

MARCO AURÉLIO CREMASCO

TRANSFERÊNCIA DE MASSA

Equações de transporte e operações unitárias



Blucher

Volume 3

Marco Aurélio Cremasco

TRANSFERÊNCIA DE MASSA

Equações de transporte e operações unitárias

Volume 3

Transferência de massa: equações de transporte e operações unitárias, vol. 3

© 2026 Marco Aurélio Cremasco

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenador editorial Rafael Fulanetti

Coordenadora de produção Ana Cristina Garcia

Produção editorial Luana Negraes e Andressa Lira

Preparação de texto Maurício Katayama

Diagramação Julia Ana Fatel Cruz

Revisão de prova Equipe Microart

Capa Laércio Flenic

Imagem da capa “Água-viva”, fotografia de Solange Bonilha Ribeiro Cremasco

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela
Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Heytor Diniz Teixeira, CRB-8/10570

Cremasco, Marco Aurélio

Transferência de massa : equações de transporte e operações unitárias / Marco Aurélio Cremasco. – São Paulo : Blucher, 2026.

3 v. (552 p. : il.)

Bibliografia

ISBN 978-85-212-2543-0 (Impresso)

ISBN 978-85-212-2542-3 (Eletrônico - Epub)

ISBN 978-85-212-2541-6 (Eletrônico - PDF)

1. Engenharia química. 2. Materiais e suas propriedades. 3. Transferência de massa.
4. Fenômenos de transporte. I. Título.

CDD 66

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia química	CDU 66
2. Materiais e suas propriedades	CDU 66.017

APRESENTAÇÃO

Quanto à beleza? Quiçá apareça nos dias em que, de olhos fechados, estaremos atentos e descobriremos que a maneira mais bela para enlaçar a vida é utilizar laços perfumados de rafia. Vida intensa, tão preciosa. Uns cultivam flores; outros, palavras. Independentemente de paixões, a vida deve ser respeitada e celebrada em toda a sua plenitude. A rapidez do dia a dia não deve ser motivo para perdermos a sensibilidade e sequer a nossa humanidade. O atributo de ser humano transcende a formação profissional e moral do indivíduo para ser um norteador ético. É com essa proposta que oferecemos *Transferência de massa – equações de transporte e operações unitárias*. Um livro de engenharia e destinado à formação das pessoas que trabalham com a matéria, no intuito de transformá-la ou com o processo que envolve tal transformação. Para tanto, o livro divide-se em seis seções, ilustradas na espinha dorsal da Figura 1, cujas definições encontram-se à sua esquerda e os conteúdos, no escopo de transferência de massa, à direita.

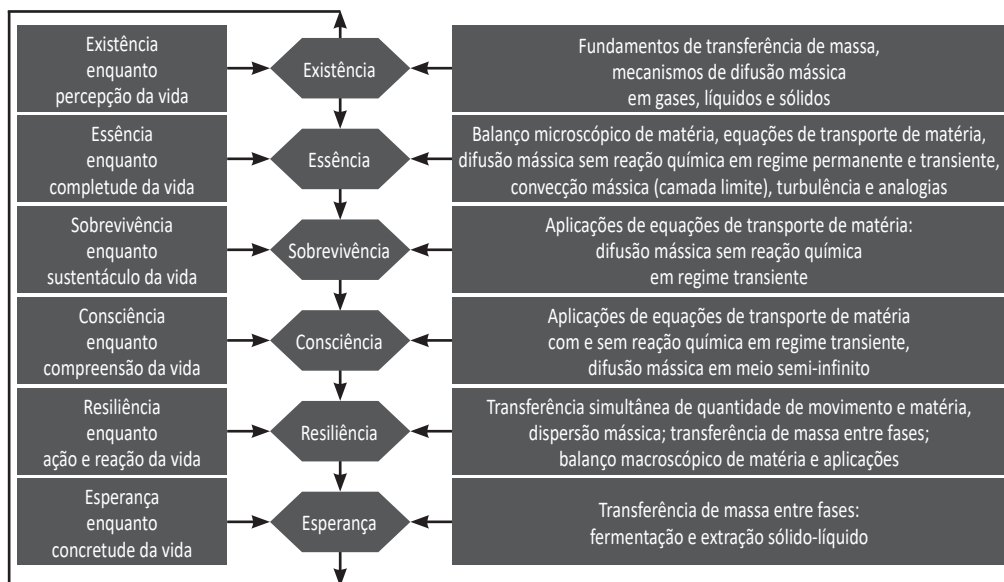


Figura 1 – Estruturação da obra.

