%20Ethics%202020%20D.pdf>.
- ENGINEERS CANADA. *30 by 30*. 2019. Disponível em: <https://engineerscanada.ca/diversity/women-in-engineering/30-by-30>.
- GATTI, G. *How technology is helping Filipino farmers weather storms*. 2018. Disponível em: <https://farmingfirst.org/2018/07/Gigi-Gatti-Grameen-Foundation>.
- GEHealthcare. *Market-relevant design: making ECGs available across India*. 2011. Disponível em: <http://newsroom.gehealthcare.com/ecgs-india-reverse-innovation>.
- GEO – Group on Earth Observations. *Eyes in the sky: how real-time data will revolutionise rice farming*. *University of Sydney*, 14 Jul. 2020. Disponível em: <https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2020/07/14/paddy-watch-real-time-data-willrevolutionise-rice-farming-GEO-Google-Earth.html>.
- IFEES – International Federation of Engineering Education Societies. *Rising to the top: global woman engineering leaders share their journeys to professional success*. 2019. Disponível em: <http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/stc-women/Rising-to-the-Top.pdf>.
- INWES. COP24 – Katowice Climate Change Conference, Dec. 2018. *INWES Newsletter*, 14 Feb. 2018. Disponível em: www.inwes.org/inwes-newsletter-28.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. *Renewable energy and jobs: annual review 2018*. 2018. Disponível em: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2018.pdf.
- ISO – International Organization for Standardization. *ISO 37001: anti-bribery management systems*. 2016. Disponível em: www.iso.org/iso-37001-anti-bribery-management.html.
- KANGA, M. *A Strategy for inclusion, well-being and diversity in engineering workplaces*. 2014. Disponível em: http://www.wfeo.org/wpcontent/uploads/un/sdgs/Inclusiveness_Wellbeing_Diversity_Strategy_MarleneKanga_Final_Nov_2014.pdf.
- KESHVARDOOST, S.; BAHAAADINBEIGY, M.; FATEHI, F. Role of telehealth in the management of COVID-19: lessons learned from previous SARS, MERS, and ebola outbreaks. *Telemedicine and e-Health*, v. 26, n. 7, p. 850-852, 2020.
- LIVEMINT. Reliance Jio sold 5 crore smart feature phones in less than 2 years: Report. *LiveMint*, 20 Feb. 2019. Disponível em: www.livemint.com/technology/tech-news/reliance-jio-sold-5-crore-smart-feature-phones-in-less-than-2-years-report-1550635450416.html.
- LOZKOWSKI, D. Embracing a circular economy, *Chemical Engineering*, 1 Jun. 2018. Disponível em: www.chemengonline.com/embracing-circular-economy.
- MALONEY, W. F.; CAICEDO, F. V. *Engineers, Innovative Capacity and Development in the Americas*. Washington, DC: World Bank, 2014. (Policy research working paper, 6814). Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/17725/WPS6814.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- MAPAMA – Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. *The water governance system in Spain*. Madrid, 2014. Disponível em: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniolgestion-agua/cat-gob-agua-2014-en_tcm30-216099.pdf.
- MARR, B. How is AI used in education: real world examples of today and a peek into the future. *Forbes*, 25 Jul. 2018. Disponível em: www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/07/25/how-is-ai-used-in-education-real-world-examples-of-today-and-a-peek-into-the-future/#7b58359e586e.
- MASSOUMI, R. Why a managed services model could make intersections safer, smarter and more efficient. *SmartCitiesWorld*, 23 Oct. 2018. Disponível em: www.smartcitiesworld.net/opinions/why-a-managed-services-model-couldmake-intersections-safer-smarter-and-more-efficient
- NSSC – National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences. *The International Meridian Circle Program Workshop Held in Qingdao*. 2017. Disponível em: http://english.nssc.cas.cn/ns/NU/201705/t20170531_177611.html
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. *Climate resilient infrastructure*. Paris: OECD Publishing, 2018. (Environment policy paper, 14). Disponível em: www.oecd.org/environment/cc/policyperspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf.
- RAEng – Royal Academy of Engineering. *Greenhouse gas removal*. The Royal Society, RAEng, 2018. Disponível em: www.raeng.org.uk/publications/reports/greenhouse-gas-removal.

RAMANATH, R. V. Smart city: BMC shows the way by installing LED lights. *The Times of India*, 1 Aug. 2017. Disponível em: <https://timesofindia.indiatimes.com/city/bhubaneswar/smart-city-bmc-shows-the-way-by-installing-led-lights/articleshow/59857487.cms>.

RITCHIE, H.; ROSER, M. *Energy production and changing energy sources*. Our World in Data, 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>.

ROSER, M.; ORTIZ-OSPINA, E. *Tertiary education*. Our World in Data, 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/tertiary-education>.

ROSS, C. In Coronavirus response, AI is becoming a useful tool in a global outbreak. *Machine Learning Times*, 29 Jan. 2020. Disponível em: <https://www.predictiveanalyticsworld.com/machinelearningtimes/in-coronavirus-response-ai-is-becoming-a-useful-tool-in-a-global-outbreak/10867/>.

ROZENBERG, J.; FAY, M. *Beyond the gap*: how countries can afford the infrastructure they need while protecting the planet. Washington, DC: World Bank, 2019. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31291>.

SCALLAN, S. Using biomass to get to net zero. *Ecogeneration*, 15 Jul. 2020. Disponível em: <https://www.ecogeneration.com.au/using-biomass-to-get-to-net-zero/>.

SMARTCITIESWORLD. Singapore tops the smart city rankings. *SmartCitiesWorld*, 2 May 2018. Disponível em: www.smartcitiesworld.net/news/news/singapore-tops-the-smart-city-rankings-2875.

STROM, M. UNSW develops mini-factory that can turn old mobile phones into gold. *The Sydney Morning Herald*, 30 Jul. 2016. Disponível em: www.smh.com.au/technology/unsw-develops-minifactory-that-can-turn-old-mobile-phones-into-gold-20160729-gqgr83.html.

THE ECONOMIST. In much of sub-Saharan Africa, mobile phones are more common than access to electricity: the devices have helped poor countries leapfrog much more than landline telephony. *The Economist*, 8 Nov. 2017. Disponível em: <https://www.economist.com/graphic-detail/2017/11/08/in-much-of-sub-saharan-africa-mobile-phones-are-more-common-than-access-to-electricity>.

UNGERLEIDER, N. This African inventor created a \$100 3-D printer from e-waste. *Fast Company*, 10 Nov. 2013. Disponível em: www.fastcompany.com/3019880/this-african-inventor-created-a-100-3-d-printer-from-e-waste.

UNITED NATIONS. Industry innovation and infrastructure: why it matters. New York, 2019. Disponível em: www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2018/09/Goal-9.pdf.

WASHINGTON UNIVERSITY. Newly developed nanotechnology biosensor being adapted for rapid COVID-19 testing. *SciTechDaily*, 25 Apr. 2020. Disponível em: <https://scitechdaily.com/in-newly-developed-nanotechnology-biosensor-being-adapted-for-rapid-covid-19-testing/>.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *WFEO model code of ethics*. 2010. Disponível em: www.wfeo.org/wp-content/uploads/code_of_ethics/WFEO_MODEL_CODE_OF_ETHICS.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *The Code of practice on principles of climate change adaptation for engineers*. 2015. Disponível em: www.wfeo.org/code-of-practice-on-principles-of-climate-change-adaptation-for-engineers.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *The value of integrated geospatial and Building Information Modelling (BIM) solutions to advance the United Nations Sustainable Development Goals (Agenda 2030) with specific focus on resilient infrastructure*. WFEO, World Geospatial Industry Council, UN Committee of Experts on Global Geospatial Information Management, 2020a. Disponível em: <https://www.wfeo.org/wfeo-wgic-unggimwhite-paper-geospatial-engg-sustainable-development/>.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *Water, the future that we want, Madrid Declaration*. 2018a. Disponível em: www.wfeo.org/wp-content/uploads/declarations/Madrid_Declaration_ENG.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *WFEO engineering 2030: a plan to advance the UN Sustainable Development Goals through engineering*. 2018b. Disponível em: www.wfeo.org/wp-content/uploads/un/WFEO-ENgg-Plan_final.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *WFEO-UNESCO Paris Declaration*. 2018c. Disponível em: www.wfeo.org/wp-content/uploads/declarations/Paris-Declaration_WFEO-UNESCO_March-2018.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *WFEO position to the build-back-better call for arms*. Public statement, 5 June. 2020b. Disponível em: http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/un/WFEO_Statement-build_back_better_call_for_arms.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organization. *WFEO consultation on draft international standard ISO 37000*. WFEO, International Standard Organization, 2020c. Disponível em: <http://www.wfeo.org/wfeo-consultation-on-draft-international-standard-iso37000-governance-of-organisations/>.

WIPO – World Intellectual Property Organization. Chotukool: keeping things cool with frugal innovation. *WIPO Magazine*, Dec. 2013. Disponível em: https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/06/article_0003.html.

ZHANG, K. 3D printing medical equipment for COVID-19. *University of Melbourne*, 1 May 2020. Disponível em: <https://pursuit.unimelb.edu.au/articles/3d-printing-medical-equipment-for-covid-19>.

ZHAO, Y. *et al.* Metal organic frameworks for energy storage and conversion. *Energy Storage Materials*, v. 2, p. 35-62, 2016. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405829715300568.

2. IGUALDADE DE OPORTUNIDADES PARA TODOS

si/travelalot/Shutterstock.com





Resumo. Os dois relatórios mais recentes dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (United Nations, 2019; 2020) esclarecem os progressos que o mundo está realizando para alcançar os ODS e destacam as áreas que necessitam de atenção urgente. Ambos os relatórios mostram que, apesar dos avanços obtidos nos últimos quatro anos em várias áreas de certos ODS, o progresso foi lento ou mesmo revertido.¹ As pessoas e os países mais vulneráveis continuam a ser os que mais sofrem, e a resposta global não tem sido suficientemente ambiciosa. Os engenheiros desempenham um papel fundamental no enfrentamento de desafios para o planeta e para a população em geral, e a pandemia da COVID-19 criou desafios e abriu novas oportunidades para os profissionais da área. Os engenheiros resolvem problemas, fornecendo soluções para os desafios sociais à medida que constroem um mundo sustentável. No entanto, mais engenheiros devem ser treinados e entrar na força de trabalho. O mundo atual abriga a maior geração de jovens da história: 1,8 bilhão. Cerca de 90% deles vivem em países em desenvolvimento, onde constituem uma proporção significativa da população. Ao mesmo tempo, as mulheres engenheiras estão demasiadamente sub-representadas. Garantir a igualdade de oportunidades para todos e reduzir as desigualdades (ODS 10), proporcionar trabalho decente e crescimento econômico (ODS 8) e garantir a igualdade de gênero (ODS 5) são ações que permitirão que uma parcela mais representativa de pessoas se junte à força de trabalho da engenharia e, assim, contribua para um mundo mais justo, resiliente e sustentável, em sintonia com a natureza.

1 Como observado no Relatório de Progresso de 2020, p. 2: “até o final de 2019, o progresso continuou a ser feito em algumas áreas: a pobreza global continuou a diminuir, embora em um ritmo mais lento; as taxas de mortalidade materna e infantil foram reduzidas; mais pessoas ganharam acesso à eletricidade; e os países estavam desenvolvendo políticas nacionais para apoiar o desenvolvimento sustentável e assinando acordos internacionais de proteção ambiental. Em outras áreas, no entanto, o progresso tinha parado ou sido revertido: o número de pessoas que sofrem de fome estava aumentando, a mudança climática estava ocorrendo muito mais rapidamente do que o previsto e a desigualdade continuava a aumentar dentro e entre os países”.

Dawn Bonfield²

2.1 DIVERSIDADE E INCLUSÃO NA ENGENHARIA



Robert Kneschke/Shutterstock.com

² Royal Academy of Engineering, professor visitante de engenharia inclusiva, Aston University; diretor, Towards Vision.

Impulsionadores da mudança

2

Ao longo da última década, a diversidade e a inclusão na engenharia se tornaram um tema dominante para muitas organizações profissionais em todo o mundo. Isso foi impulsionado em grande parte por uma série de fatores abrangentes, incluindo: i) o crescente reconhecimento da atual e histórica falta de igualdade de oportunidades para todos; ii) a escassez de competências impulsionada por um mundo cada vez mais técnico, juntamente com o envelhecimento demográfico (RAEng, 2019); iii) o reconhecimento da realidade de que a inovação, o lucro e a engenharia de alta qualidade são aprimorados com uma equipe de engenheiros mais diversificada (Hunt; Layton; Prince, 2015); e iv) o foco crescente nos ODS e o que isso significa no setor de engenharia. Agora, reconhece-se que uma abordagem mais interdisciplinar e uma mentalidade inclusiva permitirão que os desafios globais sejam abordados de forma mais equilibrada e holística, garantindo que os progressos obtidos em relação a um objetivo sejam simultaneamente considerados em relação a outros objetivos. Uma força de trabalho diversificada e inclusiva é essencial para a implementação bem-sucedida de soluções para cumprir esses objetivos múltiplos e diversos, e essa força de trabalho deve garantir que suas saídas tecnológicas e de engenharia (produtos, serviços, soluções) sejam igualmente acessíveis e inclusivas a todos. De fato, nenhum dos ODS será alcançado sem considerar soluções através da “lente” da diversidade e sem a plena participação de grupos sub-representados e marginalizados, bem como sua participação efetiva em papéis de tomada de decisões na vida política, econômica e pública.

Além disso, entende-se que os efeitos da mudança climática, como secas, inundações e outros eventos extremos, terão um efeito desproporcional sobre as mulheres e as pessoas marginalizadas em âmbito global (WHO, 2011). Em muitas ocupações, o *status* socioeconômico e gerencial mais baixo das mulheres resulta no fato de que elas têm uma voz limitada nas instâncias em que as principais decisões são tomadas, e seu *status* e experiência como guardiãs da família, da alimentação, da saúde e do lar significam que essas perspectivas são mal representadas nos resultados de soluções. Em algumas partes do mundo, o acesso restrito das mulheres à educação, à propriedade da terra e à independência muitas vezes significa que suas necessidades não são devidamente atendidas por soluções de engenharia e tecnologia. Incentivar uma representação mais diversificada na engenharia e garantir o progresso desses grupos para cargos sênior de tomada de decisões é entendido como fundamental para viabilizar essas visões, de modo que sejam igualmente representadas e, em última análise, bem-sucedidas na abordagem de todos os ODS (Huyer, 2015; UNESCO, 2017).

Um fator que está aumentando em importância e reconhecimento é a necessidade de garantir que os vieses e a discriminação não sejam incorporados em futuras soluções de engenharia. Grandes transformações estão ocorrendo com uma mudança para um

mundo mais digitalizado, impulsionada por *big data*, aprendizado de máquina, sistemas autônomos e IA. Sem vigilância, existe o risco de que preconceitos e discriminações históricos sejam incorporados em novos sistemas, resultando inadvertidamente na proliferação da discriminação e no reforço de preconceitos. Muitos exemplos já vieram à tona em instâncias nas quais a tomada de decisão algorítmica, em grande parte invisível, é capaz de discriminar ainda mais certos grupos da população (Angwin *et al.*, 2016; Criado-Perez, 2019). Ao garantir uma força de trabalho diversificada que represente todas as perspectivas, esses vieses têm maior propensão de ser reconhecidos e evitados.

Mudança de cultura

Para alcançar com sucesso a diversidade e a inclusão, a cultura da engenharia deve garantir que *todas* as pessoas se sintam confortáveis e incluídas, e que sejam capazes de trazer suas próprias identidades e diferenças para o setor. Deve-se tomar cuidado para transformar a cultura, em vez de modificar as pessoas para que se adequem à cultura existente. A incapacidade de fazer isso impede que o “prêmio de diversidade” seja alcançado, e com isso as recompensas de soluções de engenharia menos tendenciosas e socialmente mais justas não serão maximizadas (RAEng, 2017), de forma que a retenção de talentos diversos será instável. Os grupos de recursos ou afinidades de funcionários desempenham um papel eficaz no apoio e na capacitação de grupos sub-representados. Há também evidências crescentes de que uma cultura não inclusiva no setor da construção civil leva a problemas de saúde mental e a um aumento do risco de suicídio entre os trabalhadores do sexo masculino (Burki, 2018).

Alguns avanços podem ser alcançados por meio de mudanças nas estruturas e nos processos, tais como: i) adoção de mecanismos de recrutamento e estilos de liderança inclusivos (Moss-Racusin *et al.*, 2012); ii) incorporação de eliminadores de viés em sistemas, como de pagamento e remuneração; e iii) implementação de mentoria e mentoria reversa para garantir o avanço de grupos sub-representados e a eliminação de desigualdades (Yin-Che, 2013). Metas, planos de ação, métricas e prestação de contas são cruciais para impulsionar a mudança de cultura (RAEng, 2016).

Por fim, deve-se notar que as habilidades inerentes exigidas dos engenheiros estão se transformando de maneira distinta, à medida que a tecnologia evolui. À medida que a IA, o aprendizado de máquina e a robótica distanciam os seres humanos das habilidades “manuais” que eram sinônimo de engenharia no passado, as competências anteriormente descritas como *soft skills* estão sendo cada vez mais vistas como as “competências críticas” do futuro. Competências como resiliência, agilidade, capacidade de adquirir novos conhecimentos, trabalho em equipe e comunicação se tornarão tão – se não mais – importantes do que o conhecimento técnico detalhado que antes era valorizado

na engenharia (Jackson; Mellors-Bourne, 2018). Isso, por sua vez, exigirá um tipo diferente de engenheiro, no qual as características diversas são valorizadas. Essa mudança na percepção da engenharia trará com o tempo uma transformação nos funcionários, pois as pessoas passarão a ver a engenharia menos como uma ocupação “suja”, principalmente masculina, e mais como uma profissão que requer uma ampla gama de habilidades para garantir o sucesso (WEF, 2016).

Recomendações

As recomendações apresentadas a seguir visam abordar os obstáculos existentes que impedem que o setor de engenharia seja mais diversificado e inclusivo.

1. As instituições educacionais devem fornecer caminhos sem barreiras e com acesso facilitado à educação em engenharia para todos os estudantes e em todas as etapas da carreira, de modo a oferecer um ambiente educacional diversificado, no qual o ensino e a aprendizagem inclusivos – com foco consistente no papel da engenharia para atender aos ODS – desenvolverão uma mentalidade inclusiva entre os futuros engenheiros.
2. Os locais de trabalho devem promover uma cultura de mudança, atribuindo responsabilidades claras para o sucesso, bem como uma estratégia de negócios com metas e métricas para alcançar a igualdade, a diversidade e a inclusão.
3. As instituições profissionais de engenharia e os órgãos de registro devem fornecer liderança, de forma a incorporar os valores de diversidade e inclusão nos cursos de formação, no credenciamento e no registro profissional, e desenvolver dados de *benchmarking*, reunidos em conformidade com a Inclusive Data Charter (IDC) (GPSDD, 2018), para padronizar o monitoramento e as comparações internacionais.
4. Os governos devem aumentar o financiamento das principais prioridades, juntamente com: i) alavancas como a integração de métricas e metas de igualdade, diversidade e inclusão (EDI) em contratos públicos; ii) facilitadores estruturais, como licença parental compartilhada, políticas de trabalho flexíveis e relatórios obrigatórios de diferenças salariais; e iii) o uso de auditorias de Avaliação de Impacto da Diversidade (DIA) para todas as decisões políticas.
5. As organizações devem identificar e abordar as discriminações sistêmicas e estruturais, a intolerância e as desigualdades que impedem certos setores da sociedade de obter a igualdade de acesso às oportunidades.
6. O setor de engenharia como um todo deve abraçar o *ethos* de “não deixar ninguém para trás” dos ODS e garantir que as soluções tecnológicas abordem as desigualdades atuais.

Referências

- ANGWIN, J. et al. Machine bias: there's software used across the country to predict future criminals. And it's biased against blacks. *ProPublica*, May 2016. Disponível em: www.propublica.org/article/machinebias-risk-assessments-in-criminal-sentencing.
- BURKI, T. Mental health in the construction industry. *The Lancet*, v. 5, n. 4, p. 303, 2018. Disponível em: [www.thelancet.com/journals/lanpsy/article/PIIS2215-0366\(18\)30108-1/fulltext](http://www.thelancet.com/journals/lanpsy/article/PIIS2215-0366(18)30108-1/fulltext).
- CRIADO-PEREZ, C. *Invisible women. Exposing data bias in a world designed for men*. London: Chatto & Windus, 2019.
- GPSDD – Global Partnership for Sustainable Development Data. *Inclusive Data Charter*. 2018. Disponível em: www.data4sdgs.org/initiatives/inclusive-data-charter.
- HUNT, V.; LAYTON, D.; PRINCE, S. Why diversity matters. McKinsey & Company, 2015. Disponível em: www.mckinsey.com/businessfunctions/organization/our-insights/why-diversity-matters.
- HUYER, S. Is the gender gap narrowing in science and engineering? In: HUYER, S. (ed.). *UNESCO science report: towards 2030*. Paris: UNESCO Publishing, 2015. Disponível em: <https://en.unesco.org/USR-contents>.
- JACKSON, P.; MELLORS-BOURNE, R. *Talent 2050: engineering skills and education for the future*. London: National Centre for Universities and Business, 2018. Disponível em: www.ncub.co.uk/reports/talent-2050-engineering-skills-and-education-for-the-future.
- MOSS-RACUSIN, C. A. et al. Science faculty's subtle gender biases favor male students. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, n. 41, p. 16474-16479, 2012.
- RAEng – Royal Academy of Engineering. *Creating cultures where all engineers thrive: a unique study of inclusion across UK engineering*. London, 2017. Disponível em: www.raeng.org.uk/publications/reports/creating-cultures-where-all-engineers-thrive.
- RAEng – Royal Academy of Engineering. *Diversity and inclusion: professional framework for professional bodies*. London, 2016. Disponível em: www.raeng.org.uk/publications/other/diversity-progression-framework.
- RAEng – Royal Academy of Engineering. *Global engineering capability review*. London, 2019. Disponível em: <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/global-engineering-capability-review>.
- RO, H. K.; LOYA, K. The effect of gender and race intersectionality on student learning outcomes in engineering. *Review of Higher Education*, v. 38, n. 3, p. 359-396, 2015. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1059327>.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Cracking the code: girls' and women's education in science technology, engineering and mathematics (STEM)*. Paris: UNESCO Publishing, 2017. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253479>.
- UNITED NATIONS. *The sustainable development goals progress report 2019*. United Nations Economic and Social Council, 2019. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2019/secretary-general-sdg-report-2019--EN.pdf>.
- UNITED NATIONS. *The sustainable development goals progress report 2020*. United Nations Economic and Social Council, 2020. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2020/secretary-general-sdg-report-2020--EN.pdf>.
- WHO – World Health Organization. *Gender, climate change and health*. Geneva, 2011. Disponível em: www.who.int/globalchange/GenderClimateChangeHealthfinal.pdf.
- WEF – World Economic Forum. *The future of jobs*. Cologny, Switzerland, 2016. Disponível em: <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2016>.
- YIN-CHE, C. Effect of reverse mentoring on traditional mentoring functions. *Leadership and Management in Engineering*, v. 13, n. 3, 2013. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000227>.

Dawn Bonfield³ e Renetta Tull⁴

2.2 MULHERES NA ENGENHARIA



©WFEO
Global Engineering London Congress 2018

- 3 Royal Academy of Engineering, professor visitante de engenharia inclusiva, Aston University; diretor, Towards Vision.
- 4 Vice-chanceler para Diversidade, Igualdade e Inclusão, Universidade da Califórnia, Davis.

Resumo. Os dados, em âmbito global, sobre o número de mulheres qualificadas como engenheiras e que trabalham no setor ou têm *status* profissional de engenheiras registradas não são relatados de forma consistente e ampla. Embora alguns países disponibilizem dados nacionais desagregados por gênero, tais dados não são coletados de acordo com um padrão internacional e, muitas vezes, são difíceis de serem comparados entre os países. Essa falta de dados confiáveis limita a possibilidade de se avaliar e justificar de maneira clara a necessidade de ação e, assim, garantir o planejamento e a formulação de políticas com base em evidências.

Introdução

Com base em dados do Instituto de Estatística da UNESCO, o Índice de Engenharia 2019 mostra o número de mulheres que se formam no ensino superior, em programas de engenharia, manufatura e construção em todo o mundo, por país, em ordem de classificação (RAEng, 2019). As porcentagens desagregadas por gênero do ensino superior na área de engenharia são relatadas país a país no “UNESCO Science Report: Towards 2030” (Huyer, 2015). Os dados de 2015 mostraram uma média mundial de 27% de graduados no ensino superior em engenharia, manufatura e construção, o que representa 8% da população feminina global em comparação com 22% da população masculina global (UNESCO, 2017). Os dados de mulheres que progredem em carreiras de engenharia e se registram profissionalmente não estão disponíveis em âmbito global.

O relatório “Engineering and economic growth: a global view” (RAEng, 2016) concluiu que as economias em desenvolvimento, incluindo Mianmar, Tunísia e Honduras, são líderes mundiais na paridade de gênero em engenharia, com a maior proporção de mulheres formadas na área: 65%, 42% e 41%, respectivamente. No período 2008-12, a maioria dos países da OCDE ampliou o número de mulheres graduadas em engenharia, com os aumentos mais notáveis observados nas economias emergentes de México, Hungria e Turquia (em mais de 150%). No entanto, nos países desenvolvidos, o aumento muitas vezes foi menos acentuado; países como Reino Unido e Estados Unidos viram um aumento do número de mulheres formadas em engenharia, mas de um ponto de partida já baixo, em 31% e 24%, respectivamente.

Instituições profissionais de engenharia fornecem algumas estatísticas comparáveis quanto à participação feminina, representando as mulheres engenheiras que trabalham na profissão. A associação feminina no International Council on Systems Engineering (IncoSE) foi de 17% em 2018; no Institute of Electrical and Electronic Engineers (EUA), foi de 12,2% em 2019; e no Institute of Engineering and Technology (RU), foi de 9% em 2019.

Barreiras educacionais e progressão

Tornar a educação em engenharia, as oportunidades de desenvolvimento profissional, a equidade salarial e as iniciativas de integração da vida profissional disponíveis às mulheres são medidas fundamentais para seu engajamento, retenção, aumento de liderança e desejo de permanecer na força de trabalho e contribuir para a profissão (Montgomery, 2017; O’Meara; Campbell, 2011; Tull *et al.*, 2017). Muitas barreiras impedem que mulheres e meninas acessem as disciplinas de STEM. Em alguns países, ainda existem restrições que impedem as meninas de cursar certas matérias na escola, incluindo ciências (Agberagba, 2017). Além disso, outras restrições não políticas, como os estereótipos de gênero e as expectativas dos pais, continuam a impedir que as meninas tenham acesso às carreiras de ciência e engenharia. Diversas intervenções abordam essas barreiras, mas muitas vezes evidências de seu impacto e taxas de sucesso não estão disponíveis (OECD, 2019). A necessidade de aumentar a participação de meninas e mulheres na engenharia, em todos os níveis, foi destacada na 61ª sessão da Commission on the Status of Women (CSW) das Nações Unidas, realizada em Nova York em 2017, e em sua 62ª sessão, em 2018. A Comissão recomendou que o fluxo de carreira seja fortalecido, expondo mais meninas a desafios globais, como aqueles incorporados pelos ODS.

O Programme for International Student Assessment (PISA) da OCDE revelou que existe muito pouca diferença entre as habilidades de meninas e meninos em pessoas com habilidades de STEM aos 15 anos de idade, com tal diferença ocorrendo com uma “força relativa”. Isso significa que as meninas, embora sejam tão boas em assuntos de STEM quanto os meninos, são relativamente mais fortes em leitura, enquanto os meninos são relativamente mais fortes em ciência e matemática, quando todas as matérias são consideradas. Com isso, sugere-se que os estudantes escolham seu campo de estudo com base em seus pontos fortes *comparativos*, não em sua força *absoluta* (Stoet; Geary, 2018).

Para enfrentar essas barreiras, devem ser oferecidos caminhos claros de progressão em todos os pontos do sistema de educação e emprego que levem a uma futura carreira em engenharia (UNESCO, 2017). No ensino superior, as estudantes do sexo feminino enfrentam obstáculos ao progredir do ensino para o emprego profissional. Yates e Rincon (2017) sugerem que a retenção de mulheres na engenharia e como empreendedoras pode ser melhorada por meio da experiência de trabalho antes da graduação, bem como pelo desenvolvimento de redes profissionais e de suportes externos para auxiliar em sua transição para a força de trabalho de engenharia. Os autores também observaram que as engenheiras que pertencem a minorias buscaram o apoio de mentoras e associações profissionais de mulheres minoritárias para ajudá-las a se conectar a redes de carreiras profissionais.

As acadêmicas do sexo feminino estão sujeitas a barreiras institucionais resultantes de grandes fatores inibidores, como

taxas de sucesso reduzidas e o financiamento de subvenções muitas vezes mais baixo, bem como barreiras à publicação de pesquisas (RSC, 2019). Esses fatores limitam o acesso das mulheres à promoção e, portanto, à progressão para cargos de professorado nas faculdades de engenharia. Abordar e remover essas barreiras são ações fundamentais para permitir que as mulheres progridam de forma equitativa e, assim, alcancem posições de tomada de decisões na academia.

Mulheres líderes, com experiências únicas e que se tornaram o que outras aspiram a ser, têm um poder significativo para influenciar mulheres e meninas de todas as idades. Mulheres de todas as origens, incluindo aquelas de grupos e regiões marginalizados ou sub-representados, devem ser treinadas, contratadas e capacitadas para atingir seus objetivos.

Progressão, retenção e resposta à COVID-19

As mulheres que superam com sucesso as barreiras a uma carreira na área de engenharia geralmente descobrem que ambientes não inclusivos nos locais de trabalho, estereótipos, preconceitos inconscientes, micro desigualdades e assédio sexual inibem sua capacidade de prosperar no setor e assim alcançar posições de liderança e tomada de decisão. Em muitos casos, esses fatores resultam na saída das mulheres do setor. Abordar essas desigualdades, criar culturas inclusivas e encontrar formas sistêmicas de garantir a progressão equitativa das mulheres são ações vitais para alcançar o avanço no recrutamento de mulheres. Os relatórios obrigatórios sobre as disparidades salariais entre homens e mulheres, a introdução bem-sucedida em muitos países de licenças parentais compartilhadas (principalmente nos países escandinavos), a flexibilidade dos horários de trabalho, um bom sistema de acolhimento de crianças, e metas e quotas nacionais para as mulheres nos conselhos executivos são exemplos de intervenções no âmbito governamental que melhoram as oportunidades disponíveis para as mulheres nos locais de trabalho.

Existe o risco de que a pandemia de COVID-19 (em 2020) desfaça o progresso alcançado nas últimas décadas, à medida que as mulheres sofrem o peso do aumento da carga de trabalho relacionada aos cuidados com as crianças, educação em casa, responsabilidades domésticas e cuidados com parentes idosos que podem estar isolados durante os *lockdowns*. Estão surgindo evidências de um menor número de envios a revistas acadêmicas e pedidos de bolsas por mulheres, bem como evidências de mulheres sendo demitidas com maior facilidade do que seus colegas homens entre as contratações mais recentes das empresas. Deve-se tomar cuidado para garantir que quaisquer desvantagens de gênero sejam minimizadas neste momento difícil, e que sejam reunidas evidências desagregadas por gênero capazes de identificar desigualdades. Quaisquer vantagens que beneficiem e retenham mais mulheres na engenharia devem ser incentivadas, como um ambiente de trabalho mais flexível

que minimize as viagens e permita que a carga de trabalho seja organizada em sua casa e vida familiar, e no qual as qualificações possam ser adquiridas *online* em casa e no qual um estilo diferente de liderança permita que as mulheres brilhem.

Conclusão

Atrair e reter uma força de trabalho mais diversificada na área de engenharia são ações fundamentais para garantir que os desafios globais representados pelos ODS sejam abordados, e que a engenharia e a tecnologia cumpram seus papéis no combate à mudança climática e à desigualdade global. As múltiplas barreiras sistêmicas e estruturais que historicamente impediram grupos sub-representados, principalmente as mulheres, de ter acesso ao setor de engenharia devem ser eliminadas com urgência. Os fatores impulsionadores para alcançar isso incluem: i) métodos coordenados de coleta de dados; ii) evidências e compartilhamento do impacto e da eficácia das intervenções; e iii) mudanças legislativas e culturais, todas necessárias. Para permitir que as mulheres participem e facilitem essas mudanças, elas devem ser capacitadas e apoiadas para ter acesso a cargos de liderança.

Recomendações

- 1. Dados e evidências eficazes.** Coletar dados globais confiáveis e acessíveis de maneira periódica, comparáveis em termos internacionais e desagregados por gênero, e usar tais dados para fundamentar políticas e processos de tomada de decisões. Documentar a eficácia e o impacto das intervenções, para incentivar uma força de trabalho mais diversificada quanto ao gênero e compartilhar as melhores práticas.
- 2. Na educação.** Utilizar os ODS e as mensagens de justiça social que os acompanham para transmitir o valor da engenharia à próxima geração de jovens engenheiras. Apoiar as mulheres na transição entre educação e emprego, e facilitar a mobilidade de outros setores para a engenharia para ingressantes em estágio avançado. Eliminar as desvantagens sistêmicas para a progressão das mulheres na área acadêmica de engenharia.
- 3. No local de trabalho.** Criar uma cultura corporativa inclusiva na qual as engenheiras prosperem e progridam, de forma equitativa, para cargos de liderança, bem como monitorem e eliminem quaisquer desvantagens de gênero como resultado da pandemia da COVID-19. Em vez disso, é preciso encontrar maneiras de desenvolver ambientes de trabalho mais flexíveis para atrair e reter mulheres.
- 4. Governo.** Reforçar as iniciativas em âmbito governamental que apoiem as mulheres na força de trabalho, tais como relatórios sobre as disparidades salariais entre homens e mulheres, metas para as mulheres nos conselhos executivos, arranjos de trabalho flexíveis, licenças parentais compartilhadas e boas estruturas de acolhimento de crianças.

Referências

AGBERAGBA, V. *African catalyst project: statistical data for women in science and engineering; a pilot project of Nigeria, Rwanda and Malawi*. 2017. Disponível em: [https://afbe.org.uk/docs/African%20catalyst%20Project%20%20-%20final%20%20%20submission%20\(1\).pdf](https://afbe.org.uk/docs/African%20catalyst%20Project%20%20-%20final%20%20%20submission%20(1).pdf).

HUYER, S. Is the gender gap narrowing in science and engineering? In: UNESCO. *UNESCO science report: towards 2030*. Paris: UNESCO Publishing, 2015. p. 85-103. Disponível em: <https://en.unesco.org/unescoscience-report>.

MONTGOMERY, B. L. *Mapping a mentoring roadmap and developing a supportive network for strategic career advancement*. SAGE Open, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2158244017710288>.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. *Why don't more girls choose STEM careers?* Paris, 2019. Disponível em: www.oecd.org/gender/data/whydont-more-girls-choose-stem-careers.htm.

O'MEARA, K.; CAMPBELL, C. M. Faculty sense of agency in decisions about work and family. *Review of Higher Education*, v. 34, n. 3, p. 447-476, 2011.

RAEng – Royal Academy of Engineering. *Engineering and economic growth: a global view*. London, 2016. Disponível em: www.raeng.org.uk/publications/reports/engineeringand-economic-growth-a-global-view.

RAEng. 2019. *Engineering Index 2019*. London: Royal Academy of Engineering. Disponível em: <https://www.raeng.org.uk/RAE/EngineeringIndex/2019/index.html#slide-0>.

RSC – Royal Society of Chemistry. *Is publishing in the chemical sciences gender biased? Driving change in research culture*. London, 2019. Disponível em: www.rsc.org/globalassets/04-campaigning-outreach/campaigning/gender-bias/gender-bias-report-final.pdf.

STOET, G.; GEARY, D. C. The gender-equality paradox in science, technology, engineering, and mathematics education. *Psychol Sci.*, v. 29, n. 4, p. 581-593, 2018. Erratum-in, *Psychol Sci.*, v. 31, n. 1, p. 110-111, Jan. 2020.

TULL, R. G. et al. *Dark matters: Metaphorical black holes that affect ethnic underrepresentation in engineering*. Paper presented at the 2016 ASEE Annual Conference and Exposition, New Orleans, LA, 26-29 Jun. 2016. Disponível em: <https://peer.asee.org/dark-matters-metaphorical-blackholes-that-affect-ethnic-underrepresentation-in-engineering>.

UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. *Cracking the code: girls' and women's education in science technology, engineering and mathematics (STEM)*. Paris, 2017. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253479>.

YATES, N.; RINCON, R. *Minority women in the workplace: early career challenges and strategies for overcoming obstacles*. Washington, DC: American Society for Engineering Education, 2017. Disponível em: <https://peer.asee.org/28673>.

Dhinesh Radhakrishnan⁵
e Jennifer J. DeBoer⁶

2.3

JOVENS ENGENHEIROS E SEU PAPEL



GaudiLab/Shutterstock.com

⁵ Assistente de pesquisa e ensino, School of Engineering Education, Purdue University, Estados Unidos.

⁶ Professor associado, School of Engineering Education, Purdue University, Estados Unidos.

Resumo. O “World Youth Report” das Nações Unidas afirmou que os jovens devem ser arquitetos ativos, não meros beneficiários da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (United Nations, 2018a). Enquanto as instituições lutam para lidar com a escassez de estudantes que se candidatam a diplomas nas áreas de STEM, muitas vezes as oportunidades transformadoras são negligenciadas, pois os jovens⁷ podem ser participantes ativos em sua educação em engenharia, em vez de consumidores passivos de currículos-padrão. Esta subseção discute exemplos de modelos que envolvem os jovens como pensadores críticos, agentes de mudança e líderes para aplicar a Agenda 2030 na prática (United Nations, 2018b).

Competições para animar e aumentar a quantidade de futuros engenheiros

Muitos concursos mundiais e nacionais de engenharia mostram as melhores práticas para a Agenda 2030. Os concursos mundiais promovem caminhos para diversificar e aumentar o número de estudantes que cursam as disciplinas da área de STEM, fornecendo uma imagem ampla e empolgante da prática de engenharia. Os ex-estudantes que trabalham continuam sua participação ao longo da vida em sociedades profissionais relacionadas e se tornam modelos para jovens engenheiros e agentes de mudança que depois mobilizam outros, e assim sucessivamente. A robótica da First⁸ promove o pensamento crítico, o trabalho em equipe, o conhecimento das áreas de STEM e a habilidade de solução de problemas (UNESCO, 2017). Os ex-estudantes têm 2,6 vezes mais chances de realizar um curso de engenharia no primeiro ano da universidade, e as mulheres ex-estudantes têm 3,4 vezes mais chances de realizar cursos de engenharia (Melchior *et al.*, 2018). A Intel International Science and Engineering Fair (Intel ISEF)⁹ inspira os jovens a conduzirem pesquisas independentes em ciência e engenharia com base em projetos (ISEF, 2019).

Uma feira nacional de ciências e engenharia realizada na Universidade de São Paulo (Brasil), chamada Febrace¹⁰, inspira jovens a proporem projetos e se concentra em escolas sem infraestrutura para disciplinas avançadas de STEM (Febrace, s.d.). A South African Agency for Science and Technology Advancement (Saasta) organiza as Olimpíadas

Nacionais de Ciência, para promover o valor e o impacto da ciência e da tecnologia. A China Association for Science and Technology (CAST) administra o Programa de Talentos Científicos, que promove jovens talentosos e leva a oportunidades de ensino superior (CAST, 2007).

Jovens engenheiros como partes interessadas independentes ou em sociedades profissionais

Os jovens engenheiros que fazem parte de programas universitários formais estão bem representados nas divisões estudantis das sociedades profissionais (por exemplo, YE/ FL¹¹, ASEE SD¹²), nas quais participam de conversas diretas com as partes interessadas relevantes, o que acelera o progresso no sentido de alcançar os ODS. Iniciativas independentes lideradas por jovens (por exemplo, SPEED¹³ e BEST¹⁴) contribuem para o desenvolvimento de habilidades de liderança cívica entre os jovens, capacitando-os para impulsionar as mudanças.

Os ramos estudantis do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, 2018) se articulam de forma ativa com profissionais da área para desenvolver conhecimentos e habilidades de engenharia. A American Society for Engineering Education (ASEE), a maior sociedade de ensino do mundo na área de engenharia, criou uma divisão estudantil após reconhecer a necessidade de ter uma voz estudantil e uma liderança juvenil na organização. O YE/FL é agora um comitê técnico permanente na WFEO, que trabalha para facilitar as interações para a integração dos jovens na indústria – uma grande lacuna que foi identificada na pesquisa (WFEO, 2018). O programa YE/FL traz uma perspectiva da juventude para as práticas da indústria, os ODS e as conexões entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

A organização estudantil mundial sem fins lucrativos Student Platform for Engineering Education (Speed) é em uma rede interdisciplinar de estudantes que aspiram a realizar mudanças no ensino de engenharia, amplificando suas vozes. Desde a sua criação em 2006, a Speed adotou a justiça social, capacitando os estudantes a tomarem a iniciativa de melhorar o ensino de engenharia e se concentrarem em planos de ação concretos (Shea; Baillie, 2013). Por exemplo, o Fórum Global de Estudantes da Speed de 2017 promoveu discussões sobre água potável, energia e questões relacionadas (Speed, 2017). O Board of European Students of Technology (BEST) é uma associação não governamental para estudantes europeus de ciências e engenharia, que organiza eventos para promover uma mentalidade internacional. O comitê educacional da BEST reúne contribuições dos estudantes por meio de “eventos sobre educação” e pesquisas. Os resultados são disseminados, e novos programas são desenvolvidos, como o caminho virtual de estágio introduzido em 2014 (Christofil *et al.*, 2015).

7 A UNESCO define os jovens por idade. Para que haja consistência entre as regiões, *juventude* se refere a pessoas com idade entre 15 e 24 anos, sem prejuízo de outras definições pelos Estados-membros (UNESCO, 2017b). Essa seção inclui todos os indivíduos nesta faixa etária, incluindo aqueles que estão na escola secundária, universidade, manufatura/construção, pós-graduação ou educação técnica/profissional, novos recrutas da indústria e jovens fora da escola.

8 A For Inspiration and Recognition of Science and Technology é uma organização internacional de jovens que desafia os estudantes a construir robôs de tamanho industrial.

9 A Intel ISEF é a maior competição científica internacional pré-universitária.

10 Feira Brasileira de Ciências e Engenharia.

11 Young Engineers/Future Leaders of the WFEO.

12 American Society for Engineering Education (ASEE) Student Division (SD).

13 Student Platform for Engineering Education Development (www.worldspeed.org).

14 Board of European Students of Technology (www.best.eu.org).

Programas internacionais de desenvolvimento e engenharia humanitária

Pesquisadores educacionais mostraram que o autêntico “aprender fazendo” no desenvolvimento motiva os estudantes a perseverar, apesar da desorientação ou frustração inicial (Lombardi; Oblinger, 2007). Um exemplo bem-sucedido são as aplicações de campo de longo prazo da Engineers Without Borders – Australia (EWB-A). Ao colocar engenheiros voluntários em contextos do mundo real, o EWB-A aborda desafios complexos de engenharia, ao mesmo tempo em que desenvolve as capacidades locais. O D-Lab do Massachusetts Institute of Technology (MIT) treinou mais de 2 mil estudantes em desenvolvimento internacional, abordando simultaneamente questões de equidade ao reunir mulheres, minorias e estudantes LGBTQIA+¹⁵ em equipes transdisciplinares (MIT D-Lab, 2018; Murcott, 2015).

Engenharia para e por refugiados

Considerando o seu conhecimento único, os jovens refugiados devem ter oportunidades de aprender habilidades de engenharia. Um novo modelo para desenvolver essas capacidade entre os jovens refugiados foi desenvolvido pelo DeBoer Lab (Universidade de Purdue) em Indiana, Estados Unidos, em colaboração com parceiros locais em vários lugares. O projeto oferece créditos universitários para refugiados nos campos de Azraq (Jordânia) e Kakuma (Quênia) e utiliza *design* de engenharia para orientar os estudantes na solução de problemas centrados na comunidade. Utilizando um modelo ativo, misto, colaborativo e democrático (ABCD) (de Freitas *et al.*, 2018), os estudantes resolvem problemas locais e se tornam agentes de mudança.

“A engenharia me ensinou a lidar com diferentes necessidades sobre diversidade e a trabalhar em equipe. Sou capaz de observar necessidades, identificar problemas e encontrar soluções usando um processo de projetos de engenharia de vários estágios. Também sou capaz de comunicar minhas soluções de forma eficaz e obter *feedback*. Para mim, o fracasso não é uma parada, mas um estágio.

– Kakuma, refugiado, graduado em engenharia juvenil

Espaços criadores e programas contextualizados com base na comunidade para jovens fora da escola

Tomando como base o ano de 2019, 258 milhões de crianças e jovens estão fora da escola (UNESCO-UIS, 2019), o que representa um enorme potencial inexplorado. No entanto, mesmo a aprendizagem informal pode ajudar a transformar esses indivíduos em jovens engenheiros. Desde 2015, o DeBoer Lab trabalha com jovens que saíram das ruas no Tumaini

Innovation Center, no Quênia, para aplicar o modelo ABCD a engenheiros pré-universitários. Os estudantes aprendem habilidades básicas de engenharia e princípios de “fabricante” para resolver problemas locais; por exemplo, projetando um sistema solar fotovoltaico para alimentar salas de aula e, depois disso, servir como consultores de manutenção solar para a comunidade. O Vigyan Ashram, na Índia, é outro exemplo bem-sucedido de programa de treinamento formal que apoia jovens fora da escola por meio do uso de habilidades práticas de resolução de problemas e serve como um modelo único para a capacitação de jovens no país (Kulkarni; Ballal; Gawade, 2012).

Conclusão

No que diz respeito à engenharia, caminhos formais e informais oferecem oportunidades para que uma proporção mais ampla de jovens crie um quadro mais inclusivo de engenheiros que represente melhor a sociedade. Tornar-se líderes e criadores de empregos ajudará os jovens a impulsionar o progresso nacional, regional e global em direção aos ODS. A elite existente e o rígido sistema de educação formal em engenharia devem ser eliminados e substituídos por um conjunto mais diversificado de experiências e pela compreensão das questões socioambientais. Os jovens motivados pela justiça social e por considerações ambientais devem participar de maneira plena dessa transformação, a fim de modificar as práticas de engenharia e, por sua vez, tornar a engenharia uma ferramenta para um desenvolvimento mais inclusivo.

Recomendações

1. *Formuladores de políticas.* Envolver os jovens engenheiros diretamente na concepção de cursos, espaços de aprendizagem e empregos. Financiar programas que envolvam jovens vulneráveis e oferecer incentivos para as organizações participantes. Criar padrões e responsabilidades para a engenharia nos níveis de ensino primário e secundário. Incentivar os jovens a resolverem problemas envolvendo-se com eles em suas comunidades.
2. *Líderes da indústria.* Envolver-se com organizações estudantis para comunicar diretamente as práticas de trabalho atuais, abordando assim uma lacuna revelada na pesquisa (Stevens; Johri; O’Connor, 2014). Firmar parcerias com programas destinados a jovens engenheiros vulneráveis. Aplicar soluções tecnológicas e programáticas para ampliar o acesso a iniciativas de educação e treinamento.
3. *Educadores.* Trabalhar com os colaboradores para introduzir os jovens à engenharia no início dos currículos (ensino secundário ou antes). Criar currículos utilizando aprendizado autêntico em espaços formais e informais, incluindo vários caminhos para que os estudantes experimentem trabalhos de engenharia realistas e práticos.

15 Lésbicas, gays, bissexuais, transgêneros, queers/questionando.

Referências

- CAST – China Association for Science and Technology. Science education programs. 2007. <http://english.cast.org.cn>.
- CHRISTOFIL, N. et al. European education trends and BEST as an Open Social Learning Organisation. In: *ERIC ELECTRONIC INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY CONFERENCE*, 4, 2015. *Proceedings in EIIC*, 2015. p. 15-18.
- DE FREITAS, C.C.S. et al. Fostering engineering thinking in a democratic learning space: A class-room application pilot study in the Azraq Refugee Camp, Jordan. *Paper presented at the 2018 ASEE Annual Conference and Exposition*. 2018. Disponível em: <https://www.asee.org/public/conferences/106/papers/23720/view>.
- FEBRACE. Quem faz a Febrace? s.d. Disponível em: <https://febrace.org.br/quem-faz-a-febrace/#.W7vDp2hKiUk>.
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE student branches by region. 2018. Disponível em: www.ieee.org/membership/students/branches/student-branches-by-region.html#.
- ISEF – International Science and Engineering Fair. Think beyond. 2019. Disponível em: <https://sspcdn.blob.core.windows.net/files/Documents/SEP/ISEF/2019/Attendees/Programs/Book.pdf>.
- KULKARNI, Y.; BALLAL, S.; GAWADE, J. Technology transfer to rural population through secondary schools: the Vîgyan Ashram experience. In: *IEEE GLOBAL HUMANITARIAN TECHNOLOGY CONFERENCE*, 2012. *Proceedings...*, 2012. p. 411-416.
- LOMBARDI, B. M. M.; OBLINGER, D.- G. Authentic learning for the 21st century: an overview. *Educause Learning Initiative. Advancing Learning through IT Innovation*. 2007. Disponível em: <https://library.educause.edu/resources/2007/1/authentic-learning-for-the-21st-century-an-overview>.
- MELCHIOR, A. et al. FIRST longitudinal study: findings at 48-month follow-up (year 5 report), Apr. 2018.
- MIT D-Lab. MIT D-Lab designing for a more equitable world. 2018. Disponível em: <https://d-lab.mit.edu>.
- MURCOTT, S. D-Lab and MIT ideas global challenge: lessons in mentoring, transdisciplinarity and real world engineering for sustainable development. *7th International Conference on Engineering Education for Sustainable Development*, 2015. p. 1-8.
- PURDUE UNIVERSITY. Multidisciplinary engineering – humanitarian engineering. 2018. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/ENE/Academics/Undergrad/MDE/PlansofStudy/humanitarian-engineering>.
- SHEA, J. O.; BAILLIE, C. *Engineering education for social and environmental justice*. Australian Government Office for Learning and Teaching, 2013. Disponível em: https://tr.edu.au/resources/CG10-1519_Baillie_Report_2013.pdf.
- SPEED – Student Platform for Engineering Education Development. Global student forum. 2017. <https://worldspeed.org>.
- STEVENS, R.; JOHRI, A.; O’CONNOR, K. Professional engineering work. In: JOHRI, A.; OLDS, B. M. E. (eds). *Cambridge handbook of engineering education research*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 119-138.
- UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. 15 Clues to support the Education 2030 Agenda. Paris, 2017a. (Progress reflection on current and critical issues in the curriculum, learning and assessment., 14). Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259069>.
- UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. What do we mean by ‘youth’? Paris, 2017b. Disponível em: <https://en.unesco.org/youth>.
- UNESCO-UIS – UNESCO Institute of Statistics. 258 million children and youth are out of school. Montreal, Sep. 2019. (Fact sheet, 56).
- UNHCR – United Nations Refugee Agency. UNHCR figures at a glance. New York, 2020. Disponível em: www.unhcr.org/figures-at-a-glance.html.
- UNITED NATIONS. *World youth report: youth and the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York, 2018a.
- UNITED NATIONS. Youth and the SDGs. 2018b. Disponível em: www.un.org/sustainabledevelopment/youth.
- UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. 2019. Mortenson Center Global Engineering. www.colorado.edu/center/mortenson/about-us
- WFEO – World Federation of Engineering Organizations. Committee on Young Engineers/Future Leaders (YE/FL): overview. 2018. Disponível em: www.wfeo.org/committee-young-engineers-future-leaders.

3. INOVAÇÕES DE ENGENHARIA E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



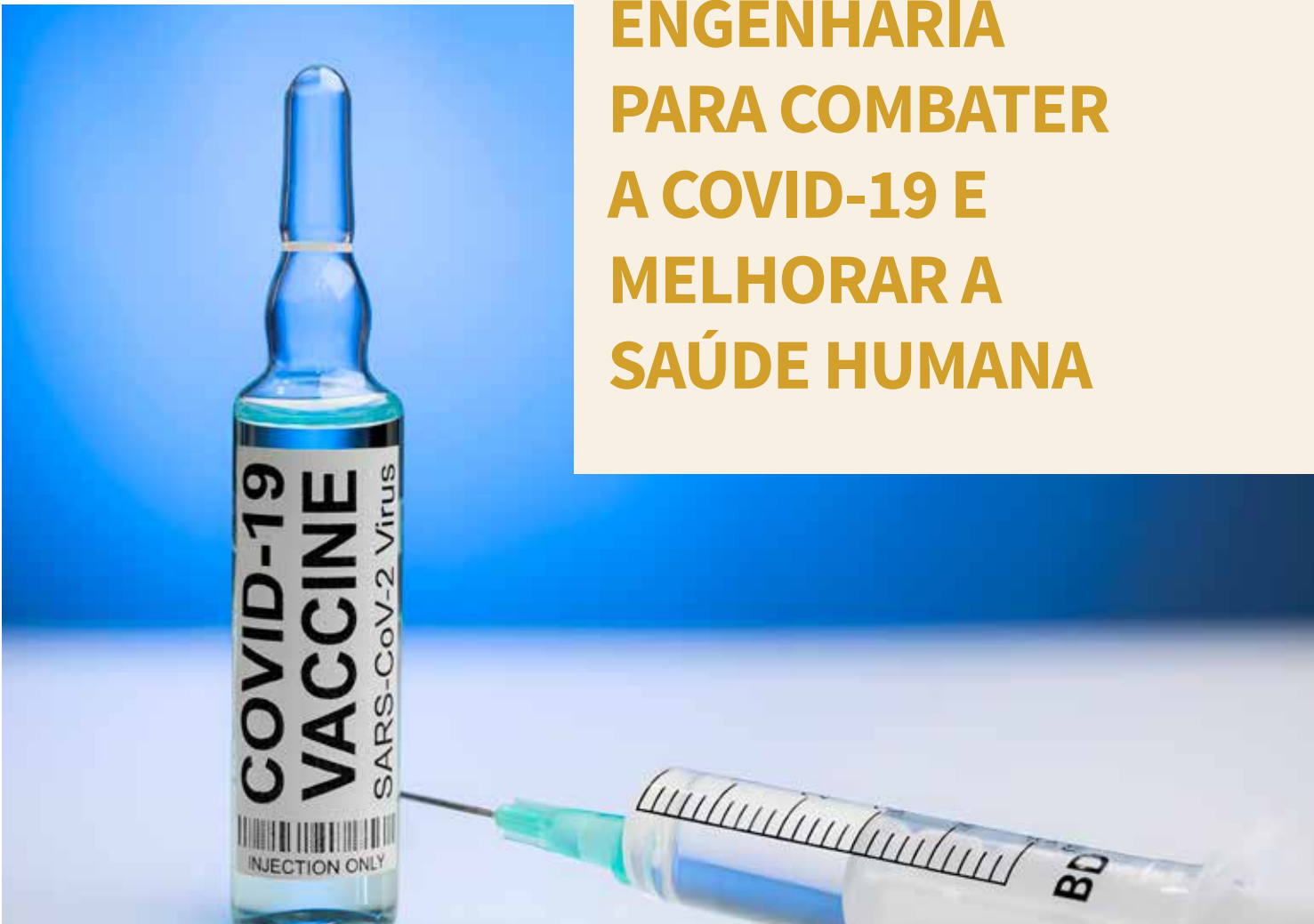
loveleyday12/Shutterstock.com



Resumo. Cada um dos ODS requer soluções fundamentadas na ciência, na tecnologia e na engenharia. Uma vez que cobrir a vasta gama de soluções de engenharia está além do escopo deste Relatório, este capítulo fornece casos pontuais de inovações de engenharia que abordam os principais desafios: a pandemia de COVID-19, água potável e saneamento, bem como questões relacionadas à engenharia hidráulica, emergência climática e desastres naturais, energia limpa e engenharia de mineração, e alavancagem de tecnologias emergentes como *big data*, IA e o conceito de “cidades inteligentes para o desenvolvimento sustentável”, que mostraram de forma concreta como a engenharia pode ajudar a promover os ODS e melhorar a qualidade da vida humana. Essas soluções de engenharia consistem não apenas em meios tecnológicos, mas também são acompanhadas por códigos éticos, normas e padrões que visam a garantir que as práticas de engenharia sejam conduzidas de forma responsável. Também é digno de nota que, por meio de seu programa de engenharia e seus centros relevantes de categoria 1 e 2, a UNESCO desempenha um papel particularmente vital na promoção de inovações na área de engenharia para os ODS. A UNESCO trabalhou de forma contínua ao lado de sociedades de engenharia e apoiou soluções desta área para implementar os ODS, com ênfase na capacitação da engenharia em países em desenvolvimento, especialmente nos seguintes campos: gestão de desastres e riscos climáticos, desenvolvimento de engenharia de água e IA responsável e aplicação de *big data*, entre outros. Embora tenham ocorridos avanços significativos em termos de inovações, ainda existem lacunas entre a capacidade de engenharia atual e o que é necessário para se alcançar os ODS, de modo a não deixar ninguém para trás. Aqui, propõe-se um conjunto de recomendações para preencher tais lacunas. Essas ações exigem os esforços combinados de governos, instituições acadêmicas e educacionais, indústrias e sociedades de engenharia.

Shankar Krishnan¹ e Ratko Magjarević²

3.1 INOVAÇÕES DE ENGENHARIA PARA COMBATER A COVID-19 E MELHORAR A SAÚDE HUMANA



Alexander_LUX/Shutterstock.com

- 1 Presidente da International Federation for Medical and Biological Engineering (IFMBE).
- 2 Presidente eleito da IFMBE; Universidade de Zagreb, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Zagreb, Croácia.

Introdução

Em 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS, ou WHO em inglês) declarou uma Emergência de Saúde Pública de Preocupação Internacional (PHEIC), como resultado de um surto do novo coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV-2), que foi reconhecida como uma pandemia em 11 de março de 2020 (WHO, 2020a). Como resultado da pandemia, a carga de trabalho das equipes de saúde de todo o mundo aumentou drasticamente, à medida que passaram a enfrentar desafios sem precedentes ao lidar com o rápido aumento do número de pessoas infectadas com o coronavírus (causador da doença COVID-19) que necessitam de assistência urgente em várias áreas. Assim, engenheiros biomédicos da indústria, de universidades e centros de pesquisa colaboraram com especialistas multidisciplinares para desenvolver e fornecer soluções inovadoras e rápidas para testes, diagnóstico, tratamento, isolamento e rastreamento de contatos adequados para mitigar a propagação da COVID-19.

Objetivo

O objetivo desta seção consiste em revisar as abordagens de engenharia para combater a COVID-19 e melhorar os cuidados de saúde humana. Algumas tecnologias-chave foram implementadas para fornecer atendimento eficaz aos pacientes com COVID-19 e combater a pandemia, as quais incluem dispositivos médicos terapêuticos e de diagnóstico, tecnologias de informação e comunicação (TIC), internet das coisas médicas (*Internet of Medical Things* – IoMT), IA, robótica e manufatura aditiva. Esses esforços aceleraram a capacidade de detectar infecções virais com rapidez e precisão, assim como tornaram acessíveis vários dispositivos complexos de suporte à vida, como respiradores, instrumentos de imagem e monitoramento, além de isolamento eficiente, rastreamento de contatos e análise de *big data*, que é necessária para se oferecer assistência efetiva no ecossistema de saúde. A telemedicina e a robótica também foram utilizadas, juntamente com a IA, para prever os possíveis casos positivos e prováveis casos fatais. O crescente número de pacientes acelerou a produção de dispositivos de diagnóstico e terapêuticos, bem como equipamentos de proteção individual (EPIs), o que levou a novos processos de produção. Atualmente, muitos engenheiros biomédicos têm como foco a mitigação da pandemia; no entanto, o objetivo geral consiste em melhorar os cuidados de saúde e alcançar os ODS, implementando avanços tecnológicos para ajudar no rápido diagnóstico, no tratamento e na reabilitação dos pacientes, ao mesmo tempo em que alcançam maior precisão a um custo menor para o bem-estar de todos.

Dispositivos diagnósticos e terapêuticos

A OMS priorizou os dispositivos médicos necessários para o gerenciamento clínico da COVID-19 e forneceu diretrizes provisórias para seu uso, bem como especificações técnicas e de desempenho (WHO, 2020b). A lista inclui oxigenoterapia, oxímetros de pulso, monitores de pacientes, termômetros, bombas de infusão e sucção, *scanners* de raios X, ultrassom e tomografia computadorizada, EPIs (WHO, 2020c), além de normas, acessórios e consumíveis relacionados.

Diferentes métodos de testagem da COVID-19 foram analisados de maneira cuidadosa na esperança de se encontrar a técnica mais eficaz para detectar o vírus. Existem agora quatro testes de diagnóstico disponíveis (testes rápidos *point-of-care*, testes combinados, testes de saliva e testes de coleta domiciliar), que oferecem aos indivíduos opções alternativas dependendo das diferentes circunstâncias e cenários (FDA³). O padrão-ouro para detectar a infecção por SARS-CoV-2 depende principalmente da reação em cadeia da polimerase de transcrição reversa (RT-PCR), que tem alta sensibilidade e especificidade na detecção de ácido ribonucleico viral (RNA). No entanto, devido à sua complexidade, isso resultou em um aumento no tempo de resposta. Consequentemente, testes rápidos de antígeno foram desenvolvidos como exames laboratoriais e de ponto de atendimento, oferecendo resultados em 30 minutos e a baixo custo.

