

## ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: CONTRIBUIÇÃO DAS DISCIPLINAS MATEMÁTICAS NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO

**Resumo:** Este artigo tem por objetivo relacionar como os conteúdos estudados nas disciplinas matemáticas da engenharia podem possibilitar a formação de um engenheiro com habilidades para resolver problemas de energia a partir de um posicionamento sustentável. Para isso, foi realizada uma pesquisa sobre a relevância das disciplinas do ciclo básico – física, química e matemática – para temas que envolvam o conhecimento científico necessário ao engenheiro na atuação de problemas de sustentabilidade energética. Em seguida, apresenta-se um problema de distribuição mais econômica da geração de potência entre os geradores de uma mesma usina como um exemplo de contextualização, para as disciplinas de cálculo diferencial e integral, no ensino de engenharia com foco em uma formação diferenciada. Conclui-se que a capacidade de resolver problemas, tendo como um dos elementos uma visão sustentável, pode começar a ser trabalhada no discente desde o começo do curso contando com o incentivo da instituição e com apoio de professores capacitados que tenham interesse em formar profissionais completos.

**Palavras-chave:** Educação em Engenharia. Energia sustentável. Formação em engenharia.

### 1 INTRODUÇÃO

Notadamente, sabe-se a importância da energia para o desenvolvimento e vivência humana na sociedade durante toda a história da humanidade e, principalmente, nota-se sua essência na sociedade atual, pois grandes conquistas são atreladas a energia e o seu desenvolvimento. Além disso, a energia tem se apresentado como um importante instrumento de intervenção social, principalmente, em relação ao impacto ambiental e a utilização de seus recursos (DIAS, 2004).

No entanto, o mundo vive uma crise energética, devido ao uso inconsciente de energia pelo homem. Dias (2004) defende a valorização do indivíduo, para a construção de valores éticos e cidadãos, tonando, assim, “a educação como agente promotor de mudanças de valores” (DIAS, 2004, p.19).

Dessa forma, o caminho para este objetivo é a formação de indivíduos atentos as demandas sociais, por meio do diálogo entre a comunidade científica e tecnológica, conforme Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (2015). Nações de todo o mundo buscam soluções eficientes para o desenvolvimento, e por meio de conferências e acordos como, por exemplo, a conferência Rio+20 e o acordo Paris, muitos países, e entre eles o Brasil, se comprometeram a buscar métodos e soluções sustentáveis para seu desenvolvimento, em busca de alternativas para o uso racional de energia.

Porém, é preciso mudar também a concepção e a formação dos engenheiros contemporâneos sobre o tema, transformando suas atitudes e pensamentos, preparando-os para este novo desafio, o uso racional de energia. Para tal conquista é necessário trabalhar o profissional de engenharia, desde seu primeiro ano da graduação, moldando sua concepção sobre sustentabilidade e criando no mesmo uma forma de inteligência com proposições resolutivas de uso racional de energia.

Dessa forma, este artigo visa analisar a importância das ciências básicas, e principalmente da matemática, para a formação de um engenheiro para uma engenharia

sustentável com foco em energia, de maneira a formar profissionais conscientes das demandas atuais do uso racional de energia, a fim de que estejam preparados para as situações e desafios que esta crise energética nos impõe. Além disso, defende-se uma formação com aplicações de problemas práticos da área de atuação do formando por meio do tema principal energia que, por possuir diversos casos, conceitos e ramos a serem explorados, contribuirá para a formação de um profissional mais completo e integrado a sua área de atuação.

## 2 SUSTENTABILIDADE NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO

Ao final do século XX a educação em engenharia começou a receber mudanças em sua concepção de formação. As nações começaram a necessitar de uma mudança em sua estrutura econômica e social e o engenheiro formado para atuar no século XXI precisou entender a relação entre a engenharia e o desenvolvimento sustentável a fim de atender a essa nova demanda (LAZZARINI, 2018).