Os conteúdos são oferecidos em 23 capítulos, vistos em três campos de estudos. O primeiro, referente à seção “Existência” e coincidente com o Capítulo 1, faz uma breve revisão sobre a fundamentação termodinâmica para a transferência de massa e mecanismos difusivos em diversos estados da matéria. O elemento de estudo na “Existência” é a água, seja como soluto, seja como meio difusivo, destacando-se a necessidade de sua preservação e utilização racional. O segundo campo de estudo inicia-se na seção “Essência” no Capítulo 2, com definições de fluxos e velocidades, tendo no Capítulo 3 a apresentação do balanço microscópico de matéria em um elemento de volume, inserido em meio contínuo, de maneira a fornecer equações de transporte de matéria, empregadas em praticamente toda a obra. A primeira aplicação, oferecida no Capítulo 3, é sobre a difusão de matéria em meio estagnado e sem reação química. A segunda aplicação, presente no Capítulo 4, traz a simultaneidade entre as transferências de matéria e de quantidade de movimento, resultando na abordagem de camada limite mássica, e, com isso, fornece elementos para a convecção mássica e, por extensão, introduz elementos sobre turbulência. Finalizando a seção, tem-se o Capítulo 5, com a aplicação da equação de transporte de matéria em um fenômeno de extração em regime transiente e sem reação química, considerando-se um meio difusivo plano. O elemento de estudo na “Essência” são as fontes vegetais, que possibilitam a geração de extratos na forma de chá e de óleos essenciais e, disso, a relação intrínseca com a natureza. Ainda no escopo de aplicações das equações de transporte de matéria, tem-se a seção “Sobrevivência”, que principia no sexto capítulo e estende-se até o décimo. Tais capítulos mantêm a estrutura do quarto capítulo, ou seja, trata-se de aplicações da equação de transporte de matéria em meio difusivo sem reação química, todavia os avaliando em geometrias esférica e cilíndrica. O elemento de estudo na “Sobrevivência” é o alimento, sendo extraído, seco ou processado. Observa-se, portanto, que, na medida em que se caminha a leitura, a complexidade dos conteúdos aumenta, e isso é verificado com a vinda da seção “Consciência”, nos Capítulos 11 a 13, sendo que no décimo primeiro capítulo se estende o modelo difusivo para o fenômeno de adsorção de metais pesados, presentes em biomassa residuária. No décimo segundo capítulo é vista a aplicação da equação de transporte de matéria em um meio difusivo, em regime transiente, agora com reação química, direcionado ao tratamento de contaminantes de indústrias têxteis. No décimo terceiro capítulo apresenta-se a difusão mássica sem reação química, contudo em um meio difusivo semi-infinito, tendo como soluto de interesse o nióbio. Na seção “Consciência”, o elemento de estudo é a própria conscientização diante de questões ambientais. O terceiro e último campo de estudo são as operações unitárias de transferência de massa, entendendo-as como etapas de determinado processo de transformação de matéria, abrangendo as seções “Resiliência” e “Esperança”. A “Resiliência” abarca do Capítulo 14 ao 22, que se inicia com o estudo da dispersão mássica em um capilar para, em seguida, introduzir transferência de massa em colunas, incluindo balanço microscópico em um elemento de

volume contido no interior do equipamento, permitindo a geração de equação de transporte de matéria para a descrição do fenômeno. Em seguida, apresenta-se a transferência de massa entre fases, essencial aos processos de separação, possibilitando, já nos capítulos finais, o balanço macroscópico de matéria direcionado ao dimensionamento de equipamentos. Nesses capítulos são estudados processos de separação em leitos fixos, sistemas agitados, colunas de borbulhamento, *spray* e recheada, envolvendo operações de adsorção, extração e absorção. O elemento de estudo na “Resiliência” é a proposição ativa de soluções tecnológicas, entre outros, na obtenção de biocombustíveis e no controle da poluição atmosférica. Encerramos a obra com a seção “Esperança”, para celebrar a vida, sendo este o seu elemento central. Nesse sentido, aborda-se no vigésimo terceiro capítulo a obtenção de fármacos imunossuppressores via fermentação e a posterior recuperação destes, presentes em biomassa, por extração por solventes. Ao estruturar a obra em seções (preceitos) e conteúdos, abre-se a possibilidade de tê-la em diversas abordagens dialógicas, tanto no escopo da engenharia química, por exemplo, quanto em outras áreas de conhecimento que se interconectam, conforme apresentadas na Figura 2.