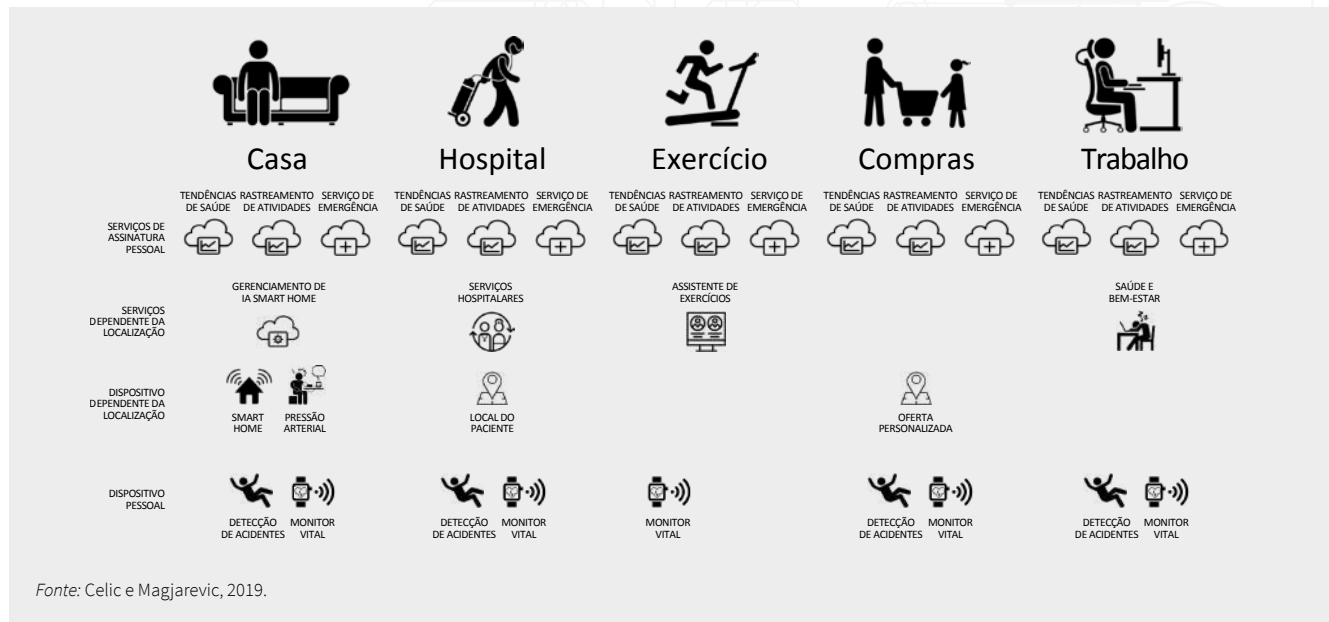
Pacientes críticos com insuficiência respiratória precisam de suporte respiratório na forma de respiradores mecânicos (Andellini, 2020) e da configuração de respiração mais adequada para a respiração personalizada (USPHSCC, 2020). O uso da impressão 3D possibilitou soluções, ao responder a solicitações que vão desde peças de reposição até dispositivos médicos e EPIs (Choong *et al.*, 2020). Pacientes com problemas respiratórios graves internados em hospitais necessitam de respiradores. No entanto, dado o baixo número de aparelhos disponíveis, foi iniciada uma nova colaboração entre a Ford, a General Electric (GE) e a Airon (Ford, 2020).

Tecnologias da informação e comunicação

A pandemia da COVID-19 impulsionou a aplicação das tecnologias digitais na sociedade. Em muitos países, o sistema de saúde respondeu à pandemia com a adoção de ferramentas avançadas de tecnologia digital (Golinelli, 2020). A telemedicina é reconhecida como um serviço de TIC eficiente e prático para coletar, armazenar, recuperar e trocar informações médicas sem contato direto entre o profissional e o paciente (Bokolo, 2020). O uso da tecnologia de telemedicina para

3 Leia mais sobre o teste básico da COVID-19 pela US Food & Drug Administration, em: <https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/coronavirus-disease-2019-testing-basics>

Figura 1. Serviços em todas as atividades diárias dos usuários. As aplicações de IoMT abrangem a aquisição de informações fisiológicas, de saúde, comportamentais e outras com valioso potencial para determinar o estado de saúde de uma pessoa.



Fonte: Celic e Magjarevic, 2019.

o tratamento virtual e teleconsultas cresceu muito desde o início de 2020 (Brodwin; Ross, 2020; Ohannessian, 2020).

Logo após a ocorrência do surto inicial em Wuhan, na China, em dezembro de 2019, os pacientes foram aconselhados a procurar ajuda médica *online* e não pessoalmente, para evitar contato direto (Webster, 2020). Um estudo recente sobre tecnologias móveis e sem fio para a saúde (mHealth) confirmou a viabilidade da mHealth para monitorar pacientes com COVID-19 e prever a escalada de sintomas para intervenções antecipadas (Adans-Dester, 2020). Aplicativos interativos incorporados em *smartphones* ou dispositivos semelhantes com monitores interativos de alta qualidade, câmeras de alta resolução e áudio facilitaram o contato e a comunicação bidirecional com os médicos, bem como a obtenção de informações e orientações de saúde de diversos serviços *online*. A ampla conectividade *online*, bem como a rápida adoção da telemedicina, têm o potencial de permitir um melhor alinhamento com a prestação de cuidados de saúde personalizados no futuro (Kannampallil, 2020). No entanto, embora os processos de triagem de COVID-19 estivessem disponíveis em plataformas *online* logo após o surto inicial da doença, muitos indivíduos não conseguiram acessar o sistema *online* devido à exclusão digital (Ramsetty; Adams, 2020). Para fins de compreensão sobre a disseminação de pandemias, o rastreamento da localização de indivíduos anônimos por meio de indicadores de mobilidade pode derivar de dados agregados de posicionamento móvel (Sonkin *et al.*, 2020). Os serviços de internet também fornecem apoio indireto no combate ao coronavírus, estabelecendo a conscientização sobre pandemias, bem como fornecendo clareza sobre decisões e políticas governamentais importantes que afetam o público.

Internet das coisas médicas

A infraestrutura conectada de dispositivos médicos, sistemas de saúde e serviços é conhecida como *internet das coisas médicas* (IoMT). Ela conecta dispositivos e aplicativos médicos a uma rede na qual “coisas” se comunicam de forma independente entre si (Figura 1). A conectividade garante a coleta remota de informações fisiológicas, de saúde (Aydemir, 2020), comportamentais e outras com valioso potencial para determinar o estado de saúde, o diagnóstico ou o tratamento de pessoas em locais remotos (Venkatesan *et al.*, 2020). O benefício da IoMT é que a comunicação é automatizada, máquina a máquina, e ocorre em tempo real. As informações fornecidas por dispositivos vestíveis (*wearables*), eletrodomésticos e veículos são integradas em conjuntos de dados multiparamétricos (ou seja, *big data*). Com base nas informações obtidas, os sintomas mais comuns podem ser detectados no início, permitindo o diagnóstico rápido de casos nos estágios iniciais da doença, bem como o autoisolamento do paciente para evitar uma maior disseminação. No entanto, a interconectividade de dispositivos por meio de redes celulares, domésticas e *wi-fi* aumenta a vulnerabilidade potencial da privacidade, por *hackers* ou pelo acesso a dados médicos pessoais.

Aplicações de IA

A aplicação da IA na biomedicina pode aumentar a precisão e a segurança em vários campos biomédicos, como triagem de saúde, diagnóstico e tratamento de doenças, treinamento e avaliação de reabilitação, serviços e gerenciamento médicos, triagem e avaliação de medicamentos, bem como o sequenciamento e a caracterização de genes. Essas aplicações são conduzidas por dados médicos, incluindo imagens, atlas, registros e outras fontes de informações médicas, que podem ser rapidamente processadas pela IA. Os processos

médicos, incluindo o gerenciamento inteligente da gênese da doença, o diagnóstico preciso, o tratamento seguro e a avaliação científica, podem melhorar de forma significativa a eficiência operacional dos médicos. Dessa forma, pode aliviar a escassez de profissionais, melhorar a precisão do diagnóstico e do tratamento e otimizar a alocação de recursos médicos de alta qualidade, o monitoramento e o alerta de saúde em tempo real e o rápido desenvolvimento de IoT médica, *wearables* e dispositivos, todos os quais podem se beneficiar do uso da IA. No geral, as aplicações de IA podem ajudar na inovação das tecnologias médicas e permitir que os cuidados de saúde progridam para uma nova fase de análise quantitativa (CAE, 2019).

Com a implementação prudente de IA, podem ser alcançadas uma eficiência aprimorada e uma maior qualidade de atendimento, aproveitando uma combinação de modelos preditivos, análise de decisões e esforços de otimização para apoiar decisões e programas na área da saúde. Os métodos de IA são promissores para vários papéis nos cuidados de saúde, incluindo o gerenciamento de doenças agudas e de longo prazo, com a inferência e o alerta de riscos ocultos de potenciais resultados adversos, a orientação seletiva da atenção, cuidados médicos e programas de intervenção, reduzindo assim erros em hospitais e promovendo cuidados preventivos e de saúde.⁴

Caixa 1. Aplicações de IA no combate à COVID-19

Desde o início da pandemia, a IA tem contribuído para o combate à COVID-19 em termos de alertas e alertas precoces, rastreamento e previsão, painéis de dados, diagnóstico e prognóstico, tratamentos e curas, controle social e desenvolvimento de vacinas.

Por exemplo, um desafio urgente relacionado à COVID-19 consistiu em romper a barreira do tempo de diagnóstico e ajudar os médicos a tomar decisões rápidas e corretas no uso das ferramentas técnicas apropriadas. Tendo aprendido com muitas imagens de tomografia computadorizada (TC) cuidadosamente anotadas, pesquisadores e engenheiros construíram um sistema de imagem por TC auxiliado por IA que é capaz de rastrear em minutos casos questionáveis de COVID-19, com grande redução do tempo de diagnóstico e aumento da precisão. Sistemas de IA têm sido utilizados em hospitais de diferentes países, como China, Japão e Itália, e fornecem uma verificação complementar útil para lidar com possíveis casos de testes de RT-PCR falso-negativos.

Vale ressaltar que a Coreia do Sul conseguiu conter a COVID-19 sem fechar sua economia, utilizando o suporte inteligente da IA nas seguintes etapas (ITU, 2020):

- desenvolvimento do *kit* de teste de fixação de IA;
- sistema inteligente de informação de quarentena;
- dados técnicos do telefone celular para rastreamento de contatos;
- melhor diagnóstico e classificação do paciente por IA;
- aplicativos móveis para o compartilhamento de informações; e
- centro urbano inteligente para rastrear as rotas dos pacientes.

Robótica

A pandemia da COVID-19 aumentou o interesse na aplicação da robótica como uma tecnologia eficaz para combater a doença.

Robôs têm sido considerados para desinfecção, produção de medicamentos e entrega de alimentos, monitorando pacientes a uma distância segura, esterilização e limpeza, todos processos que reduzem o contato humano e o risco de infecção das equipes. Além disso, os robôs que substituem os seres humanos podem trabalhar 24 horas por dia, sete dias por semana, sem se infectarem ou se cansarem e, portanto, são úteis no combate à escassez geral de pessoal médico e de apoio. Os robôs também são usados como uma camada protetora para separar fisicamente os profissionais de saúde e os pacientes, bem como para reduzir a contaminação por patógenos nas cirurgias (Zemmar *et al.*, 2020).

Saúde digital

A saúde digital (*digital health* – DH) tem aplicações crescentes no combate à COVID-19. A DH conecta e capacita as pessoas para gerenciar sua saúde e seu bem-estar, ampliada por provedores acessíveis e de suporte que trabalham em ambientes de atendimento integrados, interoperáveis e habilitados digitalmente, que promovem a alavancagem estratégica de ferramentas, tecnologias e serviços digitais para transformar a prestação de serviços de saúde (Snowdon, 2020). Os principais e medicina personalizada – com *softwares*, sensores inteligentes, conectividade, IoT, IA, aprendizado de máquina e plataformas de computação eficientes. Tudo isso tem como resultados maior eficiência, melhor coleta de dados, acesso oportuno a cuidados eficazes e comunicação de dados em diversos segmentos da população, garantindo assim equidade, custos reduzidos e medicação personalizada para os pacientes (FDA, 2020). A DH provou ter muitos benefícios para pacientes, médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, clínicas, hospitais, profissionais de saúde e agências governamentais.

Isolamento

Etapas essenciais envolvidas no combate à COVID-19 incluem testes, isolamento, tratamento e rastreamento de contatos. O isolamento de pacientes infectados é essencial para garantir a máxima segurança. Devem ser seguidas etapas importantes, como distanciamento físico, uso de EPIs aprovados e um período de quarentena de 14 dias. Projetos inovadores de câmaras de isolamento e invólucros foram testados, e soluções práticas foram implementadas. Os EPIs para cuidadores de pacientes infectados pela COVID-19 incluem máscaras faciais, filtros respiratórios N-95 aprovados pela National Institute for Occupational Safety and Health (Niosh) dos EUA, protetores faciais, protetores oculares, luvas e aventais médicos descartáveis. Na fase inicial da crise pandêmica, o fornecimento de EPIs não foi capaz de atender às demandas em rápido crescimento. Consequentemente, órgãos governamentais em parceria com empresas desenvolveram processos de fabricação acelerada que forneceram impressão 3D inovadora para unidades de COVID, hospitais

⁴ A correspondência privada com Gong Ke está incluída nesta seção sobre IA.

e centros de atendimento de longo prazo. Abordagens engenhosas de *design* de produtos forneceram os EPIs e as instalações de isolamento necessárias para combater o vírus. Com a colaboração de engenheiros e especialistas de áreas multidisciplinares, vários “hospitais temporários” foram projetados, construídos e colocados em funcionamento para o tratamento de pacientes com COVID-19.

Rastreamento de contatos

O rastreamento de contatos é essencial para combater a propagação da COVID-19. O processo visa identificar, monitorar e apoiar os indivíduos que podem ter sido expostos a uma pessoa com COVID-19. Em um dos métodos de rastreamento de contatos, a pessoa A sai trazendo um telefone habilitado com Bluetooth, com uma chave digital capaz de se comunicar com outros telefones. A pessoa A entra em contato com as pessoas B, C e D, e todos os seus telefones trocam códigos-chave. Quando a pessoa A descobre que foi infectada, seu *status* é atualizado no aplicativo e enviado para o banco de dados por meio da nuvem. Enquanto isso, os telefones de B, C e D verificam de forma periódica o banco de dados da nuvem para analisar o *status* dos contatos de seus usuários. Quando B, C e D são alertadas de que A está infectada, elas devem fazer um teste de COVID-19 (Hsu, 2020). Esse conceito foi

implementado com sucesso pelos projetos TraceTogether em Singapura e HOIA na Estônia (Petrone, 2020). Se o sujeito for testado logo após a exposição à COVID-19, mesmo os testes de PCR altamente sensíveis podem ter resultado negativo. O início dos sintomas ocorre em média cinco dias após a exposição, e o sujeito atinge o pico de infecciosidade dois dias antes e um dia após o início dos sintomas (Redford, 2020).

A Coreia do Sul construiu um sistema centralizado que analisa os movimentos dos pacientes, identifica as pessoas que estiveram em contato com eles e utiliza aplicativos para monitorar as pessoas em quarentena. Os rastreadores de contato tinham acesso a várias fontes de informação, incluindo imagens de câmeras de segurança, estações de base móvel e dados de transações de cartão de crédito. Os surtos de COVID-19 foram contidos com sucesso, sem fechar as fronteiras nacionais ou implementar *lockdowns* locais (Hsu, 2020).

As etapas envolvidas no fluxo de trabalho de um modelo de rastreamento de contatos parcialmente automatizado incluem: notificação rápida de exposição, entrevistas de contato, instruções de quarentena/isolamento, instruções de teste de quarentena/isolamento, avaliação das necessidades de suporte de autoquarentena, monitoramento médico e instruções de monitoramento e isolamento (Figura 2).

Figura. 2. Fluxo de trabalho de rastreamento de contatos



Reconfiguração de instalações e aprendizagem remota

Abordagens de engenharia e novas configurações foram projetadas e implementadas em hospitais, escolas e faculdades. Redistribuir a colocação de estudantes e professores em laboratórios e salas de aula foi um exercício difícil. Um esquema semelhante de dispersão era necessário em escritórios e locais públicos, como bibliotecas, restaurantes, academias e centros religiosos. A aplicação diligente de tecnologias de videoconferência, como o Zoom, forneceu um suporte essencial a todos em escolas, faculdades e universidades, levando ao uso em larga escala do aprendizado remoto. Sem ambientes virtuais e híbridos de aprendizagem, os estudantes de todas as idades, bem como seus educadores e diretores, não poderiam desempenhar suas funções. Os avanços nas áreas de engenharia e tecnologia contribuíram significativamente para manter a “vida” o mais próximo possível de um “novo normal” aceitável.

Aplicações de múltiplas tecnologias emergentes

Tecnologias emergentes, como redes 5G, IoMT, telessaúde, saúde móvel, nanotecnologias, manufatura aditiva, eletrônica flexível, sensores portáteis, computação em nuvem, IA, aprendizado de máquina, análise preditiva, segurança cibernética e medicina de precisão estão sendo aplicadas para atender às necessidades de combate à COVID-19, bem como para melhorar os cuidados de saúde para todos. As tecnologias de logística utilizadas pela Amazon, pela FedEx e pela UPS, entre outras empresas, facilitaram muito o transporte eficiente de suprimentos, incluindo EPIs, respiradores, medicamentos e suprimentos essenciais para os locais onde estavam os usuários, desempenhando um papel muito útil no combate à COVID-19. No cenário clínico, os engenheiros biomédicos desenvolveram um sistema eficiente de gerenciamento de leitos para reduzir o tempo de espera, por meio de procedimentos acelerados de alta e admissões de pacientes, o que encurtou o tempo de permanência, melhorou a eficiência e reduziu os custos. A análise dos dados dos pacientes com COVID-19 sugere um impacto desproporcional nos grupos de menor renda e na população mais velha, especialmente com questões de saúde pré-existentes e vivendo em lares de idosos. Usando recursos do governo e do setor privado, a Operation Warp Speed (OWS)⁵ foi usada para acelerar o teste, o fornecimento, o desenvolvimento e a distribuição de vacinas, tratamentos e diagnósticos seguros e eficazes para combater a COVID-19.

Engenharia biomédica para alcançar o ODS 3

O ODS 3 visa “garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos em todas as idades”. A engenharia biomédica fornece ferramentas, técnicas, dispositivos e sistemas para auxiliar no diagnóstico, no tratamento e na cura de doenças, bem como para devolver a saúde às pessoas. Os esforços dedicados de engenheiros biomédicos, em colaboração com outros engenheiros e cientistas, contribuíram para acabar com as epidemias de Aids, tuberculose, malária, e também para combater a hepatite e outras doenças transmissíveis, além de reduzir os níveis mundiais de mortalidade materna e a mortalidade prematura por doenças não transmissíveis.⁶

Dispositivos médicos vestíveis (*wearables*) podem ser usados para rastrear a correlação do comportamento dos pacientes com os resultados. Os engenheiros também podem ajudar o sistema de saúde, promovendo a prevenção desta e de outras doenças. Os esforços combinados de especialistas em engenharia que trabalham de forma coerente com um amplo espectro de pesquisadores das ciências da vida, medicina, negócios e agências reguladoras, contribuíram para ações produtivas a fim de tratar e prevenir doenças. Prevê-se que os engenheiros e as tecnologias desempenharão um papel significativo para manter as pessoas saudáveis e promover o bem-estar de todos em todas as idades.

Desafios

Como resultado dos surtos no total diário de casos confirmados, hospitalizações e mortes pelo vírus, hospitais e sistemas de saúde têm sofrido estragos financeiros, o que impacta negativamente suas operações. O cancelamento de cirurgias eletivas e o fechamento de serviços não essenciais causou impactos duradouros, desencadeando uma necessidade vital de financiamento federal nos Estados Unidos. Embora os resultados dos testes clínicos demonstrem a segurança e a eficácia de várias vacinas, a fabricação, a distribuição, a priorização e a vacinação em larga escala representam desafios globais, principalmente em vista da necessidade de se cumprir as estipulações de várias formas de governança da saúde pública em diferentes nações. Os casos graves de COVID-19 levaram a uma escassez crítica e a uma necessidade crescente de leitos de unidade de terapia intensiva (UTI) e suporte respiratório invasivo e não invasivo em UTIs.

Alguns dos principais desafios encontrados na saúde digital são: alfabetização digital, *softwares* robustos, treinamento, interoperabilidade, desigualdade de recursos, financiamento e mão de obra qualificada (Taylor, 2019). A mudança para o trabalho remoto e solitário sem interações sociais, ocorrido

⁵ Leia mais sobre a Operation Warp Speed, do Departamento de Defesa dos EUA, em: <https://www.defense.gov/Explore/Spotlight/Coronavirus/Operation-Warp-Speed>
⁶ Leia mais sobre o ODS 3: <https://sdgs.un.org/goals/goal3>

durante a pandemia, provavelmente causará uma deterioração na saúde mental das pessoas. Além disso, a oferta de cursos virtuais pode apresentar problemas de aprendizagem e ensino. Há casos de problemas de saúde mental resultantes do estresse desencadeado pelo aprendizado remoto, e o impacto de longo prazo dos resultados de aprendizagem ainda não foi determinado.

Algumas barreiras essenciais ao cumprimento das diretrizes regulatórias estão relacionadas a questões práticas, ao egoísmo e a uma mudança de responsabilidades. Embora as tecnologias emergentes sejam adaptadas a usos de saúde mais amplos, sua implementação em escala requer uma colaboração eficiente entre a engenharia e a saúde mundial, juntamente com a cooperação da comunidade global, com recursos diversos e desiguais (Clifford; Zaman, 2016). A análise oportuna e o compartilhamento de informações preciosas, coletadas com o uso de tecnologias inteligentes e plataformas de *software*, são essenciais para as lideranças mitigarem e controlarem a disseminação da COVID-19, bem como para tratar pacientes e planejar o bem-estar do público em âmbito regional e nacional.

Conclusão

Engenheiros de várias disciplinas colaboraram com cientistas, médicos, profissionais de saúde, matemáticos e outros especialistas para conceber, desenvolver e implementar estratégias e abordagens de solução para combater os problemas multidimensionais e sem precedentes associados à COVID-19. Foram realizados alguns sucessos, e os esforços contínuos e inovadores continuarão com fortes compromissos para mitigar os impactos desastrosos da pandemia. Pesquisadores de faculdades, universidades, indústrias e centros governamentais continuam a colaborar com equipes multidisciplinares, formando parcerias público-privadas para utilizar as tecnologias emergentes a fim de desenvolver soluções inteligentes para melhorar a qualidade da vida humana e alcançar boa saúde e bem-estar para todas as pessoas, em todas as idades.

Recomendações

Recomendações com base na engenharia para melhorar os cuidados de saúde incluem o seguinte:

1. Esforços coesos e combinados realizados em vários níveis e esferas do ecossistema de saúde para melhorar a saúde de todos.
2. A adoção e a implementação de avanços tecnológicos para ajudar na detecção, no diagnóstico, no tratamento, na análise de dados e na reabilitação de pacientes infectados com COVID-19 e pessoas que sofrem de outras doenças.
3. Novas técnicas para a realização de inúmeros processos da área de saúde de forma mais rápida, com maior precisão e menor custo, precisarão ser desenvolvidas e disponibilizadas para todos.
4. De modo semelhante às abordagens inovadoras aplicadas para combater a pandemia, processos muito rápidos devem ser utilizados na concepção, no desenvolvimento, na fabricação e na implementação para se preparar para os desafios futuros.
5. Os membros multinacionais da International Federation for Medical and Biological Engineering (IFMBE)⁷ em toda a área acadêmica, indústrias biomédicas e sistemas de saúde, bem como organizações regulatórias, governamentais e não governamentais, devem continuar realizando suas contribuições para a criação de soluções eficazes para combater os problemas complexos causados pela pandemia, além de colaborar para a manutenção de uma boa saúde e bem-estar para todos.

⁷ Site oficial da International Federation for Medical and Biological Engineering: <https://ifmbe.org/>

Referências

- ADANS-DESTER, C. P. *et al.* Can mHealth technology help mitigate the effects of the COVID-19 pandemic? *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, v. 1, p. 243-248, 2020.
- ANDELLINI, M. *et al.* Clinical needs and technical requirements for ventilators for COVID-19 treatment critical patients: an evidence-based comparison for adult and pediatric age. *Health and Technology*, v. 10, p. 1403-1411, 2020.
- AYDEMIR, F. Can IoMT help to prevent the spreading of new coronavirus? *IEEE Consumer Electronics Magazine*, v. 10, n. 2, 2020.
- BOKOLO, A. Jnr; NWEKE, L. O.; AL-SHARAFI, M. A. Applying software-defined networking to support telemedicine health consultation during and post Covid-19 era. *Health and Technology*, p. 1-9, Nov. 2020.
- BRODWIN, E.; ROSS, C. Surge in patients overwhelms telehealth services amid coronavirus pandemic. *STAT News*, 17 Mar. 2020. Disponível em: <https://www.statnews.com/2020/03/17/telehealth-services-overwhelmed-amid-coronavirus-pandemic>.
- CAE – Chinese Academy of Engineering. *Engineering fronts 2019*. Center for Strategic Studies, 2019. Disponível em: <http://devp-service.oss-cn-beijing.aliyuncs.com/f0f94d402c8e4435a17e109e5fbbafe2.pdf>
- CDC – Centers for Disease Control and Prevention. *Contact tracing for COVID-19*. 2020. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/php/contact-tracing/contact-tracing-plan/contact-tracing.html>.
- CELIC, L.; MAGJAREVIC, R. Seamless connectivity architecture and methods for IoT and wearable devices, *Automatika*, v. 61, n. 1, p. 21-34, 2020.
- CHOONG, Y. Y. C. *et al.* The global rise of 3D printing during the COVID-19 pandemic. *Nature Review Materials*, v. 5, p. 637-639, 2020.
- CLIFFORD, K. L.; ZAMAN, M. H. Engineering, global health, and inclusive innovation: focus on partnership, system strengthening, and local impact for SDGs. *Global Health Action*, v. 9, n. 1, 2016.
- ECDC – European Centre for Disease Prevention and Control. *Options for the use of rapid antigen tests for COVID-19 in the EU/EEA and the UK*. London, 19 Nov. 2020. Disponível em: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Options-use-of-rapid-antigen-tests-for-COVID-19.pdf>.
- FDA – U.S. Food & Drug Administration. *What is Digital Health?* Washington, DC, 22 Sep. 2020. Disponível em: <https://www.fda.gov/medical-devices/digital-healthcenter-excellence/what-digital-health>.
- FORD. Ford to produce 50,000 ventilators in Michigan in next 100 days; partnering with GE Healthcare will help coronavirus patients. *Ford*, 30 Mar. 2020. Disponível em: <https://corporate.ford.com/articles/products/ford-producing-ventilators-for-coronavirus-patients.html>.
- GOLINELLI, D. *et al.* Adoption of digital technologies in health care during the COVID-19 pandemic: Systematic review of early scientific literature. *J. Med. Internet Res.* v. 22, n. 11, 2020.
- HSU, J. Contract tracing apps struggle to be both effective and private. *IEEE Spectrum*, 24 Sep. 2020. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/biomedical/devices/contact-tracing-apps-struggle-to-be-both-effective-and-private>.
- KANNAMPALLIL, T.; MA, J. Digital translucence: Adapting telemedicine delivery post-COVID-19. *Telemedicine and e-Health*, v. 26, n. 9, p. 1120-112, 2020.
- OHANNESSIAN, R.; DUONG, T. A.; ODONE, A. Global telemedicine implementation and integration within health systems to fight the COVID-19 pandemic: a call to action. *JMIR Public Health Surveillance*, v. 6, n. 2, e18810, 2020.
- PETRONE, J. Estonia's coronavirus app HOIA – the product of a unique, private-public partnership. *e-Estonia*, Sep. 2020. Disponível em: <https://e-estonia.com/estonias-coronavirus-app-hoia-the-product-of-a-unique-private-public-partnership/>.
- RAMSETTY, A.; ADAMS, C. Impact of the digital divide in the age of COVID-19. *J Am Med Inform Assoc.* v. 27, n. 7, p. 1147-1148, 2020.
- REDFORD, G. Your COVID-19 testing questions – answered. *AAMC*, 5 Oct. 2020. Disponível em: <https://www.aamc.org/news-insights/your-covid-19-testing-questions-answered>
- SNOWDON, A. *HIMSS defines digital health for the global healthcare industry*. 2020. Disponível em: <https://www.himss.org/news/himss-defines-digital-health-global-healthcare-industry>.
- SONKIN, R.; ALPERT, E. A.; JAFFE, E. Epidemic investigations within an arm's reach: role of google maps during an epidemic outbreak. *Health and Technology*, v. 10, p. 1397-1402, 2020.
- TAYLOR, K. Shaping the future of UK healthcare: closing the digital gap. *Deloitte*, 1 Nov. 2019. Disponível em: <https://blogs.deloitte.co.uk/health/2019/11/shaping-the-future-of-uk-healthcare-closing-the-digital-gap.html>.
- USPHSCC – U.S. Public Health Service Commissioned Corps. *Optimizing ventilator use during the COVID-19 pandemic*. Washington, DC, 2020. Disponível em: <https://www.hhs.gov/sites/default/files/optimizing-ventilator-use-during-covid19-pandemic.pdf>
- VENKATESAN, A. *et al.* Digital cognitive behaviour therapy intervention for depression and anxiety: retrospective study. *JMIR Mental Health*, v. 7, n. 8, e21304, 2020.
- WEBSTER, P. Virtual health care in the era of COVID-19. *The Lancet Digital Health*, v. 395, n. 10231, p. 1180-1181, 2020.
- WHO – World Health Organization. *Statement on the second meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the outbreak of the novel coronavirus (2019-nCoV)*. Zurich, 30 Jan. 2020a. Disponível em: [https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov)).
- WHO – World Health Organization. *Priority medical devices list for the COVID-19 response and associated technical specifications*. Zurich, 2020b. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-MedDev-TS-O2T.V2>.
- WHO – World Health Organization. *Technical specifications of personal protective equipment for COVID-19*. Zurich, 13 Nov. 2020c. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-PPE_specifications-2020.1
- ZEMMAR, A.; LOZANO, A. M.; NELSON, B. J. The rise of robots in surgical environments during COVID-19. *Nature Machine Intelligence*, v. 2, p. 566-572, 2020.



José Vieira⁸

3.2

ENGENHARIA HÍDRICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



© Bridges to Prosperity

Passarela suspensa no Haiti

⁸ Presidente eleito da WFEO.

Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

Os ODS das Nações Unidas são apoiados por avanços científicos e tecnológicos na implementação de políticas e ações tendo em vista a paz e a prosperidade, as pessoas em geral e a sobrevivência de todas as formas de vida na Terra.

A água, como pré-requisito para a vida, assume uma importância especial para o desenvolvimento sustentável. Os problemas hídricos globais, incluindo secas e inundações, a poluição causada por eventos naturais e antropogênicos – como chuvas extremas, aumento do nível do mar e dos rios, incêndios florestais e efluentes domésticos e industriais não tratados – são os principais desafios globais que exigem uma gestão adequada e eficiente, para atender à crescente demanda por água potável.

As mudanças hidrológicas induzidas pela mudança climática apresentarão desafios para a gestão sustentável dos recursos hídricos, que em muitas regiões do mundo já estão sob forte pressão, agravando a situação de regiões que já sofrem de estresse hídrico, ao mesmo tempo em que produzem esse tipo de estresse em regiões em que os recursos ainda são abundantes atualmente.

O ODS 6, sobre água potável e saneamento, inclui a “meta da água”, que visa fornecer acesso universal à água potável e ao saneamento até 2030. De acordo com as estatísticas de 2017 das Nações Unidas, e apesar do progresso realizado, estima-se que 2,2 bilhões e 4,2 bilhões de pessoas ainda carecem de água potável gerida com segurança e saneamento decente, respectivamente. Nos últimos anos, uma nova abordagem – conhecida pela sigla WASH (em inglês: água, saneamento e higiene) – inclui a lavagem das mãos como elemento principal das boas práticas de higiene, o que tem demonstrado ser um

método eficaz para prevenir a propagação da COVID-19. No entanto, estima-se que 3 bilhões de pessoas ainda não têm instalações básicas de lavagem das mãos em casa, o que pode ter consequências negativas para a prevenção da COVID-19.

Em um grande número de países em desenvolvimento e nas taxas atuais de progresso, o acesso universal a serviços de WASH não será alcançado por muito tempo. Esses países também experimentam um processo de urbanização rápido e muitas vezes não planejado, o que coloca pressão sobre os serviços de abastecimento de água potável e saneamento. Como o acesso à água potável limpa e ao saneamento decente é reconhecido pelas Nações Unidas como um direito humano básico, há pressão sobre as autoridades locais e nacionais para que cumpram seus compromissos políticos e sociais a esse respeito. A engenharia pode ajudar a explorar soluções inovadoras para a infraestrutura física que fornece abastecimento de água e saneamento, combinando abordagens tradicionais de grandes sistemas centralizados com soluções descentralizadas sem esgoto, que vão desde o *design* mais eficaz de fossas sépticas até banheiros sem água.

A engenharia hídrica é multidisciplinar e se beneficia dos avanços das inovações tecnológicas em áreas como microeletrônica, nanotecnologia, química fina, biotecnologia, obtenção de dados, observação terrestre por satélite, modelagem hidroambiental e sensoriamento remoto.

Este capítulo apresenta exemplos de contribuições da engenharia que abordam esses desafios globais e buscam alcançar os ODS, em particular o ODS 6, que enfatiza os avanços integrados obtidos na hidrologia em relação à água potável e à saúde humana.

Água limpa e saúde humana

José Vieira, Tomás Sancho⁹ e Sarantuyaa Zandaryaa¹⁰

Resumo. A estreita relação entre a saúde humana e o bem-estar das comunidades com o acesso à água potável é um fator determinante para o desenvolvimento econômico e social. Apesar do direito humano à água potável limpa e ao saneamento decente, reconhecido em 2010 pelas Nações Unidas¹¹, ainda existem grandes desafios à sua implementação, em especial em países menos desenvolvidos. Atualmente, a água limpa ganhou uma importância sem precedentes nas políticas públicas, nos esforços para conter a propagação da COVID-19. Historicamente, engenheiros civis e ambientais têm desempenhado um papel de destaque na concepção e na construção de grandes projetos de infraestrutura para fornecer água potável e sistemas de saneamento adequados. Os avanços significativos na engenharia hídrica e ambiental obtidos nas últimas décadas levaram ao desenvolvimento de novas e mais eficientes tecnologias hídricas, como oxidação avançada, adsorção, osmose reversa e filtração nano- e ultra-membrana, que são usadas na remoção de substâncias no tratamento avançado de água. Além disso, inovações em certas áreas de engenharia, como a aeroespacial, tecnologia de satélite, modelagem hidroambiental, engenharia eletrônica e de computação, bem como tecnologias de sensoriamento remoto, contribuem para identificar tendências no ciclo da água, o que é de suma importância para uma avaliação abrangente dos impactos quantitativos e qualitativos da mudança climática relacionados à água.

Introdução

É relativamente seguro dizer que, ao longo da história humana, sérios problemas de saúde pública frequentemente são causados pela transmissão de doenças infecciosas por meio de microrganismos patogênicos (bactérias, vírus, protozoários e helmintos) relacionados à ausência de água tratada. De fato, por meio de várias formas de infecção, seja pela ingestão de alimentos ou água, pela inalação ou aspiração de aerossóis, seja pela exposição a águas contaminadas e transportadas por artrópodes ou moluscos, essas doenças de transmissão hídrica têm sido responsáveis por graves e generalizadas crises de saúde pública (Vieira, 2018).

A partir de meados do século XIX, após as epidemias devastadoras de cólera e outras doenças gastrointestinais na Europa, ocorreu uma mudança gradual e definitiva no pensamento e na atitude quanto aos aspectos econômicos, sociais, ambientais e sanitários do cotidiano no que diz respeito às políticas públicas. A criação da Poor Law Commission na Grã-Bretanha, em 1834, e os estudos desenvolvidos no âmbito de suas atividades (Chadwick, 1842), foram decisivos para a medicina e a engenharia de saúde pública. Esse ato, a partir de uma perspectiva intervencionista, teve como objetivo encontrar soluções técnicas para o abastecimento de água mais limpa e saneamento adequado no meio urbano, a fim de prevenir e controlar doenças. Acreditava-se, assim, que as doenças seriam combatidas de forma mais eficaz se fossem implementadas soluções técnicas de caráter preventivo, ao invés de se contar com intervenções dos indivíduos para a promoção da saúde. Nesse contexto, o vapor – a nova fonte de energia – permitiu o desenvolvimento de revolucionárias redes de água potável e sistemas de esgoto sanitário nos edifícios, ao mesmo tempo em que introduziu novos avanços tecnológicos nos campos de coleta e tratamento de águas residuais e assumiu um papel estratégico na promoção da saúde no cenário urbano.

Os progressos na medicina e nas ciências microbiológicas foram necessários primeiramente para identificar e isolar os patógenos, antes que a água “mais segura” pudesse ser considerada pelos avanços da engenharia. A desinfecção da água potável,

⁹ Presidente do Grupo de Trabalho sobre Água da WFEO.

¹⁰ Divisão de Ciências da Água, UNESCO.

¹¹ Em sua Resolução 64/292, de 28 de julho de 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas reconheceu a água e o saneamento como um direito humano, e que a água potável e o saneamento decente são essenciais para a realização de todos os direitos humanos.

introduzida no final do século XIX, reduziu consideravelmente a propagação da cólera e da febre tifoide (Rose; Masago, 2007).

Atualmente, a poluição hídrica continua exercendo pressão sobre a saúde pública devido à crescente industrialização e urbanização, assim como ao uso intensivo de produtos químicos na agricultura. Aprendendo com o passado, é crucial utilizar os avanços da engenharia para abordar a questão da água limpa em âmbito global, que é essencial para controlar doenças emergentes e reemergentes transmitidas pela água, bem como para melhorar a qualidade de vida das sociedades modernas.

O direito humano à água e ao saneamento e a importância da água para o desenvolvimento sustentável

Em 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas reconheceu o direito à água potável segura e limpa e ao saneamento decente como um direito humano essencial para o pleno gozo da vida, o que reflete a natureza dessas necessidades básicas. Foi acordado que a falta de instalações de água, saneamento e higiene seguras, acessíveis e suficientes tem um efeito devastador na saúde, na dignidade e na prosperidade de bilhões de pessoas em todo o mundo, com consequências significativas para a realização de outros direitos humanos (UNESCO/UN-Water¹², 2020). Esse foi um ato político de grande importância estratégica, que contribuiu de maneira decisiva para grandes investimentos em todo o mundo visando à construção e à manutenção das infraestruturas necessárias para apoiar os sistemas de abastecimento de água potável e saneamento.

Por ocasião da Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, realizada em 2015, foi proposto um documento ambicioso, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que apresentou uma visão estratégica para orientar as políticas nacionais e as atividades de cooperação internacional até 2030. A Agenda propôs 17 ODS, com a finalidade de implementar os princípios específicos de saúde e dignidade humana e social em várias áreas de atuação. Por exemplo, o ODS 6 estabelece o princípio de garantia da disponibilidade e da gestão sustentável de água e do saneamento para todos. Além do ODS 6, vários outros estão intimamente relacionados à água, a saber: o ODS 1 (acabar com a pobreza em todas as suas formas), o ODS 2 (acabar com a fome e alcançar a segurança alimentar), o ODS 3 (garantir uma vida saudável e bem-estar para todos), o ODS 7 (garantir energia acessível, confiável, sustentável e moderna), o ODS 11 (tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis), o ODS 13 (combater

a mudança climática) e o ODS 15 (proteger e restaurar a biodiversidade, florestas, e deter o desmatamento).

No entanto, apesar dos avanços obtidos na última década, ainda há grandes desafios a serem superados para que a Agenda seja totalmente implementada, em especial no que diz respeito aos países menos desenvolvidos. De fato, estimativas recentes sobre a cobertura dos sistemas de abastecimento de água, saneamento e higiene da população mundial (UNICEF; WHO, 2019) revelam progressos relativamente lentos, que colocam em dúvida se os objetivos propostos serão mesmo alcançados até 2030.

- *Água potável*: 5,3 bilhões de pessoas têm acesso a serviços geridos com segurança. Outros 1,4 bilhão têm pelo menos acesso a serviços básicos; 206 milhões têm serviços limitados; 435 milhões têm fontes não melhoradas; e 144 milhões ainda utilizam águas superficiais.
- *Saneamento*: 3,4 bilhões de pessoas têm acesso a serviços geridos com segurança. Outros 2,2 bilhões têm pelo menos acesso a serviços básicos; 627 milhões têm serviços limitados; 701 milhões têm instalações precárias; e 673 milhões ainda praticam a defecação a céu aberto.
- *Higiene*: 60% da população mundial tem disponíveis em casa instalações básicas de lavagem das mãos com sabão e água. Três bilhões de pessoas ainda não têm instalações básicas de lavagem das mãos em casa; 1,6 bilhão têm instalações limitadas sem sabão ou água; e 1,4 bilhão não têm instalações.

Essa análise rigorosa traz à tona a realidade higiênico-sanitária de bilhões de pessoas em todo o mundo, revelando as enormes desigualdades existentes entre países desenvolvidos e menos desenvolvidos, o que traz sérias repercussões sociais, econômicas e de saúde pública para essas populações.

Para acelerar a consecução do ODS 6, que está fora de curso de uma forma alarmante, as Nações Unidas lançaram o SDG 6 Global Acceleration Framework¹³, para ajudar os países a aumentarem suas ambições de avançar rapidamente rumo às metas nacionais do ODS 6; ao fazê-lo, eles estarão contribuindo para o progresso da Agenda 2030 em áreas como redução da pobreza, segurança alimentar, boa saúde e bem-estar, igualdade de gênero, paz e justiça, sustentabilidade e resiliência climática de comunidades, ecossistemas e sistemas de produção.

O referido Marco contribui para a realização dos direitos humanos à água e ao saneamento. Ele se baseia em processos em andamento, incluindo a Década da Água para a Vida (Water Action Decade) 2018-2028, bem como o chamado global do secretário-geral das Nações Unidas à ação pela água, saneamento e higiene (WASH) em todas as instalações sanitárias e a Agenda for Humanity.¹⁴

12 Site oficial da UN-Water: <https://www.unwater.org>

13 Leia mais sobre o SDG 6 Global Acceleration Framework, em: <https://www.unwater.org/publications/the-sdg-6-global-acceleration-framework>

14 Leia mais sobre a Agenda for Humanity, em: <https://agendaforhumanity.org>

Respostas de engenharia aos desafios da água limpa

A fim de garantir a segurança da água, a realização do ODS 6 e a construção de resiliência frente à mudança climática, a engenharia deve fornecer o conhecimento e a tecnologia necessários para liderar a governança e a gestão hídricas eficientes.

Quase um décimo do total dos casos de doenças transmitidas pela água em todo o mundo poderia ser evitado com melhorias na água potável, saneamento, higiene e gestão de recursos hídricos. Os exemplos a seguir se referem a doenças evitáveis se essas condições forem atendidas: diarreia (1,4 milhão de mortes infantis evitáveis anualmente); desnutrição (860 mil mortes infantis evitáveis anualmente); infecções por nematoides intestinais (2 bilhões de infecções que afetam um terço da população mundial); filariose linfática (25 milhões de pessoas seriamente incapacitadas); esquistossomose (200 milhões de pessoas com infecções evitáveis); tracoma (deficiências visuais em 5 milhões de pessoas); e malária (500 mil mortes evitáveis anualmente) (WHO, 2019).

Além dessas doenças transmitidas pela água, ameaças biológicas emergentes e futuras podem ser antecipadas, como, por exemplo: i) outras doenças conhecidas que podem ressurgir; ii) “novas” doenças identificadas por métodos laboratoriais novos e mais sofisticados; iii) novas doenças reais; iv) mudanças no comportamento das doenças; v) mudanças nas condições ambientais; e micro-organismos multirresistentes que podem surgir.

As alterações climáticas previstas podem tornar os números acima ainda mais dramáticos, embora até agora a sua possível propagação seja improvável. No entanto, a capacidade de disseminar doenças infecciosas por meio de artrópodes vetoriais aumenta com o aumento da temperatura da água. Regiões como a Europa e a América do Norte, que antes eram muito frias para viabilizar a transmissão, podem experimentar uma inversão dessa tendência, pois o aumento da temperatura da água cria condições favoráveis para a reprodução dos vetores mencionados acima.

Poluentes químicos novos e emergentes são onipresentes nos recursos hídricos e no meio ambiente, e incluem: i) resíduos farmacêuticos; ii) compostos desreguladores endócrinos; iii) nitrosaminas; iv) pesticidas; v) biocidas; vi) toxinas de algas/cianobactérias; vii) produtos de higiene pessoal; viii) fragrâncias, e assim por diante. Não há informações sobre os efeitos da maioria desses poluentes, na saúde humana, e sua ecotoxicologia não consta nas listas oficiais de parâmetros para o monitoramento periódico da qualidade da água. Além disso, não existem provas quanto ao comportamento destas substâncias durante os processos de tratamento de águas e águas residuais.

As soluções para as questões complexas relacionadas à água potável têm sido abordadas de forma multidisciplinar

por engenheiros de diferentes disciplinas, que aplicam o conhecimento científico e fornecem soluções inovadoras para os problemas globais da água. Historicamente, os engenheiros civis têm desempenhado um papel de destaque na construção de grandes projetos de infraestrutura e desenvolvimento de recursos hídricos. Outras disciplinas de engenharia, como engenharia mecânica, química, biológica, ambiental, agrícola, eletrônica e informática, também contribuíram oferecendo novas soluções tecnológicas e aprimorando opções de políticas de gestão sustentável da água estão na Caixa 1.

Além do projeto de infraestruturas hídricas (barragens e reservatórios, canais, tubulações, estações de bombeamento, estações de tratamento de água), as contribuições da engenharia incluem a tecnificação de sistemas, fornecendo-lhes “inteligência”, que permite melhor operação e gestão por meio de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e transferência de conhecimento (Trevelyan, 2019). Alguns exemplos incluem:

- apoiar a governança da água com uma abordagem integrada de gestão dos recursos hídricos;
- melhorar a eficiência do uso da água e reduzir as perdas nas redes de distribuição municipais e nos processos de arrefecimento industrial e energético;
- implementar soluções baseadas na natureza em rios, aquíferos e na drenagem urbana sustentável;
- proteger e restaurar os ecossistemas relacionados com a água;
- introduzir fontes hídricas alternativas, como a reutilização segura de águas residuais (um importante recurso inexplorado pela indústria e pela agricultura), o escoamento de tempestades e a dessalinização, que também podem aliviar o estresse hídrico; e
- avaliar e administrar riscos de eventos extremos (inundações e secas), os quais são fenômenos naturais que causam grandes perdas humanas e econômicas.

O progresso significativo realizado pela engenharia hídrica e ambiental nas últimas décadas levou ao desenvolvimento de novas e mais eficientes tecnologias de água, como oxidação avançada, adsorção, osmose reversa e filtração nano- e ultra-membrana, que são usadas na remoção de substâncias no tratamento avançado de água.

Os avanços nos processos de tratamento de águas residuais foram obtidos na remoção de substâncias utilizáveis (por exemplo, fósforo e amônio) e outros produtos para processamento posterior, por exemplo, com o uso de matéria orgânica para produzir biogás ou produtos químicos de base, que podem ser empregados na indústria farmacêutica, e na promoção de uma economia circular, o que também evita a descarga de substâncias nocivas nos recursos hídricos e no meio ambiente.

Atualmente, a IoT, a IA e novos algoritmos de análise e controle baseados em dados estão transformando os sistemas hídricos:

Caixa 1. Contribuições inovadoras da engenharia para os problemas hídricos globais

Os avanços da engenharia oferecem soluções inovadoras para os desafios globais relacionados à água, fornecem informações vitais sobre a gestão sustentável dos recursos hídricos, apoiam a pesquisa científica sobre novas e emergentes questões hídricas e promovem a tomada de decisões com base na ciência sobre questões relacionadas. Além disso, os avanços da engenharia podem ajudar a mitigar e antecipar futuros desafios hídricos, assim como contribuir para uma avaliação abrangente dos impactos da mudança climática relacionados à água.

- *Avanços em engenharia química e análise ambiental.* Contribuições para o desenvolvimento de ferramentas analíticas de amplo espectro e alta precisão, que mostraram a existência de tipos cada vez maiores de poluentes nos recursos hídricos, permitiram detectar e avaliar em termos quantitativos poluentes que antes não eram conhecidos no ambiente. Com equipamentos analíticos de alta precisão e sensibilidade, também se tornou possível detectar poluentes em concentrações muito inferiores às detectáveis com as técnicas convencionais de baixa sensibilidade utilizadas no passado.
- *Desenvolvimentos em engenharia bioquímica.* As tecnologias avançadas de oxidação e adsorção fornecem soluções para o pré-tratamento de poluentes específicos, como resíduos farmacêuticos e produtos químicos, em águas residuais de hospitais e instalações industriais, antes da descarga nos esgotos municipais.
- *Inovações em engenharia ambiental.* Tecnologias de engenharia de ponta, como ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, são usadas no tratamento avançado de água e águas residuais, bem como se mostraram eficazes para a remoção de poluentes emergentes dessas águas.
- *Avanços no sensoriamento remoto.* Foram desenvolvidos sensores sem fio para monitorar o consumo de água, os quais são cada vez mais usados para permitir a medição remota de água. Os avanços no campo da obtenção de dados foram facilitados por redes de internet de alta velocidade e cobertura global, bem como pela computação em nuvem e pelo aprimoramento dos recursos de armazenamento virtual. As aplicações de análise de *big data* podem ajudar a obter conhecimento por meio do processamento da coleta de fluxos contínuos de informações e dados relacionados à água. A ciência cidadã e o *crowdsourcing* têm o potencial de contribuir para sistemas de alerta precoce e fornecer dados para validar modelos de previsão de inundações.
- *Inovações na modelagem hidroambiental.* Foram desenvolvidos modelos específicos e avançados para a gestão de recursos hídricos integrados, inundações e secas, precipitação e recarga de aquíferos, estimativas de planícies de inundação, previsões de danos, resiliência de infraestruturas e otimizações energéticas e econômicas.
- *Avanços em engenharia aeroespacial e de satélites.* A observação da Terra por satélite (EO) pode ajudar a identificar tendências de precipitação, evapotranspiração, neve e cobertura/derretimento de gelo, bem como de escoamento e armazenamento, incluindo níveis de águas subterrâneas. O uso de imagens de EO, juntamente com o rápido avanço da engenharia computacional, tem um imenso potencial para o monitoramento da qualidade da água nos âmbitos nacional, regional e global das bacias. O lançamento de satélites ambientais avançados melhorou a resolução espacial das imagens e abriu novas fronteiras para a investigação sobre o monitoramento da qualidade da água por satélite em massas de água doce em terra. Além disso, o acesso aberto da maioria das imagens de satélite de EO, como Landsat e Sentinel, facilita ainda mais as pesquisas e aplicações, e contribuem para uma melhor compreensão e conhecimento sobre os impactos da mudança climática e das atividades humanas sobre os recursos hídricos. Além disso, o uso de satélites de EO e drones possibilita o monitoramento da qualidade da água e das captações hídricas em áreas sem infraestrutura ou acessibilidade, principalmente em países em desenvolvimento.

de elementos passivos de infraestrutura urbana com propósito único, eles se tornam unidades ativas e adaptáveis, mais eficientes, mais inovadores e mais sustentáveis.

Inovações em disciplinas de engenharia, como aeroespacial, tecnologia de satélites, eletrônica e de computação, bem como em tecnologias de sensoriamento remoto, contribuem para identificar tendências no ciclo da água que são de suma importância para a avaliação abrangente dos impactos quantitativos e qualitativos da mudança climática relacionados à água.

O contexto epidemiológico da pandemia de COVID-19 no ano de 2020 e as características científicas desconhecidas do vírus SARS-CoV-2 resultaram no confinamento de cidades inteiras e no isolamento social de bilhões de pessoas, bem como no encerramento de atividades econômicas essenciais. Consequentemente, a sociedade civil reconheceu a relevância e o valor da água potável, da higiene segura e do saneamento decente para proteger a saúde pública. A mensagem sobre a importância da lavagem frequente e correta das mãos para prevenir infecções nunca foi tão disseminada. O foco em WASH para conter a propagação da pandemia ocorreu de uma forma sem precedentes, particularmente entre as comunidades mais vulneráveis que não têm acesso imediato à água potável.

À medida que enfrentamos esses desafios, a inovação tecnológica, a gestão do conhecimento, a pesquisa avançada e o desenvolvimento de capacidades produzirão novas ferramentas e abordagens e – igualmente importante – acelerarão a implementação do conhecimento e das tecnologias existentes em todos os países e regiões (UNESCO/UN-Water, 2020).

Recomendações

1. A água potável está no centro de quaisquer políticas de saúde pública e faz parte do desenvolvimento sustentável. Os governos e os formuladores de políticas devem tomar medidas urgentes para acelerar a realização do ODS 6 e resolver o problema da inacessibilidade à água potável, que cria ciclos viciosos de pobreza, desigualdade, escassez de alimentos e migração forçada, particularmente em países menos desenvolvidos.
2. Os desafios hídricos mundiais previstos relacionados aos impactos do aumento da poluição da água e da mudança climática devem ser abordados, beneficiando-se de avanços em ciência, tecnologia e inovação em áreas como modelos hidroambientais, sistemas de apoio às decisões, microeletrônica, nanotecnologia, química fina, biotecnologia e tecnologia da informação.
3. A relevância social e ambiental da água potável e a natureza holística da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável exigem uma abordagem integrada e sistemática para lidar com as especificidades de cada um dos 17 ODS, que exigem intensa análise interdisciplinar e *expertise* multissetorial em sua implementação.

Referências

CHADWICK, E. *Report on the Sanitary Condition of the Labouring Population of Great Britain*. 1842. (Ed. with introduction by M.W. Flinn. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1965).

ROSE, J. B.; MASAGO, Y. A toast to our health: Our journey toward safe water. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 7, n. 1, p. 41-48, 2007.

TREVELYAN, J. *30-second engineering*. Brighton, UK: Ivy Press, 2019. p. 146-147.

UNESCO/UN-Water – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and United Nations-Water. *United Nations world water development report 2020: water and climate change*. Paris: UNESCO Publishing, 2020. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en>.

UNICEF; WHO – United Nations Children’s Fund; World Health Organization. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities*. New York, 2019. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329370/9789241516235-eng.pdf?ua=1>.

VIEIRA, J. M. P. *Água e saúde pública*. Lisbon: Edições Sílabo, 2018.

WHO – World Health Organization. *Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health*. Geneva, 2019.

A hidrologia para os ODS

Anil Mishra¹⁵, Will Logan¹⁶, Yin Chen¹⁷, Toshio Koike¹⁸, Abou Amani e Claire Marine Hugon¹⁹

3

Resumo. A ciência da hidrologia fornece à sociedade conhecimento prático e informações sobre fluxos de água, transporte e gestão e, portanto, tem ligações com aplicações de engenharia. Nas quatro décadas após 1930, o desenvolvimento da hidrologia como um campo separado de pesquisa científica (Horton, 1931) coincidiu com um enorme aumento no desenvolvimento da infraestrutura hídrica projetada. Além disso, o rápido aumento no desenvolvimento da infraestrutura hidráulica desencadeou aplicações de engenharia em todo o mundo. A hidrologia e a engenharia, portanto, se desenvolveram essencialmente em conjunto. Nesta seção, o desenvolvimento integrado da hidrologia com a engenharia para enfrentar os desafios globais, incluindo a implementação dos ODS, é apresentado na perspectiva do Programa Hidrológico Intergovernamental (IHP) da UNESCO.

Desafios hídricos globais

A população mundial deverá aumentar de 7,7 bilhões, em 2017, para quase 10 bilhões, em 2050, e espera-se que dois terços dela vivam em áreas urbanas (UNDESA, 2017). Isso levará a um aumento correspondente na demanda de água em setores como agricultura, energia e indústria, e se manifestará em aplicações de engenharia para o desenvolvimento de infraestruturas relacionadas à água. Além do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico, a mudança climática também é um fator importante para a segurança hídrica. Portanto, a adaptação

e a mitigação da mudança climática por meio da gestão da água é fundamental para o desenvolvimento sustentável e necessária para alcançar as metas da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, do Acordo de Paris e do Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (UNESCO/UN-Water, 2020).

Além do abastecimento de água e do saneamento, a gestão e a redução de incertezas e riscos associados a inundações e secas, erosão de sedimentos, transporte e deposição também são desafios críticos em todo o mundo. Como esses campos integram hidrologia e engenharia, esta seção apresenta estudos de caso nessas áreas.

Como a hidrologia e a engenharia abordam os ODS

A água é abordada de forma explícita no ODS 6 (água limpa e saneamento). No entanto, as metas relacionadas à redução da pobreza, à alimentação, à saúde, ao gênero e à educação, assim como as metas de desastres relacionados à água e à adaptação à mudança climática também estão ligadas à água. Dessa forma, o papel original da hidrologia na abordagem dos objetivos hídricos evoluiu, de uma abordagem principalmente de engenharia para uma abordagem integrada que envolve ciências naturais, ciências sociais e humanas e engenharia. As infraestruturas concebidas e baseadas na natureza devem ser combinadas com abordagens de gestão hídrica que incluam o envolvimento das partes interessadas e a adaptação climática ascendente. Essas atividades exigem a mobilização da cooperação internacional para a pesquisa, o fortalecimento da interface política-ciência e a capacitação. Por meio de seus vários setores de programas (Educação, Ciência, Cultura e Comunicação e Informação), a UNESCO tem um mandato único para abordar essas interconexões dos ODS relacionados à água.

15 Divisão de Ciências da Água, UNESCO.

16 International Center for Integrated Water Resources Management (ICIWaRM).

17 International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation (IRTCES).

18 International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM).

19 Divisão de Ciências da Água, UNESCO.

O papel único da UNESCO na hidrologia e na abordagem dos ODS

A UNESCO desempenhou um papel decisivo nesse avanço, ao patrocinar a International Hydrological Decade (IHD 1965-1974), que forneceu um mecanismo para a realização de um estudo global sobre os recursos hídricos disponíveis para obras de engenharia, incluindo aspectos sociais, qualidade da água e uso do solo. Os objetivos da IHD e do Programa Hidrológico Intergovernamental (IHP) que se seguiram consistiram em fortalecer as bases científicas e tecnológicas da hidrologia por meio do desenvolvimento e do treinamento sobre os métodos, técnicas e diretrizes para a gestão hídrica sustentável.

O IHP é o único programa intergovernamental do Sistema das Nações Unidas dedicado à pesquisa e à gestão da água, à educação relacionada à área e ao desenvolvimento de capacidades. O principal objetivo da oitava fase do IHP (2014-2021), intitulada Segurança da Água: Respostas aos Desafios Locais, Regionais e Globais, consiste em mobilizar a ciência para a segurança hídrica. Todas as suas atividades apoiam os ODS. A nona fase do IHP (2022-2029) refletirá vínculos ainda mais fortes para a realização dos ODS, do Acordo de Paris e do Sendai Framework.

Os três estudos de caso abaixo foram realizados pelo IHP e por três Centros de Categoria 2 da UNESCO: ICHARM²⁰, IRTCES²¹ e ICIWaRM²². Esses centros abrigam as secretarias da International Flood Initiative (IFI), da International Sediment Initiative (ISI) e da Global Network on Water and Development Information for Arid Lands (G-WADI), e se concentram na gestão hídrica e aplicações de engenharia baseadas em serviços (controle de enchentes, transporte de sedimentos e seca, respectivamente).

Controle de inundações, operação de barragens e gestão hídrica na Ásia e na África Ocidental

O ICHARM desenvolveu o modelo *Water and Energy Budget-based Rainfall-Runoff-Inundation* (WEB-RRI) com base no orçamento de água e energia, para analisar, com um alto nível de precisão, fenômenos de risco relacionados à água. O modelo integra o modelo Hydro-SiB2, que é capaz de calcular a dinâmica do balanço hídrico e energético, com o modelo *Rainfall-Runoff-Inundation* (RRI), que é capaz de realizar cálculos de escoamento/inundação em 2D. O uso do novo modelo, em combinação com modelos atmosféricos, permitiu a avaliação não apenas dos impactos dos

riscos de inundação, mas também dos impactos dos riscos de seca relacionados à mudança climática futura. Ao aplicar um esquema de otimização integrado ao procedimento atual de operação de barragens hidrelétricas, o ICHARM trabalha junto com empresas de eletricidade para reduzir as descargas ineficazes de barragens, melhorar a eficiência de geração de energia durante inundações e garantir a capacidade de armazenamento de reservatórios de barragens após inundações.

Os sistemas de previsão de inundações em tempo real para o Rio Kalu, no Sri Lanka, e o Rio Pampang, nas Filipinas, foram desenvolvidos com o uso do Data Integration and Analysis System (DIAS), em colaboração com o ICHARM e com a Universidade de Tóquio, que passou a fornecer informações de previsão de inundações a organizações pertinentes em ambos os países. Da mesma forma, como parte de um projeto do Asian Development Bank (ADB) sobre avaliação do impacto da mudança climática, o ICHARM aplicou uma série de métodos de previsão, que consideram a incerteza, a três cidades do Vietnã: Hue, Ha Giang e Vinh Yen. Nesse estudo, foram selecionados quatro modelos de circulação geral (GCMs) por sua alta responsividade em relação aos fatores meteorológicos. A incerteza originada nos GCMs em relação às previsões futuras foi avaliada pela aplicação de *down-scaling* estatístico, enquanto os cenários climáticos futuros foram criados com o uso de *downscaling* dinâmico; a avaliação de riscos de inundação foi realizada com o uso do modelo RRI.