Segundo Staniskis (2016), a educação em engenharia tem como um de seus pilares a geração de respostas para as necessidades da sociedade, tais como indústria, mercado e desenvolvimento social. Essas respostas devem ter como uma das variáveis do problema o impacto na sociedade, meio ambiente e nos recursos. Para isso, as universidades necessitam estar cada vez mais envolvidas no processo de aprendizagem do engenheiro sobre a importância desse tema. Entretanto, essa mudança na formação do engenheiro ainda caminha a passos lentos, segundo Blotnitz et al (2015), atualmente o desenvolvimento sustentável aparece em cursos isolados e muitas vezes eletivos durante o bacharelado em engenharia, o que não permite um trabalho continuado na mudança de atitude do engenheiro, visto que a utilização de princípios de sustentabilidade está também associada a uma mudança cultural (STANISKIS, 2016). Lazzarini (2018) indica que esta mudança é acompanhada do fato de que problemas que envolvem a variável sustentabilidade apresentam em sua característica certa incerteza, complexidade e percepção cultural, que tornam o estudo do tema ainda menos chamativo.

## 3 CIÊNCIAS BÁSICAS

Segundo Armas et al (2017), o estudo das ciências básicas (Física, Química e Matemática) é um caminho para a apresentação de problemas do mundo atual aos graduandos. A fala do professor é importante nesse processo, ao se propor a realizar uma fala para sustentabilidade cria-se uma possibilidade de mudança na visão de futuros engenheiros. Observa-se que nem todo processo em educação é dado de forma direta, por se tratar de uma construção de conhecimento (ARMAS et al, 2017), por isso, é relevante que o assunto apareça de diferentes formas em momentos distintos durante a graduação.

Quanto aos conteúdos estudados de Física, Química e Matemática na graduação de engenharia, ARMAS et al (2017) apresenta um estudo (tabela 1) com os pontos de maior contato entre a sustentabilidade e o ensino de ciências, conteúdos esses que auxiliam no estudo de problemas de sustentabilidade.

Tabela 1: Problemas de sustentabilidade das ciências básicas para engenharia

Objeto ou problema de ensino em engenharia	Problema Físico	Problema Químico	Problema Matemático	Problema ambiental e de sustentabilidade
Energia transformações de energia. Elevação	Sistemas de energia dissidentes. Mecânico, eletromagnética,	Fontes químicas de energia. A combustão. Baterias e	Otimização de sistemas. Modelagem matemática.	Geração de energia. Poluição ambiental. Efeito estufa. Mudança climática. Insustentabilidade social e

da eficiência energética	termodinâmico e nuclear	acumuladores de eletrólito para cádmio e lítio.	Equações diferenciais	econômica dos modelos de energia prevaletentes. A economia ecológica em resposta
Os materiais e suas propriedades. Elevação da sua qualidade. Procure novos materiais.	Propriedades físicas de substâncias e materiais de engenharia. Processos de engenharia com materiais.	Propriedades químicas das substâncias. Processos químicos nos materiais em sua interação com o meio ambiente. Corrosão.	Modelagem matemática Máximo e mínimo. Otimização linear	Natureza como fonte de recursos e sumidouros de resíduos. Poluição do ar, da água e do solo. Problemas ambientais, sociais e econômicos. Método de produção mais limpo, reutilização, reciclagem e redução, em resposta.
Termodinâmica e termo conversão e energética. Eficiência energética e poluição com gases de combustão	Entropia e a segunda lei da termodinâmica	Crescimento da entropia e poluição ambiental.	Modelagem matemática	Poluição ambiental, capacitação das mudanças climáticas, degradação ambiental em países subdesenvolvidos. Energias renováveis como resposta
Radiação e energia nuclear. A segurança tecnológica	A interação da radiação nuclear com a substância. Geração de energia por fissão e fusão nuclear	Aparência de elementos químicos e substâncias radioativas	Modelagem matemática	Contaminação radioativa em caso de acidentes. Limitações dos países pobres para acessar essas tecnologias. Socialização da tecnologia e elevação da segurança tecnológica.
A luz e o som. Iluminação e ruído	O problema óptico de onda óptica e óptica, bem como o acústico	Interação da luz com a substância no nível molecular (fotoquímica)	Modelagem matemática	Poluição luminosa e poluição sonora. A luminosidade da América do Norte, Europa e Japão e a escuridão do mundo do sul, vista do espaço cósmico. Acessibilidade para toda a energia
Energias renováveis	Redução do crescimento entrópico.	A não emissão de substâncias poluentes na geração de energia.	Modelagem matemática	Redução do efeito estufa. Mitigação das mudanças climáticas. Geração de empregos

Fonte: (ARMAS et al, 2017, p.195, tradução dos próprios autores)

A partir do apresentado, verifica-se que nos problemas demonstrados sobre sustentabilidade destaca-se o entendimento de energia, seu uso e disponibilidade a sociedade. Segundo Dias et al (2004) o desenvolvimento humano está ligado, mesmo que de forma indireta, ao uso e disponibilização de energia. Para entender e solucionar problemas desse tipo é necessário conhecimento consciente de quem utiliza (sociedade) bem como de quem atua na manutenção de formas de disponibilização da energia (engenheiros).