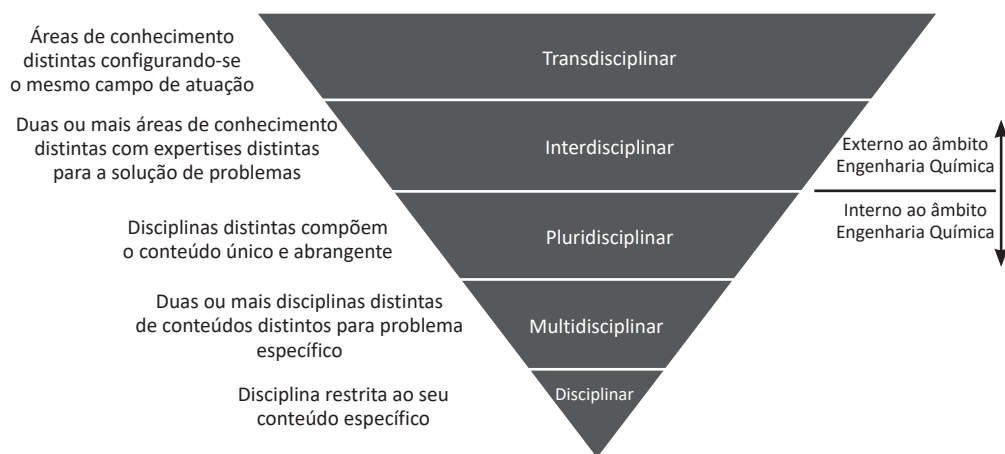


Figura 2 – Abordagens dialógicas para a solução de problemas.

Além da proposta transdisciplinar do livro, observada na Figura 1, em que os enunciados dos problemas principiam com a leitura que não necessariamente está vinculada a uma única disciplina (transferência de massa ou fenômenos de transporte), assim como vai além de determinada área de conhecimento, permitindo a contextualização do problema em si. A partir de então, somos chamados a solucioná-lo no âmbito de nossa área de conhecimento e, para tanto, pode-se ter ou não o auxílio de outras disciplinas no escopo da engenharia química. Tal proposição encontra-se nas obras *Transferência de massa – Difusão mássica em meios convencionais* (volume 1); *Transferência de massa – Difusão mássica em meios não convencionais* (volume 2), escritos em parceria com a professora Alessandra Suzin Bertan,

a quem agradeço as contribuições para a construção do presente livro, que fecha a trilogia sobre transferência de massa. Neste volume 3, continuamos empenhados em apresentar uma obra sólida e comprometida com o aspecto técnico, essencial para a formação profissional, como também um livro voltado para a reflexão sobre a nossa condição humana e social. Aproveito a oportunidade para agradecer aos professores Guilherme José de Castilho e Gustavo Paim Valença, da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), pelas inúmeras trocas na esfera acadêmica, em particular no que se refere ao ensino.

Marco Aurélio Cremasco

CONTEÚDO

APRESENTAÇÃO	7
I. EXISTÊNCIA	
1. ÁGUA É VIDA	17
II. ESSÊNCIA	
2. AMAZÔNIDAS	67
3. MEMÓRIA DE HORTELÃ	85
4. ALMA AGRESTE	107
5. OBTENDO ESSÊNCIAS	135

III. SOBREVIVÊNCIA

6. CHÁ DE HIBISCO	151
7. LA YERBA MÁGICA	169
8. BANANAS?	183
9. PAUSA PARA O CAFÉ	197
10. FOME DE QUÊ?	215

IV. CONSCIÊNCIA

11. A CONSCIÊNCIA SUSTENTÁVEL	229
12. FORA DA MODA?	239
13. O LEGADO DE NÍOBE	255

V. RESILIÊNCIA

14. NÃO DEVEMOS ESQUECER	273
15. NA ESFERA DO CONHECIMENTO	291
16. A DISPERSÃO DO IDEAL	323
17. QUE FASE!	347
18. A DELICADA CONDIÇÃO DE SER	371
19. SEDE DE QUÊ?	391

20. UM GIRASSOL NO OLHAR	413
21. SPRAY	433
22. A LÁGRIMA QUE CORRÓI	467

VI. ESPERANÇA

23. CICLO DA VIDA	501
NOMENCLATURA	533
ÍNDICE REMISSIVO	545

I. EXISTÊNCIA

Existência de quê? De quem? De mim, de você? Daquilo que foi e do que será ou do que simplesmente não é? Cabe a reflexão a respeito da existência sobre o vazio, o qual remete ao nada, que, por sua vez, principia o plasma da Criação? A matéria e a energia, como hoje as concebemos, passam a existir por complexas interações, a formar estrelas, constelações, galáxias, as quais abrigam a pergunta singular. – Existe vida? Existir e viver, ainda que guardem sinonímia, não traduzem a singularidade da abrangência da vida, nas mais diversas vertentes de sua concepção. Basta um questionamento. – O Sol existe, contudo há vida no seu núcleo? Entendemos, pois, a existência enquanto conceito objetivo da ciência da engenharia e de sua própria tecnologia, quando, necessariamente, atrelada à vida. Mantê-la e preservá-la é condição fundamental da existência.