Na África Ocidental, as inundações ocorrem frequentemente nas bacias hidrográficas do Níger e do Volta, resultando em mortes e dificultando o desenvolvimento econômico da região. Em um esforço para reduzir as perdas humanas, a UNESCO propôs a criação de sistemas de monitoramento e previsão de inundações para essas bacias e suas áreas circundantes. Depois de concluir um acordo de parceria com a UNESCO, no âmbito da Plataforma de Desastres Hídricos para Melhorar a Resiliência Climática na África, o ICHARM desenvolveu um sistema de alerta precoce de inundações para as bacias dos Rios Níger e Volta, a fim de ajudar a reduzir os riscos de desastres hídricos. Simultaneamente, o ICHARM convidou para ir ao Japão engenheiros da Agrhymet, um instituto especializado do Permanent Interstate Committee for Drought Control in the Sahel (CILSS) e da Volta Basin Authority (VBA), e forneceu treinamento sobre o sistema.

20 Site oficial do International Centre for Water Hazard and Risk Management: <https://www.pwri.go.jp/icharm/>

21 Para mais informações sobre o International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation (IRTCES), consulte: <https://uia.org/s/or/en/1100024285>

22 Site oficial do International Center for Integrated Water Resources Management: <https://iciwarm.info>

Aplicação de serviços hidrológicos para o controle de inundações e a gestão de sedimentos no Projeto Três Gargantas

Localizado no meio do Rio Yangtzé, na China, o Projeto Três Gargantas (TGP) é um dos maiores projetos hidrológicos do mundo. Desde 2003, o TGP vem produzindo benefícios abrangentes de controle de enchentes, navegação, geração de energia e recursos hídricos. Sua capacidade média anual de geração de energia é de 84,88 bilhões de kWh, equivalente a cerca de 50 milhões de toneladas de carvão. O escoamento superficial médio anual e as cargas de sedimentos do rio no local da barragem são de 451 bilhões de metros cúbicos e 530 milhões de toneladas, respectivamente. As capacidades de armazenamento total e de controle de inundações do TGP são de 39,3 bilhões de m³ e 22,15 bilhões de m³. Registros hidrológicos de longo prazo e em tempo real são utilizados para determinar seus modos operacionais de controle de enchentes e gestão de sedimentos.

O TGP controla 96% do fluxo de entrada para Jingjiang – o trecho do rio mais perigoso durante as inundações – e mais de dois terços do fluxo de entrada para Wuhan. O padrão de controle de inundações da seção de Jingjiang é elevado uma vez a cada 100 anos, de forma a armazenar a água da inundação, reduzir a vazão de pico de inundação e achatar o pico de inundação. Entre 2003 e 2019, o TGP armazenou um total de 153,3 bilhões de m³ na entrada de água de inundação e desempenha um papel indispensável na mitigação das inundações em geral e na redução dos níveis maciços de inundação na bacia do Rio Yangtzé.

No verão de 2020, ocorreram graves eventos de inundação na bacia. Por meio da regulação do fluxo do TGP, a vazão de pico foi reduzida de 70 mil m³/s para 40 mil m³/s, e o nível da água ao longo do caminho principal do curso médio do Rio Yangtzé diminuiu entre 0,45 m e 2,55 m. De acordo com a Academia Chinesa de Engenharia, os benefícios anuais de prevenção de inundações do TGP, por si só, somam em *renminbi* (RMB) 8,8 bilhões de yuan.

O TGP é operado nos modos “Armazenamento de água limpa” e “Liberação de água com lama”. Na época das cheias, o nível da água é mantido baixo para permitir que as grandes concentrações de sedimentos sejam transportadas através do reservatório e descarregadas a jusante; no restante do ano, o reservatório opera no nível d’água de 175 m. De 2003 a 2019, a quantidade de sedimentação no reservatório foi de 1,8 bilhão de toneladas, e a relação de despejo de sedimentos no reservatório foi de 24%. De acordo com as previsões atuais de entrada de sedimentos, o período de equilíbrio de sedimentação do reservatório pode ser estendido de 100 anos para mais de 300 anos.

Oficinas de treinamento internacional foram organizadas pelo International Research and Training Center (IRTCES), para criar estratégias práticas de projetos e gerenciamento que facilitarão o desenvolvimento sustentável de hidrelétricas e barragens, por meio da gestão de sedimentação de reservatórios. Por exemplo, o *International Training Course on Integrated Sediment Management* e o *International Workshop on Rescon 2 and Numerical Modelling for Assessment of Sediment Management Alternatives* foram realizados em Pequim, em 2018, e Chengdu, em 2019, respectivamente.

Seca, escassez de água e gestão hídrica na Califórnia

O sul da Califórnia é uma região líder em produção agrícola, um importante centro industrial e abriga 23 milhões de pessoas. Com uma precipitação média anual de apenas 375 mm, na maioria dos anos a água deve ser trazida de fora da região. Na verdade, em média, o sul da Califórnia recebe mais da metade de sua água por meio de aquedutos do norte da Califórnia e do Rio Colorado (interestadual). A infraestrutura projetada inclui dutos que transportam água, barragens que armazenam e protegem grandes cidades, instalações de distribuição que fornecem água potável, instalações que tratam e distribuem águas residuais para reuso e poços de injeção que formam uma barreira hidráulica à intrusão de água do mar.

Aqui, as tarefas da comunidade de engenharia de recursos hídricos são sempre desafiadoras, mas em anos de seca, cada gota d’água conta. Alguns dos compromissos mais rigorosos envolvem o equilíbrio entre a gestão dos riscos de inundação e o abastecimento de água durante as secas. De 2011 a 2017, a pior seca da Califórnia em um milênio pressionou intensamente os gestores hídricos. No entanto, hidrologistas de várias subdisciplinas contribuíram para aliviar parte dessa pressão. Primeiro, os hidrometeorologistas estimaram o volume e a distribuição da escassa precipitação com o uso de satélites (incluindo sistemas codesenvolvidos pela UNESCO), radares terrestres Doppler e medidores de precipitação. Em segundo lugar, os hidrologistas de neve mediram o equivalente de água de fusão no *snowpack* nas montanhas usando levantamentos auxiliados por imagens aéreas e de satélite. Em terceiro lugar, os hidrologistas da superfície terrestre e de águas superficiais transformaram o escoamento da água pluvial e da água de fusão em insumos para os reservatórios. Finalmente, os hidrologistas de águas subterrâneas analisaram o rendimento seguro dos sistemas aquíferos do estado, aos quais muitas pessoas que usam irrigação recorreram quando as fontes de água de superfície secaram, bem como o potencial de recarga gerenciada dos aquíferos. Juntos, esses estudos ajudaram a prevenir um grande desastre.

Ainda assim, os hidrologistas podem fazer mais para melhorar a gestão da infraestrutura projetada na próxima seca. Experimentos

de campo estão em andamento para testar as Operações de Reservatório Informado por Previsão (*Forecast-Informed Reservoir Operations – FIRO*), com o uso de dados de monitoramento de bacias hidrográficas e previsão de tempo e água para ajudar a gerenciar os lançamentos, de uma maneira que reflita as condições atuais e previstas. Por exemplo, na represa do Prado, no sul da Califórnia, o FIRO poderia ser usado durante inevitáveis secas futuras para permitir uma maior captação de águas pluviais escassas para a recarga gerenciada de aquíferos, mantendo riscos de inundação aceitáveis para as regiões altamente urbanizadas a jusante.

O caminho a ser seguido

Nem a engenharia nem a hidrologia são campos estáticos. Ambas foram impactadas pelas tecnologias e pelas necessidades sociais (Sivapalan; Blöschl, 2017), uma tendência que provavelmente continuará no futuro (Blöschl *et al.*, 2019). Para responder a esses fatores, a International Association of Hydrological Sciences (IAHS) identificou 23 “problemas não resolvidos em hidrologia” (Blöschl *et al.*, 2019). Estudos recentes também destacam avanços na ciência, na inovação hidrológica e na engenharia para a gestão da água, bem como soluções para melhorar essa relação, principalmente com o objetivo de contribuir com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, o Acordo de Paris e o Sendai Framework.

Apesar dos muitos avanços de engenharia e hidrologia alcançados até o momento, são necessários dados integrados abrangentes e abordagens multidisciplinares para fornecer soluções para a implementação dos ODS e suas metas relacionadas à água. A amplitude do mandato da UNESCO nas ciências naturais e sociais fornece pontos fortes e únicos para responder a esses desafios. Ao colocar em jogo métodos e ferramentas inovadores, multidisciplinares e ambientalmente corretos, ao mesmo tempo em que promove e aproveita os avanços nas ciências da água, o IHP e os órgãos hídricos da UNESCO atuam nonexo que existe entre ciência e política para ajudar a enfrentar os desafios hídricos globais da atualidade.

Recomendações

1. Pesquisas recentes devem destacar os avanços na ciência hidrológica, na inovação e na engenharia da gestão hídrica, bem como soluções para melhorar essa relação, de modo a contribuir para a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, o Acordo de Paris e o Sendai Framework.
2. As infraestruturas concebidas e baseadas na natureza devem ser combinadas com abordagens de gestão hídrica que incluam o envolvimento das partes interessadas e a adaptação climática emergente.
3. Os engenheiros precisam ser treinados nos avanços recentes na área de hidrologia e familiarizados com as externalidades (como tecnologia e necessidades sociais), a fim de desenvolverem abordagens para a implementação dos ODS e de outros objetivos relacionados à água.

Referências

BLÖSCHL, G. *et al.* Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. *Hydrological Sciences Journal*, v. 64, n. 10, p. 1141-1158, 2019.

HORTON, R. E. The field, scope, and status of the science of hydrology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 12, n. 1, 1931.

SIVAPALAN, M.; BLÖSCHL, G. The growth of hydrological understanding: technologies, ideas, and societal needs shape the field. *Water Resources Research*, v. 53, p. 8137-8146, 2017.

UNDESA – United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World population prospects: key findings and advance tables – the 2017 revision*. New York, 2017. (Working paper, ESA/P/WP/248). Disponível em: esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf.

UNESCO/UN-Water – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *United Nations World water development report 2020: water and climate change*. Paris: UNESCO Publishing, 2020. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en>.



Darrel J. Danyluk²³

3.3

MUDANÇA CLIMÁTICA: UMA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA



Bernhard Steeh/Shutterstock.com

²³ Ex-presidente da Engineers Canada e ex-presidente do Committee for Engineering and Environment da WFEO.

Resumo. A mudança climática, manifestada por meio de alterações nas condições atmosféricas e oceânicas, imporá riscos novos e crescentes a muitos sistemas naturais e humanos, notadamente por meio de mudanças na variabilidade climática e na frequência e magnitude de eventos climáticos extremos. Todas as infraestruturas são projetadas e construídas de acordo com os códigos e normas que existiam quando foram construídas. No entanto, esses códigos e normas se baseiam na suposição de que o clima é estável, o que agora está sendo questionado com a mudança climática.²⁴

Um sistema que falha em seu elo mais fraco, e pontos que devem ser identificados e fortalecidos

O mundo está enfrentando um futuro desafiador. Os impactos da mudança climática são reais e esta crise deve ser enfrentada, uma crise cuja gravidade não pode e não deve ser subestimada. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) concluíram que o mundo está passando por uma mudança climática, o que exige a reavaliação da relevância dos critérios climáticos utilizados atualmente para conceber todas as infraestruturas. Essas avaliações são cruciais para determinar a vulnerabilidade aos impactos induzidos pelo clima e implementar ações adaptativas para mitigar seus riscos e seus efeitos. É essa ameaça às infraestruturas existentes que constitui a emergência climática. Água, transporte, energia, comunicações e infraestruturas construídas estão em risco, e uma falha em uma infraestrutura pode afetar gravemente as economias, a segurança e os meios de vida. A magnitude das ameaças da mudança climática para as infraestruturas de todo o mundo é enorme. As infraestruturas existentes são a base do mundo desenvolvido e proporcionam às populações os meios necessários para uma vida segura e saudável. Assim, é importante identificar essas vulnerabilidades e mitigar os riscos climáticos crescentes que podem comprometer esse equilíbrio.

Os desastres relacionados ao clima que afetam a infraestrutura somente podem ser mitigados se forem implementadas melhorias sistêmicas na construção de infraestruturas. Os decisores políticos e os cidadãos, as administrações e outras entidades devem cumprir

seus papéis de forma adequada, salientando a importância da sensibilização e da educação para a prevenção de catástrofes, a fim de adotarem plenamente uma cultura de prevenção.

Serão necessários os melhores esforços dos engenheiros para entender, quantificar e se adaptar a essas mudanças, de modo a minimizar os impactos do clima cada vez mais severo que afeta de forma negativa a construção e a sustentabilidade dos sistemas de infraestrutura.

Declaração da WFEO sobre Emergência Climática – a resposta da comunidade mundial de engenharia à emergência climática

As crises que estão ocorrendo como resultado da mudança climática representam alguns dos problemas mais sérios do nosso tempo. Embora a mudança climática induzida pelo ser humano seja um fenômeno reconhecido pela comunidade científica e pela maioria dos países, o mundo ainda carece de ações e lideranças positivas e coletivas sobre a resiliência climática para evitar um cenário de “business-as-usual” e o aumento das emissões. Os engenheiros e as comunidades de engenharia têm um papel a desempenhar no levantamento dessas questões, bem como na proposição de soluções pragmáticas e viáveis para abordar a mitigação e a adaptação à mudança climática. O principal objetivo dos engenheiros sempre foi buscar o progresso e soluções para melhorar o bem-estar social. Os Estados-membros, organizações de engenharia, desenvolvedores, construtores, profissionais, universidades, pesquisadores e partes interessadas devem reconhecer que a emergência climática é uma séria ameaça à sustentabilidade da humanidade no planeta.

A UNFCCC fornece uma estrutura estável na qual os engenheiros podem defender a necessidade de cooperação para a construção de infraestruturas sustentáveis e resilientes, usando as mais recentes e comprovadas tecnologias, vitais para mitigar as consequências da crise climática e alcançar economias neutras em carbono e a transformação das indústrias. Durante as reuniões das Conferências das Partes (COPs), a profissão de engenheiro foi representada por membros do Comitê de Engenharia e Meio Ambiente da WFEO. Foi durante o marco da Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP 25), realizada em Madri em dezembro de 2019, que a WFEO expressou sua profunda preocupação com a questão da emergência climática. A entidade resumiu sua posição e seu compromisso de agir rapidamente por meio da Declaração da WFEO sobre Emergência Climática, que foi assinada por 27 instituições de engenharia regionais e nacionais em 2020 (WFEO, 2019). Essa campanha de comunicação global para ampliar a conscientização sobre as consequências

²⁴ Leia a “Newsletter WFEO-CEE”, de abril de 2010, em: https://www.wfeo.org/wp-content/uploads/stc-environment/All_WFEO-CEE_Newsletters.pdf

imediatas e de longo prazo da mudança climática tem em vista apoiar tecnologias inovadoras diante desses desafios e construir infraestruturas e comunidades resilientes (Caixa 1).

Caixa 1. Compromisso da WFEO e da comunidade mundial de engenharia com a ação climática

1. Continuar a aumentar a conscientização sobre a emergência climática e a necessidade urgente de ação.
2. Ampliar o compartilhamento de conhecimento e pesquisa para promover e incentivar o desenvolvimento de capacidades para a mitigação e a adaptação à mudança climática.
3. Esforçar-se por uma comunidade de engenharia na qual uma associação diversificada e inclusiva possa trabalhar de maneira colaborativa tendo em vista estratégias inovadoras de mitigação do clima.
4. Apoiar os países em desenvolvimento quanto aos conhecimentos de engenharia em matéria de atenuação da mudança climática e de adaptação às melhores práticas.
5. Usar a influência e as conexões globais da WFEO para reunir evidências a fim de esclarecer os efeitos da mudança climática nas mulheres e nos grupos desfavorecidos em todo o mundo.
6. Aplicar e desenvolver ainda mais os princípios de mitigação e adaptação climática, como medidas-chave do sucesso da indústria de engenharia.
7. Aprimorar os sistemas de infraestrutura construída existentes, quando for essa a solução mais eficiente para o carbono e para resultados sociais inclusivos.
8. Incluir custos de ciclo de vida, modelagem de carbono e avaliação pós-construção para otimizar e reduzir o uso de carbono incorporado, operacional e do usuário, bem como de outros recursos.
9. Adotar princípios de projetos mais regenerativos na prática, com o objetivo de obter projetos de engenharia que produzam sistemas de infraestrutura completos que correspondam ao objetivo de se tornar economias com emissões líquidas zero até 2050.
10. Aumentar os níveis atuais de colaboração entre a UNFCCC, a WFEO e seus membros, associados e parceiros, e todos os outros profissionais envolvidos na concepção e no fornecimento de infraestruturas completas.
11. Trabalhar com nossos membros, associados e parceiros para tornar este compromisso real.

Elementos de melhoria sistêmica

As normas existentes devem ser revistas para preparar os engenheiros para as modificações necessárias para lidar com os impactos da mudança climática nas infraestruturas construídas em todo o mundo, tendo em vista a necessidade de infraestruturas resilientes ao clima. Essas mudanças propostas estão incorporadas em dois elementos e seus resultados subsequentes, conforme descrito abaixo.

Elemento 1: Desenvolver e implementar ferramentas, políticas e práticas de engenharia para a avaliação de risco e adaptação à mudança climática das infraestruturas civis existentes e novas.

Elemento de resultados n. 1

- O *Protocol for Infrastructure Climate Risk Assessment* do Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee (PIEVC, 2020) foi desenvolvido e está em uso por profissionais de todo o mundo. Trata-se de uma metodologia reconhecida e testada para avaliar os riscos climáticos e apoiar a resiliência das infraestruturas.

A avaliação de vulnerabilidade/riscos da engenharia serve como uma ponte entre os códigos e os padrões utilizados em projetos e as ferramentas de engenharia, como o PIEVC, que são usados na falta de novos padrões, garantindo assim que a mudança climática seja considerada nos projetos de engenharia, nas operações e na manutenção das infraestruturas civis. A identificação de componentes de infraestrutura altamente vulneráveis aos impactos da mudança climática permite o desenvolvimento de soluções de engenharia/operações econômicas.

O Protocolo é um processo estruturado, formalizado e documentado para engenheiros, planejadores e tomadores de decisões, que recomenda medidas para lidar com as vulnerabilidades e com os riscos associados à mudança, em particular parâmetros de projetos climáticos e outros fatores ambientais resultantes de eventos climáticos extremos. As avaliações ajudam a justificar recomendações para os projetos, operações e manutenção, assim como fornecem resultados documentados que atendem aos requisitos de *due diligence* (devida diligência) para fins de seguros e responsabilidades.

- Código Modelo de Prática sobre os Princípios de Adaptação à Mudança Climática para Engenheiros (Caixa 2).

Este Código Modelo de Prática e guia interpretativo (WFEO, 2013) explica a ligação entre a ética e a prática profissional, considerando a engenharia no contexto mais amplo do desenvolvimento sustentável e da gestão ambiental.

Os engenheiros são incentivados a se manter informados sobre as alterações das condições climáticas e a considerar possíveis impactos climáticos em sua prática profissional. O Código Modelo serve como orientação para se considerar as implicações da mudança climática, para que os engenheiros possam criar um registro claro dos resultados dessas considerações. Consiste em nove princípios que constituem o escopo da prática profissional dos engenheiros no início das ações de adaptação à mudança climática, em especial no caso de infraestruturas civis e edifícios.

- Códigos, padrões e diretrizes atualizados são fundamentados na ciência, e são confiáveis e usados por engenheiros para refletir as alterações das condições climáticas.

Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

As agências nacionais e internacionais indicaram deficiências nos códigos, normas e diretrizes existentes que refletem as mudanças nos critérios climáticos. Um exemplo é o “Guia ISO 84:2020”, que fornece diretrizes para abordar a mudança climática nas normas (ISO, 2020), a fim de que os formuladores possam considerar a adaptação à mudança climática (*adaptation to climate change* – ACC) e a mitigação da mudança climática (*climate change mitigation* – CCM) em seus trabalhos de normalização. As considerações relacionadas à ACC visam contribuir para aperfeiçoar a preparação e a redução de desastres, bem como impactar a resiliência das organizações e suas tecnologias, atividades ou produtos (TAPs).

Caixa 2. Os nove princípios estão resumidos em três categorias

1. Julgamento profissional

Princípio n. 1: Integrar a adaptação na prática

Princípio n. 2: Revisar adequação das normas vigentes

Princípio n. 3: Exercitar o julgamento profissional

2. Integração de informações climáticas

Princípio n. 4: Interpretar as informações climáticas

Princípio n. 5: Trabalhar com especialistas e partes interessadas

Princípio n. 6: Usar uma linguagem eficaz

3. Orientação prática

Princípio n. 7: Plano de vida útil

Princípio n. 8: Usar a avaliação de risco para incertezas

Princípio n. 9: Monitorar as responsabilidades legais

Elemento 2: Construir conhecimento, experiência e técnicas apropriadas para aumentar as capacidades técnicas dos engenheiros a fim de adaptar as infraestruturas civis à mudança climática, em particular nos países em desenvolvimento e menos desenvolvidos.

Elemento de resultados n. 2

- Oficinas de treinamento sobre o Protocolo de Engenharia.

Estão disponíveis *workshops* para engenheiros e outros profissionais sobre a teoria e a aplicação de abordagens de gestão de risco e o Protocolo PIEVC para a Avaliação de Risco Climático de Infraestrutura. As oficinas incluem apresentações sobre os princípios da avaliação de riscos e exemplos de estudos de caso.

- Estudos de caso de avaliações de vulnerabilidade de engenharia de infraestrutura individual.

Quando são feitas, as conclusões das avaliações de vulnerabilidade de engenharia das infraestruturas fornecem informações valiosas sobre seus respectivos tipos, como sistemas de água e esgoto, pontes, barragens, aeroportos, portos, rodovias, redes de transmissão e distribuição elétrica e edifícios, incluindo hospitais.

Exemplos de estudos de caso em países em desenvolvimento incluem a avaliação pré-construção dos impactos futuros da mudança climática em comportas no Rio Mekong, na Ásia; a avaliação de um porto e uma linha de transmissão de energia na América do Sul; a preparação de uma abordagem de estruturas práticas na Bacia do Nilo, na África; e a avaliação de pontes, da água e de águas residuais na América Central.

- A engenharia e a avaliação dos riscos climáticos desempenham um papel importante nos Planos Nacionais de Adaptação (PNAs). Um projeto da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), *Enhancing Climate Services for Infrastructure Investment (CSI)*²⁵, forneceu um estudo de caso.

A engenharia, os serviços climáticos e a área política podem ser reunidos em um esforço colaborativo para ampliar o escopo das ações de adaptação, para incluir governos, reguladores, cientistas climáticos, engenheiros, proprietários de infraestruturas e outros profissionais.

O projeto CSI ajudou a processar dados climáticos e mostrou como produtos e serviços de consultoria podem ser desenvolvidos para planejar infraestruturas, por exemplo, por meio de avaliações de riscos climáticos (GIZ, 2017). Foi dada atenção especial à melhoria da cooperação entre aqueles que fornecem e filtram dados climáticos, tomadores de decisões, planejadores e engenheiros no setor de infraestrutura. Durante esse processo, foram desenvolvidos produtos climáticos sob medida para a realização de análises técnicas de risco da infraestrutura selecionada.

A metodologia desta análise se baseia no Protocolo PIEVC, que estabelece como os objetos de infraestrutura e seus procedimentos operacionais são afetados por vários fatores climáticos e constitui a base para a seleção de importantes medidas de adaptação. A experiência adquirida com as avaliações de riscos ajuda a considerar a mudança climática nos métodos e nas diretrizes de planejamento de infraestruturas, específicos de cada país.

Todas as atividades podem ser integradas ao National Adaptation Plan e às Nationally Determined Contributions (NDCs) para promover seu desenvolvimento e sua implementação.

A Climate Risk Informed Decision Analysis (Crida) foi lançada para integrar as incertezas sobre a mudança climática na identificação de estratégias de adaptação (com base em ecossistemas), bem como para possibilitar processos de tomada de decisão flexíveis (UNESCO, 2018).

25 Consulte o panorama do produto CIS, em: http://climate-resilient-infrastructure.com/wp-content/uploads/2020/08/CIS_GIZ_product_landscape_8.pdf

Caixa 3. Princípios da Crida

1. Identificar problemas e oportunidades sobre mudanças futuras incertas.
2. Identificar condições de inventário e previsão que levam a falhas crônicas.
3. Formular planos alternativos que sejam robustos ou adaptáveis. Com base em avaliações anteriores e no uso da ciência para avaliar a plausibilidade, quatro estratégias orientam a formulação do plano colaborativo:
 - i. Orientação de planejamento padrão e margens de segurança são suficientes. Não é necessária nenhuma mudança nos procedimentos atuais.
 - ii. A formulação de planos para mitigar futuros com pressões cada vez mais plausíveis que exigem alternativas mais robustas em diferentes níveis de magnitude.
 - iii. Há fontes conflitantes de evidências, falta de consenso sobre as evidências e/ou baixa aversão ao risco por parte das partes interessadas de que falhas crônicas são plausíveis. Recomendação de estratégia colaborativa para formular planos “ganha-ganha” com opções de adaptabilidade (ou seja, garantir que alternativas futuras, não adotadas hoje, ainda serão possíveis amanhã).
 - iv. Há motivos suficientes para se preocupar com a ação, mas fontes conflitantes de evidências e falta de consenso sobre elas levam à discordância sobre a magnitude de um primeiro investimento. Recomenda-se uma estratégia para formular alternativas robustas iniciais aceitáveis, com opções adicionais para o futuro.
4. Avaliar de forma colaborativa a robustez ou a adaptabilidade. No processo Crida, o uso do domínio de vulnerabilidade ajuda todas as partes a entenderem futuros plausíveis que prejudicariam um projeto.
5. Comparar a robustez ou a adaptabilidade de planos alternativos.
6. Selecionar um plano de robustez ou adaptabilidade.

Recomendações

1. Os países podem identificar, compreender e administrar os riscos da mudança climática, priorizando o planejamento e as ações de adaptação, inclusive implementando procedimentos operacionais e de manutenção que prolongam a vida útil das infraestruturas que: i) estão em situação de risco crítico de falha; ii) têm alta demanda de atendimento; iii) estão chegando ao fim de seu ciclo de vida; ou iv) excedem o nível de tolerância ao risco e exigem investimentos significativos para reforma ou substituição.
2. Atores intersetoriais, internacionais e nacionais, no governo, indústrias, universidades, sociedade civil e mídia devem cooperar para enfrentar a crise climática.
3. As equipes que já projetam, constroem e administram infraestruturas devem fornecer os recursos humanos essenciais para identificar os desafios relacionados ao clima e implementar ações adaptativas ou corretivas.
4. A atualização de códigos, normas e diretrizes nacionais, o aprimoramento dos serviços climáticos nacionais, o desenvolvimento de ferramentas de engenharia e planejamento para normalizar as abordagens de avaliação de riscos climáticos e a utilização de equipes de vários atores mostram o caminho para as sociedades lidarem com os riscos da mudança climática para sistemas existentes e infraestruturas futuras.
5. Deve ser dada atenção especial aos países em desenvolvimento vulneráveis na construção de suas capacidades para elaborar infraestruturas resilientes ao clima, atualizando seus códigos, normas e diretrizes nacionais, e capacitando seus serviços climáticos, sua área de engenharia e suas capacidades de entrega.
6. A cooperação, aliada à pesquisa de engenharia, deve ser buscada para identificar e fornecer soluções inovadoras, incluindo soluções baseadas na natureza. Mobilizar a capacidade global de engenharia para implementar as soluções em todo o mundo é um passo importante para enfrentar a crise climática.

Referências

GIZ – Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Making use of climate information for infrastructure planning; project description. Die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, 2017. Disponível em: <https://www.giz.de/en/worldwide/57471.html>.

ISO – International Organization for Standardization. *ISO guide 84: 2020 guidelines for addressing climate change in standards*. 2020.. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/72496.html>

PIEVC – Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee. PIEVC engineering protocol. 2020. Disponível em: <https://pievc.ca/protocol>.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): collaborative water resources planning for an uncertain future*. Paris: UNESCO Publishing and International Center for Integrated Water Resources Management, 2018. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265895>.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *2009-2010 progress report on WFEO action pledge: adaptation of sustainable civil infrastructure to climate change impacts*. 2010. Disponível em: https://www.wfeo.org/wp-content/uploads/stc-environment/NWP-WFEO_action_pledge_update_april__2010_logo_FINAL.31144.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *WFEO Declaration on Climate Emergency*. 2019. Disponível em: http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/declarations/WFEO_Declaration_on_Climate_Emergency_2019.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *WFEO model code of practice for sustainable development and environmental stewardship: interpretive guide*. 2013. Disponível em: https://www.wfeo.org/wp-content/uploads/code-of-practice/WFEOModelCodePractice_SusDevEnvStewardship_Interpretive_Guide_Publication_Draft_en_oct_2013.pdf.

WFEO-CEE – Committee on Engineering and the Environment, World Federation of Engineering Organizations. Newsletter 2009-2015. Disponível em: https://www.wfeo.org/wp-content/uploads/stc-environment/All_WFEO-CEE_Newsletters.pdf.



Soichiro Yasukawa²⁶ e Sérgio Esperancinha²⁷

3.4

ENGENHARIA: UMA FERRAMENTA DETERMINANTE PARA A REDUÇÃO DO RISCO DE DESASTRES



Kurniawan Rizqi/Shutterstock.com

26 Divisão de Ciências Ecológicas e da Terra, Seção de Ciências da Terra e Redução de Riscos de Riscos Geográficos, UNESCO.

27 Divisão de Ciências Ecológicas e da Terra, Seção de Ciências da Terra e Redução de Riscos de Riscos Geográficos, UNESCO.

Resumo. Os avanços em engenharia, ciência e tecnologia relacionados à redução de riscos de desastres (RRD) fornecem conhecimento sobre os mecanismos dos riscos naturais, incluindo os processos que os transformam em desastres. Em última análise, é esse conhecimento científico que fornecerá soluções para mitigar a vulnerabilidade das infraestruturas e das sociedades. Esta seção resume as áreas de intervenção da UNESCO e como a Organização usa a engenharia em suas ações de RRD.

Introdução

De 2005 a 2015, os riscos naturais causaram US\$ 1,4 trilhão em danos, causaram 700 mil mortes e afetaram 1,7 bilhão de pessoas em todo o mundo (UNISDR; CRED, 2018). Com o aumento da frequência e da magnitude das ocorrências causadas pela mudança climática, as perdas associadas aos desastres naturais estão aumentando. Por exemplo, estima-se que, em 2050, o número de pessoas que vivem em áreas urbanas expostas a ciclones dobrará para 680 milhões, e aquelas que correm risco de sofrer um grande terremoto chegarão a aproximadamente 870 milhões (World Bank, 2010).

Os esforços para lidar com desastres fazem parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, e muitos dos objetivos relacionados não podem ser alcançados sem a RRD (UNISDR, 2015). Avanços nas áreas de engenharia, ciência e tecnologia relativos à RRD fornecem conhecimento sobre os mecanismos de eventos naturais, incluindo os processos que os transformam em desastres. Em última análise, é esse conhecimento científico que fornecerá soluções para mitigar a vulnerabilidade das infraestruturas e das sociedades.

A UNESCO auxilia os países na capacitação para a gestão de desastres e riscos climáticos e oferece apoio aos Estados-membros em especial nas seguintes áreas: i) sistemas de alerta precoce; ii) infraestruturas críticas seguras; iii) prevenção de riscos para locais designados pela UNESCO; iv) uso da ciência, da tecnologia e da inovação, incluindo IA e *big data*; v) ambiente construído; vi) governança de riscos; vii) soluções baseadas na natureza; e viii) respostas pós-desastre. A engenharia desempenha um papel decisivo ao abordar todos os aspectos das intervenções da UNESCO na RRD²⁸. As seções a seguir fornecem exemplos de práticas que aplicam a engenharia na RRD.

Sistemas de alerta precoce

A UNESCO trabalha para lidar com vários perigos, como tsunamis, terremotos, inundações, secas e deslizamentos de terra.

Os sistemas de alerta precoce de tsunami se baseiam em redes de observação de sismógrafos e estações de medição do nível do mar, que enviam dados em tempo real para centros de alerta de tsunami nacionais e regionais (TWC). Com base nessas observações, os TWCs são capazes de confirmar ou cancelar um alerta de tsunami. É essencial que as comunidades em risco conheçam as ações que devem ser realizadas em casos de perigo iminente. A UNESCO é uma das principais partes interessadas na RRD de tsunami em âmbito global. A redução de riscos de tsunamis requer várias formas de engenharia, incluindo engenharia de solos, costeira e comportamental, para a previsão e a implementação de soluções, como planejamento de evacuações. Foram estabelecidos quatro Grupos de Coordenação Intergovernamentais (ICGs) correspondentes às regiões do Pacífico, Caribe, Oceano Índico e Mediterrâneo, para atender a necessidades regionais específicas.²⁹

Atingida por um tsunami em 7 de maio de 1842, Fort-Liberté, capital do departamento nordeste do Haiti, foi classificada como região de provável risco de futuros tsunamis. Com o apoio da UNESCO, foram instalados sinais de alerta e distribuídos materiais de preparação. A cidade agora dispõe de procedimentos operacionais vigentes para caso de tsunami, e 50 pontos focais locais e nacionais foram treinados para a recepção e disseminação de alertas. Foram envidados esforços significativos para reforçar as capacidades de observação sísmica e de modelagem de tsunamis em todo o país.

Educação e segurança escolar

A UNESCO promove uma metodologia de avaliação de segurança escolar multirrisco, conhecida como *Visual Inspection for Defining Safety Upgrading Strategies (Visus)*, que se baseia no uso de inspeções visuais para avaliar os riscos relevantes que podem afetar as escolas e na aplicação de algoritmos predefinidos que replicam o raciocínio de especialistas para realizar julgamentos. A metodologia também permite a avaliação dos recursos disponíveis para a aplicação eficaz das atualizações de segurança necessárias. A avaliação se baseia na aplicação de engenharia estrutural a edifícios danificados anteriormente como resultado de riscos naturais.

A metodologia Visus – que incorpora um forte componente de capacitação para tomadores de decisões, pessoal técnico e universidades – foi testada com sucesso em sete países: Itália (2010), El Salvador (2013), Laos (2015), Indonésia (2015-2018), Peru (2016), Haiti (2017) e Moçambique (2017).

²⁸ Para mais informações sobre as atividades da UNESCO sobre a RRD: www.unesco.org/new/en/natural-sciences/special-themes/disaster-risk-reduction

²⁹ Para mais informações sobre o trabalho na unidade de RRD de tsunamis: www.ioc-tsunami.org

No total, foi avaliada a segurança de mais de 500 mil estudantes e funcionários da educação (UNESCO; Udine University, 2019a, 2019b, 2019c).

RRD em locais designados pela UNESCO

O patrimônio cultural desempenha um papel significativo no desenvolvimento econômico e social de um país e representa um ativo para a resiliência e a recuperação após um desastre.

A colina de Swayambhu, que faz parte do sítio do Patrimônio Mundial do Vale do Kathmandu, tem experimentado eventos de deslizamento de terra desde a década de 1970. A cada dois ou três anos, a encosta do morro sofre fluxos de detritos, quedas de solo e deslizamentos devido ao movimento da massa de solo. Esses eventos ameaçam a integridade do conjunto religioso de Swayambhu, que inclui o monumento budista mais antigo (estupa ou pagode) no vale. A UNESCO realizou um estudo geológico com o uso de engenharia de solo para analisar o solo do local, que forneceu informações essenciais para um projeto de solução de estabilização de taludes e recomendações para o futuro desenvolvimento de infraestrutura na área.

Ciência, tecnologia e inovação para a resiliência

A ciência, a tecnologia e a engenharia ajudam a identificar e explicar os riscos e fornecem soluções relevantes.

Formas superiores de tecnologia incluem a IA, enquanto soluções menos tecnológicas incluem a ciência civil, a pesquisa participativa e o conhecimento sobre os nativos locais. Todos os dados reunidos pela UNESCO são disponibilizados ao público.

Os desastres relacionados à água são responsáveis por 90% dos mil desastres mais graves que ocorreram desde 1990, de acordo com a publicação “Making every drop count: an agenda for water action” (UNDESA, 2018). A UNESCO trabalha com os Estados-membros para promover a resiliência no enfrentamento de eventos hidrológicos extremos, como enchentes e secas, bem como sua capacidade de avaliar e monitorar mudanças na neve e nas geleiras, que atuam como indicadores-chave do aquecimento global e da mudança climática.

A UNESCO desenvolveu vários exemplos de dados, ferramentas, metodologias e sistemas de compartilhamento de informações para apoiar os Estados-membros em seus esforços para melhorar suas capacidades e sua resiliência, os quais são descritos no Capítulo 3.2, “Engenharia hídrica para o desenvolvimento sustentável”. Por exemplo, por meio dessas iniciativas, em 2019 foi produzido um “Atlas de secas da América Latina e do Caribe”, e atualmente está em

desenvolvimento um “Atlas de secas da África”, que utiliza técnicas como engenharia hidráulica, fluvial, ambiental e de solo.

O ambiente construído

Os terremotos estão entre os riscos naturais mais letais, com mais de 80% das mortes causadas pelo colapso de edifícios.

A UNESCO apoia seus Estados-membros na proteção de edifícios e na reconstrução aprimorada por meio de códigos de construção e políticas de controle de edificações. A UNESCO também abriga um secretariado da International Platform for Reducing Earthquake Disasters (Ipred), um grupo que reúne centros de excelência de institutos e universidades nacionais que realizam pesquisas sobre sismologia, engenharia sísmica e engenharia estrutural em 11 países propensos a terremotos. Os membros da Ipred desenvolvem diretrizes de engenharia e abordam questões relevantes de políticas (UNESCO, 2014, 2016).

Governança de riscos e resiliência social

A UNESCO promove o envolvimento da sociedade civil, visando a grupos como jovens e mulheres no planejamento e na implementação de RRD, nos âmbitos comunitário e de formulação de políticas.

A UNESCO também apoia os Estados-membros no trabalho conjunto de incentivar jovens e jovens profissionais a contribuírem para a RRD por meio da ciência, da engenharia, da tecnologia e da inovação (SETI). A Organização iniciou um programa intitulado *Youth and Young Professionals* no SETI para RRD (U-Inspire). Com o apoio da UNESCO, profissionais envolvidos no U-Inspire do Afeganistão, Índia, Indonésia, Ásia Central (Cazaquistão, Tadjiquistão e Uzbequistão), Malásia, Nepal, Paquistão e Filipinas participaram, em setembro de 2019, de um fórum em Jacarta, no qual concordaram em lançar formalmente a Aliança de Jovens e Jovens Profissionais da Ásia-Pacífico no SETI para RRD e Mudança Climática. Os resultados desse fórum contribuirão para o desenvolvimento de um *kit* de ferramentas que mostra exemplos de melhores práticas e fornece orientações sobre como os jovens e jovens profissionais do SETI para RRD podem se conectar e contribuir para as atividades e os marcos regionais, nacionais e mundiais de RRD (UNESCO, 2019).

RRD baseada em ecossistemas

A UNESCO promove a implementação de soluções e tecnologias ecossistêmicas e baseadas na natureza para reduzir os riscos de desastres.

A UNESCO trabalha em estreita colaboração com especialistas internacionais para integrar essa abordagem no planejamento do desenvolvimento nos âmbitos global, nacional e local.

Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

A Organização participa das atividades em andamento da Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) e da Partnership for Environment and Disaster Risk Reduction (PEDRR).

A UNESCO também está envolvida de maneira ativa no projeto Operandum³⁰, que visa reduzir os riscos hidrometeorológicos por meio de soluções inovadoras baseadas na natureza verde e azul/cinza/híbrida projetadas e desenvolvidas em conjunto, bem como implementadas, testadas e comprovadas. A engenharia desempenha um papel essencial nas soluções potenciais por meio da engenharia ambiental, fluvial, costeira e de solos.

Respostas pós-desastre

Na sequência de um desastre, e em conjunto com outras agências das Nações Unidas e parceiros internacionais, a UNESCO auxilia os Estados-membros nas respostas pós-desastre para avaliar danos e perdas, bem como para identificar as necessidades de recuperação e reconstrução.

A UNESCO estabeleceu um sistema para enviar engenheiros e sismólogos a países atingidos por terremotos, a fim de realizar investigações de campo pós-desastre e retirar lições para a futura redução de riscos, utilizando a experiência da Ipred. A análise de engenharia é aplicada a edifícios que desmoronaram, com o objetivo de entender a causa do colapso. As descobertas são então utilizadas para criar melhores códigos e práticas de construção.

As missões foram enviadas a Kermanshah, no Irã (2017), Bohol, nas Filipinas (2014), e Van, na Turquia (2012) (UNESCO, s.d).

Recomendações

1. Utilizar a engenharia e as ciências para entender os riscos de desastres em todas as suas dimensões de vulnerabilidade, capacidade, exposição de pessoas e ativos, características de perigo e meio ambiente.
2. Fortalecer a cooperação multissetorial com engenheiros, profissionais de outras disciplinas técnicas, formuladores de políticas, sociedade civil e setor privado para reforçar a governança e melhorar a gestão dos riscos de desastres.
3. Utilizar financiamento público e privado em atividades de engenharia de prevenção e redução de riscos de desastres, por meio de medidas estruturais e não estruturais, a fim de promover a resiliência.
4. Utilizar a engenharia para melhorar a preparação a desastres, para respostas eficazes e para “construir melhor” na fase de recuperação, reabilitação e reconstrução.
5. À medida que os impactos dos desastres naturais se tornam mais graves, afetando em particular as pessoas mais vulneráveis – especialmente em países da África, pequenos Estados insulares em desenvolvimento (SIDS), mulheres e jovens –, garantir que a engenharia seja vista como uma ferramenta importante para definir medidas preventivas.

³⁰ Para mais informações sobre o projeto Operandum: <https://en.unesco.org/operandum>

Referências

UNDESA – United Nations, Department of Economic and Social Affairs. *Making every drop count: an agenda for water action; high level panel on water*. New York, 2018. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17825HLPW_Outcome.pdf.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *IPRED post-earthquake field investigation*. Paris, s.d. Disponível em: www.unesco.org/new/en/natural-sciences/special-themes/disaster-riskreduction/geohazard-risk-reduction/networking/ipred/postearthquake-field-investigation.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction*. Paris, 2014. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000229059_eng.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Towards resilient non-engineered construction: guide for risk-informed policy making*. Paris, 2016. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246077>.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. The U-INSPIRE Alliance Network. *News*, 24 Sep. 2019. Disponível em: <https://en.unesco.org/news/youth-and-young-professionalsdeclare-regional-alliance-cooperation-science-engineering-0>.

UNESCO; Udine University – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; Udine University. *UNESCO guidelines for assessing learning facilities in the context of disaster risk reduction and climate change adaptation: introduction to learning facilities assessment and to the VISUS methodology, v.1*. Paris: UNESCO Publishing, 2019a. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371185.locale=en>.

UNESCO; Udine University – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; Udine University. *UNESCO guidelines for assessing learning facilities in the context of disaster risk reduction and climate change adaptation: introduction to learning facilities assessment and to the VISUS methodology, v.2*. Paris: UNESCO Publishing, 2019b. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371186?posInSet=2&queryId=3f2fa233-444b-4e87-a5c4-0277499c4be4>.

UNESCO; Udine University – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; Udine University. *UNESCO guidelines for assessing learning facilities in the context of disaster risk reduction and climate change adaptation: introduction to learning facilities assessment and to the VISUS methodology, v.3*. Paris: UNESCO Publishing, 2019c. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371188?posInSet=1&queryId=3f2fa233-444b-4e87-a5c4-0277499c4be4>.

UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction. *Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030*. Geneva, 2015.

UNISDR; CRED – United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. *Economic losses, poverty & disaster 1998-2017*. 2018. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/61119_credeconomiclosses.pdf.

WORLD BANK. *Natural hazards, UnNatural disasters: the economics of effective prevention*. Washington, DC, 2010. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2512>.

Jean-Eudes Moncomble³¹

3.5 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS SUSTENTÁVEIS E RESILIENTES



© SweetScience, Inc

Painel solar na África

31 Secretário-geral do Conseil Français de l'Énergie (membro francês do World Energy Council) e presidente do Committee on Energy da WFEO.

Resumo. Atualmente, a energia está no centro de muitas reflexões e debates. É, sem dúvida, um componente importante do desenvolvimento econômico e do progresso social, aos quais todos no planeta aspiram. A energia está intimamente ligada às transições nas sociedades e nas economias, seja em termos de estilos de vida, alimentação ou transporte. Está também no centro das transformações dos sistemas de produção, uma espécie de modernização que inclui o desenvolvimento das tecnologias digitais. A lista pode ser longa, mas parece surgir um consenso de que a emergência climática deve ser enfrentada com prioridade máxima, dadas suas consequências dramáticas, algumas das quais já foram e são observadas.³²

Energia e os ODS

Portanto, o desafio consiste em avançar para sistemas de energia sustentável em linha com os ODS das Nações Unidas. O ODS 7, sobre energia acessível e limpa, destaca dois grandes desafios: i) o acesso físico e econômico à energia, uma vez que entre 2,5 e 3 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso a métodos de cozimento satisfatórios, e cerca de 1 bilhão não têm acesso à eletricidade; e ii) a prevenção de danos ambientais, pois nenhuma forma de energia é produzida, transportada ou utilizada sem causar impactos negativos no planeta e em seus habitantes. No entanto, o foco no ODS 7 em detrimento de outros Objetivos forneceria uma análise incompleta. Alguns dos outros Objetivos dependem em grande medida de decisões relativas ao desenvolvimento dos sistemas energéticos. Alguns exemplos das relações entre energia e ODS são dados abaixo.

- Algumas soluções se baseiam na utilização de fontes de energia de origem biológica, quer sejam usadas direta (madeira para cozinhar ou aquecer), ou indiretamente (quando a biomassa é transformada em combustíveis). Aqui há uma ligação óbvia com o ODS 2, sobre fome zero, pois pode haver uma competição entre o uso de terras aráveis para o cultivo de alimentos e como fonte de energia, o que pode resultar em conflitos.
- Em alguns países, o acesso a recursos essenciais, como madeira e água, é difícil. As mulheres e as crianças muitas vezes são responsáveis por essas tarefas e por garantir o abastecimento doméstico. O tempo gasto com isso muitas

vezes é retirado do tempo usado para atividades escolares das crianças, profissionais das mulheres ou outras atividades. Há, portanto, uma forte relação entre energia e o ODS 4, sobre educação de qualidade, e o ODS 5, sobre igualdade de gênero.

- A água e a energia estão intimamente ligadas e, portanto, relacionadas ao ODS 6, sobre água potável e saneamento. Quase todas as tecnologias de produção de energia necessitam de água. Isso é evidente no caso da energia hidrelétrica, mas também é verdade para a exploração de hidrocarbonetos e para a produção de eletricidade em quase todas as tecnologias. É até mesmo essencial limpar os painéis solares com água para preservar sua eficiência. Algumas energias secundárias usam água; isso é verdade para o calor, mas também para o hidrogênio produzido por eletrólise. No entanto, a energia também é necessária para produzir (no caso de bombas, por exemplo), bem como para transportar e tratar a água, tanto antes como depois do seu uso. Em alguns países que precisam gerenciar a escassez hídrica, estão sendo implementadas tecnologias de dessalinização, que também usam energia.
- Uma das causas do aquecimento global é o uso de combustíveis fósseis. Isso destaca a forte relação entre a energia e o ODS 13, sobre a ação climática. A descarbonização dos sistemas energéticos é obviamente um grande desafio para as empresas de energia. É essencial promover energias descarbonizadas (renováveis e nucleares), ou tecnologias que tornem aceitável o uso de combustíveis fósseis, como a captura e o armazenamento de carbono. No entanto, a adaptação dos sistemas energéticos às consequências da mudança climática é também um grande desafio que afeta tanto a produção (pelo estresse hídrico, que ocorrerá em muitas partes do mundo) quanto a procura de energia (pelo desenvolvimento de determinados usos, como o ar-condicionado).
- Também é preciso mencionar a relação entre a energia e o ODS 16, sobre paz, justiça e instituições fortes. Muitos dos conflitos mundiais têm origem no acesso aos recursos energéticos, sendo o petróleo o exemplo mais conhecido – mas não o único. Indiretamente, a gestão do fluxo de certos rios por barragens provocou verdadeiras “tensões hídricas”, devido às consequências na produção de eletricidade ou irrigação nos países vizinhos.

Sistemas de energia sustentável

Os sistemas de energia sustentável podem, assim, realizar contribuições substanciais para a prosperidade e a proteção do planeta. Embora muitas soluções sejam bem conhecidas, elas exigem escolhas conscientes para produzir a energia necessária (IEA, 2020; WEC, 2016; IPCC, 2018a, 2018b). Alguns exemplos são apresentados abaixo.

32 Leia a Declaração da WFEO sobre Emergência Climática, em: http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/declarations/WFEO_Declaration_on_Climate_Emergency_2019.pdf

- As energias renováveis, incluindo a hidroeletricidade, são vistas com bons olhos e abrangem uma grande variedade de fontes, com vantagens e desvantagens muito diferentes; nenhuma delas é isenta de consequências ambientais, embora estas possam ser menos aparentes do que em outras formas de energia. Enquanto a integração de certas fontes energéticas nas redes elétricas pode ser difícil devido à sua variabilidade (por exemplo, energia eólica ou fotovoltaica), outras são indicadas em termos de estabilização do sistema (hidroeletricidade). A maioria das energias renováveis tem uma “pegada” muito grande e pode dar origem a oposição local, mas todas elas têm a vantagem de ter baixo uso de carbono.
- A energia nuclear, como as renováveis, é uma energia que quase não utiliza carbono. Tal como a energia hidroelétrica, ela é capaz de produzir grandes quantidades de eletricidade sem carbono e, assim, pode contribuir de forma substancial para o combate à mudança climática. De fato, muitas organizações internacionais, governos, empresas e especialistas consideram a energia nuclear essencial na luta contra a mudança climática (IPCC, 2018a) – o principal desafio é recolocá-la em seu devido lugar por meio da informação e do debate.
- As energias fósseis (carvão, petróleo e gás) são responsáveis pela maioria das emissões de CO₂, mas ainda representam cerca de 81% da matriz energética mundial. Embora pareça utópico tentar eliminar de forma rápida e completa os combustíveis fósseis como fontes de energia, especialmente em setores como o de transporte ou em determinados países, eles podem contribuir para alcançar os objetivos desejados quando são combinados com o uso de tecnologias de captura e armazenamento de carbono.

Ao lado da demanda por energia, a procura de eficiência energética também merece uma análise mais aprofundada, para se compreender plenamente as políticas e medidas mais eficazes. Alguns potenciais de eficiência energética são simples e baratos de ser explorados, enquanto outros podem exigir grandes investimentos com altos períodos de retorno, ou exigir mudanças comportamentais que devem levar tempo, pois são canalizados por meio de canais de informação e educação. Por fim, a pandemia da COVID-19 provocou mudanças de comportamento, a um custo elevado em termos de economia e emprego, e será interessante observar a sustentabilidade dessas mudanças. Os países diferem em termos de recursos naturais, geografia, níveis de desenvolvimento econômico e social, história e cultura e, portanto, as prioridades e escolhas políticas serão diferentes dependendo de cada um. Consequentemente, os caminhos para sistemas energéticos sustentáveis serão únicos para cada país.

Energia e resiliência

A pandemia da COVID-19 não diminuiu a urgência de se combater a mudança climática, nem a importância da modernização das economias. No entanto, ela destacou a importância da resiliência

para os sistemas de energia, uma resiliência que precisa ser enfatizada (WEC, 2020).

A resiliência dos sistemas energéticos é ilustrada nos exemplos abaixo:

- resiliência a riscos para a saúde, não apenas à COVID-19, mas também a outros riscos sanitários que possam afetar ainda mais as sociedades;
- resiliência à escassez de insumos para a produção de energia, como metais raros, água, terra ou habilidades;
- resiliência a catástrofes naturais, como inundações, secas, terremotos ou tsunamis; e
- resiliência a novos riscos que, por vezes, estão ligados à modernização das economias, como ataques cibernéticos ou riscos sistêmicos.

É, portanto, na interface da sustentabilidade com a resiliência que o trabalho do engenheiro estará situado. Em um contexto particular de fortes restrições orçamentárias, relacionadas à crise econômica que se está vivenciando atualmente, o papel do engenheiro é decisivo. Diante de uma infinidade de inovações, ao lado de soluções conhecidas e operacionais, os engenheiros utilizam um método racional e rigoroso para a seleção de tecnologias que contribuem para o desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis e resilientes, longe de quaisquer sonhos, ideologias ou tendências.

A contribuição do engenheiro será baseada em quatro regras:

- 1. Adotar uma abordagem sistêmica.** Considerar apenas um elo em uma cadeia de insumos tecnológicos pode levar a erros por não levar em conta os outros elos. Isso pode ser facilmente ilustrado considerando uma energia secundária, como eletricidade, hidrogênio ou calor, cujo uso é pouco poluente, mas cuja produção pode alterar de forma significativa as qualidades do sistema.
- 2. Priorizar tecnologias maduras.** A disponibilidade temporal de tecnologias é bem conhecida e pode ser avaliada por ferramentas como a escala TRL (nível de maturidade tecnológica). Entretanto, o grau de maturidade de uma tecnologia deve estar relacionado à urgência climática (IPCC, 2018a). Diversos estudos – principalmente do IPCC – mostram uma mensagem clara: é vital agir agora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) até 2030. Responder à emergência climática requer a adoção de tecnologias maduras no ambiente industrial, juntamente com as habilidades necessárias. Tecnologias menos maduras serão desenvolvidas para consolidar ou ampliar os resultados iniciais.
- 3. Incentivar contribuições significativas.** É essencial questionar a extensão da contribuição que uma tecnologia provisória realmente fornecerá para alcançar os objetivos estabelecidos. Essa contribuição potencial é um elemento decisivo para a seleção e deve ser considerada em suas várias

facetas: a adaptabilidade da tecnologia ou sua facilidade de transferência são dois critérios a serem considerados, para que a tecnologia possa dar uma contribuição significativa à matriz energética global. Deve ser ponderada em relação aos recursos necessários para desenvolver tal tecnologia. Estas são invariavelmente limitadas, seja em termos de pesquisa e desenvolvimento, esforços de implementação, investimentos materiais ou humanos e, muitas vezes, a mobilização de assistência pública.

- 4. Promover um critério econômico simples: o custo por tonelada de redução de CO₂.** A crise econômica e social ocasionada pela COVID-19 fez com que todos pagassem o custo; governos, autoridades locais, empresas e famílias – todos foram colocados uma situação de dificuldade financeira. Para realizar as compensações corretas em um quadro orçamentário restrito, é necessário ter um critério simples, mas robusto, que represente melhor a eficiência econômica. Comparar os custos por tonelada de CO₂ não produzida – ou seu equivalente de CO₂ para outros GEEs –, calculados com o uso de uma abordagem sistêmica para todas as tecnologias, pode ajudar a orientar as escolhas quanto a tecnologias mais eficientes no combate à mudança climática. No entanto, a eficiência econômica, que é apenas um critério entre outros, deve – no atual período de crise – tornar-se uma exigência.

Recomendações

1. Para ajudar a alcançar o ODS, é essencial desenvolver sistemas energéticos sustentáveis e resilientes. As reflexões devem se basear em fatos rigorosos e sem preconceitos. Para alcançar esses objetivos, todas as opções energéticas são possíveis, dependendo dos contextos nacionais.
2. Os engenheiros têm um papel a desempenhar na informação sobre escolhas, adotando abordagens sistêmicas que apresentam tecnologias maduras, disponíveis de forma imediata e que contribuam significativamente para o combate à mudança climática.
3. No contexto atual relativo à pandemia da COVID-19, é importante utilizar critérios econômicos simples e transparentes, como o custo por tonelada de CO₂ não produzida.

Referências

IEA – International Energy Agency. *World energy outlook 2020*. Paris, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energyoutlook-2020>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Global warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte *et al.* (eds). Paris, 2018a. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Global warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty; summary for policymakers*. Masson-Delmotte *et al.* (eds). Paris, 2018b. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm>.

WEC – World Energy Council. *World energy scenarios 2016: the grand transition*. London, 2016. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-scenarios-2016-the-grandtransition>.

WEC – World Energy Council. *World energy transition radar*. London, 2020. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/worldenergy-scenarios/covid19-crisis-scenarios/world-energytransition-radar>.



Jürgen Kretschmann³³

3.6 ENGENHARIA DE MINAS PARA O FUTURO



©THGA/Volker Wiclok

³³ Presidente da Universidade Técnica TH Georg Agricola, em Bochum, Alemanha. Ex-presidente da Society of Mining Professors.

Resumo. A mineração pode dar uma contribuição positiva para o alcance dos 17 ODS, mas, primeiramente, a indústria precisa se reinventar. Ao longo dos últimos 30 anos, um grande número de visões, objetivos, métodos, tecnologias, processos e outras medidas foram desenvolvidos pelas universidades, pela indústria e pelos governos, para melhorar a sustentabilidade das atividades de mineração. No entanto, diante dos desafios que os engenheiros de minas enfrentarão em nível mundial no futuro, é necessário um salto quântico em direção a uma mineração melhor e mais sustentável.

Introdução

O fornecimento suficiente de matérias-primas em condições justas de mercado é essencial para o desenvolvimento socioeconômico sustentável, pois esse suprimento vincula quase todas as cadeias de valor dos negócios (SOMP, 2019). A indústria de mineração global se expandiu ao longo de dois séculos, e atualmente é mais importante do que nunca. A população mundial aumentou 54,43% entre 1985 e 2018, de 4,9 para 7,5 bilhões de pessoas, enquanto a produção mineradora mundial aumentou cerca de 84,5%, de 9,9 bilhões de toneladas métricas, em 1985, para 17,7 bilhões de toneladas métricas em 2018 (Reichl; Schatz, 2020). Além disso, uma população em rápido crescimento, de 7,8 bilhões de pessoas em todo o planeta, exige um padrão de vida mais elevado, o que, juntamente com uma tendência mundial de urbanização, provavelmente levará ao aumento desproporcional das atividades de mineração no futuro. Apesar da necessária otimização dos processos de reciclagem (a chamada “mineração urbana”), haverá uma forte demanda por determinadas matérias-primas para desenvolver um mundo mais sustentável, como o cobre e elementos de terras raras para a produção de energias renováveis, ou níquel, manganês, lítio e cobalto para baterias.

No entanto, as empresas mineradoras, e especialmente os engenheiros, enfrentam enormes desafios (Drebenstedt, 2019), conforme descrito abaixo:

- depósitos mais profundos, mais íngremes ou não convencionais – à medida que os depósitos de fácil acesso estão diminuindo –, que apresentam desafios geotécnicos;
- menor grau ou qualidade dos minérios e aumento dos resíduos de mineração;
- minas isoladas e desafios de infraestrutura;

- condições extremas de mineração;
- uma série de desafios sociais e ambientais;
- falta de recursos humanos e de competências; e
- reações adversas da comunidade a conflitos e projetos de mineração.

Em âmbito global, a indústria de minerais enfrenta custos crescentes e condições cada vez mais difíceis. Como muitos fatores internos e externos continuam a exercer pressão sobre as empresas mineradoras, engenheiros e suas operações, há uma necessidade crescente de mais do que apenas mudanças incrementais. A indústria de minerais do futuro deve adotar novas abordagens para sistemas e tecnologias de mineração sustentáveis, que representem saltos quânticos para a extração e o processamento de minerais (SOMP, 2019).

Os saltos quânticos tecnológicos na melhoria da engenharia de minas são inevitáveis

Nos últimos séculos, a mineração se desenvolveu de um pequeno empreendimento artesanal (mineração 1.0) para uma indústria de alta tecnologia digitalizada (mineração 4.0). Naturalmente, essa evolução pressupõe inovações tecnológicas, e essa mudança incremental na mineração e sua melhoria contínua vão perdurar. São aspectos que devem ser considerados: novas tecnologias, características de jazidas ou jazidas diferentes e mutáveis, forças de mercado e questões de licenças sociais que incluem aceitação pública, aprovações e padrões governamentais, bem como melhorias autoimpostas no desempenho e expectativas de segurança. A aplicação de sistemas inovadores com base em *big data* digital (mineração 4.0) também irá melhorar drasticamente as possibilidades da engenharia de minas.

Desse modo, é imperativo obter avaliações geológicas e econômicas da eficácia operacional e financeira dos projetos de mineração planejados. Além disso, a gestão de riscos deve ser definida e avaliada de forma minuciosa, para garantir empreendimentos mineradores seguros e ecológicos, ao planejar e gerenciar todo o ciclo de mineração: desde a exploração dos depósitos até os projetos das minas, a produção de minerais, até as atividades subsequentes, após o fechamento (Kretschmann, 2020). Além disso, o desempenho, que inclui a otimização de recursos energéticos e materiais, bem como a eficiência operacional para mineração em tempo real (por exemplo, a mineração inteligente) também deve ser considerado (Litvinenko, 2019). Consequentemente, as principais características para a melhoria da engenharia de minas incluem o seguinte:

- normas de saúde e segurança extremamente elevadas;
- efeitos limitados na paisagem e no meio ambiente;

- baixas emissões específicas de dióxido de carbono;
- alto nível de recuperação dos componentes úteis dos minérios;
- uso máximo de tecnologias controladas de forma remota, para permitir que o pessoal técnico permaneça a uma distância segura da zona de extração;
- armazenamento estéril sem remoção para a superfície; e
- elevada eficiência no uso dos recursos e aumento da competitividade.