Observa-se então, a importância da participação das instituições de ensino para a formação crítica sobre o uso racional de energia e, por outro lado, a participação do conhecimento em matemática para resolver problemas que envolvem modelagem e estudo de sustentabilidade – energia (DIAS et al, 2004).

#### 4 ENERGIA E A FORMAÇÃO MATEMÁTICA DO ENGENHEIRO



Segundo Felgueiras et al (2007) a sustentabilidade pode ser vista como uma variável ampla que pertence a qualquer sistema, desde aparelhos domésticos até sistemas de construção. Apresenta em suas características a necessidade de ser uma variável que deve ser otimizada gerando assim uma maior complexidade para os problemas e, com isso, para o modelamento matemático.

Nesse sentido, salienta-se a necessidade de mudança da postura do professor que atua nas disciplinas matemáticas do curso, discutindo com os alunos a relação entre a modelagem matemática e os conceitos de sustentabilidade e de uso racional de energia.

Acredita-se na importância de serem criados dispositivos e meios que sejam legítimos para o professor e que ao mesmo tempo atendam as demandas de formação desse engenheiro contemporâneo. Nesse sentido, será apresentado a seguir uma das possibilidades de aplicação de uma visão de energia sustentável durante as disciplinas matemática do curso.

#### 4.1 Geração de potência de uma usina entre os geradores

Esta aplicação tem como finalidade demonstrar a distribuição mais econômica da geração de potência de uma usina entre os geradores, ou unidades, dentro de uma mesma usina. Serão utilizados conceitos estudados na disciplina de cálculo diferencial integral e instalações elétricas.

O custo de produtos e serviços é analisado recorrentemente por engenheiros. Dessa forma, a operação de um sistema de potência é importante para retorno do capital investido. Pressões externas nas companhias de energia elétrica pelas taxas determinadas por comitês reguladores e a importância da economia de combustível, objetivam alcançar a máxima eficiência de operação, buscando a melhoria contínua, com o propósito de manter uma razoável relação entre o custo do quilowatt-hora, para o consumidor e o custo da companhia para fornecer um quilowatt-hora, diante do aumento dos preços do óleo, dos serviços, suprimentos e manutenção.

Desse modo, deve ser observada a distribuição mais econômica da geração de potência de uma usina entre os geradores, ou unidades, dentro de uma mesma usina.

Segundo Stevenson (1986) o critério de distribuição de cargas entre duas unidades está relacionado ao fato de que se há aumento de carga em uma unidade isso gera redução na outra e, como consequência existe uma variação no custo. Esse estudo é feito analisando o custo incremental de combustível por unidade (equação 1).

$$\frac{\partial F_n}{\partial P_n} \quad (1)$$

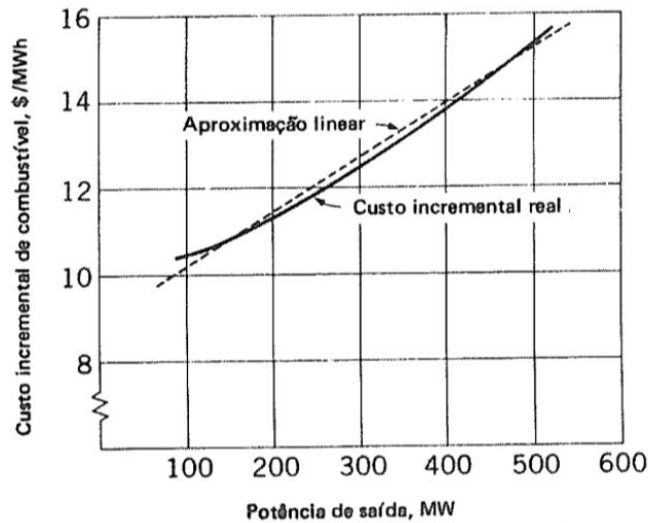
Em que:

$F_n$ = entrada da unidade n (dólares por hora)

$P_n$ = saída da unidade n (megawatt)

Ao analisar o gráfico do custo incremental do combustível observa-se sua em relação a potência de saída (figura 1).