CAPÍTULO 1

Água é vida

A água é generosa; enquanto líquida se molda à forma que lhe é atribuída. Possui várias facetas, desde doce a salgada, sólida ou gasosa. Está em qualquer lugar, na saliva de sua boca, na lágrima que lhe escorre do olhar. A proporção de água no seu corpo é próxima daqueles 70% que cobrem a superfície da Terra. Escrever que água é vida não é cair no lugar-comum, pois se trata de uma condição inequívoca de sobrevivência de tantas formas, a começar com nossa espécie. A humanidade, por sua vez, depara-se diante de um desafio constante, que é o de suprir a sua população com água potável em face do crescimento populacional, mudança climática, contaminação de fontes hídricas e de políticas públicas (Knust *et al.*, 2014). Carecemos de água potável, pois é essencial e central para a sustentação da vida dos organismos que dela dependem. Sob esse aspecto, um dos primeiros passos para assegurar o acesso à água está no uso eficiente, seja pessoal, industrial ou na agricultura, bem como a conservação de seus mananciais (Knust *et al.*, 2014). Visto que 96,5% do volume de água no planeta estão em mares e oceanos, torna-se urgente voltar-se para o mar, pois a dessalinização de suas águas é uma alternativa técnica que deve ser considerada para saciar a sede do planeta e mantê-lo sustentável. A discussão sobre a importância e a necessidade da água transcende qualquer área do conhecimento, pois é um tema transdisciplinar, tendo em vista que rompe fronteiras do conhecimento específico e a sua abordagem torna-se de todos, conforme ilustra a Figura 1.1.

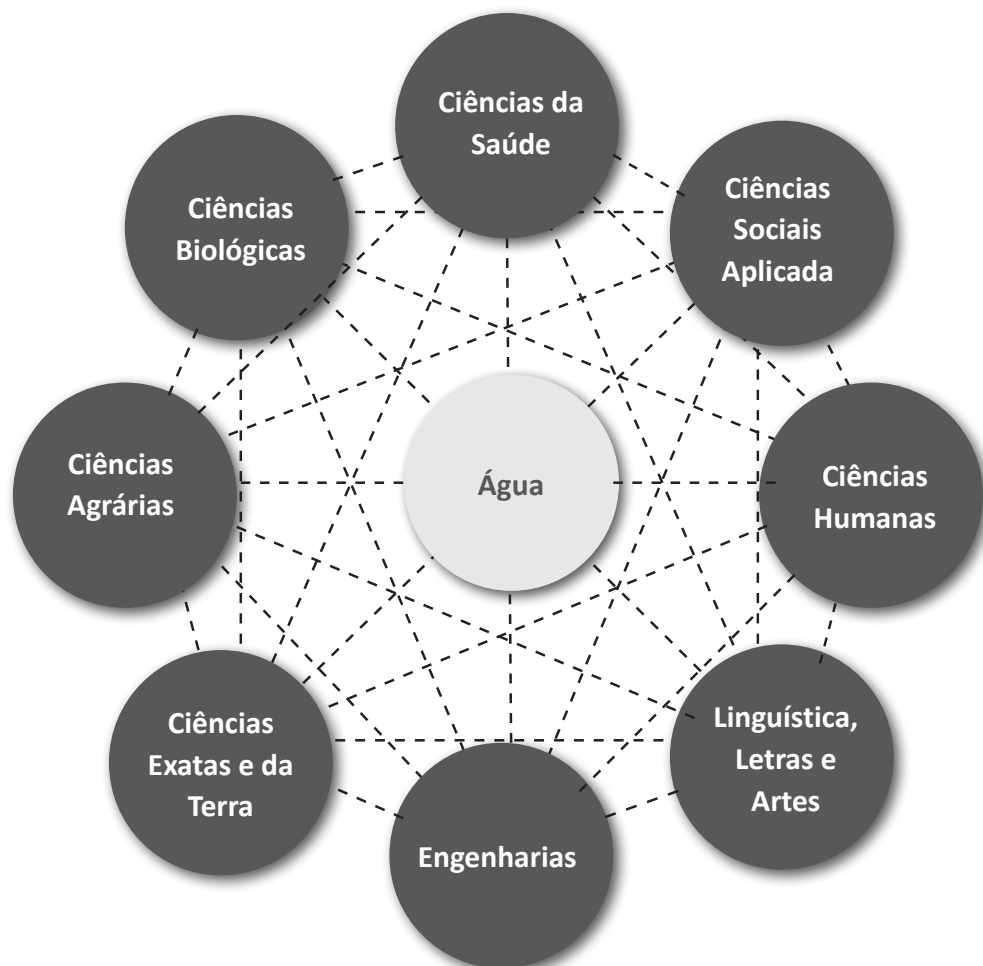


Figura 1.1 – Abordagem transdisciplinar para a discussão sobre recursos hídricos.