A indústria de mineração de alta tecnologia deve enfrentar desafios com soluções holísticas e integradas que abordem todo o ciclo de mineração, desde a exploração, passando pelo projeto, até as atividades de produção e pós-mineração. Além disso, é essencial ter melhorias na segurança, no impacto ambiental, nas emissões, nas taxas de recuperação, nas operações controladas remotamente, na eficiência e na competitividade.

São necessários modelos de negócios viáveis para a mineração sustentável

Em sua revisão sistemática da literatura, de Mesquita *et al.* (2017) descreveram a situação das pesquisas acadêmicas sobre mineração, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Identificaram 1.157 artigos publicados em 491 periódicos, escritos por 3.230 autores, que são vinculados a 1.334 instituições em 93 países. Portanto, não há dúvida de que existe um amplo conhecimento disponível para utilizar práticas sustentáveis de mineração. Em seu livro “Mining, materials, and the Sustainable Development Goals (SDGs): 2030 and beyond” (Parra; Lewis; Ali, 2021), os autores descrevem sua visão de como engenheiros e empresas de mineração podem contribuir para alcançar todos os 17 ODS e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Além disso, eles indicam nada menos do que 18 iniciativas internacionais de sustentabilidade na área de mineração. Consequentemente, nenhuma empresa mineradora internacional ativa tem uma missão corporativa que não mencione a sustentabilidade como objetivo principal de suas atividades. Ainda assim, Parra, Lewis e Ali observam que, atualmente, não existe uma estrutura “de cima para baixo” para avaliar se os efeitos cumulativos de tais contribuições acadêmicas ou comerciais são significativas o suficiente para ajudar a alcançar os ODS de maneira efetiva.

Nos dias atuais, não existem métodos padronizados para mensurar o impacto de uma atividade a fim de determinar se e como essas principais contribuições melhoram, de maneira mensurável e significativa, no sentido da realização global da Agenda 2030. Além disso, é preciso determinar *quem* deve avaliar a qualidade e a eficácia. Seria possível para as empresas de mineração determinar sua “responsabilidade”

em relação a um objetivo ou subobjetivo específico? É viável basear essa determinação em receita, lucro, volume de produção ou outras métricas?

Por último, mas não menos importante: quem decide se um projeto de mineração contribui positivamente (ou não) para os ODS, e quais são as consequências dessa decisão? Atualmente, as decisões sobre projetos de mineração são tomadas, principalmente, por meio de uma abordagem “de baixo para cima” pelas partes interessadas. O investimento necessário para se realizar um projeto de mineração de larga escala pode facilmente chegar a vários bilhões de dólares norte-americanos (Litvinenko, 2019). Até o momento, há uma forte tendência que impacta a indústria mineradora, com o aumento global dos investimentos em ESG (ambiental, social e governança). Isso se baseia na ideia de que incorporar uma análise dos fatores ambientais, sociais e de governança de um investimento potencial, além das métricas financeiras tradicionais, pode ajudar a melhorar os retornos.

Recomenda-se que as mineradoras reformulem ou reposicionem seus negócios, implementando modelos de negócios que objetivem para a sustentabilidade e, assim, garantam sua atratividade para potenciais investidores. Além disso, uma pesquisa industrial realizada pela EY em 2020 concluiu que o maior risco para a indústria de mineração é a perda de sua “licença social para operar”. Isso descreve a relação em constante evolução entre essa indústria e suas partes interessadas locais ou regionais, a qual abrange os conceitos de justiça processual e distributiva, confiança e aceitação (Laurence, 2020).

Presas entre ativistas regionais e investidores internacionais, a indústria de mineração deve desenvolver modelos de negócios estratégicos e sustentáveis para equilibrar os interesses concorrentes e complementares das principais partes interessadas. Em geral, as pessoas concordam que um mundo sem mineração não é possível, mas o que isso significa para um projeto específico em sua comunidade, especialmente se o processamento e o uso de uma matéria-prima ocorrem em países estrangeiros, e os resíduos da mineração, a poluição e às vezes até os desastres ambientais permanecem “em casa”? O “2020 Global Mining Survey Report” revelou que 75% de seus entrevistados compartilham a opinião de que a indústria mineradora deve redefinir o sucesso por meio de um grupo mais holístico de medidas, que levem em consideração os valores de *todas* as suas partes interessadas relevantes (KPMG, 2020). A consequente adoção de modelos de negócios de mineração sustentável é, portanto, uma necessidade, e uma autoridade competente e forte da área precisa assumir o controle em todos os níveis governamentais.

Foco em educação, pesquisa e desenvolvimento

Para 2030 e além, um objetivo principal da engenharia de minas deve ser promover e nutrir uma cultura de pesquisa e desenvolvimento (P&D) que também inclua novas oportunidades de trabalho para engenheiros mais qualificados, capazes de implementar novas tecnologias na indústria. Além disso, os engenheiros de minas atuais e futuros devem ter como objetivo melhorar e/ou aprender a aplicar o conhecimento científico, inovações tecnológicas e tecnologias emergentes de outras disciplinas. Além disso, eles devem ser capazes de melhorar a capacidade e o crescimento dos negócios, garantir a sustentabilidade da indústria de minerais em um cenário tecnológico em rápida transformação, e construir parcerias estratégicas eficazes e abrangentes. Em consonância com isso, um futuro engenheiro de minas necessita dos seguintes atributos (SOMP, 2019):

- competências técnicas de elevada qualidade;
- compreensão e capacidade de usar, otimizar e adaptar-se a tecnologias inovadoras e em rápida mudança, em especial as tecnologias digitais;
- alta alfabetização de dados e capacidade de trabalhar com grandes conjuntos de dados para obter sistemas eficazes de gestão e controle;
- capacidade de planejar e operar minas com “pegadas” de superfície e impactos ambientais mais aceitáveis no âmbito social;
- compreensão sobre toda a cadeia de valor da operação de mineração, por meio de uma abordagem mais holística e sistêmica de planejamento e operações;
- capacidade de adotar uma abordagem com base em riscos para o planejamento, a tomada de decisões e a gestão;
- perspectiva global ou internacional, sendo capaz de trabalhar em um ambiente local e com a compreensão clara sobre as restrições locais; e
- capacidade de liderar e trabalhar com equipes multidisciplinares.

O papel das faculdades de engenharia de minas consiste em desenvolver engenheiros de mineração para o futuro, por meio de mudanças curriculares e experiências educacionais. Isso requer colaboração entre a indústria de mineração e especialistas tecnológicos para acelerar a inovação e a comercialização, de modo a criar valor agregado para a indústria de minerais. Isso é alcançado pelo desenvolvimento de iniciativas de pesquisa de ponta e pela defesa de engenheiros de minas com os mais altos padrões éticos e integridade (SOMP, 2019), de modo a garantir a realização dos ODS. Consequentemente, os atuais currículos de mineração, em todo o mundo, devem ser avaliados para verificar se e como atendem a esses atributos, para que as melhorias possam ser iniciadas quando for necessário.

Recomendações

Com base em uma abordagem de última geração de engenharia de minas sustentável, propõem-se três ações iniciais para uma indústria de mineração sustentável em todo o mundo:

1. Foi desenvolvida uma grande variedade de tecnologias adequadas, e instituições governamentais, educadores da área de engenharia, indústria e instituições profissionais nesses países devem ser capacitadas para usar tais tecnologias a fim de alcançar uma profissão de mineração mais sustentável (UNDP; UN Environment, 2018).
2. A criação de um grupo de trabalho liderado pela UNESCO poderia fornecer sugestões para modelos de negócios sustentáveis aplicáveis às empresas de mineração, desde operações artesanais, de baixa tecnologia e informais, até empresas multinacionais de grande porte. Esses modelos devem ser discutidos com representantes do governo de países mineradores, indústria, investidores financeiros, ONGs e instituições profissionais de engenharia de minas, para desenvolver a estrutura necessária e aplicar métodos de mensuração que levem em consideração os ODS.
3. Os governos e as instituições de ensino superior devem tomar medidas para aperfeiçoar a educação em mineração e as possibilidades de aprendizagem ao longo da vida na área. Devem ser estabelecidos centros específicos de pesquisa-educação (Litvinenko, 2019) para promover práticas mineradoras sustentáveis em todo o mundo e para incentivar os mais jovens, especialmente meninas, a considerarem a engenharia de minas como uma carreira profissional. Isso pode suprir o recente déficit da quantidade de engenheiros e garantir a diversidade de pensamento e a participação inclusiva, que são essenciais para alcançar todos os ODS.

Referências

- DE MESQUITA, R. F. *et al.* Mining and the sustainable development goals: a systematic literature review. *Proceedings of the 8th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry*, 6. 2017. Disponível em: <https://ojs.library.dal.ca/greebookseries/issue/view/695>.
- DREBENSTEDT, C. Responsible mining approach for sustainable development: research concept and solutions. *Journal of Engineering sciences and Innovation*, v. 4, n. 2, p. 197-218, 2019.
- EY. *Top 10 business risks facing mining and metals in 2019-20*. 2020. Disponível em: https://www.ey.com/en_gl/mining-metals.
- KPMG. *Risks and opportunities for mining. Global Outlook 2020*. Australia, 2020. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2020/02/risks-and-opportunities-for-mining.pdf>
- KRETSCHMANN, J. Sustainable change of coal-mining regions. *Mining, Metallurgy & Exploration*, v. 37, n. 1, p. 167-178, 2020.
- LAURENCE, D. *The devolution of the social licence to operate in the Australian mining industry*. The Extractive Industries and Society, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.05.021>.
- LITVINENKO, V. S. Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*, v. 29, p. 1521-1541, 2019.
- PARRA, C.; LEWIS, B.; ALI, S. H. (eds). *Mining, materials, and the Sustainable Development Goals (SDG): 2030 and beyond*. Boca Raton and Abingdon: CRC Press, 2021.
- REICHL, C.; SCHATZ, M. *World mining data 2020*. Vienna: Federal Ministry of Agriculture, Regions and Tourism Republic of Austria, 2020.
- SOMP – Society of Mining Professors/Societät der Bergbaukunde. *Mines of the Future, Version 1.0 (Major Findings)*, 2019. Disponível em: <https://miningprofs.org>.
- UNDP; UN ENVIRONMENT – United Nations Development Programme; United Nations Environment Agency. *Managing mining for sustainable development: a sourcebook*. Bangkok, 2018.

Sudeendra Koushik³⁴

3.7

ENGENHARIA E *BIG DATA*



wavebreakmedia/Shutterstock.com

34 WFEO Committee for Information and Communications, Índia.

Resumo. A disponibilidade de grandes quantidades de dados heterogêneos de múltiplas fontes, que crescem de maneira exponencial, tornou imperativo formular estratégias e desenvolver processos e algoritmos para analisar forma eficiente grandes conjuntos de dados de. Isso abriu novas oportunidades para pesquisadores, engenheiros e empreendedores em diversos domínios e indica o fato de que os bancos de dados e as ferramentas tradicionais, utilizados principalmente para processar dados estruturados, se tornaram inadequados. As perspectivas estratégicas dos dados se alteraram radicalmente, levando à evolução do *big data* (Quadro 1). A utilização de dados coletados é a essência das tecnologias de *big data*, que têm demonstrado grande potencial para aprimorar a prática de engenharia em termos de eficiência, segurança, resiliência e correção ecológica, levando a um novo paradigma da engenharia orientada por dados.

Os sistemas de *big data* incorporam várias tecnologias e conjuntos de habilidades em constante evolução, os quais incluem conhecimento de domínio, análise de dados, conhecimento estatístico e habilidades avançadas de visualização de dados. Esse ecossistema é bem diferente dos conceitos anteriores de *data warehousing*, *business intelligence* e linguagem de consulta estruturada (SQL), que foram os precursores do paradigma de *big data* (Mohanty et al., 2013).

O YouTube gera cerca de 100 *petabytes* de novos dados todos os anos (Stephenson, 2018), e cerca de 72 horas de vídeos a cada minuto (Chen et al., 2014), enquanto o Facebook gera mais de 10 *petabytes* de dados de *log* todos os meses. Dados de negociação *online* de dezenas de *terabytes* são gerados por plataformas de comércio eletrônico como o Taobao, e os dados da internet foram projetados para aumentar para cerca de 2 *zetabytes* por ano até 2020 (Stephenson, 2018). Há uma infinidade de fontes a partir das quais são gerados dados multiformatos, inclusive de sensores embutidos em vários dispositivos, que vão de telefones celulares a máquinas industriais, sob o paradigma geral da internet das coisas (IoT), bem como por meio das tecnologias da computação em nuvem (McKinsey, 2011) (Figura 1).

Figura 1. Fontes de dados comuns



Quadro 1. Perspectivas estratégicas dos dados: analógico versus digital

Era analógica	Era digital
A geração de dados é cara.	Os dados são gerados continuamente por meio de uma infinidade de fontes.
Desafios no armazenamento e no gerenciamento de dados.	Desafios na transformação de dados em informações valiosas.
Apenas dados-padrão utilizados para análise.	Dados não estruturados são cada vez mais utilizáveis e valiosos.
Dados gerenciados em silos funcionais.	O valor do fornecimento, armazenamento e processamento de dados está em silos funcionais.
Os dados são uma ferramenta para otimizar processos.	Os dados são um ativo tangível fundamental para a criação de valor.

O *big data* entendido como tecnologia facilita a tomada de decisões, abrangendo áreas de maneiras inovadoras, como negócios, biomedicina e engenharia, bem como previsão e análise, independentemente do tamanho dos dados. Por exemplo, a tecnologia de *big data* foi usada efetivamente por cientistas para coletar e analisar grandes quantidades de dados, que levaram à descoberta do bóson de Higgs no centro de pesquisa do CERN, em 2012 (Stephenson, 2018).

Imperativos de *big data*

O *big data* tem sido definido como “ativos de informação de alto volume, alta velocidade e/ou alta variedade, que demandam formas inovadoras e econômicas de processamento de informações, permitindo melhor percepção, tomada de decisão e automação de processos” (United Nations, 2012).

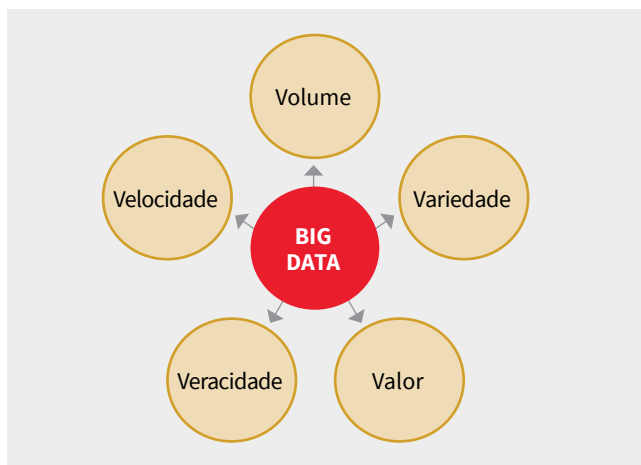
As três características, ou os “3 Vs” de *big data*, são:

- *Volume* – a escala é muito grande, devido à geração de grandes quantidades de dados a partir de várias fontes.
- *Velocidade* – a rápida coleta e análise de dados é necessária para maximizar o valor do processo.
- *Variedade* – dados variados estão envolvidos, sendo estruturados, semiestruturados (XML, EDI etc.) e não estruturados (vídeos, páginas da *web*, textos etc.).

Há também duas outras características que comumente são associadas a *big data*: “veracidade” e “valor”. A veracidade se refere à qualidade da informação de múltiplas fontes, e o valor denota a significância e a relevância dos dados disponíveis e sua acessibilidade para análise (Diebold, 2012; Kambatla *et al.*, 2014) (Figura 2). Pode-se supor que “*big data* tenha menos relação com dados grandes do que com a capacidade de pesquisar, agregar e cruzar grandes conjuntos de dados” (Boyd; Crawford, 2012).

As questões de segurança e privacidade continuam sendo motivo de preocupação, juntamente com a padronização de estruturas e arquiteturas que envolvem *big data*. Para isso, o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (*National Institute of Standards and Technology* – NIST), do Departamento de Comércio dos Estados Unidos, criou um Grupo de Trabalho Público de *Big Data* (*Big Data Public Working Group* – NBD-PWG), para abordar especificamente os conceitos fundamentais e importantes relacionados a *big data*³⁵, e muitas organizações de engenharia, como a WFEO, também exigiram uma conduta responsável com relação a *big data* na prática de engenharia.³⁶

Figura 2. Características de *big data*



35 Site oficial do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST): www.nist.gov

36 Para mais informações sobre *big data* e princípios de IA em engenharia pela WFEO: <http://www.wfeo.org/big-data-and-ai-principles-in-engineering>

Análise de *big data*

A criação de valor a partir do ecossistema de *big data* continua sendo a principal motivação para seu desenvolvimento futuro, o que indica a necessidade de simplificar todo o processo, desde a coleta até o processamento e a visualização (Figura 3).

O aumento do uso de mecanismos de busca, como o Google, aumentou a necessidade de pesquisar rapidamente grandes bancos e fontes de dados para disponibilizá-los aos usuários em tempo real. Diversos algoritmos foram elaborados com essa finalidade, e o Google desenvolveu uma estrutura de *software* (Hadoop) que funcionou como um precursor para muitos outros sistemas do tipo.

As várias ferramentas disponíveis e atualmente em desenvolvimento podem ser categorizadas sob os seguintes elementos funcionais de geração, processamento e resultados de *big data* (Oussous *et al.*, 2018):

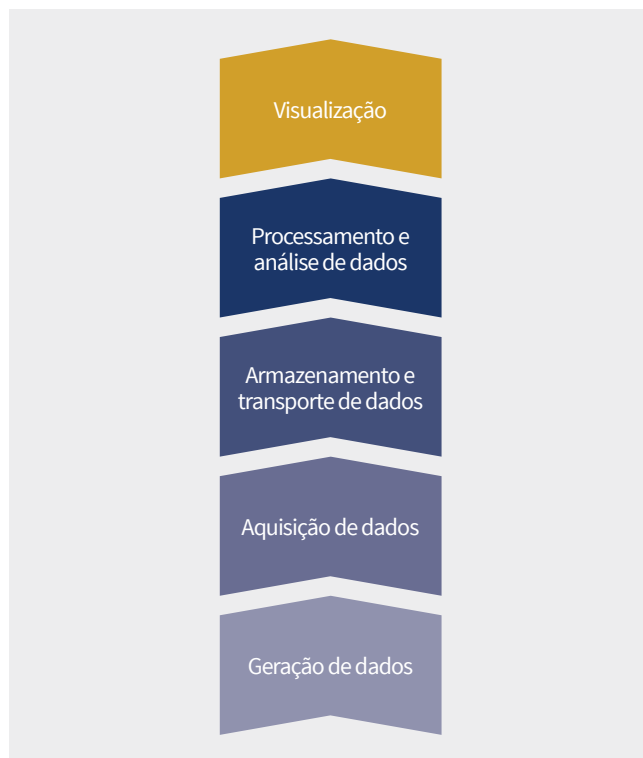
- integração de dados para *upload* de dados e integração de sistemas;
- armazenamento distribuído, como *Direct Attached Storage* (DAS), *Network Attached Storage* (NAS) e *Storage Area Network* (SAN);
- gestão centralizada, incluindo diagnósticos, monitoramento e cenários corporativos;
- análise, incluindo ferramentas de aprendizado de máquina; e
- controle de segurança e acesso à privacidade, especialmente para fontes de dados multiproprietárias.

Figura 3. Componentes de um ecossistema de *big data*



As tecnologias de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (*machine learning* – ML) se beneficiaram muito desses avanços, pois agora grandes quantidades de dados estão disponíveis para facilitar o ML (como *deep learning* e redes neurais artificiais). As ferramentas do paradigma de *big data* permitem ainda que os computadores atinjam níveis de desempenho anteriormente esperados dos supercomputadores (Stephenson, 2018). Por sua vez, as técnicas de IA enriquecem a análise de *big data*, especialmente no processamento de dados não estruturados. Um elemento-chave do sistema de *big data* são os bancos de dados, projetados para lidar com o acesso a dados não SQL. Os dados que se enquadram na categoria de não SQL são únicos em “características e filosofias de *design*” (Mohanty *et al.*, 2013). A visualização dos resultados da análise de dados, de maneira fácil e eficaz, é imperativa e exige inovação e criatividade em toda a cadeia de valor de *big data* (Figura 4).

Figura 4. Cadeia de valor de *big data*



Aplicações de *big data*

O potencial transformador do *big data* na saúde, na administração do setor público, no varejo, na indústria e na localização pessoal tem sido amplamente aceito (McKinsey, 2011). Atualmente, as aplicações de *big data* ocorrem principalmente no setor empresarial; no entanto, isso está mudando rapidamente, pois outros também estão percebendo o grande valor decorrente dessa tecnologia. Governos de todo o mundo, por exemplo, estão aproveitando a análise de *big data*

para identificar e enfrentar desafios e planejar programas eficazes, especialmente no mundo em desenvolvimento. Observou-se que o *big data* tem o potencial de “acompanhar o progresso do desenvolvimento, melhorar a proteção social e entender onde as políticas e os programas existentes exigem ajustes”.³⁷

Percebendo a importância dos avanços impulsionados por *big data*, em 2014, a Comissão Estatística das Nações Unidas criou o Grupo de Trabalho Global das Nações Unidas sobre *Big Data* para estatísticas oficiais, que inclui uma compilação de indicadores dos ODS para a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.³⁸ A seguir, algumas das áreas em que o *big data* está criando valor significativo.

- A análise de *big data* é extremamente valiosa no setor industrial, ao permitir a integração de dados de diversos departamentos para facilitar a engenharia simultânea, o que, por sua vez, aumenta a qualidade e a produtividade (McKinsey, 2011).
- O *big data* tem uma grande aplicação no *design* de infraestrutura, levando a resultados ideais e a uma boa relação custo-benefício.
- A gestão das cadeias de suprimentos foi muito aprimorada pelo aumento da visibilidade dos movimentos logísticos, bem como pelo fornecimento de *feedback* pelos usuários, e é um exemplo frequentemente citado de aplicação de tecnologia de *big data*.
- No setor do varejo, o *big data* permite que a satisfação dos consumidores seja aprimorada com a gestão da percepção pública e das marcas, e as respostas dos clientes, analisando-se as tendências de compra e a inovação com foco em produtos.

Os dados obtidos dos pacientes estão sendo utilizados de forma eficaz para administrar cuidados otimizados, desde testes diagnósticos até a dosagem de remédios. O sequenciamento genético para o tratamento de doenças depende de tecnologias de *big data*, devido às grandes quantidades de dados que precisam ser processadas. Durante a pandemia da COVID-19 ainda em curso, a tecnologia de *big data* está sendo amplamente utilizada na identificação de casos e no planejamento do tratamento das pessoas afetadas.

- O *big data* na educação é eficaz na avaliação de desempenho de professores e estudantes, bem como na mensuração de resultados de ensino, entre outras variáveis.
- No setor energético, os leitores dos medidores inteligentes permitem que os dados sejam coletados com frequência, e isso, por sua vez, é utilizado para analisar os padrões de consumo, levando à implantação e ao uso ideais de serviços públicos.

Embora tenha se estabelecido que o *big data* será fundamental para o desenvolvimento eficiente e sustentável no futuro, há desafios que relacionados à disponibilidade de uma força de trabalho especializada, poder computacional e recursos implementados (Espinosa, 2019). Alguns dos principais desafios na área de *big data* a

³⁷ Conforme definido no Glossário Gartner: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>

³⁸ Para mais informações sobre o Grupo de Trabalho Global das Nações Unidas sobre *Big Data*: <https://unstats.un.org/bigdata>

serem considerados são apresentados abaixo (Ekbia *et al.*, 2015; Chen; Zhang, 2014; Jagdish *et al.*, 2014):

- extração de dados em várias plataformas e integração;
- processamento de uma grande quantidade de dados em tempo real;
- previsão e criação de modelos preditivos, e criação de algoritmos adequados para a finalidade;
- ter processos adequados em atividade para garantir a tomada de decisões baseada na análise de *big data*;
- garantir que a análise de *big data* seja robusta o suficiente para discernir anomalias subjacentes no grande conjunto de dados utilizado – a disponibilidade de técnicas de gestão de dados é um imperativo para garantir a coleta e as atualizações de dados seguros e em tempo real, bem como para garantir a segurança desses dados; e
- visualização de dados de forma convincente, especialmente tendo em vista a heterogeneidade de usos de dados que são estruturados, não estruturados e híbridos.

O futuro do *big data*

A convergência de dados e análises está evoluindo rapidamente, e prevê-se que esse processo exigirá colaboração e comunicação mais amplas.

Técnicas e algoritmos estão sendo desenvolvidos de forma contínua para analisar grandes dados heterogêneos de várias fontes. No entanto, a validação dos resultados das análises continua sendo uma questão importante (Kambatla *et al.*, 2014). Novos sistemas e arquiteturas de *software* são necessários para lidar com a gigantesca quantidade de dados que são gerados e disponibilizados para análise (Espinosa *et al.*, 2019), exigindo conjuntos de habilidades especiais, inovação de alto nível, agilidade no *design* e uma estrutura de governança e segurança para administrar esse ecossistema em crescimento. As tecnologias de *blockchain* em rápida evolução também serão um facilitador para a análise de *big data*.

Para os engenheiros, os resultados das análises de *big data* no futuro serão especialmente relevantes em diversos domínios, como a manutenção preditiva e preventiva e o projeto de produtos e estruturas, entre outros. Isso levará a uma gestão de projetos mais eficiente e positiva quanto ao custo–benefício, em um ambiente de desenvolvimento sustentável.

Recomendações

1. Para aproveitar os benefícios proporcionados pelo *big data* em várias aplicações de engenharia, os engenheiros devem aumentar suas competências nos domínios das tecnologias de dados.
2. Os governos e os proprietários de dados devem tornar os dados localizáveis, acessíveis, interoperáveis e reutilizáveis, de maneira ética.
3. É necessário desenvolver regras e normas com base em um consenso global, para permitir o compartilhamento e o intercâmbio eficientes de dados.
4. A segurança e a privacidade dos dados se tornaram mais relevantes e, assim, devem fazer parte do processo de *design* em todas as etapas do paradigma de *big data*.
5. Marcos regulatórios nos moldes do Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR) são necessários para aproveitar os dados, mantendo a privacidade e os direitos fundamentais das pessoas, o que deve permitir a colaboração sem fronteiras.
6. Entidades empresariais e reguladoras devem revisar seus padrões e protocolos tendo em vista o valor de capital dos dados para encorajar, incentivar ou penalizar a geração de dados e evitar abusos quando estes são usados para fins maliciosos.

Referências

- BOYD, D.; CRAWFORD, K. Critical questions for big data. *Information, Communication & Society*, v. 15, n. 5, p. 662-679, 2012.
- CHEN, C. P.; ZHANG, C-Y. Data intensive applications, challenges, techniques and technologies: a survey on Big Data. *Information Sciences*, v. 275, p. 324-347, 2014.
- CHEN, M.; MAO, S.; LIU Y. Big data: a survey, *Mobile Network Applications*, v.19, p. 171-209, 2014.
- DIEBOLD, F. X. *On the origin(s) and development of the term 'big data'*. PIER, 2012. (PIER working paper, 12-037). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2152421>.
- EKBIA, H. *et al.* Big data, bigger dilemmas: A critical review. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, v. 66, n. 8, p. 1523-1545, 2015.
- JAGDISH, H. V. *et al.* Big data and its technical challenges. *Communication of the ACM*, v. 57, n.7, p. 86-94, 2014.
- KAMBATLA, K. *et al.* Trends in big data analytics. *Journal of Parallel Distributed Computing*, v. 74, n. 7, p. 2561-2573, 2014.
- McKINSEY – McKinsey Global Institute Report. *Big data: The next frontier for innovation, competition and productivity*; McKinsey Global Institute Report, 2011.
- MOHANTY, S.; JAGADEESH, M.; SRIVASTA, H. *Big data imperatives*. New York: Apress, 2013.
- OUSSOUS, A. *et al.* Big Data technologies: a survey. *Journal of King Saud University: Computer and Information Sciences*. v. 30, p. 431-448, 2018.
- STEPHENSON, D. *Big Data Demystified*. Harlow, UK: Pearson, 2018.
- UNITED STATES. *Big data for development: challenges and opportunities*; white paper. UN Global Pulse, 2012. Disponível em: <http://unglobalpulse.org>.

Gong Ke³⁹, Li Pan⁴⁰, George Liu⁴¹,
Paolo Rocca⁴² e Jianping Wu⁴³

3.8

ENGENHARIA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Disponível sob CC BY-NC-ND 2.0 This is Engineering



39 Presidente da WFEO.

40 Membro do Grupo de Trabalho de *Big Data* e IA da WFEO-CEIT (Comitê Técnico Permanente de Engenharia para Tecnologias Inovadoras).

41 Membro do Grupo de Trabalho de *Big Data* e IA da WFEO-CEIT e Microsoft.

42 Professor da Universidade de Trento e membro do Grupo de Trabalho de *Big Data* e IA da WFEO-CEIT.

43 Professor da Universidade Tsinghua.

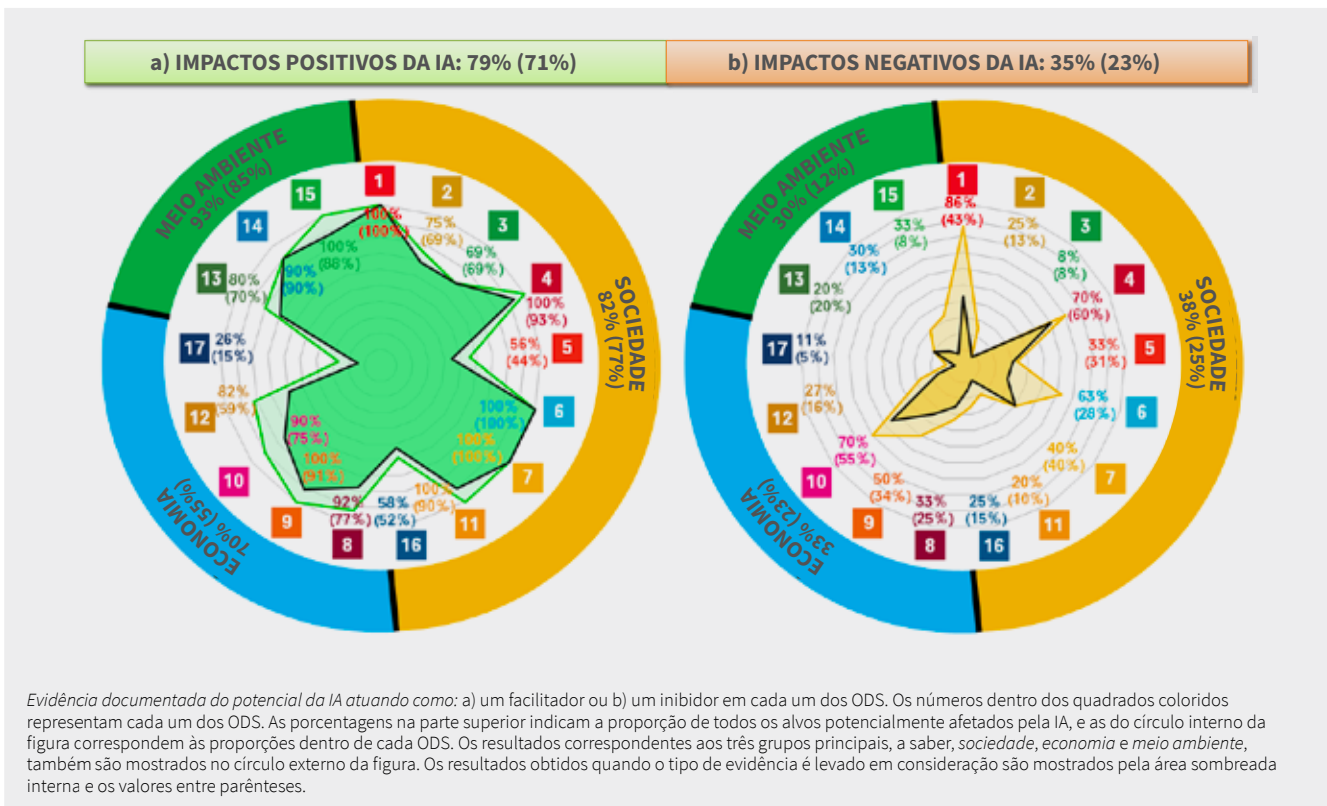
Resumo. Atualmente, a inteligência artificial (IA) desempenha um papel central na Quarta Revolução Industrial e impacta todos os aspectos do desenvolvimento econômico e social, desde a manufatura avançada, o fornecimento de energia, transporte, saúde, educação e agricultura, até diferentes tipos de comércios, serviços sociais e funções domésticas. Como uma forma poderosa de tecnologia em geral, a IA pode capacitar a engenharia para os ODS, mas também pode ocasionar impactos negativos em termos de privacidade e segurança, entre outros. Portanto, é responsabilidade dos engenheiros garantir que as aplicações de IA sejam benéficas para todas as pessoas e para o meio ambiente.

A IA é a capacidade que máquinas e sistemas têm de adquirir e aplicar conhecimentos, e realizar ações inteligentes (OECD, 2016; UNCTAD, 2017). A IA impacta a sociedade, a economia e o meio ambiente de forma ampla, e é um dos principais fatores que impulsionam a Quarta Revolução Industrial (Schwab, 2017). Os dados da pesquisa realizada pela McKinsey sugerem que a adoção da IA pode aumentar o PIB global em até US\$ 13 trilhões e adicionar 16% ao crescimento do PIB global até 2030 (McKinsey, 2018).

Após mais de meio século de desenvolvimento, a IA – impulsionada por algoritmos de *deep learning* e *big data* – agora passou a ter aplicações na engenharia, capacitando e transformando todos os aspectos da área. A IA tem um potencial incrível para melhorar a produtividade, a qualidade, a segurança e a eficiência de diversos projetos de engenharia. Além disso, apresenta uma grande promessa e potencial para acelerar o avanço em todos os 17 ODS; por outro lado, ela também pode causar impactos negativos, como mostra a Figura 1 (Vinuesa *et al.*, 2020).

Embora os progressos da IA sejam significativos, ela não é perfeita. Pesquisa e desenvolvimento intensivos e um amplo engajamento das partes interessadas são necessários para garantir que os valores humanos permeiem a IA tendo em vista o desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2019), o bem da humanidade e do meio ambiente (Hawking, 2017).

Figura 1. Resumo dos impactos positivos e negativos da IA nos vários ODS



Engenharia de capacitação em IA para os ODS

A IA está adentrando, capacitando e transformando todos os campos da engenharia. Ela promove a inovação na área ao otimizar fluxos de trabalho e processos com maior produtividade, maior eficiência e redução de custos, de forma mais inteligente e automática. Ao mesmo tempo, contribui para melhorar as condições laborais dos trabalhadores, libertando-os de tarefas perigosas e repetitivas, e criando novos postos de trabalho. A IA ajuda as pessoas a entenderem e alavancarem a explosão de dados, bem como as auxilia em seus esforços para resolver uma miríade de problemas desafiadores do mundo real. Alguns exemplos a seguir mostram como a IA está promovendo a realização dos ODS.

Saúde

Como mencionado no Capítulo 3.1, o potencial da IA na área da saúde é profundo. Desde usos clínicos em diagnóstico e tratamento, até a pesquisa biomédica e a descoberta de medicamentos, o *back-office* e a administração, aparentemente não há faceta de prestação e gestão de saúde em que a IA não possa ser aplicada – e o número de aplicações potenciais aumenta a cada dia. Com os sistemas de saúde enfrentando desafios significativos de longo prazo, incluindo populações que envelhecem rapidamente, várias doenças crônicas, lacunas na oferta e nas habilidades da força de trabalho, e gastos crescentes com saúde (uma parcela dos quais é desperdiçada ou até prejudicial), bem como novas ameaças como a COVID-19, a IA pode fazer uma enorme diferença nos próximos anos – até mesmo nas próximas semanas. O potencial da IA para lidar com variações injustificadas nos cuidados, reduzir erros médicos evitáveis e desigualdades na saúde e nos cuidados, e minimizar ineficiências e desperdícios é particularmente promissor. A IA pode produzir benefícios significativos não apenas em condições normais de negócios, mas também para uma melhor resiliência e preparação para emergências, tornando os sistemas de saúde e as sociedades mais capacitadas para responder a surtos de doenças como a COVID-19 (OECD, 2020).

Agricultura

O fornecimento de alimentos é fundamental para a vida humana. Entretanto, espera-se que a população mundial atinja 10 bilhões até 2050, com a degradação ambiental devido à mudança climática, o que colocará os sistemas agrícolas atuais sob pressão crescente. A integração da IA com a coleta de *big data* agrícola por redes de sensores, satélites e drones no campo ajudou a enfrentar desafios prementes. A IA é capaz de analisar dados em tempo real em escalas mundiais e locais, para extrair informações úteis sobre o crescimento das culturas, as características do solo e as condições climáticas, para apoiar os agricultores na tomada das decisões corretas. A IA também permite a transformação da agricultura, da customização em massa de serviços agrícolas para a agricultura de precisão ou digital. Por exemplo, a IA apoia o aumento da

produtividade pelo uso preciso de fertilizantes e pesticidas, bem como pelo uso cuidadoso de recursos naturais e a adoção de medidas de economia de água (di Vaio *et al.*, 2020; Patrício; Reider, 2020; Paucar *et al.*, 2015; Sheikh *et al.*, 2020; Viani *et al.*, 2017).

Deve-se notar que as diferentes regiões do mundo terão necessidades e requisitos específicos no desenvolvimento e na introdução de soluções *ad hoc* baseadas em IA. Por exemplo, 80% dos agricultores da África Subsaariana são pequenos proprietários que possuem recursos limitados. Portanto, existe a necessidade de tecnologias com base em IA de baixo custo que os esses agricultores possam adotar e adaptar rapidamente às suas condições.

Transporte

Os sistemas de transporte estão entre as infraestruturas mais importantes, que ligam as atividades sociais e econômicas. Fortalecido pela IA, atualmente o transporte evolui gradualmente por meio da implementação de sistemas inteligentes, resilientes e de baixa emissão de carbono. Nos últimos anos, as aplicações de IA no transporte têm aumentado, como, por exemplo, na fusão e mineração de dados de tráfego, na previsão de fluxos de tráfego e detecção de incidentes, conectando veículos e estradas, bem como no controle e na gestão do tráfego em situações de emergência. No contexto do rápido desenvolvimento do poder da computação e da interconectividade alimentada pela comunicação 5G, em um futuro próximo, os sistemas de transporte inteligentes passarão do nível de construção de infraestruturas para o de gestão e controle realmente inteligentes.

Por exemplo, alimentado por IA, o City Brain do grupo Alibaba analisa informações, como vídeos de câmeras de cruzamentos e dados de GPS sobre a localização de veículos, em tempo real, enquanto coordena mais de mil sinais rodoviários na cidade de Hangzhou, na China, com o objetivo de prevenir ou aliviar engarrafamentos e prever com precisão os fluxos de tráfego, por meio de roteamento sensível. Isso ajudou a metrópole de 7 milhões de habitantes a cair para a 57ª posição entre as cidades mais congestionadas da China (Toh; Erasmus, 2019).

Manufatura

Atualmente, a IA ajuda a indústria manufatureira a transformar suas operações, atender melhor seus clientes e oferecer novas oportunidades a seus trabalhadores. A plataforma do grupo Schneider Electric aproveita as ferramentas de IA da Microsoft para ajudar uma série de clientes a superarem problemas de manutenção, em aplicações tão variadas quanto torrefadoras de café no mundo desenvolvido, a escolas e clínicas em países em desenvolvimento. Na Nigéria, dados históricos ajudaram o sistema de IA a aprender a identificar possíveis quedas na eletricidade gerada por painéis solares, assim como a emitir avisos quando os painéis precisam ser limpos ou uma bateria deve ser verificada em 12 horas para evitar falhas. Dessa forma, a Schneider é capaz de identificar tendências em seus painéis solares para que os

técnicos possam resolver os problemas, antes que estes causem interrupções no fornecimento (Shaw, 2019).

Energia

A IA tem sido usada com sucesso em sistemas de energia renovável, para permitir uma adequação mais eficiente às condições de trabalho, como a força da luz e dos ventos, às demandas dos clientes. A IA também é capaz de ajudar os fornecedores de energia tradicionais a se tornarem mais ecológicos.

Dados e computação possibilitam ver abaixo das camadas do solo, sequenciar o DNA e, portanto, tornar as perfurações mais precisas, o que não apenas minimiza o número de poços que devem ser perfurados, mas maximiza a vida útil de produção dos poços. Tudo isso ajuda a reduzir o tempo, desde a aquisição do local até a comercialização da energia (Shaw, 2019).

Desafios das tecnologias de IA e governança

Apesar dos avanços proeminentes de suas tecnologias, a IA que existe atualmente ainda se encontra em um estágio inicial e permanece amplamente limitada quanto a resolver problemas específicos – principalmente em regiões desenvolvidas – e ainda longe de realizar todo o seu potencial. Portanto, há grandes lacunas entre suas capacidades técnicas e aplicáveis, e o cumprimento dos requisitos para alcançar os ODS.

Entre vários problemas, os algoritmos de aprendizado profundo (*deep learning*) utilizados de forma ampla continuam sendo “caixas-pretas” que não explicam suas previsões de uma maneira que os seres humanos possam entender. A falta de transparência e responsabilização dos modelos preditivos pode ter – e já teve – consequências graves. Além disso, a presente geração de IA depende muito de grandes quantidades de trabalho humano para rotular os dados e do poder de computação cada vez maior, o que consome muita energia. Em 2019, a demanda global por eletricidade de centros de dados foi de cerca de 200 TWh, ou cerca de 0,8% da demanda final mundial de eletricidade (IEA, 2020).

Além das lacunas técnicas, também existem lacunas entre as aplicações de IA e as expectativas sociais, o que aumenta a preocupação pública sobre os possíveis impactos negativos da IA, como perda de empregos, violações de privacidade, preconceito, uso ilegal e a possibilidade de exacerbar a exclusão digital e as desigualdades.

O preenchimento dessas lacunas requer intensa pesquisa na área de engenharia e o desenvolvimento da governança de IA com o engajamento de governos, sociedade civil e indústria. É essencial reconhecer as lacunas existentes nas tecnologias atuais de IA, assim como na regulamentação, na padronização e na educação pertinentes, e perceber que a IA deve ser desenvolvida de forma

responsável para o bem da humanidade e do meio ambiente.

Muitos esforços foram realizados nesse sentido, não apenas em pesquisa e desenvolvimento técnico intensivo, mas também na governança necessária. Até o momento, foram propostas diversas diretrizes para a conduta responsável na área de IA, por governos, indústria, universidades e comunidades científicas e técnicas, como as iniciativas em andamento realizadas pelas Nações Unidas sobre ética da IA (UNESCO, 2020), as diretrizes de ética da UE para IA (AI HLEG, 2019), os princípios da OCDE sobre IA (OECD, 2019), os princípios da WFEO, que promovem a conduta responsável de *big data* e na inovação e aplicação de IA em engenharia (WFEO, 2019) e, por fim, a *OpenAI Charter* (OpenAI, 2018).

Recomendações

Para acelerar o desenvolvimento da IA com valores humanos tendo em vista o desenvolvimento sustentável, uma série de recomendações podem ser feitas a governos, formuladores de políticas, indústrias, universidades e sociedade civil, entre outros, conforme apresentado a seguir.

Promover a cooperação internacional e interdisciplinar de instituições acadêmicas, universidades e indústrias, bem como da sociedade civil em todo o mundo, e promover a inovação e as aplicações de IA para a implementação dos ODS.

1. Promover o diálogo internacional para obter um consenso global sobre a governança da IA e adotar princípios, diretrizes e padrões em âmbito mundial para a conduta responsável na área de IA.
2. Promover educação e alfabetização em IA para ajudar as pessoas a se adaptarem à era da IA; engenheiros para conduzir aplicações e inovações responsáveis; e todos os principais atores, especialmente líderes empresariais e formuladores de políticas, para tomar decisões conscientes. Isso tudo juntamente com esforços especiais para reduzir a exclusão digital entre os países ricos e pobres, para garantir que os benefícios sejam compartilhados por todos e “não deixar ninguém para trás”.

Referências

- AI HLEG – High-Level Expert Group on Artificial Intelligence of the European Commission. *Ethics guidelines for trustworthy AI*. European Commission, 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/digitalsingle-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>.
- CAE – Chinese Academy of Engineering. *Engineering fronts 2019*. Center for Strategic Studies, 2019. Disponível em: <http://devp-service.oss-cn-beijing.aliyuncs.com/f0f94d402c8e4435a17e109e5fbbafe2.pdf>.
- DI VAIO, A. *et al.* Artificial Intelligence in the agri-food system: rethinking sustainable business models in the COVID-19 scenario. *Sustainability*, v. 12, p. 4851, 2020.
- HAWKING, S. Guiding AI to benefit humanity and the environment. In: GLOBAL MOBILE INTERNET CONFERENCE (GMIC), 2017, Beijing. *Proceedings...*, 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=safbVgs_bZ8.
- IEA – International Energy Agency. *Data centres and data transmission networks*. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>.
- McKINSEY. *Notes from the AI frontier: modeling the impact of AI on the world economy*. McKinsey Global Institute, 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy>
- MSAUEDU – Microsoft Australia Education. *UNSW uses Teams to increase student engagement*. Sydney, 2019. Disponível em: <https://educationblog.microsoft.com/en-au/2019/06/uns-w-uses-teams-to-increase-student-engagement/>
- OECD – Organisation of Economic Co-operation and Development. *Science, technology and innovation outlook 2016*. Paris, 2016. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en#page1.
- OECD – Organisation of Economic Co-operation and Development. *OECD principles on AI*. Paris, 2019. Disponível em: <https://www.oecd.org/goingdigital/ai/principles/>.
- OECD – Organisation of Economic Co-operation and Development. *Trustworthy AI in health: background paper*. In: G20 AI DIALOGUE, DIGITAL ECONOMY TASKFORCE, 1-2 Apr. 2020, Saudi Arabia. *Proceedings...* 2020. Disponível em: <https://www.oecd.org/health/trustworthy-artificial-intelligence-in-health.pdf>.
- OPENAI. *OpenAI Charter*. 2018. Disponível em: <https://openai.com/charter/>.
- PATRÍCIO, D. I.; RIEDER, R. Computer vision and Artificial Intelligence in precision agriculture for grain crops: a systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 153, p. 69-81, 2018.
- PAUCAR, L. G. *et al.* Decision support for smart irrigation by means of wireless distributed sensors. In: IEEE MEDITERRANEAN MICROWAVE SYMPOSIUM: IEEE LECCE, 15, 2015. *Proceedings...* 2015. p.1-4.
- SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. New York: Crown Publishing Group, 2017.
- SHAW, G. *The future computed: AI & manufacturing*. Microsoft Corporation, 2019. Disponível em: <https://news.microsoft.com/futurecomputed/>.
- SHEIKH, J. A. *et al.* IoT and AI in precision agriculture: designing smart system to support illiterate farmers. In: AHRAM, T. (ed.). *Advances in Artificial Intelligence, software and systems engineering*. AHFE, Springer, Cham, 2020. (Advances in Intelligent Systems and Computing, 1213).
- TOH, M.; ERASMUS, L. Alibaba's 'City Brain' is slashing congestion in its hometown. *CNN Business*, 15 Jan. 2019. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2019/01/15/tech/alibaba-city-brainhangzhou/index.html>.
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. *Information economy report 2017*. 2017. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/ier2017_en.pdf.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Mobile learning week: artificial intelligence for sustainable development*. Paris, 2019. Disponível em: <https://en.unesco.org/sites/default/files/mlw2019-flyer-en.pdf>.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *UN System wide consultation on ethics of AI*. Paris, 2020. Disponível em: <https://en.unesco.org/news/system-wide-consultation-ethics-ai>.
- VIANI, F. *et al.* Low-cost wireless monitoring and decision support for water saving in agriculture. *IEEE Sensors Journal*, v. 17, n. 13, p. 4299-4309, 2017.
- VINUESA, R. *et al.* The role of Artificial Intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, v. 11, n. 233, 2020.
- WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *Promoting responsible conduct of big data and AI innovation and application in engineering*. 2019. Disponível em: <http://www.wfeo.org/big-data-and-ai-principles-in-engineering>.



Ajeya Bandyopadhyay⁴⁴

3.9

ENGENHARIA PARA CIDADES INTELIGENTES



tostphoto/Shutterstock.com

44 WFEO Committee for Information and Communications, Índia

Introdução

Em todo o mundo, as cidades enfrentam desafios enormes, como o aumento dos congestionamentos, a piora da qualidade do ar, o abastecimento insuficiente de água, a eliminação e gestão inadequadas de resíduos, preocupações de saúde pública, aumento das taxas de criminalidade etc. Ao mesmo tempo, projeta-se que as cidades representem cerca de 70% da população mundial e contribuam com 85% da produção econômica de todo o mundo até 2050, com o potencial de criar um enorme impacto no meio ambiente (United Nations, 2019).

Para enfrentar esses desafios, as administrações das cidades (prefeituras) estão adotando tecnologias inteligentes e aplicações avançadas de engenharia, para permitir serviços urbanos mais rápidos, confiáveis e acessíveis. A rápida aplicação de tecnologias digitais e de engenharia está alterando a natureza e a economia das infraestruturas necessárias para lidar com esses desafios

urbanos. Isso também abre enormes oportunidades para que futuros engenheiros e tecnólogos inovem ideias e implementem aplicações econômicas para o desenvolvimento abrangente das cidades, bem como para melhorar a qualidade de vida nelas. O “Relatório de Desenvolvimento Sustentável Global 2019” também identifica o desenvolvimento urbano como um ponto de entrada essencial para a implementação integrada dos ODS (ODS).

Algumas áreas em que as aplicações tecnológicas avançadas estão transformando a infraestrutura e os serviços urbanos são mostradas no Quadro 1. A criação de serviços diferenciados sediados em cidades produz impactos sociais, ambientais e econômicos significativos. Ainda assim, eles estão ajudando cidades e regiões a cumprir seus compromissos com os ODS, especialmente o ODS 11, sobre cidades e comunidades sustentáveis.

Quadro 1. Exemplos de aplicações tecnológicas em cidades inteligentes que produzem altos impactos quanto aos ODS nos países em desenvolvimento, melhorando os principais indicadores de qualidade de vida

Área	Aplicações de tecnologia/engenharia	Impacto
Deslocamentos de/ para o trabalho mais rápidos, seguros e acessíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de sinalização digital e aplicativos para dispositivos móveis • Gestão inteligente do tráfego • Preços de congestionamentos • Informações em tempo real • Manutenção preventiva da infraestrutura de transportes • Veículos autônomos 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de deslocamento diário reduzido em 15–20% • Tempo de deslocamento para saúde/trabalho do governo reduzido em 45–65%
Respostas de saúde pública mais inteligentes e mais rápidas	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de monitoramento remoto de pacientes • Uso de sistemas de vigilância de doenças infecciosas 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos encargos com saúde em >4% • Cidades de países em desenvolvimento alcançaram 5% de redução na disseminação de doenças infecciosas
Ambiente mais limpo e sustentável	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de sistemas de automação • Monitoramento da qualidade do ar • Rastreamento do consumo de água com medição/sensores/análises avançados • Sistemas inteligentes de gestão de resíduos • Economia circular para reduzir a reciclagem de resíduos que geram valor econômico 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de 6% das emissões dos edifícios • Efeitos negativos para a saúde relacionados à poluição atmosférica reduzidos em 3–15% • Consumo de água reduzido em 15% e desperdício de água reduzido em 25% • Resíduos sólidos não reciclados reduzidos em 30–130 kg/pessoa
Acesso mais inteligente, acessível e sustentável à energia	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do consumo/mudança de carga para períodos fora do pico • Medidores inteligentes para reduzir desperdício, furto, melhor previsão de demanda e previsão de carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do uso de usinas intensivas em carbono • Aumento do uso de energias verdes • Quedas de energia reduzidas
Melhorias da segurança pública e da segurança da informação	<ul style="list-style-type: none"> • Policiamento preventivo, mapeamento de crimes em tempo real e detecção de tiroteios • Fluxos otimizados e semáforos sincronizados • Transporte compartilhado (<i>e-hailing</i>) e má condução reduzida 	<ul style="list-style-type: none"> • Casos de assaltos, roubos e arrombamentos reduzidos em 30–40% • Tempos de resposta de emergência reduzidos em 20–35% • Mortalidade no trânsito reduzida em >1%
Inovações e oportunidades econômicas	<ul style="list-style-type: none"> • As tecnologias inteligentes podem desempenhar um papel importante para tornar os mercados de trabalho locais mais eficientes, apoiar o crescimento dos negócios locais e desenvolver habilidades que tornem as pessoas mais empregáveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologias de cidades inteligentes para aumentar o emprego em 1–3% até 2025
Infraestrutura e aplicações resilientes a desastres	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de alerta precoce • Tornar as instalações civis urbanas mais resistentes a desastres • Mecanismos mais rápidos de recuperação e respostas a desastres 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos impactos dos desastres • Redução das perdas econômicas, ambientais e humanas • Durabilidade da infraestrutura

A taxa de adoção de tecnologias digitais e soluções habilitadas para TI é mais rápida em cidades de economias emergentes. Com um grande volume de infraestrutura baseada em sensores, soluções com foco no cidadão facilitadas pela análise de *big data* estão sendo rapidamente implementadas em cidades inteligentes. O ecossistema da IoT fornece a plataforma certa para administrar e monitorar serviços urbanos modernos, possibilitando oportunidades para que cidades inteligentes adotem tecnologias preventivas para aumentar a eficiência de vários serviços e melhorar a qualidade de vida de seus moradores, criando um ambiente rede interconectado de máquinas e sensores capazes de transmitir mensagens, resultando na automação de tarefas repetitivas.

Como as tecnologias digitais e as aplicações de engenharia avançada podem transformar cidades inteligentes

Com a aplicação eficaz da IoT, uma cidade inteligente pode fazer um uso ideal dos recursos públicos, melhorando a qualidade da prestação de serviços e reduzindo seu custo. Um dos principais objetivos do uso da IoT em cidades inteligentes consiste em oferecer acesso fácil e exclusivo aos recursos públicos, para que seja possível obter melhores utilização e otimização da vigilância de transporte, água, energia e manutenção de áreas públicas.

O conceito de *cidades inteligentes* também está sendo usado para aumentar a transparência em relação a ações dos órgãos locais urbanos (ULBs), de forma a atender às necessidades do público. Abaixo, são mostradas algumas aplicações baseadas em IoT que foram implementadas em várias cidades inteligentes.

- **Saúde inteligente.** Máquinas de triagem de saúde, habilitadas por sensores, são usadas para melhorar os serviços de diagnóstico primário. Em Glasgow, sensores são colocados nas residências para diagnosticar e administrar condições de saúde e fornecer diagnósticos antecipados.
- **Gestão inteligente de tráfego.** A gestão de tráfego adaptativa é baseada em modelagem dinâmica, com o auxílio de dados em tempo real de sensores de tráfego, com câmeras usadas

para evitar congestionamentos. Por exemplo, em Barcelona, os ônibus inteligentes estão conectados à rede de internet da cidade e exibem horários em tempo real, informações turísticas, mapas de rotas de destino e atualizações sobre congestionamentos.

- **Redes inteligentes de fornecimento de serviços públicos.** Em Singapura, a instalação de sensores e ferramentas analíticas na rede hídrica fornece monitoramento em tempo real e um sistema de apoio às decisões dos provedores de serviços, disponibilizando água 24 horas por dia, sete dias por semana para os consumidores.
- **Medidores inteligentes.** Leituras automatizadas de contadores e a transmissão de dados de consumo de serviços públicos aos consumidores e aos departamentos pertinentes permitem o monitoramento remoto e o faturamento quase em tempo real. Em Nairóbi há 90 mil medidores inteligentes instalados para combater o furto de água.
- **Estacionamentos inteligentes.** Em Calcutá, a polícia de trânsito lançou um aplicativo para dispositivos móveis que fornece atualizações em tempo real sobre as vagas de estacionamento disponíveis na cidade, permitindo que os motoristas as reservem antecipadamente.
- **Coleta inteligente de resíduos e economia circular.** Monitoramento do uso dos medidores de recipientes de resíduos e níveis de preenchimento, para otimizar os cronogramas e as rotas de coleta de resíduos. Por exemplo, em Praga, foram introduzidos contentores inteligentes como parte dos planos de gestão de resíduos, para poupar energia e dinheiro. Os compartimentos inteligentes têm sensores conectados que transmitem dados às autoridades sobre seus níveis de preenchimento.
- **Iluminação inteligente.** Em Copenhague, o programa de gestão de iluminação remota alcançou 65% de economia de energia ao controlar o escurecimento das luzes da rua, quando as luzes não são necessárias.

Além das aplicações listadas acima, há várias outras áreas em que a IoT está ajudando as cidades a obterem operações eficientes e melhorarem a qualidade de vida de seus cidadãos. A Figura 1 destaca várias outras aplicações da IoT em cidades inteligentes.

Figura 1. Aplicações de engenharia emergentes em áreas relevantes de cidades inteligentes



Aplicações e habilidades de engenharia emergentes para cidades inteligentes

Os ULBs e as autoridades municipais estão desenvolvendo planos de cidades inteligentes e aproveitando várias tecnologias digitais para permitir suas estratégias abrangentes e atender aos desafios operacionais e da comunidade. Espera-se que as aplicações da IoT tornem os serviços urbanos mais rápidos, eficientes e acessíveis, e se tornem os condutores para o desenvolvimento econômico nas futuras cidades inteligentes. Abaixo, são mostrados alguns exemplos de tais aplicações tecnológicas.

- A **internet móvel** é a infraestrutura digital fundamental da IoT, que permite que as máquinas se comuniquem e automatizem. Com o início da operação de redes 5G e outras tecnologias sem fio de curto alcance, espera-se que a internet móvel conduza a implementação da IoT nas cidades inteligentes.
- O **machine learning** e a **inteligência artificial** (IA) podem ajudar a converter grandes volumes de dados coletados por máquinas em informações utilizáveis.
- A **cibersegurança** promove confiança, permitindo o intercâmbio seguro de dados.

- O advento da **edge computing** permite uma tomada de decisão e tempos de reação mais rápidos para as máquinas. Isso possibilitou a aplicação da IoT em áreas como alerta e resposta a acidentes, monitoramento e vigilância à saúde.
- A **análise preventiva** funciona como uma ferramenta proativa para melhorar a eficiência e a produtividade dos negócios, bem como várias ações governamentais, como, por exemplo, previsão do tempo, congestionamentos de tráfego, intensidade de poluentes e assim por diante. Algoritmos aprimorados e técnicas estatísticas são a espinha dorsal do sistema de informação e inteligência em tempo real habilitado para a IoT, usado em vários serviços oferecidos aos cidadãos.
- A **computação cognitiva** permite uma experiência aprimorada da IoT, por meio do uso de modelos computadorizados para simular o processo de pensamento humano em situações complexas, melhorando assim a inteligência de dispositivos inteligentes. Espera-se que o próximo impulso econômico para a IoT venha da inteligência de máquina.
- A **alfabetização digital** auxilia mais pessoas a se tornarem adeptas da tecnologia, melhorando sua familiaridade e sua taxa de adoção de máquinas inteligentes.
- As **plataformas de IoT** permitem a entrega de aplicativos e a gestão de dispositivos com custo e tempo reduzidos. Essas plataformas fornecem uma ampla gama de recursos aos dispositivos integrados, para conectá-los com segurança e lidar com a troca de dados.

Estima-se que o mercado global de IoT específico para cidades inteligentes, que foi avaliado em US\$ 79,3 bilhões em 2018, chegará a US\$ 330,1 bilhões até 2025, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de cerca de 22% (Zion Market Research, 2019). Esse é um claro indicador da extensão de seu desempenho para empresas de tecnologia e engenharia, instituições e redes, e para engenheiros neste domínio.

Engenheiros e tecnólogos dotados de conjuntos de habilidades, prontos para o futuro, desempenharão um papel essencial neste cenário tecnológico. Embora novos conhecimentos e habilidades em disciplinas especializadas de engenharia sejam importantes, em uma situação como uma cidade inteligente, normalmente o aspecto mais decisivo do papel de um engenheiro será integrar, coordenar e sintetizar recursos avançados de vários domínios para encontrar soluções holísticas para os problemas dos cidadãos e outras questões. Alguns dos domínios emergentes, nos quais os engenheiros e os profissionais tradicionais podem necessitar de uma rápida qualificação, são apresentados abaixo.

- **Engenharia de energia.** À medida que aumenta a penetração das energias renováveis, a experiência de entender a integração e a estabilidade das redes se tornará extremamente importante. Além disso, à medida que mais veículos elétricos entram no sistema, será fundamental ter uma compreensão profunda sobre as técnicas de balanceamento de redes e práticas operacionais.
- **Engenharia civil e urbanismo.** À medida que modos de transporte público mais eficientes, como o *Bus Rapid Transit* (BRT) e o *Mass Rapid Transit* (MRT), são adotados pelo setor de transportes, os engenheiros civis, juntamente com os planejadores urbanos e de transporte, terão de trabalhar em conjunto para projetar as cidades inteligentes.
- **Engenharia robótica.** Este ramo interdisciplinar da engenharia elétrica e mecânica – juntamente com o aumento de máquinas inteligentes – é uma área próxima e possivelmente uma das mais importantes que permitirão uma transição suave para cidades inteligentes.
- **Engenharia de informática e TI.** Essa área da engenharia é importante para o desenvolvimento da IoT e outros aplicativos relacionados à TI, como *design* de realidade virtual, ciência de nuvem e segurança cibernética, entre outros.
- **Engenharia estrutural, ambiental e de corrosão.** A integração dessas disciplinas será necessária para garantir que as construções e seus materiais sejam ambientalmente saudáveis e resilientes a desastres. Além disso, as cidades deverão ser mais resistentes ao clima, o que exigirá planejadores e engenheiros urbanos com habilidades e conhecimentos suficientes para prever os impactos climáticos com o uso de modelos, de modo a adotar padrões de projetos que reduzam a vulnerabilidade climática da infraestrutura urbana.
- **Outras áreas.** Estas incluem nanoengenharia, engenharia material/molecular, biotecnologia/engenharia biomédica, engenharia de corrosão e mecatrônica, todas áreas que aumentam em importância diariamente.