**Figura 1** - Custo incremental de combustível versus a potência de saída.



Fonte: STEVENSON, 1986, p. 245.

A curva de custo marginal (figura 1) pode ser aproximada por uma equação da reta, representada pela linha tracejada no gráfico (figura 1), e que pode ser escrita de forma analítica (equação 2).

$$\frac{\partial F_n}{\partial P_n} = 0,0126P + 8,9 \quad (2)$$

Ao atribuir valores de potência, pode se obter pela equação o custo adicional aproximado por hora (STEVENSON, 1986).

Observa-se que “o critério para uma divisão econômica da carga entre unidades de uma usina é aquele no qual todas as unidades devem operar com o mesmo custo incremental de combustível” (STEVENSON, 1986, p.245). Assim, se a potência de saída da usina for aumentada, o custo incremental também irá, entretanto, permanecerá o mesmo em todas unidades.

De forma análoga, segundo Stevenson (1986), define-se um  $F_t$ , custo total do combustível, e  $P_r$ , potência total recebida pelo barramento da usina e transferida ao sistema de potência, em uma usina com  $K$  unidades em que é realizada análise do custo total em função dos custos das unidades (equação 3).

$$\begin{aligned} F_t &= F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_K = \sum F_n \\ P_r &= P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_k = \sum P_n \end{aligned} \quad (3)$$

Para resolver essa situação problema, pode ser utilizado o método de multiplicadores de Lagrange, para considerar “o efeito das perdas de transmissão na distribuição das cargas entre várias usinas para o alcançar o custo mínimo de combustível para uma determinada carga do sistema de potência” (STEVENSON, 1986, p.246).

O  $\lambda$  (multiplicador de Lagrange) é utilizado para equacionar as taxas de variação do custo de combustível de cada unidade (equação 4 e equação 5), gerando um termo geral que minimiza o custo em dólares por hora.

$$\left(\frac{\partial F_t}{\partial P_1} - \lambda\right) \partial P_1 + \left(\frac{\partial F_t}{\partial P_2} - \lambda\right) \partial P_2 + \dots + \left(\frac{\partial F_t}{\partial P_k} - \lambda\right) \partial P_k = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial P_1} = \lambda, \frac{\partial F_2}{\partial P_2} = \lambda, \dots, \frac{\partial F_k}{\partial P_k} = \lambda \quad (5)$$

Ao utilizar esse método

a economia conferida pela distribuição econômica de carga ao contrário da distribuição arbitrária pode ser determinada integrando a expressão do custo incremental do combustível e comparando os aumentos e decréscimos do custo para as unidades à medida que a carga das unidades se afasta da alocação mais econômica (STEVENSON, 1986, p.249).

#### 4.1 Relação problema e conceitos do cálculo

Ao apresentar essa situação problema, fica notória a utilização de conceitos do cálculo para a resolução de problemas de energia. A curva de custo marginal pôde ser determinada utilizando os conceitos de linearidade e taxa de variação. Esses tópicos são apresentados aos alunos na disciplina de cálculo diferencial e integral I e continuam sendo citados em todos os cursos de cálculo devido ao seu caráter fundamental para a explicação de outras teorias.

A economia gerada pela utilização de um valor referencial, evitando o uso da arbitrariedade, foi realizada pela aplicação da definição de multiplicador de Lagrange. Esse conceito é estudado nas disciplinas de cálculo diferencial e integral I e II.

Observa-se então que problemas desse tipo podem ser apresentados pelo professor de cálculo, mesmo sem o aprofundamento ou resolução completa, a fim de introduzir os discentes de engenharia em problemas que envolvem um uso sustentável da energia.

Nesse sentido, ao estudar temas como este desde o início do curso pode proporcionar a introdução da noção de corresponsabilidade por parte do futuro profissional com respeito ao desenvolvimento social, econômico e ambiental da sociedade, de modo a que a sociedade como um todo alcance patamares mais elevados de qualidade de vida com respeito a esses quesitos (DIAS, 2003, p. 113).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do exposto é possível afirmar que as disciplinas do ciclo básico do curso de engenharia, em especial as disciplinas de matemática, podem ser utilizadas na formação de um engenheiro sustentável, que consiga resolver problemas gerando um uso consciente da energia e do meio ambiente de forma aplicada em sua rotina profissional.