Na visão transdisciplinar, um determinado problema deixa de ser exclusivo de uma área de conhecimento para ser compartilhado e a busca de sua solução é contextualizada nos mais diversos campos do saber. A discussão não se limita ao domínio de um único saber, como ilustra o Quadro 1.1, bem como a sua solução. A viabilização de água potável é um problema complexo em que não há solução simples, cabendo a distintas áreas do conhecimento pôr em prática suas *expertises*, dialogando em relação interdisciplinar.

II. ESSÊNCIA

Essência, em concepção aristotélica, está associada a tudo aquilo que caracteriza o que é inerente a determinado ente, seja ele animado ou inanimado. Nessa ótica, a essência precede a existência, sendo esta a efetivação daquela. No âmbito da tecnologia, em particular da engenharia, a essência de certo produto ou processo está presente na sua concepção, ou seja, personificado em projeto, passando a existir ou configurando a sua existência ao ser concretizado. Entretanto, em uma visão sartriana, tal conceito não é extensivo ao ser humano, pois a sua existência não é predeterminada, uma vez que é mutável, atribuindo à pessoa experiências únicas a tornar a vida singular. Mas a existência do indivíduo não se faz isolada, tendo em vista que também é fruto de suas ações e reflexo de outras externas, a ponto de influenciar e ser influenciado pelo meio que o cerca, muito em particular pela natureza. Entender, pois, que a natureza precede o ser humano e que este é uma de suas parcelas, inclusive enquanto manifestação, é integrar-se, em essência, à completude da vida.

CAPÍTULO 2

Amazônidas

Quem viu? Um vulto, estatura de criança, rompe a noite. Assovio dolorido e forte diante do animal abatido, da árvore queimada. Do animal, tomou a alma e da árvore incendiada, os cabelos da cor de fogo e os dentes, dos espinhos. Das pegadas daquele que matou o bicho e queimou a mata, fizeram-se os próprios pés, postos em direção contrária. E quem matou o bicho e queimou a mata perdeu-se no delírio do Curupira, ficando condenado a vagar pela floresta, sem encontrar o caminho de volta, mesmo porque, depois da floresta queimada, rios secos e animais mortos, será tarde: para os seres humanos e aqueles encantados, afetados diretamente pelos crimes ambientais, feito aqueles encontrados no bioma amazônico (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Bioma Amazônico.

Fonte: Biota de Orthoptera do Brasil ([s. d.]).

O bioma amazônico, que corresponde a cerca de 40% do território brasileiro (IBF, 2023), é o ecossistema de maior biodiversidade do planeta (Nonato *et al.*, 2018), sendo constituído, basicamente, por floresta tropical. Influencia diretamente os ciclos biogeoquímicos globais, principalmente o de carbono. Entretanto, no lugar de sumidouro de carbono, a Amazônia, nas últimas três décadas do século XX, caminhou para se tornar emissor de carbono (Arantes, 2023), em consequência, entre outros fatores, da perda de 14% da cobertura de sua florestal original (Pereira; Tonini, 2012). Essa cobertura vegetal, diversificada e exuberante, abriga mais de 14 mil espécies, dentre as quais a andiroba (*Carapa guianensis* Aublet). Além de espalhar-se pela bacia Amazônica, notadamente em várzeas e áreas alagáveis, a *C. guianensis* ocorre nas ilhas do Caribe, sul da América Central e norte da América do Sul, como também no Peru e no Paraguai. A andiroba traz o significado de sabor amargo, em língua nativa, e é conhecida por andirobinha, andiroba branca, andiroba-do-igapó, carapa, jandiroba e penaiba (Ferraz; Camargo; Sampaio, 2002). Trata-se de uma espécie vegetal prezada por ribeirinhos amazônidas (Sousa *et al.*, 2019) devido à utilização de sua madeira na construção de embarcações e residências. Ressalte-se o uso de suas sementes para a extração de óleo vegetal, rico em glicerídeos, tetranortriterpenoides e ácidos graxos (Nonato *et al.*, 2018), empregado na medicina popular como analgésico, antibacteriano, antifúngico, antialérgico, antimalárico, e também se mostra eficaz no tratamento de hematomas, reumatismo e é usado como repelente contra picadas de insetos (Sousa *et al.*, 2019). Estudos apontam o emprego do óleo vegetal de andiroba também na produção de biodiesel (Pereira, 2011). A Tabela 2.1 apresenta uma típica composição, em porcentagem mássica, de ácidos graxos presentes no óleo vegetal de andiroba. Desse modo, considerando-se a existência de uma solução líquida à base de ácidos graxos, cuja concentração mássica é igual a 0,961 g/cm³, que está a 25 °C, pede-se o valor de:

- a) Massa molar da solução de ácidos graxos.
- b) Concentração molar da solução de ácidos graxos.
- c) Fração molar de cada ácido graxo contido na Tabela 2.1.
- d) O valor da velocidade absoluta, referenciada a eixo estacionário, de cada constituinte da solução, assumindo-a igual a

$$v_{i,z} = \frac{D_{iB}}{\sigma_i} \quad (2.1)$$

em que D_{iB} é o coeficiente de difusão do constituinte i na solução de ácidos graxos B, e σ_i o respectivo diâmetro molecular.