Considerando a escala e as complexidades dos desafios enfrentados pelas cidades modernas, o desenvolvimento de soluções adequadas e eficazes exigirá um pensamento multidisciplinar mais aprofundado no âmbito do sistema. É nesse ponto que engenheiros e tecnólogos

devem colaborar e se envolver mais com um grupo diversificado de especialistas e profissionais, não apenas em termos de cooperação interdisciplinar na área da engenharia, mas também com partes interessadas fora do seu domínio, como formuladores de políticas, reguladores, profissionais de finanças, economistas, sociólogos, ambientalistas e outros, para desenvolver soluções mais práticas, prontas para uso, que sejam acessíveis e de fácil implementação.

Desafios que dificultam a adoção mais rápida da IoT em cidades inteligentes

Apesar das inúmeras vantagens proporcionadas pela IoT e pelas tecnologias digitais e aplicações avançadas de engenharia para melhorar os atributos de qualidade social, econômica e ambiental de uma cidade, atualmente ainda existem desafios que impedem a adoção contínua e em larga escala dessas tecnologias, conforme descrito a seguir.

- **Falta de recursos adequados.** Os componentes usados para fabricar a IoT e dispositivos digitais (por exemplo, microprocessadores, *chips*, placas de circuito impresso [PCBs] e assim por diante) não são produzidos facilmente em todos os lugares. A falta de disponibilidade de matérias-primas (como lítio e metais pesados de terras raras) apresenta novos desafios em relação à fabricação de dispositivos de IoT.
- **Segurança e privacidade dos dados.** A alta dependência de dispositivos de IoT em relação à internet expõe os usuários ao risco de ataques cibernéticos, o que pode resultar em perda de dados e privacidade, além de perdas financeiras. Essa preocupação deve ser adequadamente abordada pelo fortalecimento da segurança cibernética nesses dispositivos. Também é importante que os governos estabeleçam o quanto antes os termos de governança de dados para a propriedade, a privacidade, o uso e o compartilhamento, como um pilar central da segurança de dados.
- **Restrições de capacidade dos órgãos sociais.** O ritmo com o qual a tecnologia está evoluindo é muito superior à capacidade do governo, em vários níveis, para formular políticas e marcos de governança para apoiar, regular e monitorar as aplicações da tecnologia. Os órgãos de administração muitas vezes carecem de *know-how* técnico, força institucional, flexibilidade e recursos humanos para atualizar de forma regular os quadros políticos de acordo com os avanços tecnológicos.
- **Aprofundamento das desigualdades mundiais.** Enquanto algumas cidades foram capazes de escalar e adotar soluções de tecnologia avançada para atender seus cidadãos, a grande maioria das cidades ao redor do mundo ainda luta para fornecer infraestrutura básica, segurança, proteção e instalações de higiene para seus cidadãos. Essas crescentes desigualdades mundiais impedem as autoridades municipais de ter acesso aos recursos necessários para implementar as tecnologias modernas.
- **Perda de emprego.** Muitas vezes, as tecnologias digitais resultam na substituição de vários empregos repetitivos e de baixo custo, como gerenciamento de tráfego, coleta de resíduos e assim por diante. No entanto, em muitas cidades, isso resultaria em uma perda de empregos em larga escala, pois essas atividades têm natureza manual e oferecem uma fonte de subsistência para milhares de pessoas, que podem não ter as habilidades adequadas para assumir outras atividades. Governos de todo o mundo iniciaram vários

programas de requalificação para mitigar os impactos adversos de curto prazo nos meios de subsistência de seus cidadãos.

- **Recapitação da força de trabalho.** As lacunas de competências em todas as indústrias estão prestes ser ampliadas na Quarta Revolução Industrial. Avanços rápidos em IA, robótica e outras tecnologias emergentes estão ocorrendo em ciclos cada vez mais curtos e alterando a própria natureza dos trabalhos que devem ser feitos e as habilidades necessárias para fazê-los. O acesso a trabalhadores qualificados nos mercados locais será um fator-chave para determinar o sucesso da implementação de intervenções tecnológicas.

Embora existam desafios, espera-se que o crescimento da economia global e o aprimoramento do capital humano façam com que mais cidades ao redor do mundo se voltem para soluções baseadas em tecnologia, para atender às necessidades de seus cidadãos.

O caminho a seguir

A aplicação da IoT em cidades inteligentes não se limita apenas ao uso de tecnologia robusta, mas também abrange aspectos sociais relacionados à facilidade de uso, à utilidade e à equidade digital, que permitirão maior aceitabilidade e eficiência aprimorada nas cidades. Entretanto, para que essas tecnologias e aplicações de engenharia sejam bem-sucedidas nas cidades inteligentes, elas devem seguir certos atributos e princípios. Esses princípios, descritos nas Recomendações a seguir, também são importantes para o futuro alinhamento dos conjuntos de habilidades de engenharia que permitirão aos engenheiros desempenhar um papel maior, mais amplo e mais responsável nas cidades inteligentes e futuras.

Recomendações

1. **Criativo.** Órgãos governamentais, como os ULBs, devem selecionar cuidadosamente soluções futuristas que utilizem tecnologias de ponta, ao mesmo tempo em que permanecem cientes dos padrões locais e de sua capacidade de adoção. Isso requer um equilíbrio criativo entre tecnologias de ponta, recursos humanos e o desenvolvimento de infraestruturas urbanas.
2. **Correlacionado.** Em vez de realizar o desenvolvimento em silos, os ULBs precisarão trabalhar em conjunto com vários departamentos, como os de transporte, educação e saúde, entre outros, para permitir o compartilhamento de conhecimento e dados, a fim de criar uma rede de soluções inteligentes interconectadas e com foco em fornecer serviços centrados no cidadão.
3. **Colaborativo.** Pode ser considerado o desenvolvimento de vários modelos de parcerias público-privadas (PPP) para alavancar o *know-how* e os recursos do setor privado. Os ULBs também podem induzir um comportamento participativo e

equitativo, fornecendo um forte sentido de propriedade entre os cidadãos que usam os serviços de IoT.

4. **Certificado.** Os serviços e as tecnologias de IoT usados podem ser certificados (por exemplo, ISO⁴⁵, GDPR⁴⁶, DPO⁴⁷) para aumentar sua confiança entre os usuários e promover sua normatização. A obtenção da certificação permitiria o uso seguro das tecnologias, ao mesmo tempo que protegeria a privacidade dos cidadãos.

As plataformas globais também desempenharão um papel fundamental na coordenação e no direcionamento de esforços públicos e privados internacionais para a adoção, a penetração e a governança de tecnologias em cidades inteligentes. As partes interessadas multissetoriais, incluindo parceiros técnicos, financeiros, políticos, sociais e comerciais, podem colaborar e se coordenar em conjunto por meio dessas plataformas. Isso também criaria um entendimento comum, estabeleceria relacionamentos e produziria compromissos para novas abordagens e parcerias como a base para os avanços tecnológicos nas cidades.

As cidades inteligentes criam oportunidades para a integração de tecnologias digitais com inúmeras aplicações de engenharia, para desenvolver serviços eficientes relacionados aos cidadãos, assim como para resolver problemas e questões a eles relacionadas. Também oferecem oportunidades para combinar múltiplas aplicações tecnológicas e de engenharia para encontrar soluções comuns para diversos problemas. Com as tecnologias digitais desempenhando um papel tão importante, estarão disponíveis dados mais abrangentes e em tempo real, o que conferirá às agências e às partes interessadas a capacidade de assistir aos eventos à medida que eles se desenrolam, entender como tomam forma os padrões de demanda e responder a tudo isso com velocidade, agilidade e flexibilidade.

As tecnologias e aplicações inteligentes de engenharia modificam a natureza e a economia das infraestruturas. A começar pela nova geração de instalações de transporte e saúde, e abrangendo infraestruturas resilientes a desastres e fontes de energia de baixo carbono, as cidades inteligentes podem se tornar condutores da inovação orientada a objetivos, bem como bancos de teste para novas aplicações e soluções. Isso, por sua vez, abrirá novos caminhos para a área de P&D de engenharia e para a ampliação de soluções viáveis em termos comerciais. O desenvolvimento urbano em geral deve prosseguir de modo sustentável, integrado e inclusivo, e isso exige que as autoridades municipais trabalhem em conjunto com empresas, organizações da sociedade civil (OSCs), indivíduos e até mesmo com outras cidades de todo o mundo para facilitar o intercâmbio de conhecimento e melhores práticas. O resultado não são apenas cidades mais habitáveis, mas também mais produtivas e ecológicas, nas quais as atividades econômicas e de inovação podem florescer e prosperar.

45 Site oficial da Organização Internacional de Normatização: <https://www.iso.org/home.html>

46 Leia mais sobre a conformidade com a Regulamentação Geral de Proteção de Dados, em: <https://gdpr.eu>

47 Diretor de proteção de dados.

Referências

ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: definitions, dimensions, and performance. *Journal of Urban Technology*, v. 22, n. 1, p. 3-21, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311947485_Smart_Cities_Definitions_Dimensions_Performance_and_Initiatives.

ERICSSON. *Ericsson mobility report*, Nov 2017. Disponível em: <https://www.ericsson.com/49de7e/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-report-november-2017.pdf>.

ITU; UNECE – International Telecommunication Union; United Nations Economic Commission for Europe. *Shaping smarter and more sustainable cities*. Geneva, 2016. Disponível em: <https://www.unecce.org/info/media/presscurrent-press-h/housingand-land-management/2016/shaping-smarter-and-moresustainable-cities-unece-and-itu-launch-the-united-for-smartsustainable-cities-global-initiative/doc.html>.

KPMG. *Internet of things in smart cities*. Exhibitions India Group, 2019. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/in/pdf/2019/05/urban-transformation-smart-cities-iot.pdf>.

McKINSEY – McKinsey Global Institute. *Smart cities: digital solutions for a more livable future*. McKinsey & Company, 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/smart-cities-digital-solutions-for-a-more-livable-future>.

UNITED NATIONS. *The future is now: science for achieving sustainable development; global sustainable development report*. New York, 2019.

ZION MARKET RESEARCH. Global IoT in smart cities market is anticipated to reach around USD 330.1 billion by 2025. *Zion Market Research*, Mar. 2019.

4. ENSINO DE ENGENHARIA E CAPACITAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



4 **Resumo.** O Capítulo 4 discute a educação na área de engenharia, um tópico essencial para cumprir os ODS. Desde o ensino de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) na escola, até a educação superior e o desenvolvimento profissional contínuo (CPD), passando por oportunidades de qualificação e requalificação, o ensino de engenharia é uma soma de todos esses fatores. É esse ensino que permite que os engenheiros de hoje lidem com os desafios futuros e que fornece a eles as ferramentas e habilidades necessárias para transformar este mundo dinâmico em um lugar em que se respeite o planeta e que proporcione saúde e bem-estar para o benefício de todos. A Seção 4.1 se concentra em como o ensino superior de engenharia pode atender aos requisitos para as novas competências de engenharia para o desenvolvimento sustentável, e discute por que e como o ensino na área está se transformando, de seu foco tradicional no conhecimento técnico disciplinar para uma abordagem mais ampla, interdisciplinar e como foco na solução de problemas, que combina análises de questões sociais e sustentáveis com o conhecimento técnico e acadêmico. A Seção 4.2 discute ainda a necessidade da aprendizagem ao longo da vida na área de engenharia, para que

os profissionais sejam capazes de acompanhar o rápido desenvolvimento das tecnologias e as expectativas sociais cada vez maiores, e responder aos problemas mundiais. Esta seção também analisa a situação atual da aprendizagem ao longo da vida em engenharia, bem como abordagens futuras para a criação de um marco para políticas, infraestrutura e garantia de qualidade. A Seção 4.3 trata do CPD e dos sistemas de certificação, que desempenham um papel fundamental na adaptação dos engenheiros às inovações tecnológicas e aos novos métodos de trabalho, para cumprir de forma efetiva seus compromissos com o desenvolvimento sustentável global. Dessa forma, o Capítulo 4 mostra como a capacitação em engenharia é um processo contínuo, que trabalha lado a lado com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, com os aspectos sociais da engenharia moderna e com a garantia de qualidade em cada estágio desse processo em evolução. Um requisito fundamental nesta longa jornada da educação em engenharia, desde o ensino escolar até o desenvolvimento profissional, é “garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável” (ODS 4.7).



Anette Kolmos¹

4.1. EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA PARA O FUTURO



Stock-Asso/Shutterstock.com

¹ Professora, Aalborg Center for Problem-Based Learning in Science, Engineering and Sustainability, Universidade Aalborg, Dinamarca.

Resumo. A educação na área de engenharia desempenha um papel fundamental na superação dos desafios para alcançar os ODS. Atingir esses objetivos exige uma transformação no ensino na área, do foco no conhecimento técnico e acadêmico para uma abordagem interdisciplinar e de solução de problemas muito mais ampla e complexa, que combina análises de problemas sociais e sustentáveis com o conhecimento técnico e acadêmico. Os estudantes de engenharia devem aprender a analisar e resolver problemas complexos e a ser capazes de colaborar em várias equipes. Este capítulo se concentra na necessidade de novas competências de engenharia, bem como nas tendências emergentes que demonstram como as instituições de engenharia podem responder aos desafios da sustentabilidade por meio da aprendizagem centrada no estudante e com base em problemas. Direcionar o ensino de engenharia nessa direção exigirá liderança educacional e pesquisa. A mudança curricular deve ser abordada de forma sistemática, o que inclui a promoção e o desenvolvimento do corpo docente.

Como o setor de engenharia está se transformando?

A engenharia é uma profissão que visa à resolução de problemas e, assim, requer uma abordagem de aprendizagem baseada em problemas. Desde o ensino inicial e em todo o sistema educacional, as disciplinas de ciências se beneficiarão de uma abordagem mais fortemente baseada na investigação, combinada com o *design thinking* e a colaboração interdisciplinar com outras disciplinas (Caixa 1).

Os estudantes de engenharia devem aprender a analisar e resolver os problemas enfrentados pela sociedade e desenvolver tecnologias que aprimorem a vida sustentável. Essas necessidades são reforçadas pelas principais tendências que moldam a educação na área de engenharia, como tecnologias emergentes e a agenda de empregabilidade, bem como questões relacionadas à diversidade, como o equilíbrio de gênero.

Caixa 1. A importância do ensino precoce em STEM

O declínio constante da entrada de jovens na ciência e a escassez de engenheiros são motivos de preocupação. A UNESCO, juntamente com sua parceira Intel, desenvolveu recursos educacionais *online* nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) para ensino à distância inclusivo em resposta à COVID-19, com o objetivo de tornar a educação em STEM mais acessível do que nunca. Esses recursos *online* gratuitos oferecem desafios de codificação para todas as idades, bem como problemas e soluções matemáticas, uma variedade de experimentos práticos de microciência, instruções, descrições, guias, revistas e oportunidades de *design* interativo com cientistas via Skype. O objetivo consiste em aumentar o interesse dos jovens, especialmente das meninas, em disciplinas de engenharia e ciências que estimulem seu pensamento crítico, sua inovação e suas habilidades de resolução de problemas. Exemplos de programas *online* da UNESCO sobre educação em STEM incluem aprender do zero como construir e programar um robô com materiais domésticos e um *smartphone*.

Os educadores podem acessar uma série de unidades desenvolvidas especialmente sobre os princípios de STEM para as salas de aula, aqui: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/science-technology/engineering/engineering-education/stem-resources/>

A engenharia e a tecnologia têm uma importância vital para alcançar os 17 ODS e, portanto, para o futuro do planeta. Como foi observado no primeiro Relatório de Engenharia da UNESCO, “Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development”, o ensino na área de engenharia enfrenta uma série de desafios que incluem atrair e reter estudantes e responder às mudanças de produção e aplicação do conhecimento (UNESCO, 2010).

A educação em engenharia é fundamental para abordar a maioria dos ODS e também desempenha um papel essencial na integração do desenvolvimento humano, social e econômico, por exemplo, nos processos sociais subjacentes à paz e à justiça. Um exemplo disso é ilustrado no estudo de um caso ocorrido na Colômbia (Caixa 2). Portanto, é importante que o ensino de engenharia encontre maneiras de formar engenheiros capazes de incorporar valores sustentáveis no desenvolvimento das tecnologias.

O ensino de engenharia precisa avançar rapidamente para progredir nessas áreas, até porque são necessários cinco anos para se formar um engenheiro. Os estudantes que iniciam seu ensino de engenharia hoje colocarão sua aprendizagem em prática além do horizonte dos ODS existentes. As tecnologias se tornarão mais complexas, e os resultados de aprendizagem no ensino de engenharia devem seguir o exemplo, o que envolverá mudanças tanto nos conteúdos da educação quanto nos métodos de aprendizagem. Qualquer direção futura deve envolver uma compreensão integrada sobre a identificação e a resolução de problemas complexos, a fim de permitir que os estudantes de engenharia aprendam as habilidades técnicas necessárias, bem como a lidar com os desafios do desenvolvimento sustentável em relação à sua disciplina e aos impactos sociais.

Caixa 2. Educação em engenharia para o desenvolvimento sustentável

Aprendizagem baseada em projetos em engenharia para a paz

O Programa Especial de Admisión y Movilidad Académica (Programa Especial de Admissão e Mobilidade Acadêmica – Peama), da Universidade Nacional da Colômbia, em Bogotá, é um exemplo recente de como as universidades públicas e o ensino de engenharia podem contribuir para os processos de paz, como o que ocorre atualmente no país, após décadas de conflitos internos. O objetivo geral do programa é aumentar o nível de escolaridade da população das áreas rurais e pobres, e melhorar o desempenho nos exames de admissão. O programa (de quatro semestres) atua nas áreas de enfermagem, engenharia agrícola, engenharia agrônômica, veterinária e pecuária. No caso do Peama Sumapaz, a aprendizagem baseada em projetos é a principal metodologia de ensino. A cada semestre, os estudantes desenvolvem um produto concreto que representa uma solução para os problemas que afetam essas áreas rurais, a fim de desenvolver competências relacionadas à complexidade, criatividade e inovação no desenvolvimento de soluções adequadas (Agencia de Noticias UN, 2018; Ordóñez *et al.*, 2017).

as complexidades (Snowden; Boone, 2007). Neste marco, as situações são classificadas como *simples*, *complicadas*, *complexas* e *caóticas*. Na categoria *simples*, o comportamento do sistema é bem compreendido, e as melhores práticas são implementadas; a maioria das disciplinas de engenharia são ensinadas neste domínio. O domínio *complicado* requer o comportamento de *especialista*, no qual há várias respostas certas. Por exemplo, o projeto de uma ponte ou de um telefone celular se enquadra nesta categoria, na qual alguns novos recursos são adicionados a uma tecnologia já conhecida. Situações *complexas* são o domínio de novas competências *emergentes*, e são situações em que a natureza do problema ou o tipo de soluções a serem aplicadas não são claras. A sustentabilidade pertence ao domínio *complexo*, que define um conjunto de critérios de análise e resolução de problemas. Situações *caóticas* muitas vezes são o resultado de um desastre, seja natural ou induzido pelo ser humano. São necessárias ações imediatas para estabilizar a situação antes de se aplicar métodos dos domínios complexos, complicados e simples.

O currículo normal de engenharia responde aos domínios *simples* e *complicados*. Os desafios do desenvolvimento sustentável, da Quarta Revolução Industrial (Sociedade 5.0) e da empregabilidade exigem competências de aprendizagem em todos os quatro domínios: i) caótico; ii) complexidade e emergência; iii) complicado; e iv) óbvio. A estratégia educacional para os domínios *complicado* e *complexo* envolverá a aplicação de projetos orientados à solução de problemas, que podem ser classificados de menos a mais abertos, juntamente com a variação na estrutura curricular e na pedagogia (Figura 1).

Os ODS e a complexidade nos currículos

Abordar os ODS e os desafios da sustentabilidade exigirá mais “complexidade” nos currículos. O marco Cynefin é uma maneira útil para visualizar como os métodos de ensino e aprendizagem são combinados com a crescente necessidade de entender

Figura 1. Combinação de elementos no desenvolvimento curricular com graus de complexidade

	Tipo de problema	Conhecimento e competências	Estrutura curricular	Métodos de ensino e aprendizagem
Óbvio	Problema conhecido Solução conhecida ex., estatísticas	Disciplinas	Disciplinas/cursos	Palestras, aprendizagem ativa e sala de aula invertida
Complicado	Problema conhecido Solução desconhecida ex., casa de carbono zero	↕ Multidisciplinar	↕ Colaboração entre várias disciplinas	↕ Projetos acadêmicos com base em problemas em todas as disciplinas
Complexo	Problema conhecido Solução conhecida ex., edifícios de energia zero em cidades de energia zero Novas tecnologias IoT, IA, bio e desafios de sustentabilidade	↕ Interdisciplinar	↕ Reorganização do currículo e desenvolvimento de novos modelos de aprendizagem centrados no estudante e combinados	↕ Análises de problemas complexos e projetos com base em problemas em todas as disciplinas e em conjunto com as partes interessadas Megaprojetos
Caótico	Desastres além da complexidade	Treinamento em ação imediata, trazendo experiências/ problemas de situações caóticas para a educação		

Que abordagens educacionais se mostraram eficazes?

De que forma as instituições de engenharia respondem a esses desafios, e que tendências emergentes podem ser identificadas para futuros modelos de currículo? As instituições de acreditação respondem a isso fazendo referência às competências profissionais, como as identificadas no Acordo de Washington da International Engineering Alliance (IEA) e os critérios do American Board of Engineering and Technology (ABET) para o ensino de engenharia nos Estados Unidos, juntamente com as competências de engenharia na Austrália (atributos). Alguns países, como, por exemplo, a Suécia, regulamentam a educação em âmbito governamental com requisitos explícitos para que os estudantes de engenharia aprendam conhecimentos sustentáveis e competências relacionadas (Holgaard *et al.*, 2016).

Durante os últimos 20 anos, as instituições de ensino se transformaram, de um sistema orientado aos professores para um ambiente de aprendizagem orientado aos estudantes, que envolve o seguinte:

- Aprendizagem ativa nas salas de aula (a “sala de aula invertida”) e aprendizagem baseada em problemas e projetos (PBL).
- Aprendizagem na prática com a inclusão no currículo de elementos destinados a situações de trabalho posteriores, como estágios, projetos industriais, polos de empreendedorismo e inovação, e aprendizagem de competências profissionais.
- Um número crescente de instituições passando para uma abordagem mais orientada para o sistema, na qual instituições inteiras modificam seu currículo em vez de cursos individuais (Graham, 2018b).

A chamada “sala de aula invertida” dominou a abordagem de aprendizagem *online* para a educação nos *campi*. Ele combina o aprendizado *online* e no *campus* com elementos de aprendizagem ativo para envolver os estudantes na sala de aula. Normalmente, o aspecto *online* assume a forma de uma preparação estruturada, como um vídeo, um *quiz*, leitura ou uma atividade colaborativa antes das aulas. Como resultado, o tempo em sala é usado para atividades, em vez da apresentação de palestras (Jenkins *et al.*, 2017; Reidsema *et al.*, 2017). O potencial total da aprendizagem digital ainda não foi alcançado, e a pandemia da COVID-19 testemunhou uma mudança mais rápida para ambientes de aprendizagem mista como o novo padrão.

A PBL envolve um processo de aprendizagem mais complexo com os estudantes em equipes e trabalhando para identificar problemas e selecionar metodologias, enquanto desenvolvem protótipos de soluções. Em geral, a literatura de pesquisa indica que a PBL conduz

a uma motivação mais forte para a aprendizagem, menores taxas de abandono e maior desenvolvimento de competências (Dochy *et al.*, 2003; Strobel e van Barneveld, 2009). Outro campo em que a PBL parece ter impacto positivo é a retenção de conhecimento (Norman; Schmidt, 2000; Strobel; van Barneveld, 2009). A PBL também tem sido vista como uma forma de preencher a lacuna entre o ensino/trabalho de engenharia e o desenvolvimento de competências profissionais (Kolmos *et al.*, 2020b; Lamb *et al.*, 2010; RAEng, 2007). Finalmente, os resultados de pesquisa indicam que a PBL aumenta a conscientização sobre a sustentabilidade entre estudantes de engenharia (Kolmos *et al.*, 2020b; Servant *et al.*, 2020).

Atualmente, a questão não é se a PBL funciona, mas, sim, a qualidade de sua implementação. A prática varia muito dentro de uma única disciplina ou curso. Os problemas apresentados em projetos são, em sua maioria, formulados em de um contexto acadêmico – o que muitos autores caracterizam como “PBL baseada em cursos” (Chen *et al.*, 2020; Gavin, 2011; Hadgraft, 2017; Kolmos, 2017). Essa metodologia tem suas limitações em termos de aprendizagem complexa, ao abranger questões sociais e de sustentabilidade, mas tais projetos iniciados por acadêmicos podem ser muito úteis para se obter uma compreensão de questões complicadas. A variação nos tipos de problemas e projetos pode, portanto, ser uma estratégia para permitir que os estudantes trabalhem para solucionar desafios complexos de sustentabilidade.

Projetos de equipe mais abertos e mais longos exigem uma abordagem sistêmica que ofereça a possibilidade de organizar projetos de vários tamanhos, tipos de problemas e resultados de aprendizagem (Caixa 3). Os problemas podem variar de projetos iniciados acadêmica e teoricamente, até aqueles iniciados por diferentes atores sociais com questões do mundo real. Isso geralmente toma a forma de um projeto do docente em colaboração com uma empresa ou um membro da comunidade mais ampla, ou de um projeto identificado e formulado pelos próprios estudantes. A colaboração com empresas e outras partes interessadas permite que os estudantes entendam o tipo de situações problemáticas complexas que encontrarão no trabalho. Com frequência, tais projetos iniciados externamente são muito difíceis de controlar como parte de um currículo acadêmico, pois os problemas podem levar a direções não previstas no início. No entanto, pesquisas indicam que a motivação aumenta quando os estudantes trabalham em projetos das empresas, pois veem essas situações de aprendizagem como mais autênticas e emocionantes porque há um cliente identificável (Kolmos; de Graaff, 2014; Zhou; Kolmos; Nielsen, 2012).

Caixa 3. Tipos de projetos

A Universidade Aalborg tem longa experiência na execução de um modelo coerente de aprendizagem, baseado em problemas e projetos nas áreas de engenharia e ciências. Os estudantes passam metade do seu tempo de estudo em diversos tipos de projetos em equipe, e a outra metade em disciplinas ensinadas de forma mais tradicional. Aalborg tem sido uma inspiração para várias outras instituições ao redor do mundo e tem servido como um laboratório vivo para formas alternativas de organizar os processos de aprendizagem dos estudantes. Estes têm a possibilidade de adquirir competências de vários tipos de projetos, que vão desde a abordagem de resultados de aprendizagem em de uma disciplina a projetos interdisciplinares para equipes únicas, bem como os mais recentes megaprojetos interdisciplinares, com várias equipes de projeto trabalhando juntas.

Um megaprojeto aborda desafios da sustentabilidade e está organizado sob um tema. Durante o semestre da primavera de 2020, um dos temas foi a simplificação da vida sustentável. Foram identificados diversos desafios, como os resíduos, o consumo ecológico, os transportes e a mobilidade. Para cada um dos desafios, outros desafios e problemas foram identificados, como o manuseio de resíduos na Universidade Aalborg ou em residências particulares. Os grupos de projetos de estudantes, que abrangem diversas disciplinas, trabalharam no mesmo problema (por exemplo, resíduos em residências particulares), mas cada um a partir de suas próprias perspectivas disciplinares. Por exemplo, estudantes de arquitetura e *design* trabalharam no projeto de lixeiras; estudantes de gestão ambiental trabalharam na logística; estudantes de engenharia eletrônica trabalharam em lixeiras inteligentes, e assim por diante. Durante as sessões de metade do período, os estudantes discutiram e forneceram *feedback* durante o processo de análise de problemas, *design* e busca de soluções relacionadas ao megaprojeto (AAU*; Kolmos *et al.*, 2020 a; Routhe *et al.*, 2020).

*AAU Megaprojects, Aalborg University: <https://www.megaprojects.aau.dk/>

Desenvolvimento curricular

Aqui, a questão principal é como desenvolver a educação. Tanto as abordagens “de cima para baixo”, como as “de baixo para cima”, são necessárias e são mais eficientes se forem combinadas. A acreditação é tão importante como o marco político global e as abordagens descendentes. No entanto, a mudança educacional deve ocorrer no âmbito institucional e envolverá uma mudança na cultura e uma compreensão sobre a aprendizagem entre os docentes. Muitas vezes, a mudança na educação em engenharia lenta e, por isso, devem ser aplicadas estratégias para promover um progresso mais rápido. Como a cultura desempenha um papel importante no processo de mudança, é necessária uma abordagem mais experimental de ensino e aprendizagem para criar ambientes de aprendizagem inovadores. No âmbito institucional, foram identificadas três estratégias curriculares (Kolmos *et al.*, 2016).

1. Uma “estratégia complementar” acrescenta uma aprendizagem mais ativa aos cursos existentes. Essa é a estratégia mais difundida para avançar em direção à aprendizagem centrada no estudante e, na literatura, se

reflete nos extensos relatórios sobre a PBL e experimentos de aprendizagem ativa no âmbito dos cursos (Chen *et al.*, 2020). A iniciativa tem origem nas palestras individuais.

2. Uma “estratégia de integração” combina cursos existentes com habilidades e competências, como o modelo de gerenciamento de projetos e colaboração. Isso é exemplificado pela comunidade Conceive-Design-Implement-Operate (CDIO), que desenvolveu uma lista de padrões que abrangem o âmbito do sistema, incluindo a garantia de qualidade e o desenvolvimento de pessoal acadêmico, a integração de habilidades e competências no currículo e, em um nível mínimo, a integração de projetos da vida real – principalmente projetos de empresas – nos quais os alunos aprendem a conceber, elaborar, implementar e operar um projeto (Crawley *et al.*, 2014; Edström; Kolmos, 2014). Essa estratégia exigirá um líder educacional para motivar a equipe a realizar os experimentos, e criar estrategicamente uma visão geral do currículo.
3. Uma “estratégia de reconstrução” diz respeito à reestruturação no âmbito sistêmico, por meio do estabelecimento de uma nova instituição ou programa. A estratégia de reconstrução enfatiza o contexto social, permitindo todos os tipos de aprendizagem ativa, incluindo projetos mais abertos. A progressão ao longo de um programa inteiro envolve uma ênfase tanto no conhecimento e nas competências técnicas, quanto nas competências profissionais ou de empregabilidade. Tal mudança também exigirá liderança institucional e educacional, e também há a necessidade de professores acadêmicos que pensem fora dos limites tradicionais e facilitem os processos de transformação.

O desenvolvimento da liderança educacional é essencial para efetivar e sustentar as mudanças educacionais necessárias, combinadas com treinamento de pessoal para aplicar métodos de ensino e aprendizagem inovadores e mais centrados nos estudantes (Graham, 2017; Graham, 2018a). Também existe a necessidade de se estabelecer estratégias “de cima para baixo” e “de baixo para cima”, juntamente com o desenvolvimento de um sistema de promoção que reconheça as experiências educacionais.

É possível encontrar inspiração em um estudo recente sobre as principais universidades de engenharia que estão colocando em prática novos tipos de modelos centrados nos estudantes (Graham, 2018b). Atualmente, a Olin College of Engineering, o Massachusetts Institute of Technology (MIT), a Stanford University, a Universidade Aalborg e a Technische Universiteit (TU) Delft são vistas como líderes no ensino de engenharia, mas também há vários líderes emergentes, como a Universidade de Tecnologia e Design de Singapura, a University College London, a Pontifícia Universidade Católica do Chile e a Iron Range Engineering na Virgínia, EUA. A maioria dessas instituições implementa uma aprendizagem coerente com foco nos estudantes que também inclui trabalho prático externo na forma de estágios, projetos corporativos ou consultorias para empresas.

Conclusão

4 Existe uma necessidade mundial de transformar os currículos de ensino de engenharia e as abordagens de aprendizagem para enfrentar os desafios dos ODS. Embora muitas instituições já estejam a caminho de um ensino de engenharia mais abrangente, ainda podem ser feitas recomendações para novas mudanças. Muitas instituições e programas novos podem servir como bons exemplos para o futuro ensino de engenharia, e instituições mais antigas e proeminentes também passaram a mudar, de um currículo mais tradicional para modelos coerentes centrados nos estudantes, abrindo caminho para o estabelecimento de mudanças em todo o mundo. Experiências na transição de processos curriculares podem inspirar outros a elaborarem suas próprias estratégias e atividades para o desenvolvimento curricular, os quais, por sua vez, podem ser uma fonte de inspiração para instituições e governos.

Recomendações

1. *Melhorar e fortalecer a educação em STEM nas escolas.* Esta é a base do ensino superior de engenharia e da aprendizagem ao longo da vida. Para todos os estabelecimentos de ensino, desde escolas até universidades, departamentos de engenharia e organismos de formação profissional, há também a necessidade de integrar o tema *sustentabilidade* no currículo para “garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável [...]” (ODS 4.7).
 2. *Interdisciplinaridade, desenvolvimento sustentável e empregabilidade nos currículos de engenharia.* Os governos devem dar mais importância a currículos interdisciplinares, desenvolvimento sustentável e competências profissionais, combinando-os com modelos de financiamento que apoiem essas necessidades. Os critérios nacionais de acreditação devem ser elaborados e acompanhados de incentivos e recompensas para as instituições que cumprirem esses requisitos.
 3. *Investimento em estudos de engenharia.* Os governos devem promover e apoiar estudos sobre a educação em engenharia para desenvolver pedagogia, ensino e aprendizagem no âmbito sistêmico. Os estudos devem focar a resolução de problemas interdisciplinares e complexos, utilizando a aprendizagem centrada no estudante e baseada em problemas, assim como a aprendizagem em linha.
 4. *Mudança institucional que abranja a complexidade.* Os governos devem recompensar as instituições que desenvolvem novos modelos sistêmicos de aprendizagem estudantil e combinada. Isso inclui instituições de engenharia que trabalham para alterar os currículos e as abordagens de
5. *Liderança educacional para a mudança educacional.* Os governos devem investir, desenvolver e reconhecer a liderança educacional, para facilitar e sustentar as mudanças sistêmicas necessárias no ensino de engenharia. Criar um sistema de recompensas e reconhecimento que apoie, alimente e reconheça o impacto e a liderança educacionais é uma ação importante no desenvolvimento do ensino de engenharia.
 6. *Acadêmicos como agentes de mudança.* As instituições devem desenvolver estratégias para realizar mudanças em programas e alocar recursos para o desenvolvimento acadêmico obrigatório, juntamente com outros incentivos, como esquemas de ensino com premiação/recompensas para o pessoal acadêmico, construção de comunidades, licenças sabáticas e bolsas anuais para a inovação educacional.

Referências

- AGENCIA DE NOTICIAS UN. Estudiantes del Peama en Sumapaz realizan proyectos para la comunidad [Peama students in Sumapaz carry out projects for the community]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2018. Disponível em: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/estudiantes-del-peama-en-sumapaz-realizan-proyectos-para-la-comunidad.html>.
- CHEN, J.; KOLMOS, A.; DU, X. Forms of implementation and challenges of PBL in engineering education: a review of literature. *European Journal of Engineering Education*, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1718615>.
- CRAWLEY, E. F. et al. Teaching and learning. In: CRAWLEY, E. F. et al. *Rethinking engineering education*. Springer-Verlag US, 2014. p. 143-163.
- DOCHY, F. et al. Effects of problem-based learning: a meta-analysis. *Learning and Instruction*, v. 13, n. 5, p. 533-568, 2003.
- EDSTRÖM, K.; KOLMOS, A. PBL and CDIO: Complementary models for engineering education development. *European Journal of Engineering Education*, v. 39, n. 5, p. 539-555, 2014.
- GAVIN, K. Case study of a project-based learning course in civil engineering design. *European Journal of Engineering Education*, v. 36, n. 6, p. 547-558, 2011.
- GRAHAM, R. *The career framework for university teaching: background and overview*. 2018a.
- GRAHAM, R. *The global state of the art in engineering education*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2018b. Disponível em: <https://www.rhgraham.org/resources/Global-state-of-the-art-in-engineering-education---March-2018.pdf>.
- GRAHAM, R. *Snapshot review of engineering education reform in Chile*. Santiago de Chile: Aalborg University, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017. Disponível em: www.rhgraham.org/resources/Review-of-educational-reform-in-Chile-2017.pdf.
- HADGRAFT, R. *Transforming engineering education: design must be the core*. In: SEFI CONFERENCE, 45, 18-21 September 2017, Azores, Portugal. *Proceedings...*, 2017.
- HOLGAARD, J. E. et al. Strategies for education for sustainable development – Danish and Australian perspectives. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, n. 4, p. 3479-3491, 2016.
- JENKINS, M. et al. Enhancing the design and analysis of flipped learning strategies. *Teaching & Learning Inquiry*, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2017. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1148447.pdf>.
- KOLMOS, A. PBL Curriculum Strategies: from course based PBL to a systemic PBL approach. In: GUERRA, A.; ULSETH, R.; KOLMOS, A. (eds). *PBL in engineering education*. Rotterdam, Holland: Sense Publishers, 2017. p. 1-12. Disponível em: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/262431640/pbl_in_engineering_education.pdf.
- KOLMOS, A.; DE GRAAFF, E. Problem-based and project-based learning in engineering education. In: KOLMOS, A.; DE GRAAFF, E. *Merging models*. New York, NY: Cambridge University Press, 2014. p. 141-161. Disponível em: https://vbn.aau.dk/ws/files/195196355/CHEER_TOC.pdf.
- KOLMOS, A.; HADGRAFT, R. G.; HOLGAARD, J. E. Response strategies for curriculum change in engineering. *International Journal of Technology and Design Education*, v. 26, n. 3, p. 391-411, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10798-015-9319-y>.
- KOLMOS, A.; HOLGAARD, J. E.; CLAUSEN, N. R. Progression of student self-assessed learning outcomes in systemic PBL. *European Journal of Engineering Education*, p. 1-23, 2020b. <https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1789070>
- KOLMOS, A. et al. Project Types and Complex Problem-Solving Competencies: towards a conceptual framework. In: GUERRA, A. et al. (eds). *Educate for the future: PBL, sustainability and digitalisation 2020*. Aalborg, Denmark: Aalborg Universitetsforlag, 2020a. p. 56-65. Disponível em: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/344787630/Project_Types_and_Complex_Problem_Solving_Competencies.pdf.
- LAMB, F. et al. *Engineering graduates for industry*. London: Royal Academy of Engineering, 2010. Disponível em: www.raeng.org.uk/publications/reports/engineering-graduates-for-industry-report.
- NORMAN, G. R.; SCHMIDT, H. G. Effectiveness of problem-based learning curricula: theory, practise and paper darts. *Medical Education*, v. 34, n. 9, p. 721-728, 2000.
- ORDÓÑEZ, C. et al. Práctica del aprendizaje basado en proyectos de la Universidad Nacional de Colombia en la localidad de SUMAPAZ de la ciudad de Bogotá D.C, Colombia. In: GUERRA, A. et al. (eds). *PBL, social progress and sustainability*. Aalborg, Denmark: Aalborg Universitetsforlag, 2017. p. 53-64. Disponível em: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/260094430/IRSPBL_2017_Proceedings_1_.pdf.
- REIDSEMA, C. et al. (eds). *The Flipped Classroom: practice and practices in higher education*. Singapore: Springer, 2017. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9789811034114>.
- ROUTHE, H. W. et al. Interdisciplinary megaprojects in blended problem-based learning environments: student perspectives. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE, COLLABORATIVE, AND BLENDED LEARNING (ICBL2020): Advances in Intelligent Systems and Computing, 9. *Proceedings...* (s.d.)
- RAEng – Royal Academy of Engineering. *Educating engineers for the 21st century*. London, 2007. Disponível em: <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/educating-engineers-21st-century>.
- SERVANT-MIKLOS, V.; HOLGAARD, J. E.; KOLMOS, A. A 'PBL effect'? A longitudinal qualitative study of sustainability awareness and interest in PBL engineering students. In: GUERRA, A. et al. (eds). *Educate for the future: PBL, sustainability and digitalisation 2020*. Aalborg, Denmark: Aalborg Universitetsforlag, 2020. p. 45-55. Disponível em: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/357965178/AAU_8th_PBL_2020_interaktiv_2.pdf.
- SNOWDEN, D. J.; BOONE, M. E. A leader's framework for decision making. *Harvard Business Review*, p. 69-76, 2007.
- STROBEL, J.; VAN BARNEVELD, A. When is PBL more effective? A meta-synthesis of meta-analyses comparing PBL to conventional classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, v. 3, n. 1, art. 4, p. 44-58, 2009. Disponível em: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1046&context=ijpbl>.
- UNESCO. *Engineering: issues, challenges and opportunities for development*. Paris, 2010. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000189753>.
- ZHOU, C.; KOLMOS, A.; NIELSEN, J. F. D. A problem and project-based learning (PBL) approach to motivate group creativity in engineering education. *International Journal of Engineering Education*, v. 28, n. 1, p. 3-16, 2012.

Soma Chakrabarti², Alfredo Soeiro³, Nelson Baker⁴ e Jürgen Kretschmann⁵

4.2 APRENDIZAGEM EM ENGENHARIA AO LONGO DA VIDA: UM IMPERATIVO PARA ALCANÇAR OS ODS



Gordenkoff/Shutterstock.com

- 2 Presidente, Iacee, Ansys-Granta, Reino Unido.
- 3 Ex-presidente, Iacee, Universidade do Porto, Portugal.
- 4 Secretário-geral e ex-presidente do Iacee, Georgia Institute of Technology, Estados Unidos.
- 5 Professor e presidente da Universidade Técnica TH Georg Agricola, Bochum, Alemanha. Ex-presidente da Society of Mining Professors.

Resumo. Muitos dos 17 ODS somente podem ser alcançados com a participação ativa e a contribuição de engenheiros e tecnólogos qualificados. No entanto, o advento de novas tecnologias, a automação, as mudanças demográficas e a mobilidade dos empregos exigirão uma requalificação contínua por parte da profissão de engenharia. Isso exigirá o desenvolvimento de capacidades, bem como uma abordagem estruturada, a garantia de qualidade e a acreditação para a aprendizagem ao longo da vida. Este capítulo analisa a situação atual da aprendizagem ao longo da vida na área de engenharia, bem como as abordagens futuras para criar um quadro de políticas, infraestrutura e garantia de qualidade, a fim de alcançar os objetivos e as metas estabelecidos na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

Introdução

A introdução contínua de novas e aprimoradas tecnologias e da automação está transformando o mundo em um ritmo exponencial. Novas tecnologias trazidas pela Quarta Revolução Industrial, que incluem IA, robótica, nanotecnologia, impressão 3D, *blockchain* e saúde digital, estão transformando empregos, carreiras e a maneira como as pessoas trabalham (Schwab, 2017). Os avanços recentes no aprendizado de máquina e a disponibilidade de uma grande quantidade de dados para treinar máquinas promoveram um avanço significativo na IA, por vezes substituindo o trabalho manual pela tecnologia. Em muitas fábricas, os robôs substituíram – e continuarão a substituir – as atividades humanas. O advento de tecnologias mais novas e sofisticadas está substituindo o trabalho rotineiro por máquinas ou pela automação, ocasionando uma polarização no mercado de trabalho em países desenvolvidos e economias emergentes (OECD, 2017). Embora essas transformações tragam desafios, atualmente novas oportunidades de emprego promovem o crescimento econômico e continuarão a fazê-lo. Cerca de 9% das ocupações que existirão em 2030 não existem no momento atual (Bughin *et al.*, 2018). Em suma, a interação da automação com a IA, juntamente com as mudanças demográficas e as grandes disrupções setoriais, irão alterar a natureza do trabalho no futuro (Munro, 2019).

As tendências mostradas a seguir predominam e são previstas para o futuro dos trabalhos na área de engenharia (Schwartz *et al.*, 2019):

- A vida útil de um engenheiro em atividade aumentou muito, à medida que as pessoas vivem e trabalham por mais tempo. Em termos demográficos, a força de trabalho incluirá uma porcentagem maior de idosos (Jenkins, 2019).
- Atualmente, os engenheiros trocam de emprego na mesma organização ou se transferem para outras organizações com mais frequência, o que exige requalificação e qualificação contínuas (WEF; BCG, 2018).
- Novos conhecimentos estão sendo criados em um ritmo crescente, e a tecnologia está evoluindo com rapidez. Engenheiros e tecnólogos devem acompanhar essas mudanças e inovações para permanecer no mercado de trabalho (DeLong, 2004).
- Os engenheiros trabalham em projetos que cada vez mais em âmbito global ou que têm implicações em todo o mundo, muitas vezes enquanto trabalham para organizações mundiais em ambientes locais (WEF, 2016).
- Embora a automação seja capaz de realizar muitas ações humanas, é improvável que as *soft skills*, como a comunicação interpessoal e a inteligência emocional, sejam substituídas por máquinas. Assim, engenheiros e tecnólogos precisam aprender essas habilidades para continuar sendo relevantes e empregáveis (Bughin *et al.*, 2018).

A formação contínua de engenheiros e tecnólogos, também referida como *aprendizagem ao longo da vida* para a requalificação e o aperfeiçoamento contínuos, é, portanto, uma necessidade.

A aprendizagem ao longo da vida (LLL) na área de engenharia é conhecida por vários nomes, sendo o mais comum o *desenvolvimento profissional contínuo* (CPD) para engenheiros e a *educação continuada em engenharia* (CEE). A LLL ou CEE assume duas formas:

1. Pós-graduação para profissionais em atividade, composta pelas modalidades presencial, *online*, mista e híbrida.
2. Certificados ou cursos não graduados em várias modalidades.

Esta seção se concentra em vários aspectos da LLL em engenharia e tecnologia, como formas de LLL na área que têm um foco especial no ensino e no treinamento profissional em tecnologia, sendo este último mais útil nos países em desenvolvimento – especialmente para alcançar os ODS e atingir suas metas. Esta seção também examina as parcerias entre universidades e indústrias, e o papel do setor privado na definição das necessidades de qualificação ou requalificação, à medida que elas surgem. A segunda parte da seção traça um caminho da aprendizagem para as carreiras de engenharia e tecnologia, e se refere à mensuração e à garantia da qualidade dos programas e da infraestrutura de CPD, com o objetivo de assegurar os mais altos padrões de educação continuada e profissional e treinamentos avançados de engenharia em qualquer lugar no mundo com critérios comuns de acreditação. A terceira parte da seção define vários critérios de garantia da qualidade para a CEE formal e não formal.

Formas de LLL em engenharia e tecnologia

Como foi observado anteriormente, a LLL na engenharia pode assumir várias formas e ocorrer em diferentes estágios da vida profissional. A subseção a seguir delinea essas formas e indica suas várias vantagens.

4 Aprendizagem baseada em trabalho como forma de CEE

A aprendizagem no local de trabalho é definida como um sistema de formação em uma profissão em que a aprendizagem realizada no próprio local de trabalho é acompanhada de estudos em uma instituição de ensino ou formação profissional. Muitas vezes, essa abordagem tem valor em uma trajetória de carreira, pois permite que os estudantes obtenham uma licença para exercer uma profissão regulamentada. Espera-se que os estudantes que fazem parte de esquemas de aprendizagem baseada no trabalho adquiram competências mensuráveis, as quais sejam capazes de resultar em certificação (Krupnick, 2016).

Por exemplo, a Alemanha adotou amplamente sistemas de aprendizado duplo como trajetória de carreira, permitindo que futuros engenheiros adquiram experiências valiosas por meio de uma prática estruturada.⁶ Esses aprendizados são considerados benéficos na área de engenharia, na qual as competências profissionais, como conhecimentos técnicos e de trabalho, habilidades e aptidões, são altamente valorizadas (Dubouloz, 2016). Eles também podem ser combinados com programas de estudo em engenharia em uma universidade – um programa chamado de “estudo duplo”.

Por vezes, existe uma relação salarial contratual entre o empregador e o aprendiz. Os estudantes podem até obter diplomas formais com a conclusão de programas de engenharia, por meio de um estágio de graduação. O estudante alterna períodos de trabalho na empresa e de estudo no *campus*, beneficiando-se assim de supervisão e apoio, tanto no âmbito acadêmico, como no profissional (Singh, 2015).

Fora da Alemanha, várias faculdades de prestígio, como a Imperial College e a École Centrale de Nantes, oferecem diplomas com base em aprendizados. Esses cursos abrangem desde a engenharia eletrônica até a industrial, e englobam a maioria das áreas de estudo da engenharia (Eucen, 2019).

No entanto, a aprendizagem baseada no trabalho não tem sido adotada de forma sistemática nos países em desenvolvimento, e há a necessidade de políticas e infraestruturas claras. Nos países da África Subsaariana, os estágios frequentemente são realizados para trabalhos de baixa qualificação e não resultam no treinamento em engenharia ou educação vocacional (Bahl; Dietzen, 2019).

Aprendizagem não formal e informal (NFIF) para engenheiros

Normalmente, a aprendizagem formal leva à certificação ou a outras formas de reconhecimento. A aprendizagem não formal está inserida em atividades planejadas mas não explicitamente designadas como aprendizagem (em termos de objetivos, tempo ou suporte de aprendizagem), mas contém um importante elemento de aprendizagem. Em geral, ela não leva à certificação ou a outras formas de reconhecimento, nem é organizada ou estruturada em termos de objetivos, tempo ou apoio à aprendizagem (Cedefop, 2014).

Embora a educação continuada de engenheiros na NFIF seja comum, a identificação de tais competências adquiridas exige processos elaborados, tais como:

- a definição de competências que podem ser documentadas e validadas;
- a verificação do preenchimento de pré-requisitos formais para eventual validação;
- a determinação dos resultados/competências de aprendizagem desejados para inclusão no sistema;
- decisões sobre quais resultados de aprendizagem devem ser documentar; e
- a identificação das competências que os empregadores desejam que seus engenheiros adquiram.

Embora algumas instituições acadêmicas nos Estados Unidos ou na França – assim como várias organizações profissionais de engenharia, incluindo a Board of Engineers Malaysia, a Engineers Ireland ou a Japan Society of Civil Engineers – reconheçam as conquistas do CPD, um processo estruturado para a validação e o reconhecimento da aprendizagem na NFIF pós-bacharelado sem acreditação é bastante raro e carece de procedimentos formais de garantia de qualidade (Feutrie, 2012; Pardo, 2016).

O objetivo geral é ter um sistema para documentar e validar os resultados de aprendizagem na NFIF de engenheiros, o qual seja reconhecido por empresas, organizações profissionais e pela sociedade, a fim de contribuir para se ter mais transparência e mobilidade de engenheiros em todo o mundo. Isso é fundamental, pois algumas regiões carecem de engenheiros treinados, enquanto engenheiros qualificados procuram estágios em outros locais devido ao desemprego.

Uma abordagem sistemática e bem-sucedida para a avaliação de competências de engenharia do aprendizado na NFIF é o uso de um portfólio eletrônico, como o oferecido pelo Europortfolio Competency Framework (2015), que apoia os processos de reconhecimento e acreditação de competências. Esse portfólio fornece um ambiente no qual os engenheiros podem:

⁶ Veja o Apprentice Toolbox, no sistema de aprendizagem na Alemanha: www.apprenticeship-toolbox.eu/germany/apprenticeship-system-in-germany/143-apprenticeship-system-in-germany

- criar um arquivo digital para seu trabalho;
- selecionar peças específicas de trabalho (*hiperlinks* ou documentos) para destacar suas realizações;
- definir metas para a melhoria da formação futura;
- compartilhar o aprendizado com outras pessoas e receber comentários de colegas como parte do *feedback* formativo; e
- reunir evidências de aprendizagem ao longo do tempo, que podem ser apresentadas a diferentes públicos para validação, reconhecimento ou certificação profissional.

Os portfólios eletrônicos para aprendizagem na NFIF oferecem um sistema flexível, mas robusto, que fornece uma avaliação de competências. Eles também fornecem às associações profissionais, às agências de acreditação e aos engenheiros um mecanismo por meio do qual os profissionais podem mostrar seus conhecimentos, aptidões e habilidades adquiridas pela aprendizagem na NFIF. Em um futuro próximo, o uso mais amplo de atividades de *blockchain* pode agregar portfólios eletrônicos e outras credenciais para formar o registro pessoal de um estudante (Roebuck, 2019).

Avaliação da aprendizagem na NFIF e do cartão Feani

A avaliação da aprendizagem na NFIF pode ser classificada em dois tipos: i) *autoavaliação*, como um plano de desenvolvimento pessoal (PDP); e ii) *avaliação externa* por associações profissionais que mantêm registros digitais. Esse último processo foi implementado por várias organizações profissionais em todo o mundo, em países como Austrália, Estados Unidos, Irlanda, Japão e Malásia.

Como as competências profissionais dos engenheiros geralmente são estabelecidas por associações profissionais ou câmaras de comércio, não é possível criar um conjunto comum de competências para diferentes países e distintas especializações de engenharia. Para resolver esse problema, a Federação Europeia de Organizações Nacionais de Engenharia (Feani) criou o *Engineering Card* (Cartão de Engenharia). Ele fornece informações sobre o engenheiro, incluindo sua educação formal, experiência profissional e CEE ou CPD. Define o conjunto de competências que cada engenheiro pode desempenhar e propõe um sistema de portfólio eletrônico para registrar evidências das competências adquiridas nos processos de NFIF. Cada acreditação ou organização profissional pode usar esse portfólio eletrônico para reconhecer as competências adquiridas por cada engenheiro. A Feani também tem um sistema em vigor para a concessão de créditos de CPD aos engenheiros. Esse sistema é voluntário e utilizado pelas organizações profissionais dos membros da própria Feani.⁷

Papel dos prestadores formais de serviços em CEE

Os prestadores formais de CEE também desempenham um papel no reconhecimento das competências de engenharia da

NFIF. Eles definem os módulos e os cursos para complementar a educação e a formação dos candidatos dispostos a alcançar determinada qualificação. Muitas vezes esses cursos enfrentam os mesmos obstáculos que a aprendizagem na NFIF. Como resultado disso, a garantia de qualidade para apoiar o reconhecimento de competências por organizações profissionais se tornou obrigatória em alguns países (Werquin, 2010).

Garantia de qualidade da aprendizagem ao longo da vida e da aprendizagem na NFIF em engenharia

Os marcos de qualidade da educação formal variam muito em todo o mundo, uma variabilidade que se estende à educação continuada, à aprendizagem LLL e na NFIF. Mesmo no âmbito interno dos países, os padrões e requisitos para a aprendizagem LLL e NFIF na indústria podem diferir conforme a legislação nacional e os requisitos das associações profissionais. Além disso, as fontes de financiamento e os impulsionadores da CEE variam de forma significativa em todo o mundo, como nos exemplos mostrados abaixo.

- Na China, o Ministério de Recursos Humanos e Previdência Social estabelece os requisitos para a educação continuada em engenharia e financia a Associação Chinesa de Educação Continuada em Engenharia (Cacee)⁸ para desenvolver e oferecer programas e cursos para engenheiros e profissionais técnicos em todo o país; a formação e a periodicidade são obrigatórias.
- Nos Estados Unidos, associações profissionais que licenciam engenheiros estabelecem os requisitos para a CEE, mas os cursos e programas são desenvolvidos e ministrados por instituições de ensino superior, agências governamentais ou empresas que empregam engenheiros.
- Na União Europeia, a Comissão Europeia financia projetos para universidades ou outras organizações com a finalidade de desenvolver e ministrar cursos e programas.

Essa diversidade mundial é problemática para os engenheiros, pois limita sua mobilidade e a aceitação de licenças (Feani, 2018).

Papéis das associações profissionais

Como foi observado por Markkula (1995), as associações e organizações profissionais de engenharia têm a responsabilidade de fornecer e validar a LLL dos engenheiros. O esquema de acreditação de CPD para profissionais da Irlanda é projetado para apoiar a LLL, incentivando e reconhecendo as boas práticas dos engenheiros. Espera-se que estes tenham pelo menos cinco dias

⁷ Para a lista de membros profissionais, veja: <https://www.feani.org/feani/membership-list-0>

⁸ Para mais informações sobre o Cacee: www.cacee.org.cn [em chinês].

Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

de aprendizado formal a cada ano.⁹ Na Malásia, a Comissão de Engenheiros impôs um sistema que é credenciado pelo Instituto de Engenheiros da Malásia (IEM).¹⁰ Cada engenheiro deve realizar pelo menos uma média anual de 50 horas de treinamento por triênio. O sistema australiano de acreditação é idêntico ao da Malásia, pois ambos os países pertencem à Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (APEC), juntamente com Canadá, Coreia do Sul, Estados Unidos, Filipinas, Hong Kong (China), Japão, Nova Zelândia e Tailândia. Em 2001, esse grupo decidiu adotar o esquema de credenciamento CPD (o Acordo de Sydney), e a maioria dos países implementou o sistema.¹¹ Nos Estados Unidos, o credenciamento periódico é realizado pelo Conselho Nacional de Examinadores de Engenharia e Agrimensura (*National Council of Examiners for Engineering and Surveying* – NCEES) e é referido como Competência Profissional Contínua.¹²

Papéis dos governos

Em todo o mundo, o papel dos governos varia em relação ao fornecimento de diferentes tipos de financiamento e apoio. Em relação aos marcos legislativos, os governos podem estabelecer leis que implementam o CPD e a LLL como funções das universidades para a pesquisa e o treinamento de graduados e pós-graduados, ou pode não haver interesse. Um argumento político recorrente nesse sentido é que o investimento em capital humano é essencial para o crescimento econômico e para o desenvolvimento social e ajudará a sustentar a competitividade global (Eucen, 2019).

Papel da indústria

A relação entre universidades e indústria é importante para as atividades de LLL. Normalmente, as indústrias conhecem as competências e os conhecimentos necessários para sua força de trabalho e buscam funcionários potenciais com essas qualidades. A indústria também fornece financiamento para a formação e o ensino de seus funcionários, para que obtenham novos conhecimentos e habilidades. As principais competências das universidades consistem em descobrir novos conhecimentos e proporcionar aprendizagem, ambos fatores desejados pela indústria. Desse modo, o sucesso da LLL depende de uma forte comunicação entre as duas partes.

Marcos de qualidade para a validação de LLL e NFIF

As universidades utilizam dois modelos para credenciar o CPD na área de engenharia. As indústrias também credenciam e avaliam o CPD e módulos ou cursos utilizando seus próprios procedimentos, com base nos dois tipos de modelos descritos a seguir:

- O primeiro modelo credencia centros e fornecedores de CPD para engenheiros por um determinado período, com o uso de um sistema de autoavaliação para a gestão da qualidade e melhoria contínua. Durante esse período, os administradores dos centros e organizações provedoras de CPD podem usar o nível de qualidade avaliado para credenciamento como valor agregado em relatórios anuais para as partes interessadas, como pró-reitores ou reitores. Essa acreditação também pode ser utilizada como um “selo de garantia de qualidade” para potenciais participantes na carreira de engenharia.
- O segundo modelo acredita ações de treinamento único ou módulos com benefícios para engenheiros, semelhantes às ações de treinamento de provedores credenciados.

Ambos os modelos podem ser encontrados em todo o mundo, e a escolha depende dos custos, da cultura de trabalho das empresas e dos engenheiros, e das regulamentações e procedimentos estabelecidos.¹³ Um exemplo dessa acreditação de centros é o Programa da Qualidade (QP) da Iacee.¹⁴ O modelo proposto tem como base a Fundação Europeia para a Gestão da Qualidade (*European Foundation for Quality Management* – EFQM) e é utilizado para melhorar a qualidade dos centros por meio de autoavaliação, acreditação externa ou de um órgão avaliador (Wagenaar; Gonzalez, 2018).

Conclusão

A combinação de novos métodos para o ensino formal de engenharia, nos níveis tradicionais de graduação e pós-graduação, com as metodologias descritas nesta seção, produzirá engenheiros competentes em âmbito mundial. Nenhuma atividade, por si só, é suficiente no mundo complexo e em rápida mudança como o atual. A inclusão da aprendizagem que ocorre no trabalho por meio de atividades de NFIF permite o foco no aprendizado constante, na reflexão e na credibilidade das informações aprendidas para fazer parte do cotidiano de um engenheiro ou técnico de engenharia, possibilitando a realização plena dos ODS em âmbito global. A liderança da UNESCO, em parceria com várias outras organizações, deve permitir a contínua reeducação e reciclagem da força de trabalho de amanhã.

9 Para obter mais informações sobre as atividades do CPD: <https://www.engineersireland.ie/Professionals/CPD-Careers/CPD-activities>

10 Para mais informações sobre o CPD: www.myiem.org.my/content/cpd-250.aspx

11 Consulte: www.engineersaustralia.org.au/Training-And-Development/MYCPD

12 Para mais informações sobre a NCEES: <https://ncees.org>

13 Veja exemplos do Programa Atlantis da UE/EUA, em: <http://daete.up.pt>

14 Leia mais sobre o Programa de Qualidade para Educação Continuada da Iacee, em: www.iacee.org/iacee_quality_program.php

Recomendações

Abaixo, três recomendações que justificam maior exploração. O ritmo acelerado de criação de novos conhecimentos em todo o mundo exigirá que essas recomendações sejam ágeis e se sujeitem a modificações.