Mediante as informações apresentadas, fica proposto que os requisitos do mercado de trabalho na área de engenharia para as próximas décadas estão cada vez mais voltados para profissionais que se atentem a desenvolver atividades que levem em consideração um pensamento sustentável. Esses requisitos devem ser desenvolvidos nas instituições de ensino superior. No entanto, talvez a maior resistência encontrada para essa tarefa seja o professor que já está habituado a realizar suas aulas de maneira automática, ou seja, que não está aberto a inovação. Da mesma maneira, existem alunos que não mudam sua mentalidade durante o curso, permanecem na inércia de que um bom engenheiro apenas resolve problemas independente dos meios. É necessária uma mudança mútua de comportamento para que, em um futuro próximo, seja possível que a educação e a sustentabilidade andem lado a lado nas universidades.

Portanto, para atingir os objetivos futuros de uma sociedade ambientalmente melhor, é necessário formar engenheiros, de forma a alinhar conteúdos teóricos e conceituais com problemas aplicados a sua área de atuação, por meio de um pensamento resolutivo capaz de propor soluções que permitam a promoção do desenvolvimento sustentável e, para isso, os discentes necessitam iniciar este desenvolvimento desde o início de sua graduação, apoiados pela instituição e suportados por docentes preparados para auxiliá-los nessa diretriz de alta



importância para o mundo contemporâneo. Isto posto, conforme a aplicação apresentada neste artigo, o ensino matemático também pode participar desse desenvolvimento na formação de novos profissionais, rompendo, assim, paradigmas de ser uma disciplina de estudo literal, com pouca aplicação e proposição reflexiva dos desafios enfrentados no ambiente global.

## REFERÊNCIAS

ARMAS, F. O. M.; MONTANO, S. G. C.; MENA, A. N. R. Sostenibilidad, ingeniería y enseñanza de las ciencias básicas. Marco teórico conceptual. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 73, 2017, p. 179 – 202.

BLOTTNITZ, H. V.; CASE, J. M.; FRASER, D. M. Sustainable development at the core of undergraduate engineering curriculum reform: a new introductory course in chemical engineering, **Journal of Cleaner Production**, v. 106, 2015, p. 300-307

DIAS, R. A.; MATTOS, C. R.; BALESTIERI, A. P. **Energy education: breaking up the rational energy use barriers**. Energy Policy, n 32, 2004, p. 1339 – 1347.

DIAS, R. A. **Development of an educational model to the energy conservation**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Guaratinguetá, 2003

FELGUEIRAS, M. C.; ROCHA, J. S.; CAETANO, N. Engineering education towards sustainability. **Energy Procedia: 4th International Conference on Energy and Environment Research**, ICEER, Porto, Portugal, 2017, p.414-417.

LAZZARINI, B., PEREZ-FOGUET, A., BONI, A. Key characteristics of academics promoting sustainable human development within engineering studies. **Journal of Cleaner Production**, 2018.

Os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, 2015 Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/post-2015.html> Acesso em: 02 de abril de 2019.

STANISKIS, J. K.; KATIUTE, E. Complex evaluation of sustainability in engineering education: case & analysis, **Journal of Cleaner Production**, v. 120, 2016, p. 13-20.

STEVENSON, WILLIAM D. **Elementos de análise de sistemas de potência**, 1986, p. 243.

## SUSTAINABLE ENGINEERING: CONTRIBUTION OF MATHEMATICAL DISCIPLINES IN ENGINEER TRAINING

**Abstract:** *This article aims to relate how the contents studied in the basic cycle of engineering can enable the formation of an engineer with skills to solve energy problems from a sustainable vision. For this, a research was carried out on the relevance of the basic disciplines, such as Physics, Chemistry and Mathematics, in relation to topics that involve scientific knowledge necessary to the engineer to solve energetic sustainability problems. Next, a problem of more economical distribution of power generation among the generators of the same plant is presented as an example of contextualization in engineering teaching focusing on a*

*differentiated training. It is concluded that the problem-solving ability with a sustainable vision can begin to be worked on the student since the beginning of the course, counting on the support of the institution and the qualified teachers who have interest in training professionals for the twenty-first century.*

**Key-words:** *Education in Engineering. Sustainable energy. Engineering training.*