- e) Velocidade média mássica da solução referenciada a eixo estacionário.
- f) Fluxo advectivo mássico de cada ácido graxo referenciado a eixo estacionário.
- g) Fluxo difusivo mássico de cada ácido graxo referenciado a eixo estacionário.

CAPÍTULO 3

Memória de hortelã

Dona Lila lia vida, lia morte; só não lia a própria sorte. Dona Lila é uma referência de minha infância. Com o dom divinatório na leitura de cartas, era amiga de mamãe. Pessoa humilde, gente simples de Guaraci, cidade pequena (muito) do interior do Paraná. Morava em casa de madeira, crua e sem pintura, com o marido, duas filhas e dois filhos. José Carlos, um deles, parceiro em jogos de bolinhas de gude. Dona Lila preparava com carinho e esmero o seu melhor café, que não era café, pois o dinheiro lhe rareava, e o café que nos oferecia era à base de chá de hortelã. As folhas da erva eram colhidas junto à cerca vizinha à de dona Laura (e, aqui, outra história que fica no recôndito da lembrança). A hortelã traz imensa memória afetiva, pois nos remete a tantas donas Lilas que, felizmente, povoam a nossa existência. Havia em dona Lila um quê de magia, pois o chá de hortelã apaziguava o pavio da molecada. A hortelã também resgata a memória olfativa, que pode ser retomada enquanto aromatização de ambientes. Uma técnica para tanto é a do difusor de fragrâncias, dentre as quais aquela que se baseia na imersão de varetas e um recipiente contendo óleo essencial (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Aromatização de ambiente por difusor de varetas.

O processo de aromatização dá-se pela imersão de varetas, que apresentam diâmetro D e comprimento L , inseridas a uma profundidade $2a$ em volume de extrato de óleo essencial, contido em certo recipiente. As varetas permanecem nessa situação por determinado tempo t e, findo esse tempo, invertem-se as posições, ou seja, expõe-se a extremidade (de comprimento $2a$) umedecida ao ambiente, deixando-a evaporar, enquanto a extremidade seca é imersa no líquido, repetindo-se a operação de tempo em tempo. Além da fragrância, a *Mentha piperita* L., nome científico para a hortelã-pimenta, apresenta propriedades antifúngicas, antivirais e antibacterianas (Melo *et al.*, 2018), cujo componente majoritário, como pode ser observado por inspeção da Tabela 3.1, é o mentol. O 2-isopropil-5-metilciclo-hexan-1-ol, nome científico do mentol (Figura 3.2), é utilizado na indústria alimentícia, presente, por exemplo, em gomas de mascar; na indústria de cosméticos como ingrediente de xampu; na indústria farmacêutica em xaropes.

Tabela 3.1 – Composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L

Composto	M (g/mol)	% (mássica)
β -pineno	136,24	0,89
limoneno	136,24	1,78
1,8-cineol	154,25	7,38
α -terpinoleno	136,24	0,89
mentona	154,25	25,94
mentofurano	150,22	11,63
mentol	156,26	46,03
isomentol	156,26	0,72
pulegona	153,23	0,71
acetato de metila	74,08	4,03

Fonte: baseada em Scavroni *et al.* (2006).

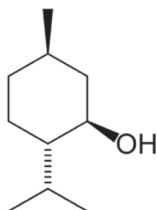


Figura 3.2 – Fórmula estrutural do mentol.

CAPÍTULO 4

Alma agreste

Lançar o olhar e ver arbustos de caules quebradiços, folhas simples, delgadas e brancas, como brancas são as flores e fragrâncias que se dispersam pelos campos semiáridos, nomeando o bioma único e genuinamente brasileiro, a Caatinga (Figura 4.1), ocupando 11% do território nacional e cujo nome deriva do tupi: *ka'a* (mato, arbusto, erva) e *tinga* (branco).



Figura 4.1 – Bioma Caatinga.

Fonte: Biota de Orthoptera do Brasil ([s. d.]).