1. *Criar um grupo de trabalho global.* Recomenda-se a convocação de um grupo de trabalho global das universidades e da indústria para permitir a identificação e a compilação de práticas existentes, para a educação ao longo da vida da força de trabalho de engenharia e áreas afins. Um relatório da US National Academy of Engineering (Dutta; Patil; Porter, 2012) inicialmente esclareceu essa questão. Além disso, esse grupo poderia recomendar uma metodologia e um processo pelos quais os créditos de aprendizagem ao longo da vida de engenharia são adquiridos, validados, compartilhados e considerados para aceitação por órgãos de governança em todo o mundo. Esse processo deve se concentrar nos padrões de ensino ao longo da vida, necessários às engenharia e às áreas relacionadas. Se a UNESCO, em parceria com as principais associações profissionais de engenharia, como Cacee, Iacee, American Society for Engineering Education (ASEE) e European Society for Engineering Education (SEFI), solicitar tal grupo, suas respostas ajudarão a mobilizar esses esforços.
2. *Reduzir ou remover barreiras reais e percebidas.* O grupo de trabalho deverá considerar as barreiras reais e percebidas para obter uma prática de ensino de engenharia ao longo da vida, disponível e aceita em âmbito mundial, bem como identificar possíveis soluções aos problemas. Alguns dos desafios incluem:
 - requisitos consistentes que são mais aceitos em âmbito global; e
 - mecanismos de financiamento em todo o mundo para o ensino continuado de engenharia, em vez de bolsas de apoio corporativo ou governamental.
3. *As seguintes ideias podem ser usadas como ferramentas em soluções futuras:*
 - Armazenamento de credenciais em *blockchain*;
 - Um cartão de engenharia semelhante ao Feani e
 - Novos modelos empresariais e pedagógicos para o ensino ao longo da vida.
4. *Criar políticas globais e scorecards associados.* Políticas globais para compartilhar e reconhecer a aprendizagem de CEE podem ser efetivadas por meio de conversas, propostas e da adoção de processos. O desenvolvimento de um *scorecard* é previsto para auxiliar no acompanhamento do progresso das metas e recomendações do grupo. Os *scorecards* fornecerão conteúdo e contexto para as recomendações, garantindo que todas as partes da força de trabalho internacional sejam incluídas na reflexão e nas ações na área.

Agradecimentos

Os autores agradecem às seguintes pessoas por sua ajuda no fornecimento de informações para a pesquisa: Xiujun Wu e Chunyan Lim, professores da China Association for Continuing Engineering Education (China); professora Kim Scalzo, da State University of New York (Estados Unidos); e professor Hyoungkwan Kim, da Universidade Yonsei (Coreia do Sul).

Referências

- BAHL, A.; DIETZEN, A. (eds). *Work-based learning as a pathway to competence-based education: a UNEVOC network contribution*. Bonn: Federal Institute for Vocational Education and Training, 2019. Disponível em: www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/9861.
- BUGHIN, J. et al. *Skill shift: automation and the future of the workforce*. McKinsey Global Institute, 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/skill-shift-automation-and-the-future-of-the-workforce>.
- CEDEFOP – European Centre for the Development of Vocational Training. *Terminology of European education and training policy: a selection of 130 terms*. 2 ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. Disponível em: www.cedefop.europa.eu/EN/Files/4117_en.pdf.
- DELONG, D. W. *Lost knowledge: confronting the threat of an aging workforce*. New York: Oxford University Press, 2004.
- DUBOULOZ, C. La Suisse, pays de l'apprentissage. *Le Temps*, 27 Dec. 2016. Disponível em: www.letemps.ch/suisse/suisse-pays-lapprentissage.
- DUTTA, D.; PATIL, L.; PORTER, J. B. Jr. *Lifelong learning imperative in engineering: sustaining American competitiveness in the 21st century*. Washington, DC: National Academy of Engineering, National Academic Press, 2012. Disponível em: <https://www.nap.edu/read/13503/chapter/1>.
- EUCEN – European University Continuing Education Network. THENUCE – Thematic Network in University Continuing Education: European Report Summary. Barcelona, Spain, 2019. (EUCEN studies files). Disponível em: https://eucenstudies.files.wordpress.com/2019/01/eucen_thenuce_summary29jan19.pdf.
- EUROPORFOLIO. *Europortfolio competency recognition framework*. 2015. Disponível em: <http://www.eportfolio.eu/resources/contributions/europortfolio/competency-framework>.
- FEANI – Fédération Européenne des Associations Nationales des Ingénieurs. *A system for validation of NFIF learning of engineers (NFIF)*. Brussels, 2018.
- FEUTRIE, M. The recognition of individual experience in a lifelong learning perspective: validation of NFIF learning in France. *Lifelong learning in Europe*, v. 13, n. 3, p. 164-171, 2012.
- JENKINS, J. A. An aging workforce isn't a burden: it's an opportunity. World Economic Forum, 2019. Disponível em: www.weforum.org/agenda/2019/01/an-aging-workforce-isnt-a-burden-its-an-opportunity.
- KRUPNICK, M. U.S. quietly works to expand apprenticeships to fill white-collar jobs: with other countries' systems as a model, apprenticeships have started to expand. *The Hechinger Report*, 27 Sep. 2016. Disponível em: <https://hechingerreport.org/u-s-quietlyworks-to-expand-apprenticeships-to-fill-white-collar-jobs>.
- MARKKULA, M. The role of professional organizations in developing systems for lifelong learning. *Industry and Higher Education*, v. 9, n. 4, p. 227-235, 1995.
- MUNRO, D. *Skills, training and lifelong learning*. Ottawa, ON: Public Policy Forum, 2019. (Key issues series, 1). Disponível em: <https://ppforum.ca/wp-content/uploads/2019/03/SkillsTrainingAndLifelongLearning-PPF-MARCH2019-EN.pdf>.
- OECD – Organisation of Economic Co-operation and Development. *OECD employment outlook*. Paris, 2017. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/employment/oecdemployment-outlook-2017_empl_outlook-2017-en#page2.
- PARDO, F. El acceso de los ingenieros al ejercicio de la profesión en los principales países. Madrid: Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España (FAIE), 2016. Disponível em: www.ica.es/articulo-revista/el-acceso-de-los-ingenieros-alejercicio-de-la-profesion-en-los-principales-paises.
- ROEBUCK, K. 5 ways blockchain is revolutionizing higher education. *Forbes*, 2 Jan. 2019. Disponível em: www.forbes.com/sites/oracle/2019/01/02/5-ways-blockchain-isrevolutionizing-higher-education/#3810c06a7c41.
- SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. New York, NY: Crown Business, 2017.
- SCHWARTZ, J. et al. Redefining work, workforces and workplaces. *Deloitte Insights*, 2019. Disponível em: www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/technology-and-the-futureof-work/defining-work-workforces-workplaces.html.
- SINGH, M. *Global perspectives on recognising non-formal and informal learning: why recognition matters*. Hamburg, Germany: UNESCO Institute for Lifelong Learning (UIL), Springer Open, 2015. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000233655>.
- WAGENAAR, R. (ed.). *Measuring and Comparing Achievements of Learning Outcomes in Education in Europe (CALOHEE)*. Groningen, Germany: University of Groningen, 2018.
- WEF – World Economic Forum. *The future of jobs: employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. 2016. Disponível em: www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf.
- WEF; BCG – World Economic Forum; Boston Consulting Group. *Towards a reskilling revolution: a future of jobs for all*. 2018. Disponível em: www3.weforum.org/docs/WEF_FOW_Reskilling_Revolution.pdf.
- WERQUIN, P. *Recognising non-formal and informal learning: outcomes, policies and practices*. Paris: OECD Publishing, 2010.



José Vieira¹⁵ e Eli Haugerud¹⁶

4.3 DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL CONTÍNUO DOS ENGENHEIROS



Disponível sob CC BY-NC-ND 2.0 This is Engineering

¹⁵ Presidente eleito, WFEO.

¹⁶ Presidente do Comitê de Monitoramento Europeu (EMC), Federação Europeia de Associações Nacionais de Engenharia (Feani).

Resumo. O ambiente desafiador da evolução tecnológica contínua requer engenheiros qualificados e competentes, que possam contribuir para alcançar os ODS das Nações Unidas e que se sejam capazes de lutar por soluções inovadoras e sustentáveis. Para poder fazer isso, os engenheiros devem continuamente adquirir novos conhecimentos e habilidades, bem como atualizar suas habilidades para incorporar competências individuais e de equipe. O desenvolvimento profissional contínuo (CPD) pode desempenhar um papel fundamental na adaptação dos profissionais às inovações tecnológicas e aos novos métodos de trabalho, para cumprirem melhor seus compromissos com a sociedade. Nesse sentido, os sistemas de certificação profissional de engenharia podem ser de suma importância para o reconhecimento de qualificações e competências profissionais em todo o mundo, estabelecendo requisitos mínimos de conhecimentos, habilidades e competências para a profissão de engenharia.

Tendências e desafios que afetam os engenheiros

Os engenheiros são vistos como potenciais solucionadores de problemas, capazes de trabalhar para alcançar os 17 ODS, por meio da aplicação de uma abordagem inovadora e baseada em soluções (United Nations, 2020). A fim de contribuir para um ambiente voltado para o futuro, os engenheiros devem atualizar suas competências em termos de habilidades, conhecimentos e experiências (Iacee¹⁷). Muitos dos fundamentos básicos da engenharia permanecem os mesmos, mas competências e tendências adicionais devem ser atendidas e abordadas de maneira adequada não apenas pelos próprios engenheiros, mas também pela profissão de engenharia como um todo. Isso, juntamente com o aumento da migração (EC, 2017; Trevelyan; Tilli, 2011), é relevante para avaliar as competências necessárias para um futuro sustentável.

Existem também megatendências relevantes para o papel do engenheiro e da engenharia. Essas tendências são a automação, a IA e a digitalização (Cedefop, 2020a). A digitalização pode resultar em novas formas de trabalho e aprendizado, como plataformas

ou trabalhos da chamada *gig economy*, ou trabalhos remotos com base em TIC (Cedefop, 2020b). A digitalização transformará a prática de engenharia em um novo paradigma, que é fundamentado em redes, orientado por dados e capacitado por IA. Assim, o papel dos engenheiros se transformará e terminará em níveis mais altos ou mais baixos na hierarquia de competências, o que pode levar à polarização do mercado de trabalho e a um descompasso de habilidades.

Para permanecerem competentes em termos profissionais neste mundo de constantes mudanças, os engenheiros devem continuamente adquirir novos conhecimentos e habilidades, e atualizar suas habilidades para integrar competências individuais e de equipe (WEF; BCG, 2018). O CPD pode ser definido como a manutenção intencional e o desenvolvimento dos conhecimentos e das habilidades necessários para atuar em um contexto profissional. Isso pode significar o aprimoramento de habilidades atuais ou o seu desenvolvimento para um novo nível, ou pode significar o aprendizado de novas habilidades que expandam o papel dos funcionários ou que o prepare para possíveis promoções (CPD, 2020). O CPD para engenheiros abrange tanto a aquisição de novos recursos para ampliar suas competências, quanto o aprimoramento dos recursos existentes para acompanhar a evolução da tecnologia e suas aplicações. Ressalta-se que o CPD não serve apenas para atualizar e aprimorar os conhecimentos e as habilidades técnicas dos engenheiros, mas também para aprofundar a compreensão sobre o desenvolvimento sustentável e seus objetivos, assim como para promover a conscientização sobre os códigos éticos, que evoluem juntamente com o desenvolvimento social e técnico dos engenheiros.

Como trabalhar com o CPD

O CPD é essencial para a manutenção de altos padrões profissionais, e aumenta a empregabilidade e a mobilidade de engenheiros considerados individualmente. Ele auxilia na progressão na carreira e fortalece a satisfação profissional. É responsabilidade do indivíduo se envolver com o CPD, mas isso requer cooperação, incentivo e apoio de empregadores e instituições profissionais e acadêmicas. Para ser mais eficaz, o CPD deve ser planejado e relacionado a objetivos específicos. É essencial refletir sobre o que foi aprendido, para permitir que o *plano de desenvolvimento de competências* de um indivíduo seja periodicamente atualizado.

A fim de contribuir para a melhor utilização do CPD, as instituições e as autoridades nacionais devem destacar o papel fundamental dos engenheiros profissionais qualificados para o crescimento econômico e para o desenvolvimento social. Empresas, universidades, organizações profissionais e outras entidades de engenharia devem ser incentivadas a investir em CPD. O CPD de qualidade deve ser incentivado, juntamente com práticas

17 Site oficial da International Association for Continuing Engineering Education: www.iacee.org

inovadoras de aprendizado, bem como bons exemplos e melhores práticas para ajudar outras pessoas a encontrarem formas relevantes de CPD (Feani, 2020).

Existe uma necessidade contínua de CPD para que os engenheiros mantenham e desenvolvam suas competências profissionais. A esse respeito, os engenheiros são incentivados a:

- Reconhecer a importância do CPD para sua carreira, empregabilidade e mobilidade, bem como para sua satisfação profissional e o bem-estar em todas as idades e estágios ao longo de sua carreira.
- Assumir de forma ativa o seu desenvolvimento profissional e pessoal, e investir em CPD. Em um âmbito pessoal, devem estabelecer um *plano de desenvolvimento de competências* e uma ideia ampla de *metas de carreira*.
- Com o empregador, negociar um plano realista de CPD e construir competências de forma sistemática, garantindo a boa execução das tarefas e possibilitando o desenvolvimento de sua carreira.
- Trabalhar ativamente para realizar o plano de CPD. Registrar de forma sistemática as atividades e conquistas de CPD, para que a manutenção e/ou o desenvolvimento da competência profissional possam ser demonstrados e, se necessário, as competências adquiridas possam ser avaliadas e reconhecidas.
- Esforçar-se pela qualidade do CPD pessoal, bem como quanto ao uso de uma variedade de métodos, p. ex., cursos/programas formais, estudos acadêmicos, visitas profissionais e aprendizado no local de trabalho.

Nos países em que o acesso às atividades profissionais de engenharia está sujeito a um registro obrigatório, já é prática comum reconhecer e valorizar as conquistas de CPD dos engenheiros na manutenção de seu *status* profissional. Em geral, a avaliação é realizada por meio da atribuição de créditos de CPD, adquiridos por diferentes tipos de atividades: de desenvolvimento, laboral e individual (ASCE¹⁸; EA¹⁹; ECSA²⁰; ECI²¹; ENGC²²).

Sistemas de certificação profissional de engenharia

Os marcos nacionais de qualificações (NQFs) têm sido adotados em todo o mundo como instrumentos que objetivam classificar as qualificações de um país, em diferentes níveis. Esforços significativos também foram realizados para estabelecer

marcos regionais de qualificações para comparar habilidades e qualificações em âmbito internacional (Cedefop; ETF; UNESCO-UIL, 2020). No entanto, ainda há um longo caminho a ser percorrido para estabelecer mecanismos internacionais de reconhecimento de habilidades e competências profissionais na área de engenharia.

A qualidade do ensino de engenharia geralmente é assegurada no âmbito nacional, pela acreditação concedida por instituições governamentais ou associações profissionais. Entretanto, por razões educacionais, sociais e políticas, o reconhecimento de diplomas de engenharia em âmbito internacional é uma questão complexa e altamente sensível, que dificulta a mobilidade dos profissionais. Mesmo em áreas de alta integração política, como a União Europeia, ainda há grandes dificuldades quanto ao reconhecimento mútuo de diplomas. Algumas iniciativas para facilitar esse reconhecimento foram desenvolvidas com sucesso por associações profissionais, por meio de acordos multilaterais, como a European Network for Accreditation of Engineering Education²³ e a International Education Alliance.²⁴

Esforços para estabelecer programas de educação contínua em engenharia também foram desenvolvidos em todo o mundo. Uma grande variedade de métodos de ensino, incluindo cursos presenciais e *online*, foi adotada em atividades de aprendizagem ao longo da vida em diferentes regiões: Europa e Estados Unidos (Dutta; Patil; Porter, 2012), África (Kirkland; Vitanov; Schaefer, 2007), China e Índia (Li, 2012; Singh; Sarkar; Bahl, 2018). No entanto, não há um processo de acreditação mundial padrão, que permita o fácil reconhecimento mútuo da qualidade e da integração do CPD para os engenheiros.

A globalização dos mercados de trabalho, a mobilidade de estudantes e trabalhadores, o aumento da migração, a automação, a digitalização, a polarização do mercado de trabalho e a incompatibilidade de habilidades são alguns dos desafios que a engenharia enfrenta em âmbito mundial para obter avanços significativos na consecução dos ODS. Nesse contexto, o desenvolvimento e a implementação de Sistemas de Certificação Profissional de Engenharia (EPCS) pode ser de suma importância para o reconhecimento das qualificações e competências profissionais de engenharia em todo o mundo, de modo a estabelecer requisitos mínimos de conhecimentos, habilidades e competências para a profissão.

Para que sejam mecanismos aceitos, eficazes e úteis, os EPCS devem respeitar os sistemas estabelecidos nos âmbitos nacional e internacional, bem como fornecer confiança quanto à garantia de qualidade para três pilares essenciais: ensino em engenharia, competências profissionais e CPD e aprendizagem ao longo da vida. Os detalhes dos EPCS são fornecidos na Caixa 1, a seguir.

18 Site oficial da American Society of Civil Engineers: <https://www.asce.org/continuing-education/>

19 Site oficial da Engineers Australia: www.engineersaustralia.org.au/

20 Site oficial da Engineering Council of South Africa: www.ecsa.co.za

21 Site oficial da Engineering Council of India: www.ecindia.org

22 Site oficial da Engineering Council: www.engc.org.uk/professional-development/continuing-professional-development-cpd

23 Site oficial da European Network for Accreditation of Engineering Education: www.enae.eu

24 Site oficial da International Engineering Alliance: www.ieagrements.org

Recomendações

- Trabalhar para o desenvolvimento e a implementação de EPCS que se tornem de suma importância para a promoção do CPD e para o reconhecimento das qualificações e competências profissionais de engenharia em todo o mundo.
- Incentivar os empregadores a investirem no CPD de seus engenheiros em termos de inovação e soluções sustentáveis, de modo a garantir que seus colaboradores se mantenham relevantes e que as competências de sua empresa estejam atualizadas.
- Incentivar os engenheiros a assumirem um papel ativo em seu CPD, para garantir sua empregabilidade e mobilidade.

Caixa 1. Sistemas de Certificação Profissional de Engenharia (EPCS)

Características dos EPCS:

- O ensino e a experiência profissional se combinam para atender a um nível exigido de capacidades de engenharia.
- Os EPCS devem ter como base a garantia da qualidade e valores.
- Normalmente, o ensino formal inicial dos engenheiros ocorre em universidades, universidades de ciências aplicadas e faculdades técnicas. Isso pode assumir a forma de “primeiro ciclo”, “segundo ciclo” ou programas integrados, que têm um perfil orientado para as aplicações ou para os conceitos/teorias.
- As competências profissionais não descrevem o processo de aprendizagem do indivíduo, mas supõem que a aprendizagem ocorreu. Isso pode ser o resultado de vários caminhos individuais de aprendizagem não formal ou informal. Para efeitos de mensuração/avaliação, é necessário demonstrar os resultados da aprendizagem.
- Os resultados de aprendizagem e as competências integram o CPD, e devem ser avaliados e verificados.

Importância dos EPCS:

- Estabelece requisitos mínimos de conhecimento, habilidades e competências para a profissão de engenheiro.
- Contribui para o reconhecimento mútuo do ensino e da capacidade profissional de engenharia em escala global.
- Facilita a mobilidade dos profissionais sob um sistema compartilhado e aceito em um cenário de cada vez maior globalização econômica e avanços contínuos na tecnologia.
- Respeita os sistemas estabelecidos tanto no âmbito nacional, como no internacional.

Referências

- CEDEFOP – European Centre for the Development of Vocational Training. *Assessing the employment impact of technological change and automation: the role of employers' practices*. 2020a. Disponível em: www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/5579.
- CEDEFOP – European Centre for the Development of Vocational Training. *Digitalisation, AI and the future of work*. 2020b. Disponível em: www.cedefop.europa.eu/en/en/events-andprojects/projects/digitalisation-and-future-work.
- CEDEFOP; ETF; UNESCO-UIL – European Centre for the Development of Vocational Training; European Training Foundation; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO Institute for Lifelong Learning. *Global inventory of regional and national qualifications frameworks*. Paris, 2020. www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/2224-0.
- CPD – Continuing Professional Development. *What is CPD?* The CPD Standards Office official website. 2020. Disponível em: www.cpdstandards.com/what-is-cpd.
- DUTTA, D.; PATIL, L.; PORTER, J. B. Jr. *Lifelong Learning Imperative in Engineering: sustaining American competitiveness in the 21st century*. Washington, DC: The National Academies Press, 2012. Disponível em: <https://www.nap.edu/read/13503/chapter/1>.
- EC – European Commission. *10 trends shaping migration: European Political Strategy Centre*. Brussels, 2017. Disponível em: https://ec.europa.eu/home-affairs/sites/homeaffairs/files/10_trends_shaping_migration.pdf.
- FEANI – European Federation of Engineering National Associations. *Policy Guidelines*, 2020. Disponível em: www.feani.org/feani/cpd/policy-guidelines.
- KIRKLAND, N.; VITANOV, V.; SCHAEFER, D. An investigation into utilizing current information technologies to provide engineering education to sub-Saharan Africa. *International Journal of Engineering Education*, v. 24, n. 2, 2007.
- LI, W. The status and developing strategy of China's Continuing Engineering Education. *Procedia Engineering*, v. 29, p. 3815-3819, 2012.
- SINGH, S.; SARKAR, K.; BAHL, N. Fourth Industrial Revolution, Indian labour market and Continuing Engineering Education. *International Journal of Research in Engineering, IT and Social Sciences*, v. 8, n. 3, p. 6-12, 2018.
- TREVELYAN, J.; TILLI, S. *Effects of skilled migration: case study of professional engineers*. 2011. Disponível em: www.researchgate.net/publication/246026580.
- UNITED NATIONS. *United Nations sustainable development: 17 goals to transform our world*. New York, 2020. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>.
- WEF; BCG – World Economic Forum; Boston Consulting Group. *Towards a reskilling revolution: a future of jobs for all*. 2018. Disponível em: www3.weforum.org/docs/WEF_FOW_Reskilling_Revolution.pdf.

5. TENDÊNCIAS REGIONAIS NA ÁREA DE ENGENHARIA



Yuan Si¹

5.1 PRINCIPAIS TENDÊNCIAS INTER-REGIONAIS



metamorworks/Shutterstock.com

¹ Professor, Universidade Tsinghua e ICEE.

Resumo. Apesar do fato de a engenharia ser uma parte essencial do desenvolvimento sustentável, sua contribuição exata permanece difícil de se mensurar. Esta seção explora as tendências inter-regionais atuais na área de engenharia e os desafios futuros em relação ao desenvolvimento sustentável. A demanda por conhecimento e ensino em engenharia varia entre os continentes, e esta seção analisa as disparidades nas habilidades de engenharia e as oportunidades educacionais em âmbito regional, identificando áreas-chave para a profissão e para construir capacidades educacionais e técnicas a fim de abordar os objetivos regionais específicos dos ODS.

É necessário um esforço global para alinhar engenharia e sustentabilidade, e facilitar a mobilidade dos profissionais

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas uniu o mundo em torno da visão integrada dos ODS, com ênfase na prosperidade econômica, na inclusão social e na sustentabilidade ambiental. Engenheiros e a engenharia sustentam cada um dos 17 ODS e a maioria de suas metas. A Declaração de Paris: o Avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas por meio da engenharia, assinada pela WFEO e pela UNESCO em março de 2018, tornou explícito esse compromisso da engenharia para o desenvolvimento sustentável (WFEO; UNESCO, 2019).

A WFEO é o órgão máximo da engenharia em âmbito global, representando quase 100 nações e mais de 30 milhões de profissionais. A WFEO está comprometida com o avanço da Agenda 2030 das Nações Unidas por meio da engenharia e elaborou o Plano de Engenharia 2030, a ser implementado por meio de seus parceiros e membros (Caixa 1).

Caixa 1. Projetos WFEO para facilitar a mobilidade de engenheiros

No âmbito do Plano WFEO Engineering 2030, a WFEO lançou um projeto intitulado Capacitação para Sistemas de Educação em Engenharia, Acreditação e Registro para Atender às Necessidades de Engenheiros em Todo o Mundo. A WFEO colabora com a International Engineering Alliance (IEA), com a International Engineering Alliance (Ifees), com o ICEE, um Centro de Categoria 2 sob os auspícios da UNESCO e outras associações de inter-regionais engenharia para garantir uma educação inclusiva na área e harmonizar os padrões profissionais, um pré-requisito para a mobilidade global dos engenheiros.

Fonte: WFEO, 2018.

As organizações profissionais desempenham um papel cada vez mais importante na capacitação da engenharia por meio de parcerias inter-regionais

Há muito tempo a engenharia valoriza a construção de parcerias por meio de associações profissionais em escala local e global. Visões amplas relacionadas à conectividade permitem o compartilhamento de conhecimento, habilidades, experiências e recursos entre nações e regiões para atingir as metas de desenvolvimento por meio de esforços conjuntos. As organizações profissionais têm desempenhado um papel importante na construção de parcerias e redes inter-regionais para a capacitação na área de engenharia.

A engenharia e a cooperação técnica mediada por organizações profissionais têm apoiado várias colaborações internacionais, como a cooperação Norte-Sul, Sul-Sul e triangular (Caixa 2). Em particular, a adoção do *Plano de Ação de Buenos Aires para a Promoção e Implementação da Cooperação Técnica entre Países em Desenvolvimento* (BAPA), aprovada por 138 Estados-membros das Nações Unidas na Argentina em 1978, foi pioneira na Cooperação Sul-Sul (SSC) entre países menos desenvolvidos (United Nations, 1978). Atualmente, as colaborações relativas à capacitação na engenharia, especialmente na construção de infraestrutura de conectividade, adquiriram uma nova importância em relação aos ODS. Muitas parcerias visando à capacitação em engenharia demonstraram a eficácia da “hélice quádrupla” formada por educação, governo, indústria e sociedade civil, quanto à mobilização e ao compartilhamento de valores, conhecimentos, experiências, tecnologias e recursos. Cada vez mais, os países do Sul Global promovem a cooperação por meio de centros regionais/ internacionais. Os países asiáticos e africanos, em particular, expandiram consideravelmente suas redes desde a virada do século.

Caixa 2. Istic para a promoção da cooperação Sul-Sul

O Centro Internacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Cooperação Sul-Sul (Istic), um Centro de Categoria 2 com sede em Kuala Lumpur, na Malásia, foi inaugurado em 2008 sob os auspícios da UNESCO. Este Centro atua como uma plataforma internacional para o SSC em ciência e tecnologia (S&T) e inovação em países em desenvolvimento. O Istic visa facilitar a aplicação de uma abordagem de desenvolvimento nas políticas nacionais de S&T e inovação, fornecendo consultoria política, promovendo o intercâmbio de experiências e melhores práticas, criando uma rede de centros de excelência para a resolução de problemas nos países em desenvolvimento e apoiando a mobilidade acadêmica e profissional entre esses países.

Fonte: ISTIC-UNESCO, 2019.

O aumento dos investimentos e os avanços da engenharia aceleram o desenvolvimento de infraestruturas em todo o mundo

A engenharia desempenha um papel essencial no fortalecimento do desenvolvimento sustentável, apoiando a construção de infraestruturas. Isso envolve tanto a infraestrutura econômica (como energia, transporte e telecomunicações), quanto a infraestrutura social (como irrigação, saneamento e habitação).

O aumento dos investimentos em infraestrutura, especialmente de conectividade, constituiu uma grande tendência global na última década. A ligação entre infraestrutura e desenvolvimento está bem estabelecida: uma infraestrutura melhorada impulsiona o crescimento da produtividade total e uma distribuição mais igualitária dos benefícios do crescimento, enquanto uma infraestrutura deficiente impede o crescimento e a igualdade (Bai *et al.*, 2010; Cigu *et al.*, 2019; Estache; Wodon, 2014; Kessides, 1996; Rudra *et al.*, 2014; UNOSAA, 2015). Por exemplo, na Ásia, estima-se que os investimentos em desenvolvimento de infraestrutura ultrapassem US\$ 26 trilhões até 2030, ou US\$ 1,7 trilhão por ano, para manter o ímpeto de crescimento regional, combater a pobreza e responder à mudança climática (ADB, 2017). No entanto, na África, onde o rápido e significativo crescimento populacional apresenta demandas crescentes aos ambientes econômico, social e natural, o desenvolvimento de infraestruturas cresceu desproporcionalmente mais devagar. A Belt and Road Initiative (BRI) aumentou a conectividade física, digital, financeira e sociocultural por meio da construção de infraestrutura, transporte, comércio e do intercâmbios de pessoas (Caixa 3).

Caixa 3. A Iniciativa do Cinturão e Rota (BRI)/Parceria global na BRI

A Belt and Road Initiative (BRI) formou relações estreitas com planos de desenvolvimento regional e iniciativas de cooperação, como Asean Belt and Road Initiative (AIMS), a Agenda 2063 da União Africana (UA), a União Econômica Eurasiática e a Estratégia de Interconexão Eurasiática da União Europeia. Além disso, várias agências das Nações Unidas, incluindo, PNUD, UNESCO, UNICEF e UNIDO, desde o início se posicionaram como partes de uma parceria estratégica e em âmbito estatal na BRI. De acordo com o Banco Mundial, o PIB mundial aumentará em até 2,9%, enquanto o dos países participantes do BRI aumentará em até 3,4% (De Soyres, Mulabdic e Ruta, 2019). Até dezembro de 2019, a cooperação do BRI abrangia 136 países e 30 organizações internacionais; e havia criado mais de 300 mil empregos, movimentado mais de US\$ 6 trilhões em comércio, e mais de US\$ 2 bilhões em impostos foram pagos aos países anfitriões no período 2013-2018 (Belt and Road Portal, 2019).

A ascensão da ciência e da engenharia da sustentabilidade para os ODS

As bolsas de estudos na área da ciência da sustentabilidade aumentaram de maneira substancial no século XXI, em resposta aos desafios globais (Bettencourt; Kaur, 2011). Quatro tendências facilitadoras são especialmente importantes para a ciência e para a engenharia da sustentabilidade:

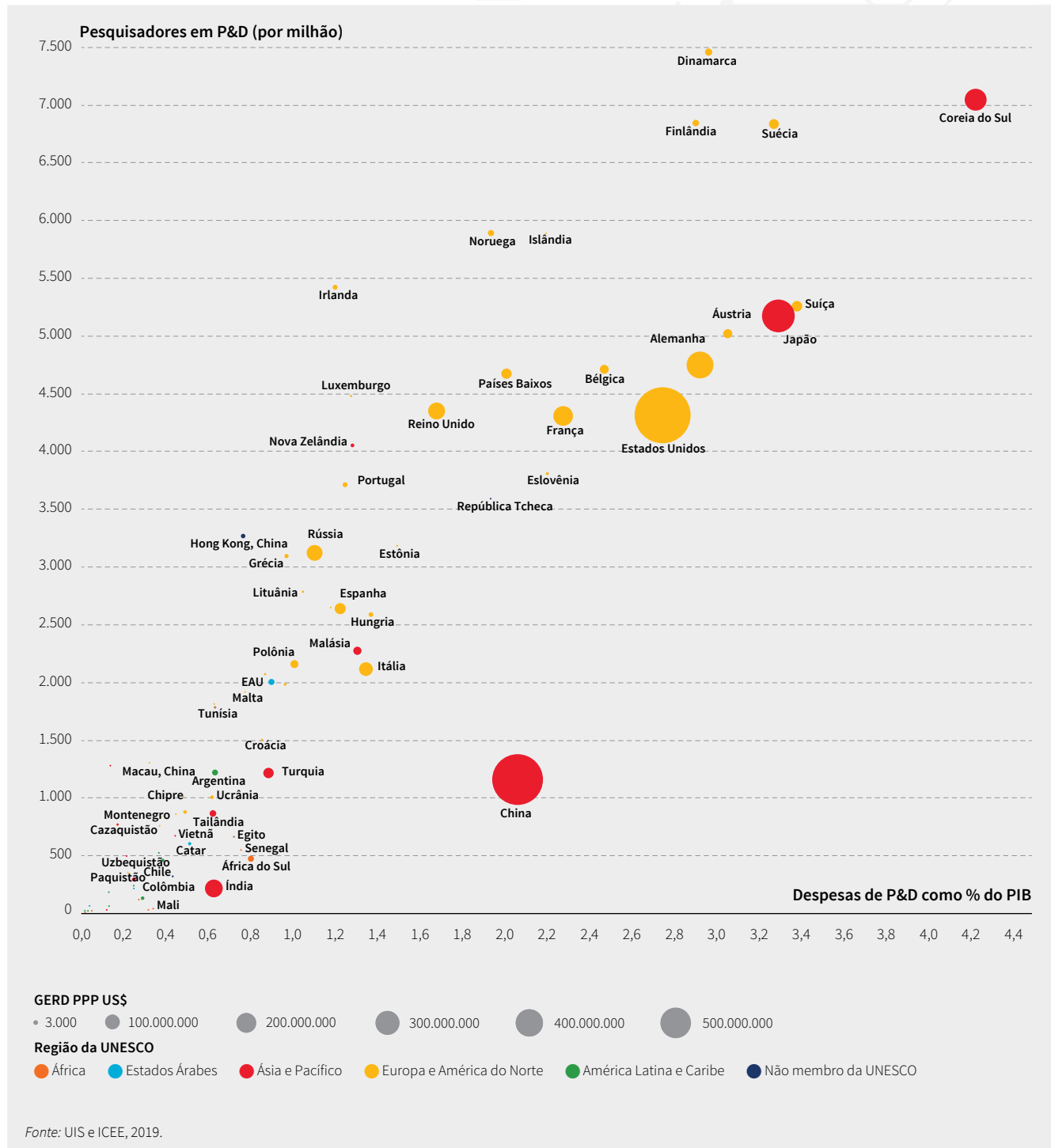
- O conhecimento entre áreas, transversal e transdisciplinar está rompendo as fronteiras convencionais para criar uma abordagem mais holística.
- O empreendedorismo, que assume principalmente a forma de *tecnopreneendedorismo*, é definido como a capacidade de agregar valor, gerando um conhecimento polivalente que integra e sintetiza elementos teóricos, práticos e orientados para políticas.
- Na atualidade, a noção de *diversidade* está se expandindo para significar “inclusão para todos”, envolvendo não apenas grupos tradicionalmente desfavorecidos, mas aqueles classificados por gênero e/ou origem socioeconômica, assim como características pessoais, como condição física e identidades étnicas e culturais.
- O bem-estar humano e ecológico são dois lados da mesma moeda. A engenharia está adotando uma abordagem mais sensível, holística e cautelosa com relação às mudanças realizadas pelo ser humano no ambiente natural da Terra, a fim de evitar uma “mudança de estado” prejudicial e irreversível nos ecossistemas.

Essas tendências impulsionam o desenvolvimento da engenharia da sustentabilidade no sentido de expandir o escopo e a escala de suas disciplinas, campos e empreendimentos práticos, facilitando uma maior interação da engenharia com outras ciências e artes para promover a sustentabilidade.

Caixa 4. Colaboração global em cidades saudáveis

De acordo com o relatório da revista “Lancet”, “Healthy Cities: Unlocking the Power of Cities for a Healthy China” (Yang *et al.*, 2018), a noção de uma *cidade saudável* se refere à colaboração física e social positiva em vários aspectos que garantem acesso a habitação, bem-estar e saúde pública, bem como acesso a recursos naturais, conexão com o patrimônio cultural e assim por diante. O relatório defende a ideia de “desenvolvimento urbano orientado para a saúde” como uma abordagem central para combater os desafios da saúde urbana no contexto do desenvolvimento urbano acelerado e dinâmico na China, bem como em muitas áreas densamente povoadas em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Em particular, o relatório instou os planejadores das cidades a “integrar a saúde em todas as políticas a partir do planejamento urbano, aumentar a participação pública, estabelecer metas locais adequadas, avaliar o progresso periodicamente e aprimorar a pesquisa e a educação sobre cidades saudáveis”. Este relatório é um modelo exemplar de ciência e engenharia da sustentabilidade. Ele foi produzido por uma comissão liderada pelo prof. Peng Gong, da Universidade Tsinghua, a qual consiste em uma equipe interdisciplinar de 45 acadêmicos e especialistas de todo o mundo, incluindo a Comissão Nacional de Saúde, a OMS e a Universidade da Califórnia.

Figura 1. Despesas em P&D em percentual (%) do PIB (GERD) e pesquisadores por milhão de habitantes, 2018



Aumento das disparidades regionais na capacidade de engenharia

Um indicador-chave da capacitação em engenharia é a *pesquisa e desenvolvimento* (P&D), que é definida como os esforços realizados para desenvolver ou melhorar produtos ou serviços existentes. Há disparidades marcantes na área de P&D entre as regiões do mundo, em termos de despesas e recursos humanos. Essas disparidades aumentaram na última década (UIS, 2019) (Figura 1). O diâmetro dos círculos na Figura 1 mostra os valores que os países gastam em P&D em paridade de poder de compra (PPPs), em dólares norte-americanos. Os países mais próximos da parte inferior do gráfico têm menos pesquisadores por milhão de habitantes. A maioria dos países africanos está na seção inferior.

Persistente escassez de talentos na área de engenharia nos países em desenvolvimento

As mudanças econômicas estruturais globais resultaram na expansão do mercado de trabalho em escala e escopo, nos setores da indústria e dos serviços (Figura 2). Um dos principais impulsionadores desse processo é o rápido avanço científico e tecnológico que sustenta a Quarta Revolução Industrial. Os talentos da área de engenharia são essenciais para atender às crescentes exigências do mercado de trabalho.

Entretanto, tais requisitos não podem ser atendidos de forma adequada devido à falta de engenheiros profissionais. Apesar da contínua expansão do ensino superior na maior parte do mundo, a atratividade da engenharia como opção de carreira para os jovens diminuiu em muitos países. Com base nos dados disponíveis – exceto para os países sem dados informados, como China e Índia –, desde 2013, embora o total de inscrições em programas de engenharia ainda esteja aumentando, sua classificação caiu do segundo para o terceiro lugar (Figura 3). Isso pode significar que alguns estudantes não optam por estudar engenharia.

Figura 2. Nível de emprego por setor, estimativas da OIT, 1991-2020*

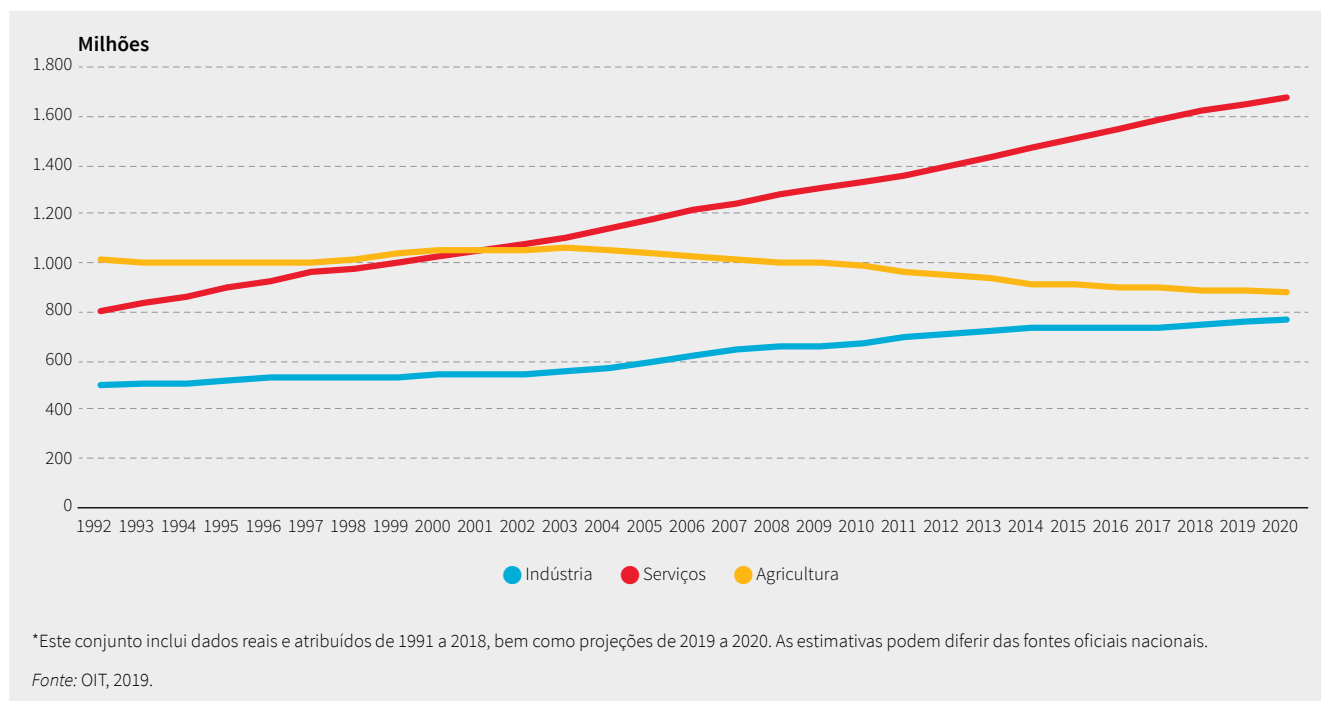
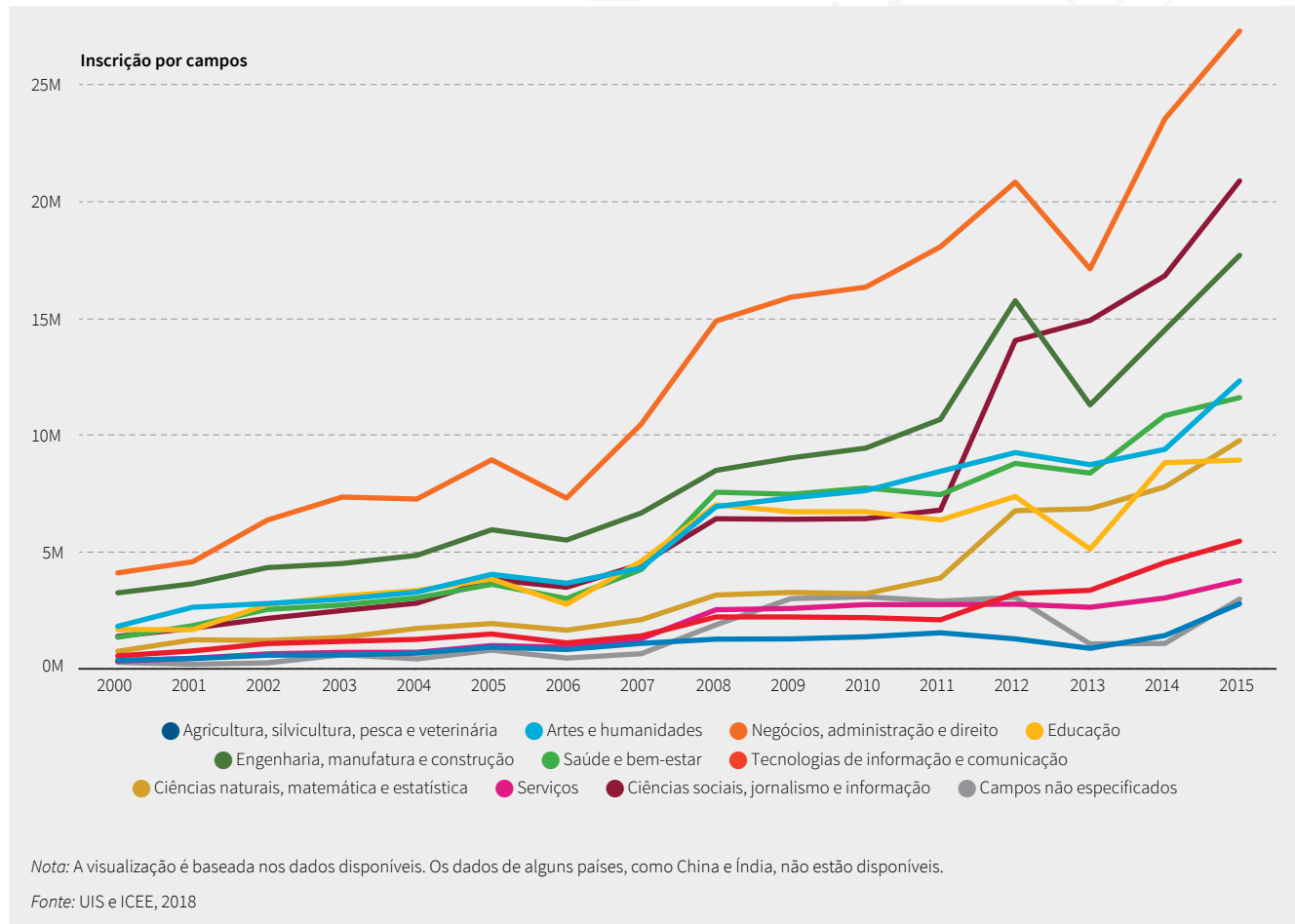


Figura 3. Matrículas no ensino superior por campos, todos os programas, 2000–15

Recomendações

1. Fortalecer todos os tipos de cooperação inter-regional, regional e sub-regional para o desenvolvimento das capacidades de engenharia em de forma alinhada com o desenvolvimento sustentável, incluindo ênfase na dimensão da engenharia em todos os ODS, padrões inclusivos, mobilidade dos engenheiros e articulação do papel na relação engenheiro–educação.
2. Expandir e inovar a educação em engenharia em âmbito mundial, particularmente nos países em desenvolvimento, e promover competências de sustentabilidade para todos os engenheiros por meio de aprendizagem e treinamento ao longo da vida.
3. Estabelecer sistemas diversificados de engenharia e incentivar os jovens, especialmente mulheres e meninas, a seguir carreiras na área. Fornecer apoio a todos os engenheiros, especialmente mulheres, para estabelecer carreiras ao longo da vida na área.
4. Salvaguardar o bem-estar humano e a resiliência ecológica, promovendo uma abordagem inclusiva para a construção de infraestruturas na engenharia.
5. Desenvolver organizações profissionais de engenharia sustentável para apoiar e maximizar o potencial de área, inclusive desenvolvendo capacidades em dados, monitoramento e responsabilização por meio de relatórios de engenharia.

Referências

ADB – Asian Development Bank. *Meeting Asia's infrastructure needs*. Mandaluyong City, Philippines, 2017. Disponível em: www.adb.org/publications/asia-infrastructure-needs.

BAI, Chong-En; QIAN, Yingyi. Infrastructure development in China: the cases of electricity, highways, and railways. *Journal of Comparative Economics*, v. 38, n. 1, p. 34-51, 2010.

BRI – Belt and Road Portal. *BRI facts and figures*. 2019. Disponível em: <https://www.beltroad-initiative.com/factsheets>.

BETTENCOURT, L. M. A.; KAUR, J. Evolution and structure of sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 108, n. 49, p. 19540-19545, 2011. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/108/49/19540>.

CIGU, E. *et al.* Transport infrastructure development, public performance and long-run economic growth: a case study for the EU-28 countries. *Sustainability*, v. 11, n. 1, p. 67, 2019. Disponível em: www.mdpi.com/2071-1050/11/1/67.

DE SOYRES, F.; MULABDIC, A.; RUTA, M. Common transport infrastructure: a quantitative model and estimates from the Belt and Road Initiative. *World Bank Policy Research Working Papers*, Apr. 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/31496>.

ESTACHE, A.; WODON, Q.; LOMAS, K. *Infrastructure and poverty in sub-Saharan Africa*. Plagrave McMillan US, 2014.

ILO – International Labour Organization. *World employment and social outlook*. Geneva, 2019. Disponível em: www.ilo.org/wesodata.

ISTIC-UNESCO – International Science, Technology and Innovation Centre for South-South Cooperation under the auspices of UNESCO. *About ISTIC*. Paris, 2019. Disponível em: www.isticunesco.org/index.php/features/module-positions.

KESSIDES, C. A review of infrastructure's impact on economic development. In: BATTEN, D. F.; KARLSSON, C. (eds.). *Infrastructure and the complexity of economic development*. Berlin: Springer, 1996. p. 213-230.

RUDRA, P. P. *et al.* Economic growth and the development of telecommunications infrastructure in the G-20 countries: a panel-VAR approach. *Telecommunications Policy*, v. 38, n. 7, p. 634-649, 2014.

UIS – UNESCO Institute for Statistics. *Data from UIS.Stat*. Montreal, 2018. Disponível em: <http://uis.unesco.org/en/news/rd-data-release>.

UIS – UNESCO Institute for Statistics. *Data from UIS.Stat*. Montreal, 2019. Disponível em: <http://data.uis.unesco.org/index.aspx?queryid=74>.

UNITED NATIONS. *Buenos Aires plan of action*. New York, 12 Sep. 1978. Disponível em: <https://www.unsouthsouth.org/bapa40/documents/buenos-aires-plan-of-action/>.

UNOSAA – United Nations Office of Special Adviser on Africa. *Infrastructure development: within the context of Africa's cooperation with new and emerging development partners*. 2015. Disponível em: www.un.org/en/africa/osaa/pdf/pubs/2015infrastructureanddev.pdf.

WFEO – World Federation of Engineering Organizations. *WFEO engineering 2030: a plan to advance the achievement of the UN Sustainable Development Goals through engineering: a collaborative project of World Federation of Engineering Organizations with the Division of Science Policy and Capacity Building, Natural Sciences Sector, UNESCO*, 2018. (Progress report, 1). Disponível em: http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/un/WFEO-ENgg-Plan_final.pdf.

YANG, J. *et al.* The Tsinghua–Lancet Commission on Healthy Cities in China: Unlocking the power of cities for a healthy China. *The Lancet*, v. 391, n. 10135, 2018. Disponível em: www.thelancet.com/commissions/healthy-cities-in-China.

Milda Pladaitė² e Philippe Pypaert³

5.2

EUROPA E AMÉRICA DO NORTE



© Loughborough University

Experiência de estudantes de engenharia

- 2 Instituição de Engenheiros Cívicos, Reino Unido, membro do WFEO Young Engineers/Future Leaders Committee.
- 3 Setor de Ciências Naturais, Representação da UNESCO em Pequim.

Avanços e desafios para alcançar os ODS

Os países da Europa e da América do Norte⁴ mostram avanços em muitas áreas do desenvolvimento sustentável, em especial nas metas dos ODS destinadas a proporcionar às pessoas melhores condições de vida. No entanto, em outras áreas, como a transição para uma economia circular/ de baixo carbono, muito ainda precisa ser feito para atingir as metas.

Os países da União Europeia (UE) e o Canadá pretendem se tornar neutros em termos climáticos até 2050. Na Europa e na América do Norte, a proporção dos subsídios para combustíveis fósseis no PIB é próxima de zero. Foram realizados esforços para apoiar a reciclagem e para reduzir o uso de combustíveis fósseis para a produção de energia por meio de iniciativas de economia circular, tais como o Plano de Ação de Economia Circular⁵ (EC, 2020) na UE ou a Gestão Sustentável de Materiais⁶ (SMM) nos Estados Unidos.

O sistema de economia circular está reformulando as indústrias de alta tecnologia à medida que surgem novas abordagens para o *design* sustentável de produtos em muitos setores. Atualmente, a parcela de valor agregado proveniente das indústrias de média e alta tecnologia está aumentando, o que contribui com 30% a 50% de todo o valor agregado na Europa Ocidental e Central e na América do Norte (UNECE, 2020). Essa é uma indicação de até que ponto o desenvolvimento e o avanço da tecnologia e a promoção de novas ideias contribuem para a economia.

O desenvolvimento tecnológico e as transições verdes e digitais são afetadas de forma significativa pela COVID-19. A crise de saúde que se seguiu provou ser um grande desafio e teve impactos sociais e econômicos significativos. Por esse motivo, a UE aprovou um pacote de recuperação de € 1,8 trilhão, o maior já financiado por seu orçamento. Algumas das principais áreas – às quais será alocada mais da metade dos gastos – são pesquisa e inovação, clima justo e transições digitais. A igualdade de gênero também é um dos principais elementos desse pacote de investimentos.⁷

Os países se comprometeram a aumentar substancialmente os gastos públicos e privados em P&D para acelerar a realização dos ODS. P&D constitui uma das prioridades da região, pois possibilita economias sustentáveis, competitivas e inclusivas. Embora a América do Norte e a Europa Ocidental atualmente liderem em termos de gastos em P&D, os países da Ásia – liderados pela China – podem ultrapassá-los em breve. Diversos atores emergentes também vêm aumentando de maneira constante seus investimentos e sua quantidade de pesquisadores. As empresas europeias representam cerca de 20% das maiores empresas de P&D. No entanto, muitas delas ficam para trás na adoção de tecnologias digitais, particularmente no setor de construção e tecnologias de IoT (EIB, 2020). A intensidade de gastos da EU em P&D também está ficando para trás (EC, 2017): 2,0% na UE *versus* 2,1% na China, 2,8% nos Estados Unidos e 2,4% na OCDE. A participação global de “unicórnios”⁸ criados na

UE desde 2011 é de apenas 11%, contra 51% nos Estados Unidos e 25% na China (European Round Table for Industry, 2020).

No âmbito do seu programa de pesquisa e inovação Horizon Europe, no valor de € 100 bilhões, a Comissão Europeia definiu cinco principais áreas de interesse: i) adaptação às alterações climáticas, incluindo a transformação da sociedade; ii) câncer; iii) cidades inteligentes e neutras em termos de clima; iv) oceanos, mares, águas costeiras e interiores saudáveis; e v) saúde do solo e alimentação.⁹

O contexto de desenvolvimento regional na Europa e na América do Norte é caracterizado não apenas por crescentes preocupações ambientais, mas também por oportunidades ligadas à transformação digital. Essas tendências afetam o ensino de engenharia e o mercado de trabalho. São necessários dados estatísticos precisos e atualizados para investigar como os novos empregos correspondem à força de trabalho atual de engenharia e ao número de graduados na área que devem entrar no mercado de trabalho. No entanto, não há uma abordagem comum para o registro de dados sobre a profissão de engenheiro na Europa e entre a Europa e a América do Norte. A engenharia é um setor altamente diversificado em termos de ensino e atividades profissionais e, portanto, a seguir são apresentados separadamente fatos e tendências para Canadá, Estados Unidos e Europa.

Caixa 1. O papel das organizações de engenharia na criação de definições da área e estatísticas harmonizadas

A apresentação de estatísticas harmonizadas na área de engenharia na Europa é uma tarefa difícil, uma vez que as informações disponíveis variam muito conforme os países. Essa complexidade é demonstrada pela inconsistência nas definições, disciplinas de engenharia e diferenças nos dados de mensuração. Nesse contexto, um estudo sobre o Common Training Framework (CTF) para engenheiros civis foi realizado por organizações de engenharia europeias. De acordo com o Conselho Europeu de Câmaras de Engenheiros (ECEC), o objetivo do projeto era permitir que os atores no campo das qualificações profissionais (por exemplo, organizações profissionais e/ou autoridades competentes dos Estados-membros da UE) apresentassem propostas de *princípios comuns de formação* (CTP) para a profissão de engenheiro, tendo em vista o seu desenvolvimento em um *quadro comum de formação*. As propostas foram desenvolvidas com base em um mapeamento realizado nos Estados-membros, bem como após ampla consulta às partes interessadas relevantes.

O projeto concluiu que não é possível encontrar uma abordagem aceitável para todos, ou mesmo para a grande maioria dos países do Espaço Econômico Europeu (EEA). Para solucionar o impasse e avançar para o CTP para engenheiros – que, apesar de todas as controvérsias, é o que a maioria das partes interessadas deseja –, foram sugeridas algumas abordagens de curto e longo prazo. O CTF para engenheiros civis com um número limitado de Estados-membros poderia ser iniciado primeiro, na ausência de uma abordagem comum aceitável para a grande maioria dos Estados-membros do EEA a longo prazo.

Fonte: <https://www.ecec.net/activities/common-training-principles-for-engineers/news-log>

4 As tendências e fatos apresentados não consideram todos os efeitos da COVID-19, devido à situação atual em evolução.

5 Para mais informações: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12095-A-new-Circular-Economy-Action-Plan>

6 Para mais informações: <https://www.epa.gov/smm>

7 Leia os principais elementos do acordo, em: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_en#main-elements-of-the-agreement

8 Uma “empresa unicórnio” é uma *startup* que vale mais de US\$ 1 bilhão.

9 Para mais informações sobre a Horizon Europe: https://ec.europa.eu/info/horizon-europe_en

Um mercado de trabalho em mudança na área de engenharia

Em todo o mundo, profissionais qualificados têm alta demanda, e em muitos países da Europa e da América do Norte há uma grande escassez de engenheiros. A situação atual é agravada por mudanças demográficas, como o envelhecimento da população nas duas regiões.

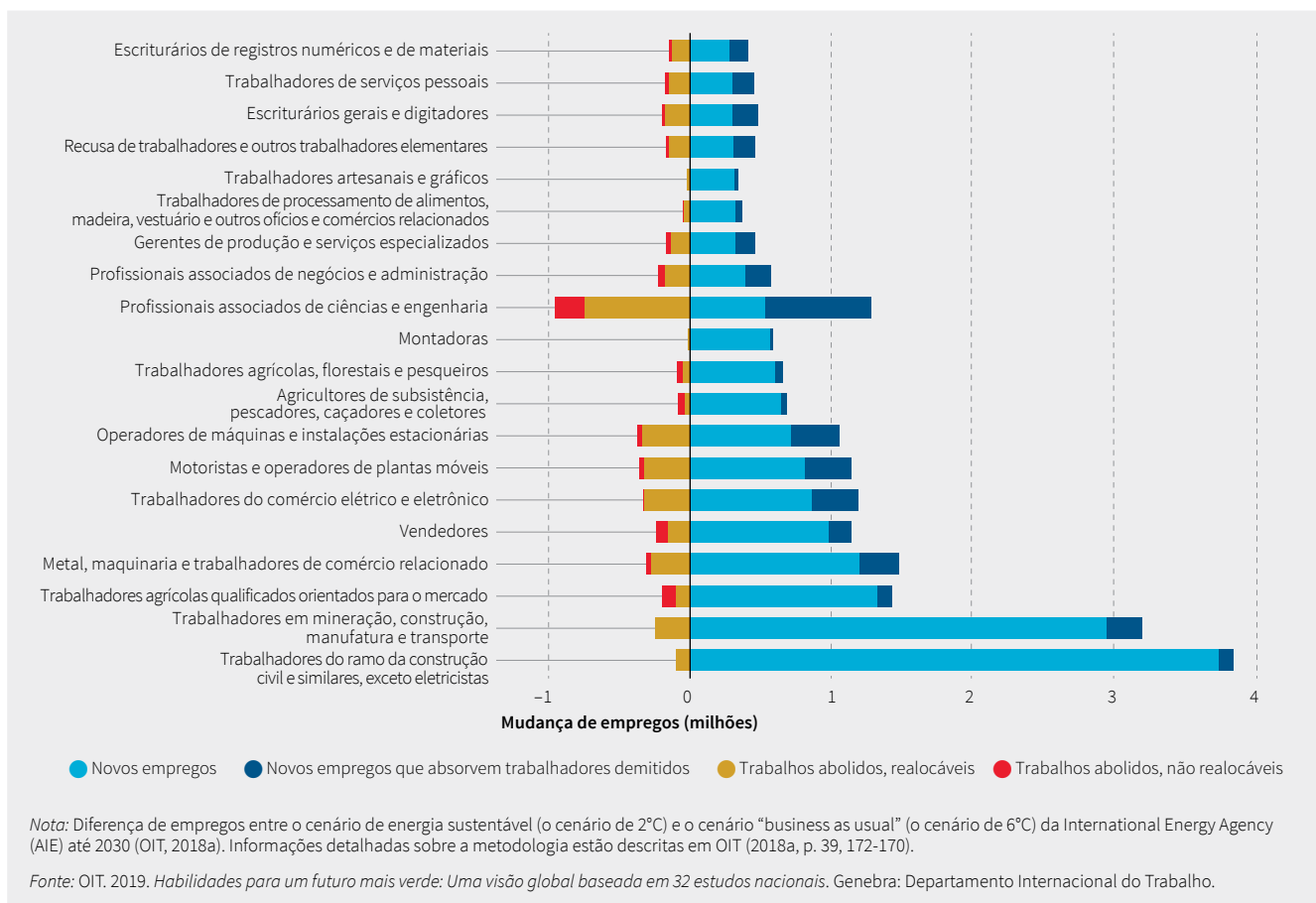
De acordo com a Comissão Europeia, a transformação para uma economia circular, digitalizada, de baixo carbono e eficiente em recursos poderia criar mais de 1 milhão de novos empregos na Europa até 2030 (Comissão Europeia, 2020a). Já em 2017, a Comissão informou que mais da metade das empresas da UE que recrutaram ou tentaram recrutar especialistas em TIC tiveram dificuldades em preencher tais vagas.¹⁰

Vários autores tentam estimar os efeitos da digitalização nos empregos e preveem diferentes proporções entre os novos e os empregos que serão substituídos por novas tecnologias (European Parliament, 2018). Isso sugere claramente que os profissionais da ciência e da engenharia podem sofrer uma das maiores mudanças no mercado de trabalho. Por exemplo, na transição energética, espera-se que esses profissionais tenham as taxas mais altas de empregos abolidos em vez de realocamentos e novos postos de trabalho que absorvem os trabalhadores despedidos, conforme ilustrado na Figura 1.

Alguns países estão recrutando engenheiros do exterior. Isso resolve problemas de recrutamento de curto prazo e aumenta a diversidade, a criatividade e a competitividade das empresas. No entanto, não resolve a questão da escassez existente na força de trabalho de engenharia.