O nome do bioma, Caatinga, é identificado com a essência de sua vegetação e, de certo modo, pode ser traduzido por meio de uma das espécies que mais o caracteriza, o gênero *Lippia*, em particular a *Lippia gracilis*; enquanto *Lippia* é referência ao naturalista francês Augustin Lippi ou Linnaeus (1678-170), o *gracilis* é graças ao termo em latim para delgado (provavelmente devido às folhas). *L. gracilis* também é denominada *Lippia grata*, “de graça” no latim. Ou seja, planta abençoada, assim como o seu óleo essencial. Entender essência enquanto alma, princípio das coisas. O suíço Theophrastus von Hohneshein (Paracelsus), no século XVI, percebeu a *quinta essentia* oriunda da fragrância de líquido resultante de processamento da destilação por meio de arraste por vapor de plantas aromáticas. Essa quinta essência ou a alma da planta, identificada e cunhada por Paracelsus, ainda reverbera na contemporaneidade para se referir a óleos essenciais, enquanto líquidos voláteis, odoríferos e lipofílicos (Soares; Tavares-Dias, 2013), originários do metabolismo secundário de espécies vegetais (Silva, 2018), sendo extraídos de suas flores, folhas e ramos (Bonfim *et al.*, 2018), apresentando compostos aromáticos voláteis, que detêm várias atividades: antimicrobiana, anticancerígena, antinociceptiva e anti-inflamatória (Costa, 2019). O emprego terapêutico das plantas, devido às suas moléculas bioativas, confunde-se com a evolução do ser humano (Silva, 2018). Em 5000 a.C. os sumérios utilizavam o *Papaver somniferum* (ópio) como analgésico. O chinês Shen Nung, em torno de 2800 a.C., descreveu a utilização de plantas medicinais no tratamento de inúmeras doenças (Silva, 2018). A Organização Mundial da Saúde (OMS) reputa que, dos 252 fármacos básicos e essenciais, 11% são de origem vegetal e um conjunto apreciável são fármacos sintéticos obtidos de precursores naturais (Silva, 2018). Todavia, os óleos essenciais, além da indústria farmacêutica, constituem matérias-primas para outras indústrias, como a alimentícia, de perfumaria e de cosméticos (Soares; Tavares-Dias, 2013). Como se vê, óleos essenciais são essenciais tanto enquanto alma da planta, como quis Paracelsus, quanto como sinônimo para vital, central, indispensável, intrínseco à cultura de um povo que os aloja, como é o caso do Brasil, que hospeda mais de 45 mil espécies de plantas superiores, correspondendo a cerca de 1/5 das plantas existentes no planeta (Costa, 2019), distribuídas pelos biomas Amazônico, Atlântico, Pampa, Pantanal, Cerrado e Caatinga. Neste contexto, pode-se destacar que os biomas Caatinga e Cerrado abrigam por volta de 150 espécies do gênero *Lippia*, família *Verbenaceae*, que compreende cerca de duzentos tipos de árvores de pequeno porte e arbustos (Bonfim *et al.*, 2018), que, por seu turno, estão distribuídas principalmente na África, em suas regiões tropicais, na Austrália, nas Américas do Norte, Central e do Sul (Soares; Tavares-Dias, 2013; Menezes, 2016; Costa, 2019). A *Lippia*, no Brasil, está presente em Minas Gerais, Bahia e Goiás, estendendo-se pelo domínio do clima semiárido, sendo comum no Piauí, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Sergipe (Menezes, 2016; Rocha *et al.*, 2020). Dentro do gênero *Lippia*, sobressai a *Lippia grata* Schauer, também denominada, como já mencionado, *Lippia gracilis*, planta aromática, típica e endêmica (nativa) do Nordeste brasileiro, própria da vegetação do semiárido, popularmente conhecida como alecrim-da-chapada, alecrim-de-tabuleiro e cidreira-da-serra (Gomes; Nogueira, Moraes, 2011; Bonfim *et al.*, 2018; Costa, 2019). A *Lippia* é um arbusto ramificado de 2,5 cm até 2 m de altura, resistente à seca, com folhas pequenas (por volta de 1 cm de comprimento) contendo flores brancas e odoríferas (Menezes, 2016). Comunidades tradicionais, povos originários e rurais empregam o alecrim-da-chapa-

CAPÍTULO 5

Obtendo essências

Encontra-se a essência do ser humano nos meandros da História e nos livros sagrados. “... O perfume de suas roupas é qual aquele do Líbano^{4,11} e as faces são canteiros de bálsamo⁵” (Gorgulho; Storniolo; Anderson, 2010). Cântico dos cânticos talvez seja o poema mais intenso de uma paixão e, por isso, é eterno. Creditado a Salomão em louvor à Sulamita, os versos deslizam na leitura, regados a alfena (*Ligustrum lucidum*), flores de nardo (*Nardostachys jatamansi*), açafrão (*Curcuma longa*), canela (*Cinnamomum cassia*) e cinamomo (*Melia azedarach*). A natureza aromática espalhou-se da Ásia, navegando o Mediterrâneo, chegando a Roma; de Roma para Portugal. Quem sabe esse o trajeto do alecrim (*Rosmarinus officinalis*), cuja etimologia é herança latina para orvalho do mar. Esse orvalho, enquanto o próprio óleo essencial exalado da vegetação na orla do Mediterrâneo, singrou o Atlântico para aportar no Brasil. O alecrim pertence à família *Lamiaceae*, a qual abarca por volta de 3.500 espécies distribuídas pelo planeta (Figura 5.1), sendo a *R. officinalis* a sua espécie mais representativa.