5

Figura 1. Ocupações mais procuradas em todas as indústrias, em um cenário global de sustentabilidade energética



10 Estatísticas explicadas do Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/ICT_specialists_-_statistics_on_hard-to-fill_vacancies_in_enterprises

Canadá

O Statistics Canada relata que os serviços profissionais, científicos e técnicos continuaram a ter crescimento acelerado do nível de emprego entre 2017 e 2018. O número de funcionários nesse setor aumentou 4,5%, a maior taxa entre os dez maiores setores industriais. Ao mesmo tempo, a taxa de vagas de emprego nesse setor aumentou no mesmo período (Statistics Canada, 2018). Metade do crescimento anual do nível de emprego veio do projeto de sistemas de computação de alta remuneração e da indústria de serviços relacionados, apesar de ser responsável por cerca de um quarto dos empregos no setor. Essa indústria também foi a que mais cresceu no setor, seguida pelos serviços de pesquisa e desenvolvimento científico e serviços de arquitetura, engenharia e afins (Statistics Canada, 2018).

Estados Unidos

De acordo com o Bureau of Labor Statistics dos EUA, o nível de emprego em ocupações de engenharia e arquitetura deve crescer 3% de 2019 a 2029, quase tão rápido quanto a média de todas as ocupações (US Bureau of Labor Statistics, 2020). Espera-se que cerca de 23% das novas vagas na profissão sejam para engenheiros civis. O crescimento do nível de emprego também é estimado na engenharia mecânica e industrial. Essas duas ocupações podem representar cerca de 36% dos novos empregos de engenharia entre 2016 e 2026 (US Bureau of Labour Statistics, 2018).

Europa

Entre 2016 a 2019, a quantidade de cientistas e engenheiros com idades entre 25 e 64 anos aumentou 10% na UE.¹¹ O número total foi estimado em 17,2 milhões em 2018¹², o que representa 23% de todos os trabalhadores empregados em profissões científicas e tecnológicas na UE. Muitas das vagas de emprego que os empregadores precisarão preencher até 2030 exigirão um nível mais alto de habilidades. Prevê-se que o maior número (4 milhões) inclua empregos que ainda não existem, originados muitas vezes como resultado de novas tecnologias (especialistas em ética da IA, por exemplo), enquanto 2,6 milhões de novos empregos projetados serão para profissionais de ciência e engenharia (McKinsey, 2020).

Tendências do ensino superior e da aprendizagem ao longo da vida em engenharia

A educação é fundamental para acelerar a realização dos ODS. Megatendências abrangentes, como as transições verdes e digitais, também estão remodelando o cenário de engenharia e seus requisitos educacionais. O sistema de ensino de área deve ser reavaliado e ser totalmente direcionado para a solução de problemas tecnológicos, com uma abordagem holística que considere os impactos das inovações e das atividades de engenharia no meio ambiente e na sociedade em geral.

Na Europa e na América do Norte, há uma crescente necessidade e o reconhecimento de engenheiros orientados para o futuro e que possuam competências interdisciplinares. Embora os engenheiros continuem a ser “solucionadores de problemas tecnológicos”, com mais frequência eles também são vistos como comunicadores e mediadores. Eles apoiam os processos decisórios e se envolvem com uma grande variedade de atores, de comunidades locais a formuladores de políticas. Espera-se que os engenheiros trabalhem em equipes multidisciplinares e tenham aptidão para ouvir todas as partes interessadas e para incluir seus pontos de vista nas soluções propostas. Habilidades interpessoais, como a capacidade de se adaptar às mudanças, criatividade e flexibilidade, estão em alta demanda, conforme ilustrado na Figura 2.

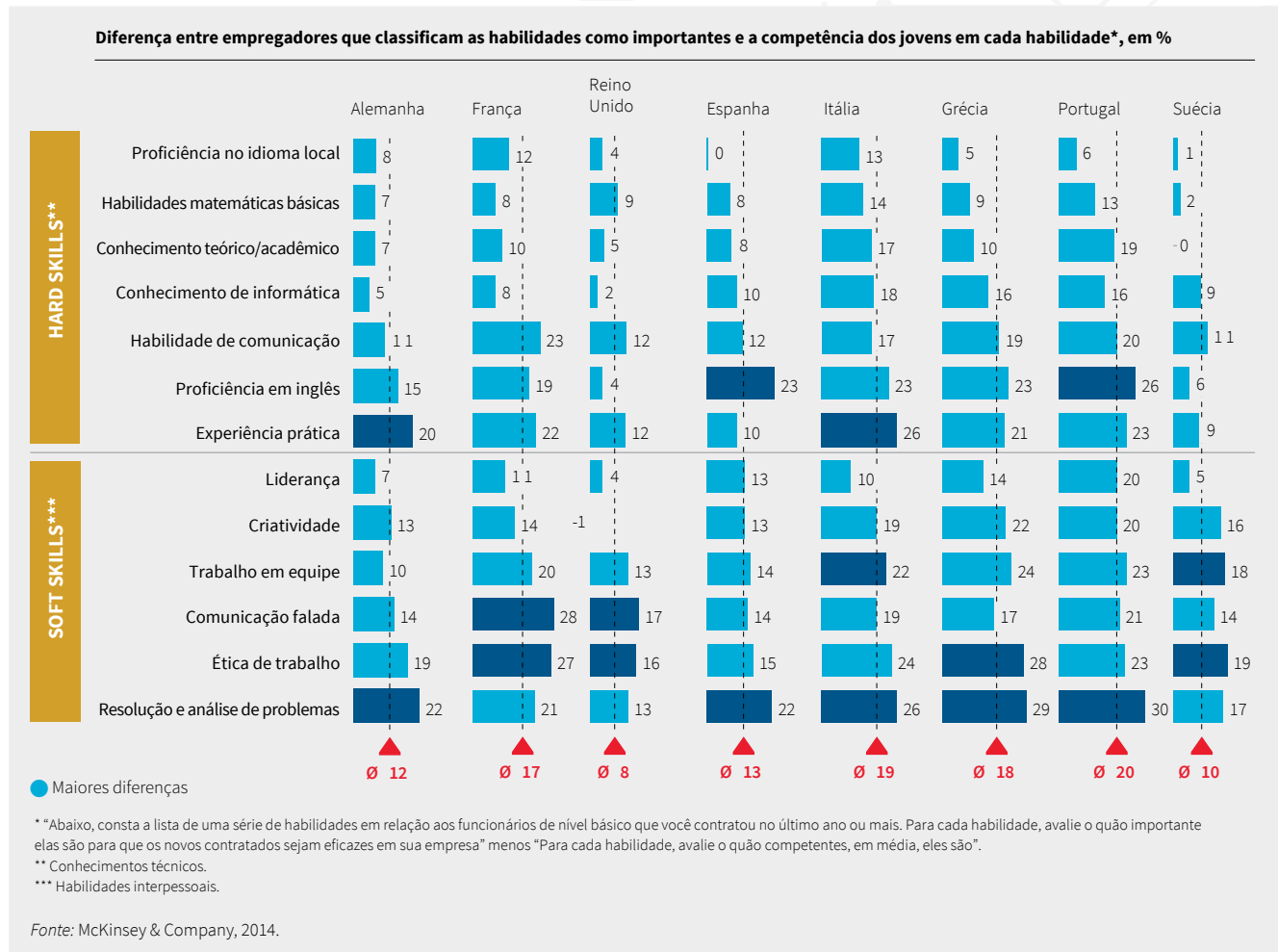
As transições verdes e digitais exigirão uma qualificação de novas tecnologias e processos, incluindo a *building information modeling* (BIM), computação em nuvem, IA, impressão 3D, realidade virtual, IoT e tecnologia *blockchain* (EFCA, 2018). Também são necessárias abordagens multidisciplinares para o desenvolvimento de tecnologias a fim de garantir redes de comunicação socialmente responsáveis e sistemas de governança urbana.¹³ Na Europa e na América do Norte, o número de graduados e aprendizes de engenharia está aumentando; no entanto, a atual taxa de aumento pode não ser suficiente para suprir os novos empregos criados na próxima década e depois.

11 Eurostat: http://bit.ly/eu_scientists_engineers

12 Eurostat: http://bit.ly/number_of_scientists

13 Leia mais sobre “engenharia de um futuro digital mais responsável”, em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/engineering-a-more-responsible-digital-future>

Figura 2. Em toda a Europa, os empregadores tem uma visão semelhante sobre onde faltam competências



Canadá

O Statistics Canada relata que, de 2006 a 2016, a maior proporção de graduados nas áreas de ciências, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) estudou engenharia ou tecnologia de engenharia (47,9%) (Franck, 2019). Ocorreu um aumento contínuo nos cursos de graduação autorizados, com 18,9% a mais de diplomas de engenharia em 2018 do que em 2014. As disciplinas de graduação com maior matrícula em 2018 foram engenharia mecânica, civil e elétrica. Engenharia de biosistemas, de *software* e industrial ou de manufatura apresentam o maior crescimento desde 2017 (Engineers Canada, 2020b).

Estados Unidos

As matrículas em programas de graduação em engenharia aumentaram durante a última década. O estudo "Engineering by the Numbers" (Roy, 2019) revela que as três principais disciplinas de bacharelado em engenharia, em 2018, foram: mecânica, ciência da computação (engenharia interna) e elétrica. Em 2018, também ocorreu um aumento das matrículas em programas de mestrados em engenharia nas mesmas três disciplinas, o que representa 39% de todos os mestrados na área (Roy, 2019).

Europa

Em 2018, em toda a UE, mais de um quinto (22%) de todos os estudantes do ensino superior estudavam administração, negócios ou direito. O segundo campo de educação mais comum eram os estudos relacionados a engenharia, manufatura e construção, que representaram 15,8% de todos os estudantes do ensino superior (um aumento de 15% em 2017), dos quais quase três quartos (11,6%) eram do sexo masculino, em comparação com 4,2% de mulheres.¹⁴

14 Estatísticas do ensino superior, em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Tertiary_education_statistics#Fields_of_education

Integrar a igualdade e a diversidade de gênero

Aumentar a diversidade na educação e no mercado de trabalho de engenharia é importante para a justiça social, para uma maior criatividade e capacidade de resolução de problemas nessa profissão globalizada, mas também para combater a escassez de engenheiros (consultar o Capítulo 2, “Igualdade de oportunidades”).

Na América do Norte, relata-se um número crescente de mulheres na área de engenharia, com um pequeno aumento no número de indígenas. Embora a taxa de representação feminina esteja crescendo rapidamente em comparação com outros grupos, ela não atingiu as metas estabelecidas por alguns países (Engineers Canada, 2020a). Outros grupos sub-representados, incluindo pessoas LGBTQ+¹⁵ e comunidades indígenas, são igualmente importantes na integração da diversidade. Organizações nacionais e instituições educacionais e governamentais estão realizando esforços mais robustos para garantir uma representação mais completa da sociedade na área de engenharia.

Canadá

Em 2019, as mulheres representavam 14% do total de membros da categoria nacional de engenharia (representando um aumento de 13,5% em relação a 2018) e 17,9% dos engenheiros recém-licenciados no Canadá, em 2019. Como parte da iniciativa 30 por 30¹⁶, a Engineers Canada e os órgãos reguladores monitoram o número de mulheres recém-licenciadas desde 2014. Essa iniciativa é uma colaboração entre organizações de engenharia, indústrias e órgãos reguladores para aumentar a proporção de engenheiras recém-licenciadas para 30% até 2030. Entre 2018 e 2019, a representação de estudantes de engenharia que se identificam como mulheres cresceu de 23,7% para 25,2% (Engineers Canada, 2020a). Os indígenas, no entanto, ainda estão muito sub-representados no ensino da área, representando apenas 0,5% dos estudantes de graduação relatados. Esse número é cerca de dez vezes menor do que os 4,9% de canadenses que se identificam como indígenas (Statistics Canada, 2018).

Estados Unidos

A proporção de mulheres graduadas em bacharelado, mestrado e doutorado em engenharia e tecnologia de engenharia continua a crescer. No entanto, de 2009 a 2017, essa proporção aumentou apenas alguns pontos percentuais, em média (Roy, 2019). Em 2018, as mulheres obtiveram 21,9% dos bacharelados, 26,7% dos mestrados e 23,6% dos doutorados. No entanto, as mulheres obtiveram mais de 40% dos diplomas de bacharel em engenharia ambiental, biológica/

agrícola e biomédica em 2018. As mulheres também obtiveram mais de 30% dos diplomas em química, arquitetura, sistemas industriais/ de manufatura e engenharia metalúrgica e de materiais. No período entre 1993 e 2016, a porcentagem de mulheres em ocupações da área de engenharia aumentou de 9% para 16%.¹⁷

A proporção de grupos negros e hispânicos na área de ciência e engenharia é inferior a 10%, o que é ligeiramente inferior à sua participação na população total. Em 2018, ocorreu um aumento do número de diplomas de engenharia obtidos por grupos sub-representados, com estudantes hispânicos obtendo 11,4% dos diplomas, negros, 4,2%, nativos americanos, 0,3%, e havaianos/das ilhas do Pacífico, 0,2% (Roy, 2019).

Europa

Segundo a Comissão Europeia, em 2018, 59% dos quase 15 milhões de cientistas e engenheiros da UE eram homens, e 41% eram mulheres. Os homens eram especialmente super-representados na área de manufatura (79% dos cientistas e engenheiros). O setor de serviços era mais equilibrado, com 54% de homens e 46% de mulheres.¹⁸ De acordo com o estudo “Mulheres na era digital” (EC, 2018), apenas cerca de 24 em cada mil mulheres formadas no ensino superior tinham uma disciplina relacionada às TIC, das quais apenas 6 iriam trabalhar no setor digital.¹⁹ Para estender a diversidade para outros grupos sub-representados, em 2020 a Comissão Europeia apresentou sua primeira estratégia de igualdade para lésbicas, gays, bissexuais, trans, não binários, intersexuais e questionando (LGBTQI+), a qual tem como um dos objetivos a capacitação para prevenir a discriminação na educação e no emprego.²⁰

Caixa 2. Alcançar a igualdade LGBTQ no ensino de engenharia nos Estados Unidos

Em 2016, a American Society for Engineering Education (ASEE) realizou um estudo sobre a igualdade LGBTQ na engenharia. Embora nos últimos anos tenham sido vistos avanços significativos na igualdade LGBTQ nos Estados Unidos, por meio de legislação e aceitação social, essa pesquisa mostrou que estudantes e professores LGBTQ ainda sofrem exclusão e discriminação nos *campi*. O estudo revelou que 30% dos estudantes LGBT consideraram seriamente abandonar sua instituição devido a experiências e percepções negativas. Esse percentual foi maior (42%) para docentes e estudantes do primeiro ano (72%). Este projeto utilizou um modelo de pesquisa cíclico e transformador de métodos mistos, para fornecer uma base para a mudança social. Agora, os *campi* estão realizando progressos graduais para melhorar o ambiente para estudantes LGBTQ, por meio de políticas, programas e práticas inclusivas.

Fonte: Farrell et al., 2016.

15 Sigla de “lésbicas, gays, bissexuais, transgêneros e questionando”.

16 Para mais informações: <https://engineerscanada.ca/diversity/women-in-engineering/30-by-30>

17 Indicadores de ciência e engenharia: <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb20198/demographic-trends-of-the-s-e-workforce>

18 Eurostat sobre as mulheres na ciência e na tecnologia: http://bit.ly/37ykaLG_women_science

19 Women in Digital: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/women-digital-0>

20 Leia mais sobre a Estratégia, em: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-new-push-for-european-democracy/file-lgbti-equality-strategy>

Recomendações

1. Harmonização das estatísticas do ensino e da profissão de engenharia

A engenharia é um setor altamente diversificado em termos de educação e atividades profissionais. É preciso que haja uma abordagem comum para harmonizar as definições e o registro de dados, que também deve refletir as tendências de diversidade no setor de engenharia.

- Instituições governamentais e organizações de engenharia devem reforçar sua cooperação para harmonizar ainda mais os padrões de coleta e estudo de dados da profissão.

2. Educação, aprendizagem ao longo da vida e melhoria das qualificações

O desenvolvimento de *soft skills* será tão importante quanto a aprendizagem ao longo da vida de *hard skills* para ajudar os engenheiros a liderarem a transição para caminhos de desenvolvimento mais sustentáveis. As universidades estão no centro desta missão, juntamente com organizações profissionais que apoiam os engenheiros em seu credenciamento profissional e aprendizagem ao longo da vida.

- Com o apoio de organizações profissionais, as universidades devem fornecer aos engenheiros oportunidades crescentes para seu desenvolvimento contínuo. Esses esforços devem incluir acreditação profissional harmonizada em toda a região de Europa e América do Norte.

3. Contribuição dos engenheiros para melhores políticas

A transição para a economia digital, verde e circular requer contribuições de engenheiros nos processos de formulação de políticas. Tradicionalmente, os engenheiros estão envolvidos mais na parte técnica da formulação de políticas. Cada vez mais, no entanto, espera-se que eles não apenas trabalhem na parte técnica das soluções, mas também que considerem o efeito que as soluções tecnológicas terão na sociedade como um todo. Espera-se que os engenheiros profissionais tenham excelentes habilidades sociais e sejam capazes de trabalhar em projetos multidisciplinares. Essas novas competências também permitirão que eles impactem a política em todos os níveis de governo.

- Engenheiros e comunidades profissionais devem adotar um papel proativo nas federações nacionais e internacionais de engenharia e indústria, as quais se envolvem com os formuladores de políticas em nome de seus membros.
- Engenheiros individualmente considerados devem desempenhar um papel mais efetivo em consultas e pesquisas públicas abertas, que são uma parte importante da formulação de políticas.

4. Parcerias e colaboração

Parcerias, colaborações e redes permitem os avanços rumo ao desenvolvimento sustentável. Compartilhar conhecimento no ensino é a base para se alcançar sociedades igualitárias em todo o mundo. Dentro do marco do ODS 17 sobre parcerias, as Nações Unidas fornecem uma plataforma para a colaboração com alcance global.²¹

- Os países europeus e norte-americanos devem acelerar seus esforços de cooperação para compartilhar conhecimento e ajudar a construir capacidades de engenharia em âmbito mundial.

²¹ Para mais informações sobre a Plataforma de Parcerias: <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/browse/>

Referências

- BRAD, T.; BEAGON, U.; KÖVESI, K. *Report on the future role of engineers in society and the skills and competences required for engineers: first project report, a-step 2030 project*, 2019. p. 1-40. Disponível em: <https://www.astep2030.eu/en/project-reports>.
- EC – European Commission. *Circular economy – new action plan to increase recycling and reuse of products in the EU*. Brussels, 2020a. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12095-A-new-Circular-Economy-Action-Plan>.
- EC – European Commission. Commission presents European Skills Agenda for sustainable competitiveness, social fairness and resilience. *Press Release*, 1 Jul. 2020b. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1196.
- EC – European Commission. *Recovery plan for Europe*. Brussels, 2020c. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan/europe_en#main-elements-of-the-agreement.
- EC – European Commission. *Women in the digital age*. Iclaves, 2018. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/84bd6dea-2351-11e8-ac73-01aa75ed71a1>.
- EFCA – European Federation of Engineering Consultancy Associations. *Future trends in the consulting engineering industry*. 2018. Disponível em: https://www.efca.be/sites/default/files/2019-03/EFCA%20trends%20booklet_final%20version_05%2006%202018.pdf.
- EIB – European Investment Bank. *Who is prepared for the new digital age? Evidence from the EIB investment survey*. 2020. Disponível em: https://www.eib.org/attachments/efs/eibis_2019_report_on_digitalisation_en.pdf.
- ENGINEERS CANADA. *2020 National Membership Information*. Data for 2019, 2020a. Disponível em: <https://engineerscanada.ca/reports/national-membership-report/2020>.
- ENGINEERS CANADA. *Trends in engineering enrolment and degrees awarded 2014-2018*. 2020b. Disponível em: <https://engineerscanada.ca/publications/canadian-engineers-for-tomorrow-2018>.
- EUROPEAN COUNCIL OF ENGINEERS CHAMBERS. *Common training principles for engineers (491/PP/GRO/IMA/15/15123)*. 2017. Disponível em: <https://www.ecec.net/activities/commontraining-principles-for-engineers/news-log/>.
- EUROPEAN PARLIAMENT. *LGBTIQ Equality Strategy*. (s.d.). Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-new-push-for-european-democracy/file-lgbti-equality-strategy>.
- EUROPEAN PARLIAMENT. *The impact of new technologies on the labour market and the social economy: science and technology options assessment*. European Parliamentary Research Service, 2018. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614539/EPRS_STU\(2018\)614539_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614539/EPRS_STU(2018)614539_EN.pdf).
- EUROPEAN ROUND TABLE FOR INDUSTRY. *Turning global challenges into opportunities: a chance for Europe to lead*. 2019. Disponível em: <https://ert.eu/wp-content/uploads/2019/12/2019-12-09-Turning-Global-Challenges-into-Opportunities-A-Chance-for-Europe-to-Lead-Full-Version-Publication.pdf>.
- EUROSTAT. *ICT specialists: statistics on hard-to-fill vacancies in enterprises*. 2017. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/ICT_specialists_-_statistics_on_hard-to-fill_vacancies_in_enterprises.
- EUROSTAT. *Tertiary education statistics*. 2018. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Tertiary_education_statistics#Fields_of_education.
- FARRELL et al. ASEE safe zone workshops and virtual community of practice to promote LGBTQ equality in engineering, 2016. (American Society for Engineering Education paper, 14806). Disponível em: <https://www.asee.org/public/conferences/64/papers/14806/download>.
- FRANK, K. A gender analysis of the occupational pathways of STEM graduates in Canada. *Analytical Studies Branch Research Paper Series*, n. 429, 2019. Disponível em: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11f0019m/11f0019m2019017-eng.htm>.
- ILO – International Labour Organisation. *Skills for a greener future: a global view based on 32 country studies*. 2019. Disponível em: https://www.ilo.org/skills/pubs/WCMS_732214/lang--en/index.htm.
- McKINSEY – McKinsey Global Institute. *Education to employment: getting Europe's youth into work*. McKinsey & Company, 2014. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/public-and-social-sector/our-insights/converting-education-to-employment-in-europe>.
- McKINSEY – McKinsey Global Institute. *The future of work in Europe: automation, workforce transitions, and the shifting geography of employment*. McKinsey & Company, 2020. (Discussion paper). Disponível em: http://bit.ly/McKinsey_future_of_work.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. *Science and Engineering Labor Force*. 2019. Disponível em: <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20198/demographic-trends-of-the-s-e-workforce>.
- ROY, J. *Engineering by the numbers*. 2019. Disponível em: <https://www.asee.org/documents/papers-and-publications/publications/college-profiles/2018-Engineering-by-Numbers-Engineering-Statistics-UPDATED-15-July-2019.pdf>.
- STATISTICS CANADA. *Annual review of the labour market 2018*. Montreal, 2018. (Labour statistics research papers). Disponível em: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/75-004-m/75-004-m2019002-eng.htm>.
- STATISTICS CANADA. *A Gender analysis of the occupational pathways of STEM graduates in Canada*. Montreal, 2019. Disponível em: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11f0019m/11f0019m2019017-eng.htm>.
- UNECE – United Nations Economic Commission for Europe. *Towards achieving the sustainable development goals in the UNECE region: a statistical portrait of progress and challenges*. Geneva, 2020. Disponível em: https://www.unecce.org/fileadmin/DAM/stats/publications/2020/SDG_report_for_web.pdf.
- UNITED NATIONS. *Sustainable development goals partnerships platform*. New York, (s.d.) <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/browse>.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Sustainable Materials Management*. New York, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/smm>.
- U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. *Engineers: employment, pay, and outlook. Career Outlook*, Feb. 2018. Disponível em: https://www.bls.gov/careeroutlook/2018/article/engineers.htm?view_full.
- U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. *Architecture and engineering occupations*. 2020. Disponível em: <https://www.bls.gov/ooh/architectureand-engineering/home.htm#:~:text=Employment%20in%20architecture%20and%20engineering,are%20projected%20to%20be%20added>.
- WEF – World Economic Forum. *How can we engineer a more responsible digital future*. 2018. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/engineering-a-more-responsible-digital-future>.

Yuan Si²²

5.3 ÁSIA E PACÍFICO



© Chinese Society for Electrical Engineering (CSEE)

Engenheiros elétricos no trabalho

22 Professor, Universidade Tsinghua e ICEE.

Resumo. A engenharia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e nos padrões de vida de países e regiões em todo o mundo. Na Ásia e no Pacífico, a engenharia enfrenta dois desafios inevitáveis: a aceleração do envelhecimento da população e a deterioração do meio ambiente. Até certo ponto, a engenharia sustentável depende da quantidade e da qualidade do talento, da capacidade de inovação e do ensino em engenharia. Na Ásia e no Pacífico, o aumento do nível de emprego no setor de engenharia tem sido constante desde 2001, mas ocorreu uma contração em alguns mercados-chave. As mulheres ainda estão sub-representadas nos setores industriais, o que limita a diversidade de talentos na área. Em toda a região, as atividades de P&D e empreendedorismo estão surgindo em velocidades diferentes. Além disso, a reforma no ensino da área ocorre de forma crescente, devido a novos avanços que permitem que os talentos de engenharia sejam mais inovadores e empreendedores e voltados para a solução de problemas do mundo real. As seções a seguir exploram as principais tendências da engenharia na Ásia e no Pacífico.

Questões regionais na região da Ásia e do Pacífico

A região da Ásia e do Pacífico se estende do Oceano Pacífico Ocidental ao Oceano Índico e representa uma ampla diversidade de sistemas econômicos, sociedades, geografia e clima. No entanto, várias tendências detectadas na região exigem que os engenheiros entendam seus impactos e forneçam soluções. As principais tendências encontradas na região são descritas a seguir.

Envelhecimento da população e da sociedade

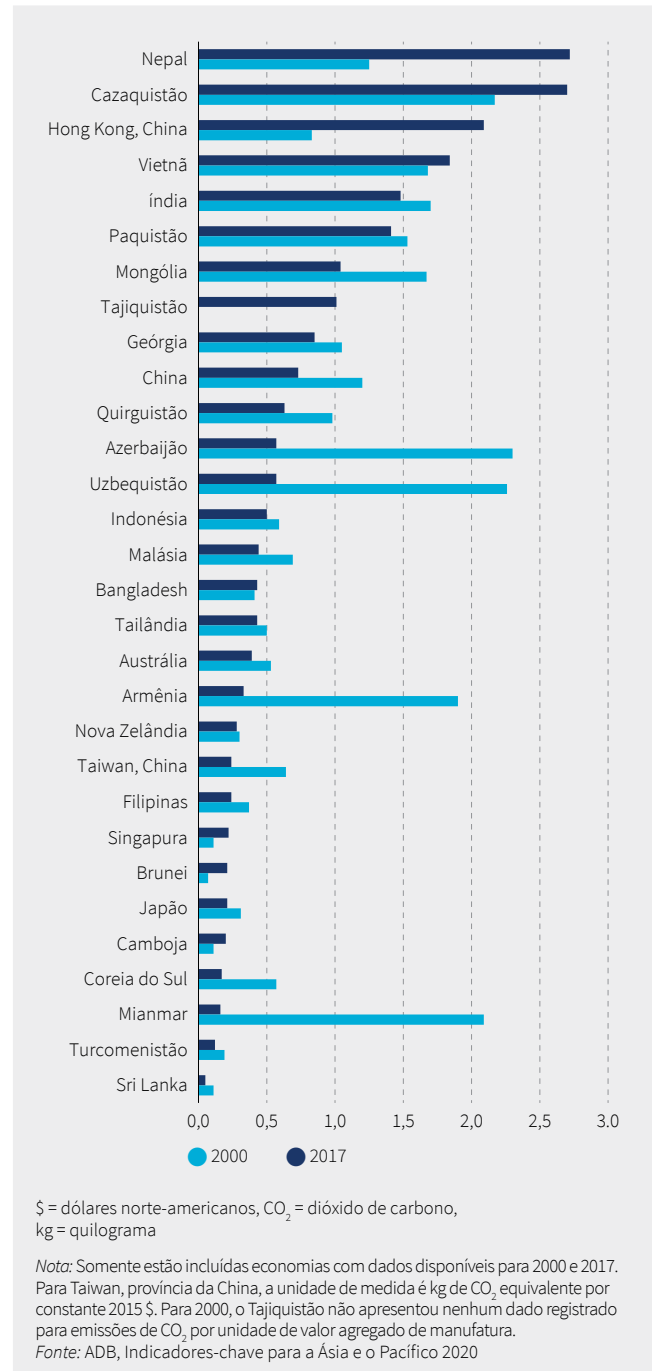
O envelhecimento da população em países da Ásia e do Pacífico está ocorrendo a um ritmo sem precedentes, o que apresenta seus próprios desafios. Espera-se que, em 2050, viva na região aproximadamente a mesma quantidade de pessoas com mais de 65 anos e de pessoas com menos de 15 anos, e que a proporção de idosos na população total aumente de 8,1% para 18,1% (ADB, 2018). A engenharia pode ajudar a enfrentar a tendência de envelhecimento na região por meio da saúde, do transporte médico e do ambiente construído.

Degradação ambiental

O segundo desafio é que a região ainda sofre com a degradação ambiental. Embora a área de terras florestais tenha aumentado em

alguns países (por exemplo, na China e nas Filipinas), em 2014, a Ásia e o Pacífico como um todo foram responsáveis por quase metade (47,7%) do total global de emissões de dióxido de carbono (CO₂) (ADB, 2018). No entanto, as emissões de CO₂ por unidade de valor agregado de manufatura caíram em mais de dois terços das economias da Ásia e Pacífico com informações disponíveis (Figura 1). Isso sugere que as políticas para atualizar e transformar a manufatura que adotam abordagens mais sustentáveis, em países como a China, desempenham um papel ativo na proteção do meio ambiente.

Figura 1. Emissões de dióxido de carbono por unidade de valor acrescentado de manufatura (kg de CO₂ por constante em 2010, \$)



Mudança climática e riscos naturais

De acordo com o Departamento das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR), oito dos dez principais países do mundo em termos de ocorrência de desastres geofísicos, hidrológicos, meteorológicos e climatológicos no período 2000-2019 se encontravam na região da Ásia e do Pacífico (Figura 2). Terremotos, tempestades, tsunamis, condições climáticas extremas, inundações, secas e outros desastres são extremamente prejudiciais à vida e às economias locais. A engenharia desempenha um papel muito importante na resiliência à mudança climática, na adaptação e redução do risco de desastres, ao avaliar os riscos subjacentes e fornecer medidas duras e suaves.

Crescimento do nível de emprego na indústria e mudança da estrutura laboral

Na maioria das regiões do mundo, entre 2002 e 2018, o emprego nos setores de agricultura, indústria e serviços experimentou mudanças relativamente pequenas. No entanto, o nível de emprego da indústria na Ásia e no Pacífico tem aumentado desde 2002 em comparação com outras regiões (Figura 3).

Figura 2. Os dez principais países por ocorrência de subgrupos de desastres (2000–2019)

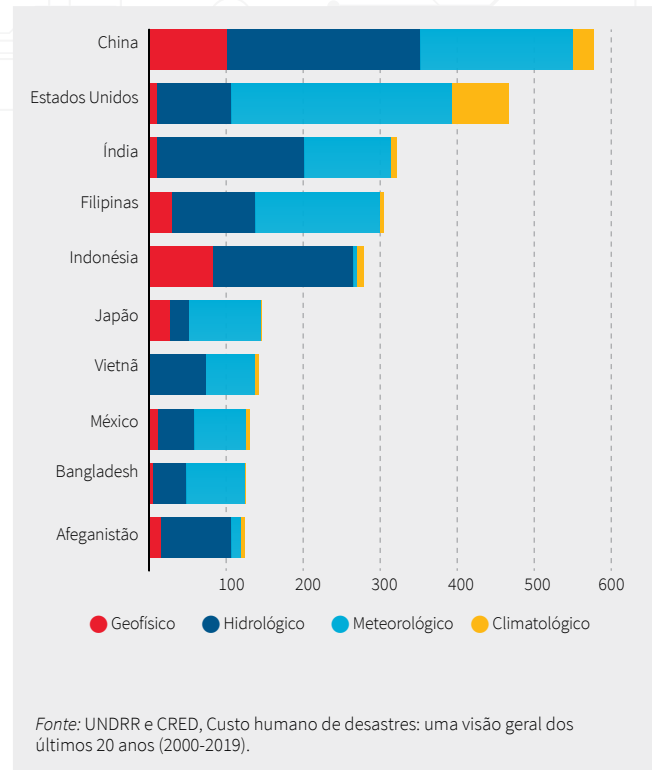
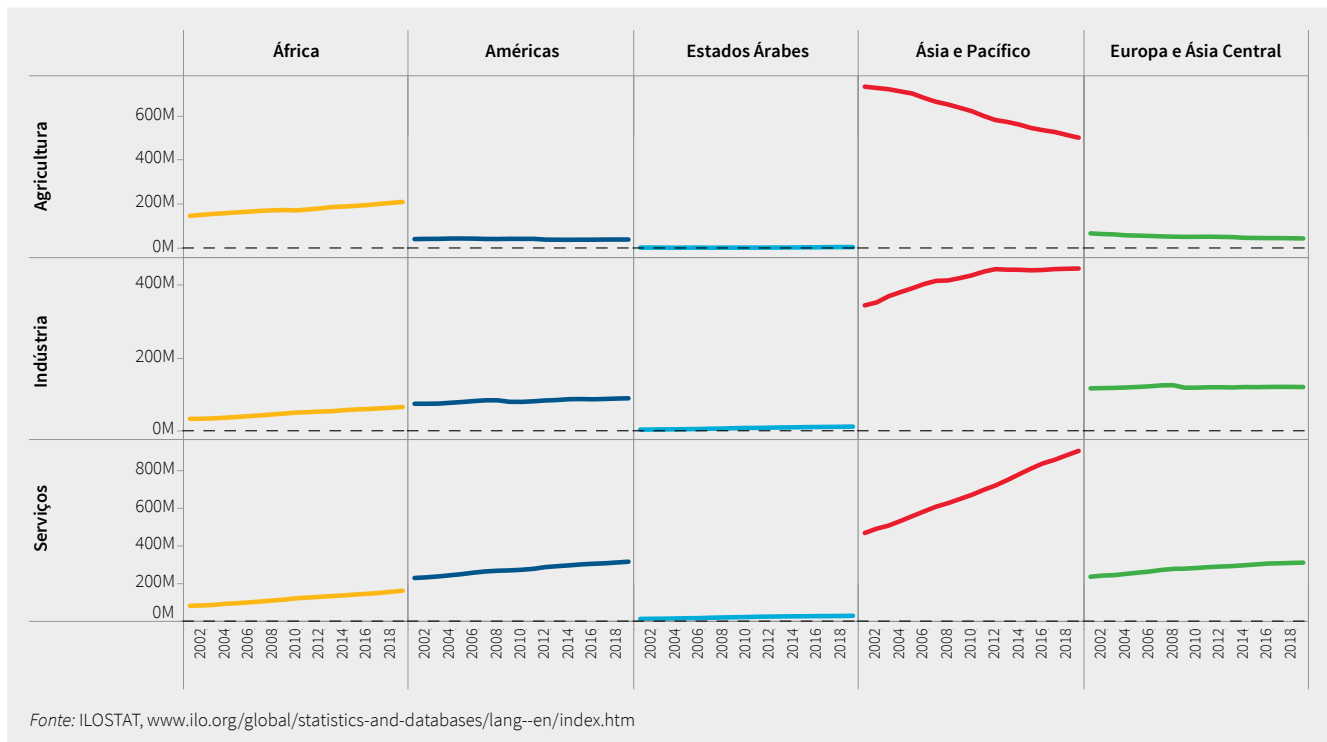


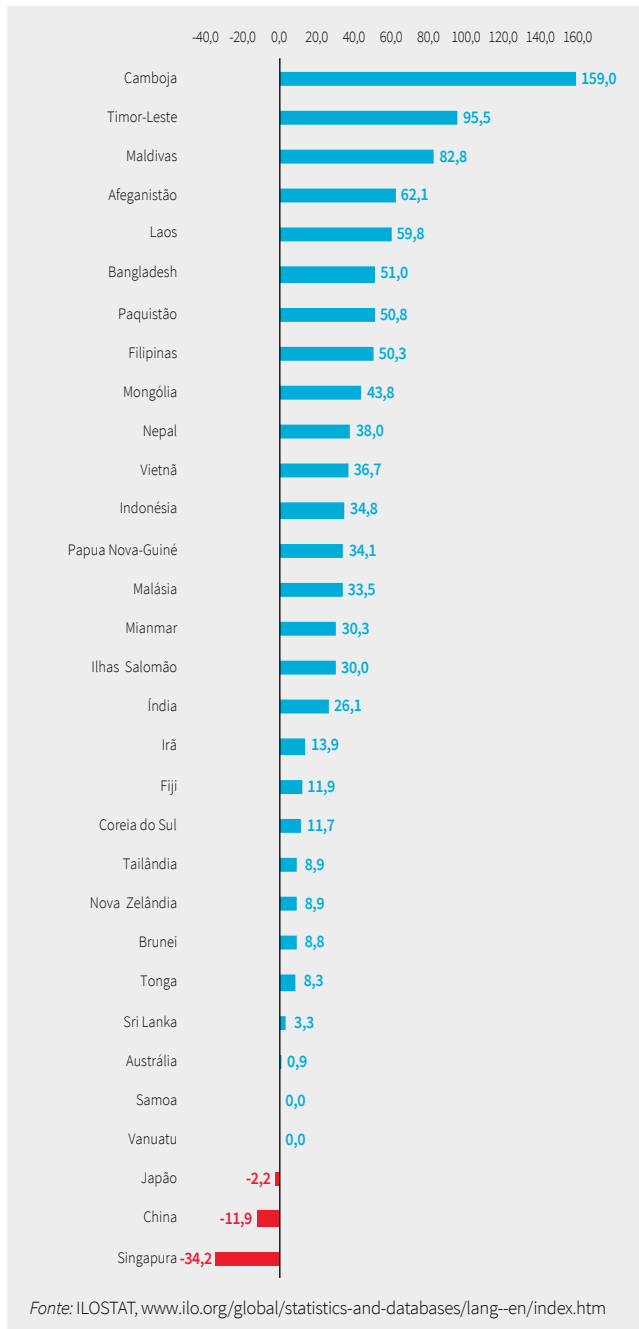
Figura 3. Emprego: estimativas projetadas da OIT, mundo (região da OIT)



Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

Na região da Ásia e do Pacífico, o aumento do nível de emprego na indústria difere consideravelmente entre os países (Figura 4) e é impulsionado por uma série de fatores demográficos e econômicos. Entre 2009 e 2018, o emprego na indústria aumentou 159% no Camboja, devido, em parte, ao estabelecimento de fábricas têxteis e de calçados orientadas para a exportação. Em contraste, Singapura testemunhou a contração mais acentuada (34,2%) no nível de emprego da indústria, devido a ganhos de emprego ano a ano no setor de serviços. Durante o mesmo período, o emprego na indústria caiu 2,2% no Japão, impulsionado em parte pelo fraco crescimento da força de trabalho.

Figura 4. Tendências do crescimento de emprego na indústria na Ásia e no Pacífico, 2019



No entanto, a queda acentuada da mão de obra na agroindústria tem sido sustentada pelo maquinário/automação. Enquanto isso, o trabalho na indústria de serviços aumentou de forma acentuada. Vale ressaltar que o setor de serviços inclui não apenas informação e tecnologia, mas também atividades relacionadas à vida (água, gás, eletricidade) e o setor de construção. A engenharia pode, portanto, desempenhar um papel significativo nessa indústria em crescimento.

Ambiente para engenharia na região da Ásia e do Pacífico

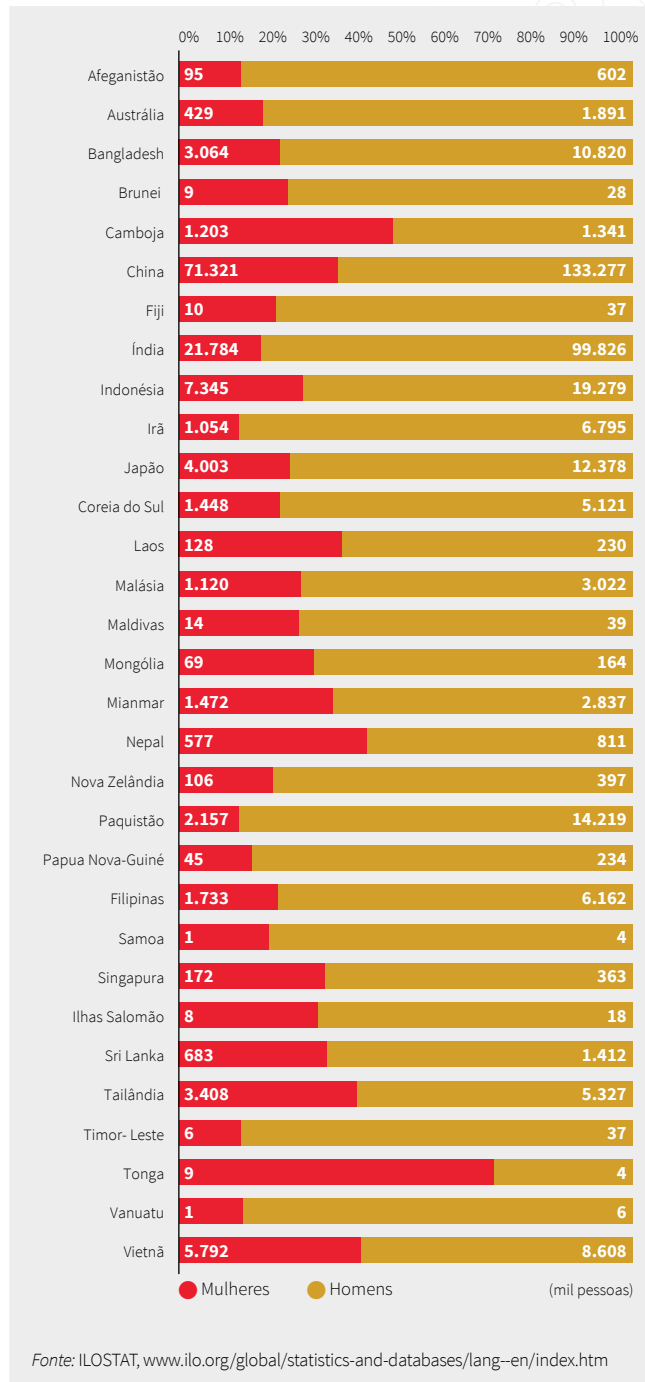
Investimentos em P&D para a engenharia

A P&D tem sido um importante impulsionador da inovação e pode prever tendências tecnológicas futuras. O sucesso de P&D depende, em certa medida, dos gastos na área e do número de investigadores envolvidos. Na Ásia e no Pacífico, ocorreu um rápido crescimento nos gastos com P&D e no número de pesquisadores. A China demonstra o crescimento mais vigoroso em P&D, respondendo por quase um terço do aumento global nos gastos na área no período entre 2000 e 2015 (National Science Foundation, 2018). Na Coreia do Sul, o número de trabalhadores de P&D por 1 milhão de pessoas aumentou muito, de 2.914, em 2000, para 8.809, em 2016 (ADB, 2018).

O empreendedorismo significa impulsionar a inovação no mercado e, muitas vezes, ele é facilitado por comunidades de *startups* caracterizadas por mecanismos de incubação e investimento. Muitas empresas influentes foram fundadas por engenheiros, o que contribuiu muito para o desenvolvimento da área. Ao longo da última década, a atividade de criação de empresas foi acelerada pela simplificação e pela desregulamentação dos requisitos administrativos relacionados. Uma das maiores melhorias foi a redução do tempo necessário para se iniciar um negócio no Sudeste Asiático, onde o número médio de dias necessários caiu de 75, em 2005, para 30, em 2017 (ADB, 2018).

Participação das mulheres na indústria

Existe uma grande disparidade em termos de participação feminina na indústria entre os países da região da Ásia-Pacífico (Figura 5). Nos seguintes países, as mulheres representam menos de 20% dos funcionários da indústria: Afeganistão, Austrália, Índia, Irã, Paquistão, Papua Nova-Guiné, Timor-Leste e Vanuatu. No Camboja, a distribuição de empregos entre os sexos é mais próxima de 50:50. Embora Tonga tenha a maior porcentagem de mulheres empregadas na indústria, o número total de mulheres trabalhadoras na indústria é de apenas 9 mil. No geral, as mulheres ainda estão sub-representadas nas indústrias da Ásia e do Pacífico. No entanto, as dificuldades que elas enfrentam para seguir e progredir em uma carreira de engenharia podem estar relacionadas à formação e às condições específicas de cada país (ADB, 2015).

Figura 5. Emprego na indústria por gênero na Ásia e no Pacífico (%), 2018

Sistemas de ensino de engenharia

À medida que os desafios globais relacionados ao envelhecimento da população e à degradação ambiental se tornam mais sérios, há a necessidade urgente de treinar futuros talentos de engenharia para avançar na inovação tecnológica e resolver problemas complexos. A região da Ásia-Pacífico está dando grandes passos

na reforma do ensino de engenharia, para permitir que os estudantes sejam mais inovadores e empreendedores, e na construção de suas capacidades para resolver problemas do mundo real.

Muitos programas específicos de treinamento de habilidades foram criados para cultivar talentos de engenharia, com o objetivo de atuar para a construção de uma sociedade sustentável. Por exemplo, o Ministério do Meio Ambiente do Japão trabalhou com agências governamentais pertinentes para implementar Iniciativas de Liderança Ambiental para a Sustentabilidade Asiática, que incluem o desenvolvimento de programas-modelo para abordar a capacidade de liderança.

Reconhecimento mútuo das qualificações de engenharia

A Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (APEC) é um fórum econômico regional, criado em 1989. Alguns membros da APEC assinaram um acordo com o objetivo de reconhecer “equivalência substancial” de competências profissionais em engenharia sob a égide da International Engineering Alliance (IEA). Como uma organização independente das instituições de engenharia na região do Sudeste Asiático e Pacífico, a Federation of Engineering Institutions of Asia and the Pacific (Feiap) atualmente promove o reconhecimento regional e mútuo de qualificações dentro de sua área econômica de 20 membros. Essas organizações e acordos regionais sobre a mobilidade de profissionais facilitaram muito a integração dos sistemas de ensino de engenharia e suas profissões na região, o que é benéfico para uma comunidade profissional regional mais inclusiva e inovadora.

Avanços da engenharia e soluções para questões regionais

Medidas não vinculativas: os sistemas de ensino

Além do ensino tradicional, o ensino aberto e *online* está sendo cada vez mais aplicado por meio de salas de aula interativas. O Rain Classroom, um sistema de gerenciamento de aprendizado móvel desenvolvido na China pela Universidade Tsinghua e pela XuetangX²³, é comumente utilizado em atividades de laboratórios e instrução em salas de aula com inovação ativa. Na Tailândia, a abordagem de “sala de aula invertida” é amplamente utilizada no ensino de engenharia, principalmente na Universidade Chulalongkorn.

A colaboração nacional com várias partes interessadas é vista como uma abordagem eficaz para melhorar a qualidade dos futuros engenheiros, os quais são essenciais para a prática do desenvolvimento sustentável. Na China, por exemplo, o ICEE, sob os auspícios da UNESCO, tem servido como uma plataforma interdisciplinar para que educadores de todo o mundo trabalhem

23 Para obter mais informações sobre a plataforma de aprendizagem XuetangX: www.xuetangx.com

Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável

juntos para enfrentar desafios práticos complexos usando soluções de engenharia. Em 2017, um programa de treinamento na Universidade Tsinghua, organizado pelo ICEE, proporcionou a estudantes de Bangladesh, Paquistão, Quênia, Zâmbia e outros países em desenvolvimento a oportunidade de aprender, colaborar e se comunicar uns com os outros.

Medidas difíceis: avanços da engenharia

Na região da Ásia e do Pacífico, a tecnologia da área de engenharia não apenas desempenha um papel fundamental na prevenção e na redução de riscos e desastres naturais, mas também apoia o rápido desenvolvimento da infraestrutura e o crescimento da economia. Em particular, as facilidades de transporte, como rodovias, ferrovias, aeroportos e portos marítimos, não apenas facilitam o comércio na região, reduzem os custos de logística e conectam diferentes países, mas também ajudam no movimento de pessoas e no desenvolvimento do turismo. Tecnologias emergentes, como IA, realidade virtual e análise de *big data* em educação e saúde, também auxiliam a aumentar a adoção de outras tecnologias, fornecer diagnósticos oportunos e tratar pacientes de doenças. O envelhecimento da população tem impactos negativos no desenvolvimento econômico, principalmente quanto à redução da produtividade do trabalho, mas as novas tecnologias podem ajudar a manter o aumento da produtividade e das habilidades (ADB, 2019).

Conclusões

Na Ásia-Pacífico, a inovação em tecnologias de engenharia é muito dinâmica, mas, ao mesmo tempo, há na região muitos desafios econômicos, sociais e ambientais. A fim de promover a engenharia para apoiar os ODS de forma mais efetiva, governos, indústrias, instituições educacionais e outras partes interessadas devem firmar parcerias mais próximas e inclusivas, bem como tomar ações mais estratégicas e pragmáticas para abordar essas questões fundamentais.

Recomendações

1. Incentivar e atrair mais jovens para estudar e escolher a profissão de engenharia, criando projetos inovadores e iniciativas nas áreas de STEM.²⁴
2. Melhorar a participação das mulheres na indústria, instituindo políticas que proporcionem a homens e mulheres locais de trabalho mais flexíveis e favoráveis à família, para que as responsabilidades de criação dos filhos possam ser compartilhadas.
3. Melhorar as capacidades de inovação no âmbito do país, com o aumento de investimentos em pessoal e P&D.
4. Incentivar o empreendedorismo, simplificando o processo de abertura de empresas, e criar um ecossistema eficiente para a comercialização de ideias inovadoras, oferecendo aulas de negócios e aconselhamento e construindo redes para compartilhar experiências.
5. Minimizar a lacuna entre os sistemas de ensino e a profissão de engenheiro, promovendo o reconhecimento mútuo em toda a região para aumentar a mobilidade dos profissionais.
6. Promover parcerias para enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável, facilitando a colaboração efetiva no ensino e na área de engenharia entre os países da região.
7. Assegurar que sejam consideradas novas políticas e ações práticas e promover a transformação das indústrias tendo em vista o desenvolvimento sustentável.

²⁴ Ciência, tecnologia, engenharia e matemática.

Referências

ADB – Asian Development Bank. *The Asian economic integration report 2019/2020: demographic change, productivity, and the role of technology*. Mandaluyong City, Philippines, 2019. Disponível em: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/536691/aeir-2019-2020.pdf>.

ADB – Asian Development Bank. *Key indicators for Asia and the Pacific 2018*. 49 ed. Mandaluyong City, Philippines, 2018. Disponível em: www.adb.org/publications/key-indicators-asia-and-pacific-2018.

ADB – Asian Development Bank. *Key indicators for Asia and the Pacific*. 51 ed. Mandaluyong City, Philippines, 2020. Disponível em: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/632971/ki2020.pdf>.

ADB – Asian Development Bank. *Women in the workforce: an unmet potential in Asia and the Pacific*. Mandaluyong City, Philippines, 2015. Disponível em: www.adb.org/publications/women-workforce-unmetpotential-asia-and-pacific.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. *Science and engineering indicators 2018*. 2018. Disponível em: www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181.

UNDRR; CRED – United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. *Human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000–2019)*. 2020. Disponível em: <https://www.undrr.org/media/48008/download>.

Jorge Emilio Abramian²⁵, José Francisco Sáez²⁶
e Carlos Mineiro Aires²⁷

5.4 AMÉRICA LATINA E CARIBE



© CFIA
Engenheiros profissionais do Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica

25 Presidente eleito do World Council of Civil Engineers (WCCE).

26 Diretor executivo do WCCE.

27 Presidente do WCCE.

Resumo. Ao longo das últimas décadas, dois fatores principais inibiram a realização dos ODS na região da América Latina e Caribe (LAC): o lento crescimento econômico e a ausência de um sistema de proteção social forte, que se reflete em um alto percentual de empregos informais. Esses fatores explicam por que os esforços dos países da LAC para satisfazer necessidades básicas, como moradia adequada, acesso à água potável, saneamento e tratamento sustentável de resíduos, estão aquém das metas dos ODS. Esta seção apresenta brevemente os problemas que afetam a LAC e explica como os engenheiros podem ajudar a superar as deficiências existentes na região.

Questões regionais na LAC no contexto dos desafios de engenharia

A América Latina e o Caribe têm taxas de crescimento de longo prazo mais baixas do que outras regiões do mundo em desenvolvimento e, com isso, devem enfrentar esses desafios se quiserem realizar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.²⁸ Esse crescimento lento afeta os níveis de investimento, tanto em inovação tecnológica quanto em infraestrutura, e dificulta o alcance dos ODS. Desde 1980, o investimento público como porcentagem do PIB caiu, de uma média de 5,9% para 4,8%. Como resultado disso, a infraestrutura e a competitividade também diminuíram. A “Pesquisa econômica da América Latina e do Caribe” (2018), realizada pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Cepal)²⁹ concluiu que “uma repartição da formação bruta de capital fixo por ativos de construção (incluindo construção) e por ativos de máquinas e equipamentos, mostra que embora a primeira componente represente uma maior parcela do investimento e um maior percentual do PIB, a segunda componente está crescendo mais rápido”, o que indica uma leve recuperação.

O relatório também menciona que o nível de emprego assalariado se expandiu de maneira significativa com o crescimento econômico da LAC e que o trabalho por conta própria³⁰ – a segunda maior categoria da região em termos de número de empregados – mostra uma tendência de evolução

predominantemente anticíclica. Isso é explicado principalmente pelo interesse das famílias quanto a gerar rendimentos por meio do seu próprio emprego, devido à ausência de novos empregos assalariados e à ausência de mecanismos de proteção social adequados durante os períodos de baixas taxas de crescimento.

As baixas taxas de crescimento e níveis de investimento, aliados a questões sociais e de desenvolvimento, como falta de proteção social forte e altas taxas de emprego informal, indicam que os engenheiros têm um papel fundamental a desempenhar na superação das fragilidades atribuídas ao crescimento lento, o que também está alinhado aos ODS. Todos esses objetivos estão interligados, sendo que alguns deles exigem a contribuição direta da comunidade de engenharia. As principais questões que ligam os países da LAC aos ODS e à engenharia são apresentadas a seguir.

Questões sociais e desenvolvimento

Como foi mencionado acima, uma série de questões relacionadas ao crescimento social e econômico da LAC dificultam a realização dos ODS e exigem o envolvimento de diferentes disciplinas de engenharia. De acordo com um relatório do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) elaborado por Iorio e Sanin (2019), a região da LAC tem 97% de cobertura de energia elétrica³¹ e é classificada como uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, mas em outras áreas persistem problemas relacionados a questões centrais que afetam a saúde pública e o bem-estar, como moradia adequada, água potável e saneamento.

De acordo com o relatório de 2015 elaborado pela UN Habitat, não existe uma definição comum de “déficit habitacional” na região. Qualquer definição de habitação adequada inclui acesso à água potável, saneamento e energia, com o “déficit habitacional” afetando entre 30 e 180 por mil habitantes. Muito mais preocupantes são os níveis de cobertura dos serviços de água, que mostram que apenas três países da LAC fornecem a mais de 80% de sua população água potável “gerenciada com segurança” (OMS; UNICEF, 2019). Em relação aos níveis de cobertura de saneamento, somente sete países fornecem saneamento “seguro” para mais de 40% de sua população, com apenas um fornecendo mais de 60%.

Degradação ambiental

Além do bem-estar humano, outra questão vital para o desenvolvimento sustentável da região é a preservação ambiental. Os países da LAC abrigam vastas áreas sensíveis em termos ambientais, como barreiras de recifes de coral, grandes pântanos de água doce e florestas tropicais. As zonas rurais têm 125 milhões de habitantes, incluindo 60% das pessoas mais pobres da região. A desertificação e

28 América Latina e Caribe (2,6%) em contraposição a África Subsaariana (3,62%), Oriente Médio e Norte da África (3,92%) e Ásia Oriental e Pacífico (8,1%). A taxa de crescimento de longo prazo na Europa e na Ásia Central (excluindo rendimentos elevados) foi, em média, de 1,75% nos últimos 30 anos. Consulte o banco de dados do Banco Mundial, em: <https://databank.worldbank.org/data/home.aspx>

29 Acesse o site oficial da Cepal, em: <https://www.cepal.org/en>

30 Trabalhadores avulsos trabalham por conta própria e são considerados autônomos.

31 Banco Mundial. Acesso à eletricidade (% da população): <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCTS.ZS?locations=ZJ>

a degradação dos recursos naturais afetam seriamente quase todos os países, o que é agravado pela expansão das atividades agrícolas e compromete o meio ambiente e os recursos naturais. O Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários (UNOCHA) publicou um artigo (Milesi; Jarroud, 2016) que afirma que 68% das terras da América do Sul são afetadas pela desertificação, dos quais 100 milhões de hectares estão desmatados e 70 milhões sofrem de superexploração pecuária. A poluição da água, do ar e do solo também é relatada, principalmente associada à mineração irresponsável, ao uso de fertilizantes e pesticidas, ao tráfego urbano e à descarga de resíduos e efluentes de esgoto sem tratamento.

O desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental exigem planejamento responsável, projeto, execução, operação e desativação de sistemas de gestão e infraestrutura, com engenheiros que demonstrem sua experiência e seu compromisso com a proteção do meio ambiente – dessa forma, destaca-se a importância da educação e do treinamento de bases amplas em engenharia.

Mudança climática e riscos naturais

Nos países da LAC, a mudança climática afetará amplamente as costas e os assentamentos urbanos (Huber, 2018; Nurse *et al.* 2014; OCHA, 2020). Temperaturas oceânicas mais altas afetam de maneira significativa os países do Caribe na forma de furacões³², com o rápido crescimento de algas e com a morte de corais. No interior, os efeitos de temperaturas elevadas estão ligados a períodos de inundações e secas, que se alternam por região ou mesmo dentro da mesma região. Temperaturas mais altas provocam incêndios florestais mais frequentes e de maior extensão, que impactam gravemente as comunidades afetadas. Por fim, quase toda a região está sujeita a riscos sísmicos³³, riscos vulcânicos ou ambos.

Novamente, esses fatores exigem o envolvimento de engenheiros para avaliar de forma adequada os riscos e prever tais eventos com o uso de tecnologias inteligentes para fornecer alertas precoces, adaptar códigos estruturais e procedimentos de construção e elaborar soluções de mitigação.

O ambiente da engenharia na região da LAC

Como foi mencionado acima, o desenvolvimento regional e as questões ambientais exigem respostas de engenharia rápidas e eficazes. Ao mesmo tempo, a engenharia é uma das ferramentas mais eficazes para abordar a realização dos ODS, conforme descrito abaixo.

- Boa saúde e bem-estar (ODS 3) e água limpa e saneamento (ODS 6) podem ser assegurados por meio

do projeto e da construção de sistemas de esgoto e estações de tratamento de água e esgoto.

- Energia limpa e acessível (ODS 7), e inovação e infraestrutura da indústria (ODS 9), são assuntos centrais na maioria das disciplinas de engenharia.
- Cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11) e ação climática (ODS 13) dizem respeito, por exemplo, à engenharia de transporte, construção e gestão de fábricas, entre outras especialidades da área.
- O consumo e produção responsáveis (ODS 12) estão claramente relacionados à implementação de sistemas de reciclagem e sistemas de tratamento de resíduos.

Além disso, todos os 17 ODS envolvem, de alguma forma, o desenvolvimento tecnológico e a aplicação da ciência visando ao melhor uso dos recursos disponíveis. Por exemplo, o fim da pobreza (ODS 1) está diretamente relacionado à fome zero (ODS 2) e ambos estão relacionados à produção de alimentos (engenharia agrônômica), ao transporte marítimo (engenharia civil, mecânica e elétrica) e ao armazenamento adequado (engenharia mecânica e civil).

Como a engenharia é essencial para atingir esses objetivos, as necessidades e o número de engenheiros na LAC devem ser revisados. No entanto, atualmente não há estatísticas globais confiáveis sobre o número de engenheiros nos diferentes países. Os números atuais estão incompletos, pois alguns países não mantêm registros profissionais oficiais e não são confiáveis devido à prática informal de engenharia, mesmo em países com licenciamento obrigatório.

O World Council of Civil Engineers (WCCE) estima que os países desenvolvidos tenham entre 1,3 mil e 2,5 mil engenheiros civis por milhão de habitantes (Abramian, 2020). Em comparação com a amostra de 10 países da LAC, o número de engenheiros varia de 200 a 1.666 por milhão de habitantes. Com exceção da Bolívia e do Brasil, os países da amostra apresentam menos engenheiros civis do que a média mundial, e números muito inferiores aos dos países desenvolvidos (aproximadamente 1 mil por milhão de habitantes). Esses índices destacam a escassez de engenheiros na região, um diagnóstico confirmado pelo fato de que, embora muitos países da OCDE³⁴ (como Itália, Portugal, Espanha e Estados Unidos) tenham manifestado preocupação com a escassez de engenheiros estudantes, eles “exportam” serviços de engenharia por meio de contratos celebrados em âmbito global. No entanto, os países da LAC costumam contratar empresas estrangeiras para projetar ou construir grandes obras de infraestrutura, o que indica não apenas a necessidade de mais profissionais, mas também a falta de empresas com capital ou *know-how* necessários para realizar os grandes contratos de infraestrutura na região.

32 O ano de 2017 foi a pior temporada de furacões, em termos de número de países afetados e prejuízos.

33 Na América do Sul, 25% dos maiores terremotos estão acima de 8 na escala Richter.

34 A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) é uma organização econômica intergovernamental que tem 37 países-membros. *Site oficial:* <https://www.oecd.org>

Avanços da engenharia e soluções para as questões regionais

Ensino de engenharia

De acordo com o Panorama de Índices Vermelhos da Educação Superior na América Latina (2018), o menor número de graduados em engenharia na região é consequência do maior investimento necessário para formar esses profissionais e cientistas, bem como do foco principal das universidades da LAC na área de ciências humanas.

No entanto, o futuro fluxo de engenheiros mostrado pela parcela de graduados em engenharia, construção e manufatura, é bastante promissor. De acordo com o Relatório de Índices Vermelhos, as matrículas em programas educacionais relacionados a “engenharia, indústria e construção” se tornaram a segunda escolha mais popular, com um aumento especial no Chile e na Colômbia, representando até 20% da entrada de novos discentes, em um contexto de aumento geral de 3,8% no número de estudantes do ensino superior no período entre 2010 e 2015. Os números de matrículas de mulheres aumentaram durante esse período e passaram a representar 55% de todos os estudantes de ensino superior na LAC, embora esse aumento possa não resultar em uma porcentagem maior de mulheres na prática de engenharia (Caixa 1).

No entanto, apesar do atual aumento de estudantes de engenharia matriculados na LAC, o número total de engenheiros ainda é insuficiente para atender ao potencial e às necessidades da região.

O papel dos órgãos profissionais de engenharia na LAC

Diferentes órgãos de engenharia coexistem na LAC; eles consistem basicamente em organizações reguladoras nacionais e associações profissionais de engenharia, as quais assumiram um papel fundamental para realizar as ações necessárias para cumprir os ODS. Esses órgãos abrangem organizações regionais e inter-regionais sob a égide global da WFEO.

Desde 1949, a União Panamericana de Associações de Engenheiros (Upadi) promove o ensino de engenharia nas Américas e a prática profissional nas associações da região, com um claro interesse em contribuir para o bem-estar de suas comunidades. Com sede no Rio de Janeiro, atualmente a Upadi abriga convenções anuais e fornece seus pontos de vista à WFEO.

Além disso, o Conselho das Organizações Profissionais de Engenharia Civil dos Países de Língua Portuguesa e Espanhola (CICPC), uma organização inter-regional mais recente, fundada em 1992, concentra-se em avaliar os desafios atuais dos países-membros, a fim de fornecer uma visão regional e propor princípios globais de ação conjunta para a comunidade de engenharia civil. Os membros nacionais de ambas as organizações são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1. Associações: Upadi e CICPC

	Upadi	CICPC
Países integrantes da LAC	Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, Porto Rico, República Dominicana, Uruguai, Venezuela	
Países e regiões não integrantes da LAC	Portugal, Espanha Canadá, Itália, Estados Unidos	Andorra, Angola, Cabo Verde, Guiné Equatorial, Guiné-Bissau, Macau, Moçambique, São Tomé e Príncipe, Timor-Leste

A incerteza econômica que há na LAC, região em que os países sofrem de forma recorrente por crises econômicas, exige um sólido fluxo de engenheiros dos países atingidos pela crise para as economias mais dinâmicas da região, os quais retornam quando a economia do país anfitrião passa por dificuldades. A maior parte desse fluxo é informal e onera tanto o desenvolvimento da carreira dos engenheiros latino-americanos e caribenhos quanto o crescimento das empresas da área. A necessidade de estabelecer procedimentos formais de mobilidade profissional no setor de engenharia, embora seja abordada pela Upadi e pelo CICPC, é específica da CIAM³⁵, uma plataforma hospedada pelos governos do Mercosul.³⁶

A CIAM trabalha para o estabelecimento de um marco para regular os serviços profissionais transfronteiriços e o licenciamento nos países-membros do Mercosul para o setor de engenharia.

Caixa 1. Um projeto para abordar a igualdade de gênero na engenharia, na Argentina

As mulheres representam 20% das carreiras na área de engenharia na Argentina, uma tendência que está aumentando para 25%. Em contraste a isso, de acordo com o sindicato da construção argentino Uocra, a proporção de mulheres nas obras de construção caiu para menos de 5%, das quais 20% realizam tarefas relacionadas à alvenaria. Isso reduz a proporção de cargos femininos na engenharia para 4%, resultando em um ambiente majoritariamente masculino para o projeto de construção, o gerenciamento e a contratação.

Para lidar com essa situação, a filial argentina da Ingenieros sin Fronteras/Engenheiros sem Fronteiras (ISF-Ar) está desenvolvendo projetos com uma abordagem neutra em termos de gênero, a fim de incentivar a participação de mulheres para alcançar um equilíbrio mulheres/mulheres e homens/homens.

Essa iniciativa normalizou a presença de mulheres nos canteiros de obras, confirmando sua capacidade de realizar tarefas de construção durante as fases de projeto, gestão e execução, e fornecendo modelos para as jovens interessadas em ingressar no campo da engenharia civil.

35 Comisión para la Integración de la Agrimensura, Agronomía, Arquitectura, Geología e Ingeniería del Mercosul (Comissão do Mercosul para a Integração de Agrimensura, Agronomia, Arquitetura, Geologia e Engenharia).

36 O Mercosul é o Mercado Comum do Sul, um bloco econômico composto por cinco estados-partes. Site oficial: <https://www.mercosur.int>

Conclusão

Os países da América Latina e do Caribe devem abordar uma série de questões ambientais e de desenvolvimento para aproveitar o potencial da região e realizar os ODS. Para isso, há soluções de engenharia disponíveis, mas estas são prejudicadas pelo número insuficiente de profissionais na região ou pela capacidade limitada das empresas. Portanto, devem ser realizados esforços para aumentar o número de profissionais de engenharia na LAC. Isso obriga os governos e universidades da região a promoverem programas de engenharia, prestando atenção especial ao envolvimento das mulheres. As organizações nacionais e regionais de engenharia da LAC, juntamente com suas contrapartes internacionais, devem ajudar a promover carreiras de engenharia, vinculando-as à realização dos ODS. Elas também devem promover o aprimoramento dos sistemas de mobilidade profissional, a fim de suprir a escassez de profissionais nos países em desenvolvimento.

Recomendações

1. Aprimorar a cooperação Sul-Sul (CSS) e a cooperação triangular (TRC)³⁷ em projetos de engenharia, para promover a transferência de conhecimento na região (UNDP, 2017). A falta de investimentos, tecnologias e experiência deve ser abordada por meio de insumos regionais, pela SSC horizontal e pela TRC.
2. Estabelecer marcos para aperfeiçoar a mobilidade dos estudantes de engenharia, de modo a oferecer oportunidades para que eles se desenvolvam e compartilhem conhecimentos e experiências em instituições e organizações em diferentes países da região. Incentivar o alcance regional para melhorar a mobilidade e auxiliar a desenvolver uma cultura de engenharia na LAC, para enfrentar os desafios regionais e globais.
3. Estabelecer marcos de mobilidade profissional intra e inter-regional, como um primeiro passo para promover padrões globais de mobilidade temporária e melhorar os sistemas de cooperação.

37 A SSC se refere à “cooperação mútua destinada a promover o desenvolvimento autossustentável, envolvendo o aprofundamento das relações entre os países em desenvolvimento ao mesmo tempo em que conduz a cooperação técnica e econômica”. A TRC se refere a “parcerias orientadas para o Sul entre dois ou mais países em desenvolvimento, apoiadas por um(s) país(es) desenvolvido(s) ou organização(ões) multilateral(is), para implementar programas e projetos de cooperação para o desenvolvimento” (UNDP, 2017).

Referências

ABRAMIAN, J. How many of us, civil engineers, are enough? Madrid, World Council of Civil Engineers, 2020. Disponível em: <https://wcce.biz/index.php/2-wcce/362-a-columnhow-many-of-us-civil-engineers-are-enough>.

ECLAC – Economic Commission of Latin America and the Caribbean. Economic survey of Latin America and the Caribbean 2018. *Evolution of investment in Latin America and the Caribbean: stylized facts, determinants and policy challenges*. Santiago, 2018. Disponível em: www.cepal.org/en/publications/43965-economic-survey-latin-americaand-caribbean-2018-evolution-investment-latin.

HUBER, K. *Resilience strategies for wildfire*. Center for Climate and Energy Solutions, 2018. Disponível em: <https://www.c2es.org/site/assets/uploads/2018/11/resilience-strategies-for-wildfire.pdf>.

IORIO, P.; SANIN, M. E. Acceso y asequibilidad a la energía eléctrica en América Latina y el Caribe. Washington, DC: Inter American Bank of Development, 2019.

MILESI, O.; JARROUD, M. Soil degradation threatens nutrition in Latin America. *Inter Press Service*, 15 Jun. 2016. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/soildegradation-threatens-nutrition-latin-america>.

NURSE, L. A. et al. Small islands. In: BARROS, V. R. et al. (eds.). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability; part b: regional aspects*, contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014. p. 1613-1654.

OCHA – United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. Natural Disasters in Latin America and the Caribbean 2000-2019. Balboa, Ancon, Panama, 2020. Disponível em: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/20191203-ocha-desastres_naturales.pdf.

RED INDICES. Panorama de la educación superior en Iberoamérica. 2018. Disponível em: www.redindices.org/attachments/article/85/Panorama%20de%20la%20educaci%C3%B3n%20superior%20iberoamericana%20versi%C3%B3n%20Octubre%202018.pdf.

UNDP – United Nations Development Programme. *FAQ South-South cooperation and triangular cooperation*. 2017. Disponível em: https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/poverty-reduction/development_cooperationandfinance/frequently-asked-questions--south-south-cooperation.html.

UN HABITAT. *Déficit habitacional en América Latina y el Caribe: una herramienta para el diagnóstico y el desarrollo de políticas efectivas en vivienda y hábitat*. Nairobi, 2015. Disponível em: <https://unhabitat.org/sites/default/files/downloadmanager-files/D%C3%A9ficit%20habitacional.pdf>.

WHO; UNICEF – World Health Organization; United Nations Children's Fund Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017*. 2019. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/whounicef-joint-monitoring-program-forwater-supply-sanitation-and-hygiene-jmp-progress-onhousehold-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2017>.

**Yashin Brijmohan³⁸, Gertjan van Stam³⁹
e Martin Manuhwa⁴⁰**

5.5 ÁFRICA



© Sunshine Seeds / Shutterstock.com

- 38 Ex-presidente do Comitê da WFEO para Capacitação em Engenharia; reitor executivo, Negócios, Engenharia e Tecnologia, Monash África do Sul (MSA).
39 Pesquisador da Universidade Nacional de Ciência e Tecnologia, Zimbábue.
40 Presidente da Federação da Organização Africana de Engenharia (FAEO).

Resumo. Esta seção defende melhores soluções de engenharia para a África, descrevendo e explorando a situação atual da engenharia em todo o continente e seus contextos e prioridades desafiadoras à luz dos ODS. A seção destaca os desafios enfrentados pela África em termos de urbanização, emprego, segurança alimentar, hídrica e energética, degradação ambiental, mudança climática, desastres naturais e pobreza, e mostra como a engenharia pode ajudar a região a enfrentar esses desafios. Também destaca as diversas questões críticas do subdesenvolvimento na África e como a engenharia é a chave para alcançar os ODS no continente. Por fim, argumenta que a educação em engenharia de qualidade e padrões aprimorados criarão bons empregos e crescimento econômico, levando à realização da Agenda 2063 da União Africana: A África que Queremos.

Introdução

O continente africano é a segunda maior massa de terra do mundo e abriga uma rica variedade de culturas, bem como políticas e estratégias. O desenvolvimento econômico varia muito entre as 54 nações soberanas da África. No entanto, de forma coletiva, o continente está empenhado em implementar uma visão para a prosperidade: a Agenda 2063 da União Africana.⁴¹ O fio condutor do patrimônio cultural africano é uma orientação para comunidades, inclusão, paz, convívio e parcerias de longo prazo.

Esta seção descreve a situação da engenharia na África e seus contextos e prioridades desafiadoras à luz dos ODS. A África tem uma população jovem e enfrenta uma série de desafios em termos de desigualdade, equidade, prestação de serviços e justiça. São conhecidas as dificuldades relacionadas à oferta de cobertura universal de saúde e educação de qualidade, beneficiamento de recursos naturais e infraestrutura, bem como a reconhecida necessidade de se criar cidades sustentáveis e desenvolver uma resposta holística aos desastres resultantes da crise climática, migração, pandemias e conflitos armados. De fato, soluções apropriadas requerem codesenvolvimento. Como observou o relator especial sobre Pobreza Extrema e Direitos Humanos, Philip Alston, em seu relatório à Assembleia Geral das Nações Unidas, “para reduzir os danos causados por suposições incorretas e escolhas equivocadas de projeto [...] usuários e avaliados de forma participativa” (Alston, 2019).

Questões regionais na África

Questões sociais e desenvolvimento

A necessidade de melhores soluções de engenharia é explicitada no “2020 Africa SDG Index and Dashboards Report”, que fornece uma avaliação da posição dos países africanos no que diz respeito ao ODS e seu avanço em direção às metas, com a abordagem adicional de “não deixar ninguém para trás” (Figura 1). Este relatório inclui também uma análise preliminar do impacto da COVID-19 nos ODS na África, delineando essa crise humanitária e econômica que causou graves impactos imediatos e de longo prazo, particularmente nos objetivos sociais e econômicos. O relatório postula que aproximadamente 60 milhões de africanos podem ser levados para a pobreza e que a insegurança alimentar no continente deve quase dobrar. Estima-se que 110 milhões de crianças e jovens africanos já estão fora da escola, que os frágeis sistemas de saúde estão sendo testados e que as mulheres africanas correm o risco de ser deixadas de fora ainda mais do que antes (SDG Centre for Africa, 2020). Prevê-se também que a lenta atividade econômica e os bloqueios aumentarão o desemprego e a dívida dos países, ao mesmo tempo em que diminuem as remessas, e a assistência ao desenvolvimento e as receitas domésticas criam mais riscos em relação ao financiamento do desenvolvimento e dos ODS. Agora é a hora de criar uma maior autossuficiência na África e de os países africanos inovarem por meio de soluções de engenharia sustentáveis, assim como da aplicação de habilidades locais e seus abundantes recursos naturais.

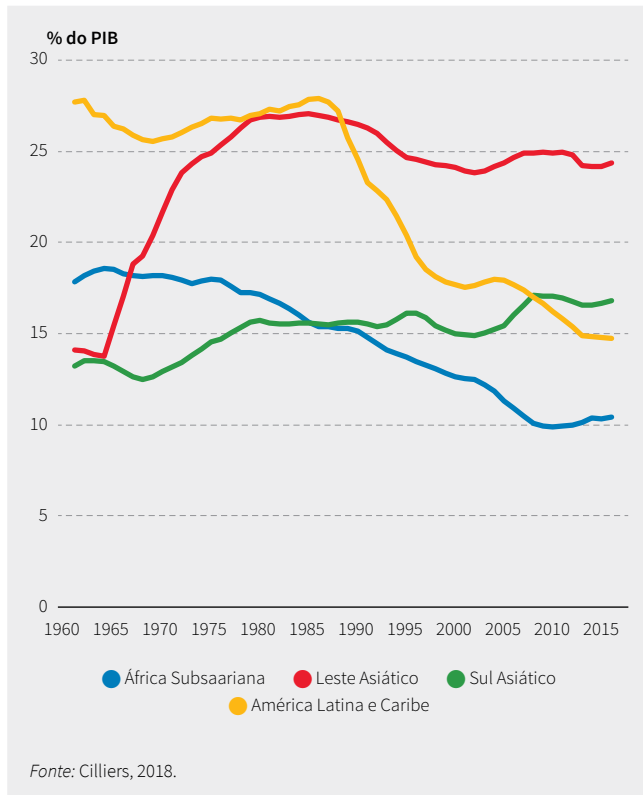
41 Para mais informações sobre a Agenda Africana 2063: <https://au.int/en/agenda2063/overview>

Figura 1. Os desafios de não deixar ninguém para trás especificamente na África



Fonte: United Nations, 2019.

Figura 2. Manufatura como porcentagem do PIB por regiões mundiais selecionadas



A lista dos desafios enfrentados pela África inclui: urbanização, emprego, segurança alimentar, hídrica e energética, degradação ambiental, alterações climáticas, catástrofes naturais e pobreza. A engenharia pode ajudar a região a enfrentar tais desafios.

Embora exista uma grande lacuna dentro e entre os países africanos, estudos e relatórios mostram que os níveis de renda na África Subsaariana são substancialmente mais baixos do que os de muitos outros países do mundo. As economias formais africanas dependem principalmente das indústrias extrativas, enquanto grandes setores da população dependem da agricultura em ambientes informais. A África também depende muito das importações de maquinário, e sua participação no setor de manufatura como proporção do PIB é muito menor do que a do resto do mundo (Figura 2).

Dada a forte relação que existe entre engenharia, graduados em ciências e crescimento econômico, vários países africanos consideram as áreas de STEM fundamentais para o desenvolvimento. As capacidades em si e as capacidades de engenharia e das TIC são um componente essencial da narrativa da Quarta Revolução Industrial, tendo a automação, a IA, a internet industrial e *big data* como motores da economia.

Atualmente, fora das megalópoles, essa revolução é incipiente na maioria dos países africanos. Em particular nas áreas rurais, onde reside a maioria das pessoas, a Segunda (energia elétrica) e a Terceira Revolução (eletrônica) ainda não se ocorreram (Naudé, 2017). Enquanto isso, os fundamentos da Quarta Revolução, como as plataformas digitais – em torno das quais giram os campos digitais – parecem estar ausentes no continente africano (Ministry of Foreign Affairs, 2018; Rodrik, 2018). Segundo a UNCTAD (2019), dois países, China e Estados Unidos, representam cerca de 90% das 70 principais plataformas digitais. Somadas, a África e a América Latina representam apenas 1%. Como resultado de um passado conturbado, a maioria das informações transmitidas de um local para outro na África passa pela Europa (Gueye; Mbaye, 2018).

A eletricidade faz parte da infraestrutura moderna, juntamente com a existência de edifícios de boa qualidade e água potável. No entanto, em muitas partes da África, a eletricidade não está prontamente disponível. Ao colocar em perspectiva o fornecimento e o uso de eletricidade na África, o Africa Progress Panel⁴² observou que “é chocante que o consumo de eletricidade na África Subsaariana seja menor do que o da Espanha e, nas tendências atuais, todos os africanos terão acesso à eletricidade apenas em 2080” (Africa Progress Panel, 2015, p. 11). Na maior parte da África, o fornecimento de eletricidade está abaixo da demanda. Nas áreas rurais da África Subsaariana, o fornecimento de eletricidade muitas vezes não existe ou é irregular, com frequentes cortes de energia (Mudenda *et al.*, 2014).

É claro que os países africanos têm inúmeras universidades em ambientes públicos e privados, muitas das quais produzem excelente P&D. No entanto, os africanos estão atrás em termos de conceituação de tecnologias globais, como é evidente em eventos 5G (Van Stam, 2016). Práticas internacionais estabelecidas falam sobre a África, em vez de com a África, com vozes africanas raramente presentes nas discussões. Em um esforço para abandonar as práticas coloniais herdadas e focar as necessidades e as soluções locais, os currículos e P&D estão se voltando para uma relevância integrativa e dinâmica para as comunidades locais e nacionais (Bigirimana, 2017). Por exemplo, os princípios subjacentes à pesquisa na Kampala International University, em Uganda, giram em torno da “colaboração dentro do contexto”, reforçando sua liderança na Rede de Dados de Surtos de Vírus (Vodan) de vários países, para gerenciar dados da pandemia da COVID-19 na África conforme os preceitos da soberania de dados. No entanto, esforços relevantes são prejudicados por uma dependência excessiva de especialistas e financiamento vindos de fora do continente.

Degradação ambiental

Nas últimas décadas, os países africanos sofreram com vários problemas, incluindo alto crescimento populacional, múltiplos conflitos armados, desastres naturais, doenças epidêmicas e instabilidade política.

Esses problemas deixaram sua marca no ambiente natural do continente. Além disso, outras ameaças, como a mudança climática, a urbanização muitas vezes descontrolada, o desmatamento, a poluição (da atmosfera, da água ou do solo) e os conflitos de posse da terra, contribuem para a degradação do meio ambiente do continente. Diante dessa situação, os países africanos devem implementar iniciativas para erradicar algumas das causas dessa deterioração ecológica. O desenvolvimento da ciência e da engenharia ambiental deve permitir que a África crie um capital humano capaz de fornecer conhecimento sobre as leis da natureza, propor estratégias de intervenção e desenvolver tecnologias verdes que possam ser usadas no continente.

Alterações climáticas e riscos naturais

As alterações climáticas e as catástrofes naturais têm impactos profundos nos setores e nas sociedades de desenvolvimento na África. De fato, a mudança climática e a intensificação hidroclimática a ela associada, por exemplo, afetam todos os componentes do ciclo hidrológico, em todas as dimensões relevantes para a atividade humana.

Nas últimas décadas, a África – em particular a África Ocidental – experimentou alguns dos eventos climáticos mais extremos do mundo, o que desafia a implementação de diferentes estruturas para a redução de riscos de desastres (*Hyogo and Sendai Frameworks*) e a realização dos ODS. Esses eventos extremos criam desafios específicos em contextos urbanos, onde é essencial haver um melhor acesso a informações confiáveis e relevantes para apoiar o planejamento eficaz para preparação, resposta, mitigação e adaptação. Melhores habilidades de previsão e previsão de longo e curto prazo podem permitir melhor uma preparação aos riscos relacionados ao clima. Além disso, as novas condições climáticas, hidrológicas, ambientais e sociais experimentadas nas últimas décadas por diferentes regiões da África não são levadas em consideração no desenvolvimento de ferramentas de projetos, que levam ao sub e ao superdimensionamento das infraestruturas hidráulicas, o que resulta na geração de novos custos, materiais e danos humanos durante os eventos climáticos extremos. Para enfrentar esse desafio, os engenheiros devem desenvolver ferramentas de projeto adequadas, que considerem os fortes sinais observados e projetados para as previsões climáticas, bem como grandes mudanças nas condições e no uso da terra.

Segurança hídrica, alimentar e energética

A África enfrenta muitos desafios que prejudicam seriamente o seu desenvolvimento socioeconômico, entre os quais estão as questões de segurança alimentar, hídrica e energética. Com uma população estimada em mais de 2 bilhões de habitantes até 2050, ou quase 25% da população mundial, a África precisará desenvolver políticas fortes e iniciativas inovadoras para garantir o bem-estar de sua população em um ambiente cada vez mais hostil, marcado pelo risco climático e pela insegurança regional. O continente também deve tirar o máximo de proveito do seu dividendo demográfico, por meio do desenvolvimento de seu capital humano e da educação de qualidade. Uma população cada vez mais jovem (mais de 60% dos jovens têm menos de 25 anos), que é recebe bom ensino e é treinada, está mais apta a estimular uma nova dinâmica de desenvolvimento e acelerar o crescimento econômico.

A acentuada insegurança alimentar e energética na África exige, em particular, a construção de obras e instalações hidráulicas que respeitem os padrões hidrológicos adequados de projeto. Para enfrentar o desafio da segurança alimentar no continente, também será necessário apostar no empreendedorismo agrícola dos jovens africanos.

42 Para mais informações sobre o trabalho do Africa Progress Panel: <https://africaprogressgroup.org>

Assim, o desenvolvimento de campos de treinamento e pesquisa em ciências e tecnologias de engenharia hídrica, agricultura, energia e meio ambiente fornecerá à África engenheiros e gerentes altamente competentes para enfrentar os desafios nesses setores estratégicos do desenvolvimento.

Ambiente da engenharia na África

Tendências tecnológicas de engenharia

Projetar uma África melhor requer um novo paradigma, que se concentre na capacitação e na mobilização das partes interessadas para criar estratégias a fim de alcançar os ODS. A Federação da Organização Africana de Engenharia (FAEO), por meio do seu acordo com o Departamento de Recursos Humanos, Ciência e Tecnologia da Comissão da União Africana (UA), prevê a implementação de soluções de engenharia na Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da UA para África 2024 (Stisa-2024), ao usar a engenharia como trampolim para a infraestrutura certa, inovações tecnológicas e soluções com a finalidade de obter a “África que queremos”, conforme consagrado na Agenda 2063 da UA (Manuhwa, 2020).

O alinhamento com as tendências globais, que incluem *big data*, IA, progresso nas comunicações e energia, robótica e manufatura aditiva, bem como a necessidade urgente de desenvolver infraestruturas básicas, coloca uma pressão significativa na capacidade e nas soluções criativas da África. No entanto, existe uma série de tecnologias e práticas que são especialmente adequadas aos contextos africanos.

Exemplos disso incluem a exploração do espectro dinâmico (ICASA, 2020) e a utilização de espaços em branco de TV (Johnson; Mikeka, 2016). Há muitos exemplos de comunidades envolvidas na gestão de redes na África (APC, 2018). Essa abordagem requer a constante qualificação e requalificação de pessoas na área de engenharia local e global, para servirem suas comunidades e se beneficiarem de novas oportunidades globais. Além disso, as TIC têm o potencial de contribuir para as economias africanas e são essenciais para o desenvolvimento de capacidades, em especial com o uso de instalações *online*.

O uso de fontes de energia renováveis e alternativas também está aumentando na África. O continente apresenta uma abundância de energia de radiação solar, hídrica e eólica, e há um foco na interconectividade, como pode ser visto na concentração da energia elétrica em várias partes da região.

O uso e a integração de serviços financeiros digitais mostram que a África pode ultrapassar as indústrias. Um exemplo disso é a montagem local de carros, televisores ou celulares com ferramentas de gestão de última geração. Dada a abundância de recursos naturais e de mão de obra, é provável que a África tenha um foco crescente no beneficiamento. Os exercícios de planejamento de cenários associados indicam o potencial de crescimento do PIB africano, que resultará em empregos e na redução da pobreza (Quadro 1). A industrialização requer apoio, por meio de políticas governamentais justas, TIC apropriadas, manufatura local, energia disponível

e transporte. Essa mudança exige capacidades de engenharia e ciência suficientes, bem como transformação contínua.

Quadro 1. Comparação das taxas de crescimento do PIB no cenário

Região	Trajetória atual média até 2040	Produzido na África média até 2040
África	4,8%	6,5%
África de baixa renda	7,2%	8,9%
África de baixa e média renda	4,7%	6,4%
África de média e alta renda	3,8%	5,3%

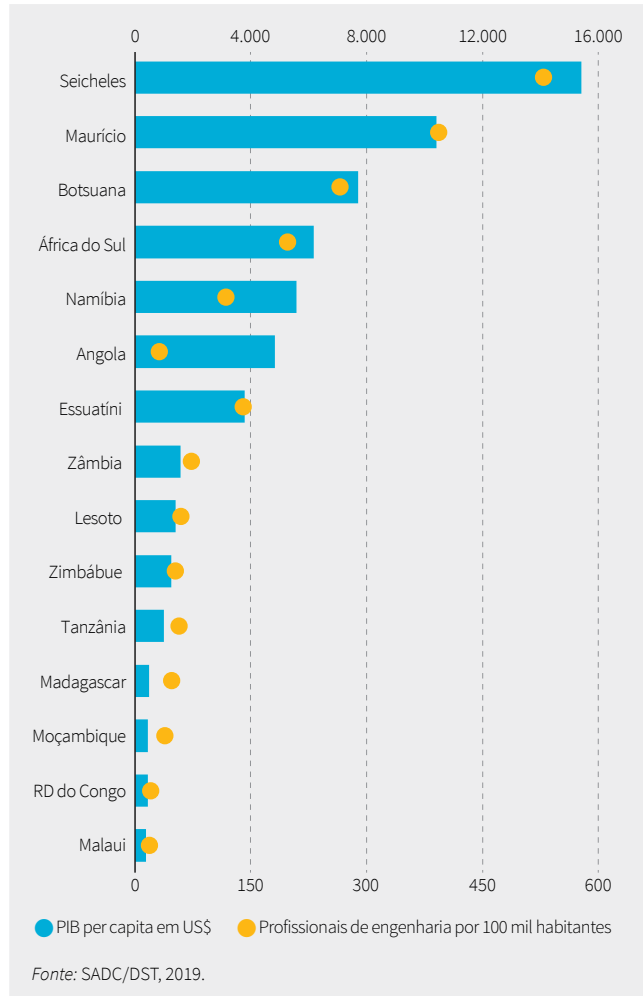
Fonte: Cilliers, 2018.

A transformação contínua das capacidades da engenharia inclui a elaboração e o alinhamento da educação com as necessidades locais e profissionais, a mobilidade e os marcos regulamentares nacionais e internacionais adequados. As necessidades locais e as tendências globais deram origem a novas expectativas, com as quais os graduados devem estar familiarizados e que se alinham de forma contextual com a área de P&D, bem como com competências profissionais reconhecidas internacionalmente. Os engenheiros desempenham um papel essencial na preparação da sociedade em geral, bem como de outras profissões, capacitando-os a se adaptarem a um mundo do trabalho diversificado, por meio da integração das necessidades locais e nacionais com os avanços tecnológicos da sociedade global.

Na África, a compreensão e o alinhamento dos padrões educacionais de engenharia, sua adequação às demandas locais e nacionais e a qualidade dos graduados na área quanto a padrões internacionais continuam sendo questões em aberto. Atualmente, apenas um país, a África do Sul, é signatário da International Engineering Alliance (IEA) para acordos educacionais e de mobilidade. Essa situação é agravada pelo número relativamente baixo de licenciados em engenharia, muito abaixo da taxa *per capita* fora da África. Pesquisas recentes destacaram “a falta de dados desagregados para engenharia em todo o mundo, nem mesmo uma divisão ocupacional para a engenharia como um todo em muitos casos, muito menos em toda a variedade de disciplinas” (RAEng, 2016). Isso é mais acentuado na África e, sem os dados necessários para se entender como os países africanos estão “bem abastecidos” com engenheiros de qualidade suficiente, é difícil garantir que esteja surgindo um número suficiente de profissionais qualificados para atender ao inevitável crescimento da demanda à medida que as economias se desenvolvem, amadurecem e buscam novas formas de alcançar o crescimento econômico – como foi observado no mesmo estudo realizado em 2016 pela Royal Academy of Engineering (RAEng). O Departamento de Ciência e Tecnologia da África do Sul encomendou um estudo sobre os números e as necessidades, em nome da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC) para seus Estados-membros.

A Figura 3 mostra o número de engenheiros na população total e o PIB *per capita* de países africanos selecionados. Embora a correlação pareça sugerir que são necessários mais engenheiros para aumentar o PIB, o inverso é verdadeiro: é necessário um maior investimento na atividade de engenharia para fazer crescer as economias e permitir que mais engenheiros encontrem empregos em indústrias e serviços relevantes.

Figura 3. PIB *per capita* 2016 vs. profissionais de engenharia por 100 mil habitantes



A Semana de Engenharia da África da UNESCO

Em 2014, a WFEO, juntamente com a Federação da Organização Africana de Engenharia (FAEO), associou-se à UNESCO para lançar a Semana de Engenharia da África, uma plataforma para o continente disseminar informações sobre a importância da engenharia aos decisores políticos, à sociedade e aos engenheiros. Essa plataforma deu origem à Conferência de Engenharia da África, que foi criada

para discutir tópicos relevantes da área de engenharia e chegar a acordos de soluções conjuntas. A primeira Semana de Engenharia foi realizada em Joanesburgo, na África do Sul, em 2014; a segunda no Zimbábue, em 2015; a terceira na Nigéria, em 2016; a quarta em Ruanda, em 2017; a quinta no Quênia, em 2018; e a sexta em Livingstone, Zâmbia, em 2019. A Semana de Engenharia da África da UNESCO foi um grande sucesso, reunindo governos, instituições profissionais de engenharia, órgãos educacionais, partes interessadas internacionais e sociedade civil. Ela não apenas inspirou os estudantes a seguirem carreiras de engenharia, mas também se concentrou em promover a área entre meninas e mulheres jovens e ajudou a compartilhar soluções de engenharia e conscientização entre profissionais, a sociedade, formuladores de políticas e organizações internacionais. A semana também aumentou a visibilidade da FAEO, da UNESCO e da WFEO, proporcionando um ambiente no qual seus trabalhos e suas atividades podem ser promovidos em todo o continente africano.

Os governos da África aceleraram narrativas de autorrealização e soberania, especialmente considerando as realidades geopolíticas e a crescente contestação das tecnologias. Por meio de várias iniciativas, os países implementaram políticas holísticas, marcos regulatórios, estratégias de colaboração e arranjos institucionais para o envolvimento da comunidade, o aprimoramento da força de trabalho e a transferência de tecnologias, principalmente nas áreas de engenharia. Esta é vista como um meio para aumentar o crescimento econômico, a cooperação e as parcerias regionais e internacionais, bem como para criar sinergias visando à integração política no continente.

Equilíbrio na sociedade, unidade, parcerias e integração

Jovens com idade entre 15 e 29 anos representam aproximadamente 28% da população do continente africano, uma grande proporção dos quais está desempregada, com 40% da população africana abaixo dos 15 anos. Segundo o presidente da FAEO, Martin Manuhwa, “a engenharia é um ingrediente fundamental para o desenvolvimento econômico; portanto, precisamos priorizar e incentivar os jovens no campo da ciência, para que eles tenham as ferramentas para ajudar seus países a se desenvolverem” (RAEng, 2016). Atrair os jovens para carreiras de engenharia e fornecer-lhes apoio é determinante para resolver os desafios locais e contextuais relacionados à infraestrutura. Isso também abrirá caminho para a sustentabilidade no que diz respeito a projeto, implementação e manutenção locais. Além disso, essa abordagem oferece caminhos para incorporar a *liderança de pensamento*⁴³ sobre soluções africanas. Por fim, como em outros continentes, atrair mulheres para a profissão continua sendo um desafio, e exigirá ações positivas, na forma de políticas, para incentivar as mulheres jovens a escolherem a engenharia como carreira.

As barreiras interculturais e linguísticas ainda restringem as parcerias intercontinentais na África. Entretanto, estão em andamento várias iniciativas para melhorar as relações e as conexões entre os países. O potencial para projetos de cooperação Sul-Sul, dentro e entre

43 Van Stam (2016) define “liderança de pensamento” como o “conteúdo que é reconhecido por outros como inovador, abrangendo tendências e tópicos que influenciam uma indústria”.

os continentes, também oferece oportunidades interessantes, especialmente devido às semelhanças históricas, aos alinhamentos culturais e epistemológicos (por exemplo, Ubuntu e Buen Vivir) e às características geográficas e ecológicas do Hemisfério Sul que devem ser exploradas, especialmente no contexto da crise climática. O ensino e a prática da engenharia podem se beneficiar de várias maneiras de conhecer e desenvolver competências interculturais para fornecer aos engenheiros, para que sirvam suas comunidades em um mundo interconectado.

Avanços da engenharia e soluções para questões regionais

Os desafios enfrentados pela África apresentam inúmeras oportunidades, especialmente nas áreas de engenharia, pesquisa e inovação. Para aproveitar essas oportunidades e contribuir para a resolução desses desafios, os países africanos devem iniciar reformas sistêmicas para melhorar a qualidade da educação em todos os níveis e profissionalizar seus sistemas educacionais para instruir e formar os jovens, em especial nas áreas de ciência, tecnologia e engenharia. Portanto, para que a África realize o objetivo da transformação econômica, será imperativo que os países invistam estrategicamente na educação e na formação da juventude. Para que isso ocorra, deve ser ativada a sinergia africana, para promover uma maior integração regional e para fazer avançar a ciência e a tecnologia no continente.

Em um artigo publicado no “Le Monde”, a escritora Myriam Dubertrand observou que “a África Subsaariana precisa de mais engenheiros” e que, para a África francófona realizar todo o seu potencial, o continente deve desenvolver parcerias, redes de pesquisadores e estudantes, bem como o estabelecimento de colaboração e coconstrução com faculdades de engenharia mais bem estabelecidas em outros continentes, como a cooperação com a prestigiosa Conférence des Grandes Écoles (CGE)⁴⁴. A autora também observou que, embora sete estabelecimentos sejam africanos, apenas um está sediado na África Subsaariana: o International Institute of Water and Environmental Engineering (2iE), em Uagadugu, Burkina Faso (Dubertrand, 2016).

Conclusão

A engenharia é a chave para alcançar os ODS na África. Um ensino de qualidade na área de engenharia e melhores padrões criarão bons empregos e crescimento econômico, levando à “África que queremos”. Os desafios na África Subsaariana são comuns aos países francófonos, lusófonos e anglófonos. Eles incluem acesso reduzido a energia acessível, baixa industrialização, falta de padronização, infraestrutura inadequada (especialmente transporte), baixa produtividade, bem como problemas de saúde e bem-estar, todos os quais exigem soluções de engenharia. No entanto, agora há evidências de práticas locais de engenharia e capacitação

sendo implementadas, e modo a oferecer soluções com o uso de tecnologias modernas, como indústria 4.0 e outras tecnologias disruptivas, como foi visto durante as intervenções da COVID-19 por instituições profissionais e universidades locais (FAEO, 2020).

Recomendações

1. A integração da engenharia local, nacional e continental é essencial para a concepção, a construção e a manutenção de soluções sustentáveis, para os desafios africanos e globais. Comunidades, partes interessadas e governos envolvidos são a base para garantir a capacidade e a orientação adequadas no ensino e nas empresas.
2. O aprimoramento da capacidade de engenharia na África requer foco nos desafios locais, nacionais, regionais e continentais, bem como profissionais inseridos no patrimônio cultural do continente.
3. A expansão da capacidade de engenharia é uma prioridade para o continente e requer políticas, marcos regulatórios nacionais e internacionais, e organizações profissionais de engenharia, nacionais e regionais, que se concentrem em benefícios de longo prazo para o progresso e o bem-estar da África.
4. A liderança africana e o envolvimento no desenvolvimento tecnológico internacional (por exemplo, 6G) devem ser aproveitados e apoiados.
5. A FAEO deve ser apoiada em seu papel de unificar a profissão e apoiar a capacitação e a regulamentação da engenharia em todo o continente.
6. A P&D voltada para o desenvolvimento de políticas na África é necessária para fornecer as evidências necessárias, a fim de que os governos atribuam uma base legal e recursos adequados, alinhando a certificação com os padrões continentais e mundiais, por exemplo, e para sustentar a mobilidade de engenheiros em todo o continente.
7. Sem negligenciar a diversidade cultural e as histórias de cada país, há grandes benefícios em programas que incentivam diversas relações de trabalho (nacionalidades, gêneros e subdisciplinas) e que têm como objetivo desenvolver competências interculturais entre os africanos, em especial no apoio a projetos transnacionais na profissão de engenharia.
8. Os países africanos devem tomar medidas urgentes para aumentar o número de engenheiros de acordo com as necessidades do continente e suprir a lacuna de gênero na área.
9. Os países devem investir mais em engenharia e atualizar/melhorar a capacidade de suas instituições de treinamento na área.

44 Trata-se de uma associação francesa de prestígio, que reúne instituições de ensino superior e pesquisa.

Referências

- AFRICA PROGRESS PANEL. *Power people planet: seizing Africa's energy and climate opportunities; Africa progress report 2015*. 2015. Disponível em: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/APP_REPORT_2015_FINAL_low1.pdf.
- ALSTON, P. *Report of the Special Rapporteur on extreme poverty and human rights*. United Nations General Assembly, 74th session. New York, 2019. Disponível em: <https://undocs.org/A/74/493>.
- APC – Association for Progressive Communications. *Global Information Society Watch 2018: community networks*. Johannesburg, South Africa: Association for Progressive Communications and International Development Research Centre (IDRC), 2018. Disponível em: <https://www.apc.org/en/pubs/global-information-society-watch-2018-community-networks>.
- BIGIRIMANA, S. S. J. Beyond the thinking and doing dichotomy: integrating individual and institutional rationality. *Kybernetes*, v. 46, n. 2, p. 1597-1610, 2017.
- CILLIERS, J. *Made in Africa: manufacturing and the fourth industrial revolution*. Pretoria, South Africa: Institute for Security Studies, 2018.
- DUBERTRAND, M. L'Afrique subsaharienne en mal d'ingénieurs. *Le Monde*, 27 Oct. 2016. Disponível em: https://www.lemonde.fr/afrique/article/2016/10/27/l-afrique-subsaharienne-en-mal-d-ingenieurs_5021166_3212.html.
- FAEO – Federation of African Engineering Organisations. *Covid 19 pandemic and engineering solutions: Covid 19 special edition*, Sep. 2020. Disponível em: https://faeo.org/wp-content/uploads/2020/11/FAEO-Sept-2020-Newsletter-COVID-19-Special-Edition_Reviewed.pdf.
- GERSZON MAHLER, D. et al. The impact of COVID-19 (Coronavirus) on global poverty: why Sub-Saharan Africa might be the region hardest hit. *World Bank Blogs*, 20 Apr. 2020. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/opendata/impact-covid-19-coronavirus-global-povertywhy-sub-saharan-africa-might-be-region-hardest>.
- ICASA – Independent Communication Authority of South Africa. *Framework to qualify to operate a secondary geo-location spectrum database, 2020*. 2020. Disponível em: www.icasa.org.za/legislationand-regulations/framework-to-qualify-to-operate-a-secondary-geo-location-spectrum-database-2020.
- JOHNSON, D. L.; MIKEKA, C. Bridging Africa's broadband divide. *IEEE Spectrum*, v. 53, n. 9, p. 42-56, 2016.
- MANUHWA, M. *Engineering a post-Covid19 future*. In: IEK INTERNATIONAL CONFERENCE, 27 and IEK WOMEN ENGINEERS SUMMIT, 3, 24-26 Nov. 2020. Proceedings... 2020.
- MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS. *Transition and inclusive development in Sub-Saharan Africa: an analysis of poverty and inequality in the context of transition*; IOB study. The Hague, 2018.
- MUDENDA, C. et al. Power instability in rural Zambia, Case Macha. In: BISSYANDÉ, T. F.; VAN STAM, G. (eds). *e-infrastructure and e-services for developing countries: 5th International Conference, AFRICOMM 2013*, Blantyre, Malawi, 25–27 Nov. 2013; revised selected papers. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-08368-1_30.
- NAUDÉ, W. The fourth industrial revolution in Africa: potential for inclusive growth? *The Broker*, 10 Aug. 2017. Disponível em: www.thebrokeronline.eu/the-fourth-industrialrevolution-in-africa-potential-for-inclusive-growth.
- RAEng – Royal Academy of Engineering. *Engineering and economic growth: a global view; a report by CEBR for the Royal Academy of Engineering*. London, 2016. Disponível em: <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/engineering-and-economic-growth-a-global-view>.
- RODRIG, D. An African growth miracle? *Journal of African Economies*, v. 27, n. 1, p. 10-27, 2018.
- SADC/DST – Department of Science and Technology, South Africa. *Engineering numbers and needs in the SADC region*. 2019. Disponível em: <http://needsandnumbers.co.za/download/full-report/>.
- SDG CENTER FOR AFRICA. *Africa SDG Index and Dashboards Report 2020*. New York: The Sustainable Development Goals Center for Africa and Sustainable Development Solutions Network, 2020.
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. *Digital economy report 2019: value creation and capture: implications for developing countries*. New York, 2019. Disponível em: <https://unctad.org/webflyer/digital-economy-report-2019>.
- UNITED NATIONS. *Data Disaggregation and SDG Indicators: policy priorities and current and future disaggregation plans*. Statistics Commission 50th session, Interagency Expert Group on SDG Indicators (IAEG-SDGs). New York, 2019. Disponível em: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/50th-session/documents/BG-Item3a-Data-Disaggregation-E.pdf>.
- VAN STAM, G. Africa's non-inclusion in defining fifth generation mobile networks. In: BISSYANDE, T. F.; SIE, O. (eds). *E-infrastructure and e-services for developing countries: 8th International Conference, AFRICOMM 2016*. Springer, 2016. p. 14-25. (Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 208).

Zainab Garashi⁴⁵

5.6 ESTADOS ÁRABES



© Zainab Garashi

Engenheira árabe recebendo um prêmio

45 Ex-presidente do Comitê de Jovens Engenheiros/Futuros Líderes da WFEO.

Resumo. Atualmente, os Estados Árabes estão começando a alavancar dados nacionais com marcos políticos abrangentes para realizar mudanças profundas que combinarão o capital humano com as metas de desenvolvimento dos governos. Ao mesmo tempo, eles buscam estimular uma cultura de *startups* sustentáveis, com diversidade e inclusão com foco nas mulheres, além de promover investimentos tendo em vista alternativas energéticas corretas e responsáveis em termos ecológicos. O próximo passo será consolidar o impulso da mudança e possibilitar uma implementação mais ampla nos países que ainda não iniciaram esse processo, ao mesmo tempo em que se fortalece a posição dos países no cenário regional por meio da cooperação intrarregional.

Engenharia, educação e qualidade do ensino

Em seu último “Relatório de desenvolvimento mundial”, o Banco Mundial (World Bank, 2019) explorou como a alavancagem de dados e marcos políticos abrangentes pode ocasionar mudanças profundas para ajudar na realização dos ODS. Essas mudanças incluem o alinhamento dos objetivos de desenvolvimento local e regional com as habilidades em transformação, a natureza da produção e o poder de mercado para aperfeiçoar o capital humano, a resiliência e as infraestruturas em geral. Essa abordagem exige ver além das medidas típicas de melhoria indicativa, como a relação emprego-trabalho da Organização Internacional do Trabalho (ILO, 2018), para avaliações mais robustas e proativas que mapeiam e incentivam os jovens a seguir carreiras e atividades educacionais alinhadas aos programas de desenvolvimento dos governos.

Um desses casos é o estudo realizado pelo Escritório do Vice-Presidente de Planejamento (OVPP) da Universidade do Kuwait, que investigou e previu (nos próximos cinco anos) o equilíbrio na oferta de graduados em engenharia da universidade para atender à demanda do mercado de trabalho de engenharia do país (Khorshid; Alaiwy, 2016). O mercado apresenta lacunas significativas em comparação com os planos estratégicos de desenvolvimento nacional e/ou de crescimento tático, apesar da notável relação emprego-trabalho do Kuwait, de 72,4% (ILO, 2018). O resultado desse estudo – embora com foco no setor de engenharia no Kuwait – encontrou um tema recorrente em outros setores, sugerindo que as altas taxas de ensino e

emprego decorrentes podem não ser suficientes para atender às necessidades de desenvolvimento presentes e futuras do Kuwait e de toda a região.

No entanto, também é preciso enfatizar a necessidade de se passar a oferecer ensino de qualidade, seguido de emprego para aqueles que foram formados, sendo que a abordagem recomendada consiste em alinhar os programas/cursos educacionais aos planos nacionais de desenvolvimento/crescimento desde o início. Atualmente, as estatísticas da OIT de 2018 para os países da Região Árabe mostram que Catar (87%), Emirados Árabes Unidos (81%), Kuwait (72%), Bahrein (72%) e Omã (69%) têm a maior taxa de emprego por trabalho, enquanto Jordânia (33%), Iêmen (34%), Argélia (36%), Síria (38%) e Iraque (39%) têm o nível baixo. Essas estatísticas, embora geralmente sejam apenas indicativas, às vezes não fornecem uma medida confiável dos níveis de alfabetização e da qualidade do ensino; por exemplo: atualmente a Jordânia tem cerca de 98% de taxa de alfabetização, mas uma relação emprego-trabalho de 33%, o que pode ser atribuído ao alto número de graduados em engenharia mas sem o crescimento proporcional nas indústrias.

Embora na maioria das outras nações órgãos como OVPP (Kuwait) e avaliações semelhantes sejam inexistentes ou não estejam em operação, alguns Estados Árabes agora avaliam ativamente essa lacuna potencial, como, por exemplo, a Educação para o Emprego da Jordânia (JEFE), a Fundação para Educação, Ciência e Desenvolvimento Comunitário do Catar e a Comissão de Avaliação de Educação e Treinamento Público da Arábia Saudita.

Incentivar uma cultura de *startups* sustentáveis

O primeiro Seminário Regional Árabe sobre os ODS e a Igualdade de Gênero para Parlaentos do Oriente Médio e Norte da África, organizado em conjunto pela União Interparlamentar Árabe e pela Câmara dos Representantes do Egito, foi realizado em setembro de 2018 na Biblioteca de Alexandria, e contou com representantes parlamentares de 15 países. Os parlamentares exigiram uma ação regional para lidar com as altas taxas de desemprego, especialmente entre mulheres e jovens, devido a fatores que incluem o recente declínio do crescimento econômico regional de 6% (no período 2005–2010) e 3,5% (em 2011–2014). O papel do governo na abordagem dessa tendência deve ser enfatizado. Os governos também devem explorar e apoiar parcerias internas (*startups*, e pequenas e médias empresas – PMEs) e externas (com o setor privado e governos) para buscar soluções mais sustentáveis. Os níveis de alfabetização básica e primária são alavancas estratégicas nesse sentido, enquanto a educação universitária fornece a plataforma de lançamento para a cultura de *startups* e futuras parcerias em âmbito nacional.

A Jordânia é um bom exemplo de Estado árabe com um nível de alfabetização excepcional, tendo atingido cerca de 98% em 2018 e visando 100% até 2020. No entanto, embora a maior parte do orçamento estatal seja dedicada à educação, faltam empregos de pós-graduação na indústria, e a relação emprego-população é muito baixa, de 33%. A situação é semelhante no Kuwait, onde 90% dos cidadãos empregados trabalham em empregos públicos, e apenas 4% trabalham no setor privado e 2% em *startups*.

Fora dos empregos no governo, é preciso ter uma abordagem multifacetada para combater o desemprego e o subemprego nos Estados com baixas taxas de emprego (Argélia, Comores, Egito, Iêmen, Iraque, Líbano, Líbia, Mauritânia, Marrocos, Síria, Somália, Sudão e Tunísia).

Há uma necessidade urgente de incentivar de forma ativa a cultura de *startups* na região, ampliando os currículos educacionais normais para incluir treinamentos/cursos de empreendedorismo, complementados por programas de intercâmbio da indústria, de modo a permitir que os estagiários experimentem os desafios da indústria e forneçam soluções. Essa ação deve ocorrer simultaneamente ao desenvolvimento de políticas governamentais que incentivem o estabelecimento de mais empresas do setor privado (melhorando os fatores de “facilidade de fazer negócios” em toda a região), especialmente com vistas à criação e ao crescimento de PMEs, além de empresas locais e oportunidades de investimento para corporações internacionais.

A integração dos estágios como disciplina obrigatória nos currículos de educação técnica/engenharia envolverá a criação de um ecossistema de inovação e empreendedorismo, no qual as instituições de ensino superior da Região Árabe se transformem em verdadeiros polos/universidades empresariais que promovam e facilitem a criação, a inovação e a transferência de tecnologia para graduados e indústrias. Esse ecossistema funcional proporcionará aos estudantes oportunidades de relacionar o conhecimento teórico com a prática e com a experiência da indústria. Isso, por sua vez, ampliará sua experiência de aprendizagem e os tornará mais bem preparados para o emprego após a graduação, expondo-os também à possibilidade de iniciar seus próprios negócios.

Todos os elementos necessários para englobar o planejamento de negócios, além da experiência técnica, devem ser incluídos nos currículos. Os cursos da área de negócios devem incorporar processos de planejamento e maturação de negócios de ponta a ponta, incluindo a avaliação e o gerenciamento de riscos e oportunidades, e a exposição a nuances corporativas/governamentais, como os requisitos para a criação e a gestão de um negócio, estruturas de suporte disponíveis (políticas, financiamento, incubadoras) para as fases iniciais de desenvolvimento de negócios, ampliação, orientação e assim por diante.

Mulheres na prática de engenharia

A igualdade de gênero (ODS 5) e a boa governança (ODS 16) foram os principais temas discutidos no primeiro Seminário Regional Árabe sobre os ODS. Os participantes se comprometeram a “incluir uma perspectiva de igualdade de gênero em todo o seu trabalho sobre os ODS; revisar os marcos legais para excluir disposições legais discriminatórias contra as mulheres; e usar seu poder de supervisão para responsabilizar os governos pelas estratégias e pelo planejamento dos ODS. Isso ajudará a promover mais igualdade de gênero na educação, no treinamento e no emprego, bem como na liderança econômica e política”.

Embora a quantidade de compromissos e políticas de alto nível que promovem a igualdade de gênero na Região Árabe tenha aumentado significativamente nos últimos anos, as lacunas continuam sendo enormes. Na Arábia Saudita, por exemplo, a maioria das mulheres só pode estudar engenharia no exterior (fora das fronteiras), pois a maioria das universidades públicas e privadas do país não permite que elas se formem em engenharia – apenas a Universidade Effat (em 2006) e a Universidade Rei Abdulaziz (em 2013) permitem essa graduação para mulheres. A Universidade Rei Abdullah de Ciência e Tecnologia (em 2009) passou a aceitar mulheres, mas apenas para programas de pós-graduação em engenharia. Um desdobramento dessa estatística é a participação muito limitada (quase inexistente) de mulheres em empreendimentos das áreas STEM na Arábia Saudita. Atualmente, existem no país 4.846 empresas de consultoria em engenharia, das quais apenas 54 (1,11%) são de propriedade de mulheres.

No Bahrein, as mulheres representaram 30% dos graduados (221 mulheres e 522 homens) em engenharia no ano acadêmico de 2018, o que é amplamente representativo das médias globais. No entanto, tal número não é compatível com a porcentagem de mulheres na prática da engenharia. No Marrocos, a proporção de mulheres para homens é de 3:20 em tecnologia da informação, 3:10 em ciência da computação e 4:10 em educação e qualificações de engenharia. No entanto, uma pesquisa da UNESCO sobre a contribuição do ensino superior para os ODS e o mandato de “não deixar ninguém para trás” concluiu que “atualmente, observou-se no Marrocos que mais da metade dos estudantes em universidades de engenharia são garotas”.

No Kuwait, as mulheres são incentivadas a estudar engenharia e normalmente representam 80% dos graduados na área. Essa estatística também não reflete os cargos de STEM nas indústrias do Kuwait, pois geralmente as mulheres são desencorajadas da prática de engenharia. De acordo com o centro de treinamento e ex-estudantes da Faculdade de Engenharia e Petróleo (COEP) da Universidade do Kuwait, um total de 4.872 engenheiros se formou no ano letivo de 2017-18. Entre estes, foram 3.901 mulheres

formadas na área (80%), mas a maioria se estabeleceu em funções não relacionadas à engenharia em seus locais de trabalho.

À primeira vista, pode parecer que as mulheres são dissuadidas da prática de engenharia apenas por serem mulheres. No entanto, podem existir questões subjacentes que devem ser abordadas para corrigir essa nuance cultural. Um exemplo notável é o caso em que uma grande empresa da região do Golfo que modificou a forma de seus macacões de segurança (roupas obrigatórias no local de trabalho) para se adequar a *designs* culturalmente aceitáveis para as mulheres, o que tornou mais fácil para elas escolherem trabalhar em locais do campo da engenharia e em ambientes mais acolhedores. Essa ação aumentou o número de candidatas aos empregos, com muitas comunidades tradicionais incentivando suas mulheres a trabalhar nesta empresa. Talvez sejam necessárias abordagens mais inovadoras para tratar das nuances culturais na região e assim, de forma otimista, abrir novas perspectivas de oportunidades para as mulheres na prática de STEM, revertendo essa questão demográfica.

Energias alternativas nos Estados Árabes

O sentido de urgência em torno do cumprimento dos ODS foi explícito no evento de assinatura das instalações climáticas dos ODS para a Região Árabe, realizado no Cairo, capital do Egito, em 16 de março de 2019 e organizado por Ahmed Aboul Geit, secretário-geral da Liga dos Estados Árabes, e Mahmoud Abu-Zeid, presidente do Conselho Árabe da Água. Faltando apenas uma década para atingir as metas que sustentam os ODS para 2030, no encontro, os líderes reafirmaram a necessidade de mobilizar maiores níveis de ambição para ajudar os países a acelerarem os resultados para produzir benefícios mútuos em todos os ODS. Programas que facilitam o uso de mais fontes alternativas de energia no lugar de equivalentes intensivos em carbono (por exemplo, combustíveis fósseis) ajudarão a realizar tanto a Meta 13, sobre ação climática, quanto a Meta 7, sobre energia limpa e acessível; dessa forma, permitirão a realização de outras metas, incluindo pobreza e fome zero, e água limpa e saneamento.

O evento mencionado acima é um dos muitos que foram organizados por governos da região do Golfo, para demonstrar seu compromisso com a rápida penetração e utilização de fontes alternativas de energia.

A maioria dos países árabes tomou decisões e estabeleceu metas futuras para atingir metas específicas de penetração da energia alternativa em seus quadros de produção de energia nos próximos anos. Uma visão geral pode ser fornecida pelos dados da União Árabe de Energia Elétrica para a penetração de fontes alternativas de energia em 2013 e 2016 (Arab Union of Electricity, 2015, 2017). O aumento gradual é observado com mais um esforço

necessário em toda o contexto para corresponder às metas estabelecidas pelos países em outras regiões.

Por exemplo, no Kuwait, durante uma conferência das Nações Unidas sobre mudança climática, o emir prometeu que o país irá gerar 15% de sua eletricidade a partir de fontes alternativas de energia até 2030. Os líderes de Dubai fizeram uma promessa semelhante, de gerar 7% do consumo de eletricidade a partir de energias alternativas até 2020, aumentando para 25% até 2030 e 75% até 2050, sublinhado pelo lançamento oficial da iniciativa Cidade Sustentável com Carga Total (*Fully Charged Sustainable City*). Na Arábia Saudita, a Visão 2030 inclui o acréscimo de 9,5 GW de produção de eletricidade a partir de energias alternativas, após um aumento de 16 MW, de 58,462 MW para 74,709 MW (27,79%) entre 2013 e 2016. Da mesma forma, a Jordânia aumentou sua proporção de eletricidade proveniente de energias alternativas, de 3,333 MW para 4,626 MW (38,79% de aumento) entre 2013 e 2016.

Recomendações

1. Os governos devem produzir estudos utilizando dados para prever mudanças no mercado de trabalho e examinar tendências passadas, direções estratégicas e aspirações de crescimento para orientar as escolhas dos estudantes em campos específicos de estudo.
2. As universidades devem desenvolver cursos que promovam mudanças de mentalidade nas gerações mais jovens, de modo a aliviar sua dependência de empregos disponíveis e lhes permitir criar *startups* e oportunidades de emprego para outras pessoas.

Referências

ARAB UNION OF ELECTRICITY. *Statistical Bulletin in the Arab Countries 2014*, n. 23. 2015. Disponível em: www.auptde.org/Publications.aspx?lang=en&CID=36 (em árabe).

ARAB UNION OF ELECTRICITY. *Statistical Bulletin 2016*, n. 25, 2017. Disponível em: www.auptde.org/Publications.aspx?lang=en&CID=36 (em árabe).

ILO – International Labour Organization. *Employment-to-population ratio*. 2018. Disponível em: www.ilo.org/ilostat-files/Documents/description_EPR_EN.pdf.

KHORSHID, E.; ALAIWY, M. H. Education for employment: a career guidance system based on labour market information. *In: INTED2016: INTERNATIONAL TECHNOLOGY, EDUCATION AND DEVELOPMENT CONFERENCE*, 10, 7–9 March, 2016, Valencia, Spain. *INTED2016 Proceedings...*, 2016. Disponível em: <https://library.iated.org/view/KHORSHID2016EDU>.

WORLD BANK. *World development report: the changing nature of work*. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development/World Bank, 2019.

Engenharia para o desenvolvimento sustentável

- Cumprir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

As sociedades interconectadas da atualidade devem encontrar novas maneiras de abordar os desafios do desenvolvimento sustentável de maneira holística e interdisciplinar, utilizando todo o espectro de conhecimento e disciplinas científicas, se quiserem realizar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e cumprir seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. No entanto, para desempenhar plenamente seu papel no atual mundo globalizado, os países devem ter capacidades científicas, tecnológicas e de engenharia para fornecer soluções sustentáveis em áreas como saúde, agricultura, educação, comunicação e desenvolvimento industrial. É por isso que a engenharia é um importante fator que impulsiona o desenvolvimento socioeconômico sustentável e é por isso que os engenheiros exercem uma profissão essencial para atender às necessidades humanas básicas, reduzir a pobreza, promover o desenvolvimento seguro e sustentável, responder a situações de

emergência, reconstruir infraestruturas, reduzir a exclusão do conhecimento e promover a cooperação intercultural. Nesse sentido, a Iniciativa de Engenharia da UNESCO continuará a reforçar suas atividades na área, promovendo o ensino de engenharia nos níveis secundário e superior e destacando os papéis e as realizações de mulheres e jovens nesse campo profissional, para que “ninguém seja deixado para trás”.

Dez anos após a publicação do primeiro “Relatório de engenharia”, à medida que a COVID-19 se espalhava pelo mundo, a pandemia revelou as contribuições multifacetadas da engenharia, seja no *design* de impressão 3D, máscaras faciais, máquinas respiratórias e sistemas inovadores de rastreamento. Este segundo “Relatório de engenharia” fornece uma visão geral do trabalho dos engenheiros, que estão liderando a tarefa de cumprir os compromissos e solucionar os desafios do desenvolvimento sustentável. O Relatório destaca as principais pesquisas,

inovações e visões, em todo o mundo, para o futuro da profissão de engenharia no início da Quarta Revolução Industrial. A UNESCO, com seu mandato exclusivo nas ciências, desempenha um papel decisivo no apoio a seus Estados-membros no avanço da ciência da engenharia, assim como na construção de sociedades do conhecimento que tenham o poder de escolher o futuro que queremos para o planeta e para seus povos.

É neste esforço que o presente Relatório servirá como ponto de referência para governos, organizações de engenharia, instituições de ensino, empresas e indústrias, para promover o intercâmbio e a excelência científica, incentivar o investimento em pesquisa aplicada e no treinamento na área, e promover e catalisar pesquisas, colaborações e redes científicas internacionais, para o desenvolvimento sustentável e para um futuro inclusivo, equitativo e resiliente – e preparado para enfrentar os desafios do nosso mundo em rápida transformação.



unesco

Organização
das Nações Unidas
para a Educação,
a Ciência e a Cultura



MUTUA
CAIXA DE ASSISTÊNCIA DOS PROFISSIONAIS DO CREA



中央编译出版社
Central Compilation & Translation Press

ISBN: 978-65-86603-26-2



9 786586 603262