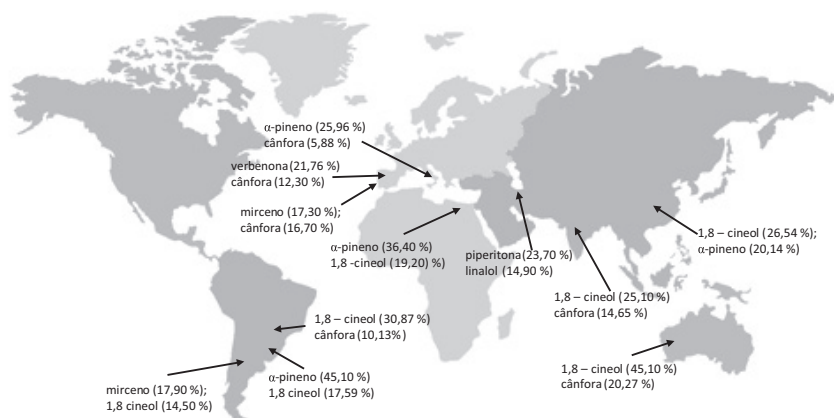


Figura 5.1 – Distribuição da *Rosmarinus officinalis* no planeta com os respectivos componentes majoritários de seus óleos essenciais.

Fonte: baseada em Porte e Godoy (2001); Weerakkody et al. (2011); Évora (2015).

As folhas frescas e secas da *Rosmarinus officinalis* são empregadas na cozinha mediterrânea e na medicina tradicional, tendo tanto o extrato quanto o óleo essencial propriedades anticarcinogênica e quimiopreventiva (Évora, 2015). Apresenta função adstringente, analgésica, antisséptica, antiespasmódica, anti-inflamatória, antioxidante, digestiva, tônica e vasodilatadora. Tem aplicação tópica como estimulante do coro cabeludo, em cremes e loções contra alopecia. Dentre as técnicas empregadas para a extração de óleos essenciais, entendendo-os como aqueles compostos voláteis presentes em plantas, apresentando odor e fragrância característicos, recebendo a denominação de essências, tendo em vista ao odor agradável de boa parte de seus representantes, está a destilação por arraste de vapor, que tem por princípio o emprego do vapor de água para volatilizar os tais compostos retrocitados para, em seguida, arrastá-los. O vapor de água é gerado em um vaso a partir de aquecimento, que alimenta uma câmara a qual contém a biomassa vegetal. O vapor de água carrega os componentes voláteis e, em seguida, são submetidos à condensação. Tendo em vista a sua imiscibilidade e diferença de massa específica, o óleo essencial e o hidrolato, este entendido como a água aromatizada, ou seja, que contém resquícios de óleo essencial, são separados (Figura 5.2).



Figura 5.2 – Extração por arraste a vapor.

Fonte: baseada em Aguiar, Oliveira e Veiga Jr. (2017).

Cassel *et al.* (2009) empregaram um vaso de 4 L para a geração de vapor de água, uma câmara de extração de 3 L, na qual adicionaram 255,57 g de folhas de alecrim de 0,44 mm de espessura. Sabendo que a temperatura de extração foi igual a 93,5 °C em ambiente a 1,0 atm, foram obtidas a massa extraída de óleo essencial de alecrim por volume da câmara de extração, rico em α -pineno e 1,8-cineol, ao longo do tempo, cujos valores, em termos de concentração, estão apresentados na Tabela 5.1.

III. SOBREVIVÊNCIA

Arroz, milho, feijão. Trigo. Pedaco de pão e um pouco de chá ou de café. Quisera a simplicidade dessa construção pudesse estar, diariamente, à mesa de cada pessoa, porém não se consegue pensar quando se está com fome e sequer sonhar. Fome é sinônimo de destruição e aniquilamento. Não se concebem ciência, tecnologia, engenharia diante da pobreza e da miséria, assim como não se imagina qualquer expressão artística em que a necessidade mais elementar do ser humano não possa ser contemplada. O conhecimento cai por terra ante a fome. A Terra sobrevive sem o ser humano, o inverso não é verdadeiro, pois a sua própria sobrevivência está centrada em uma de suas necessidades básicas: o pão nosso de cada dia.

CAPÍTULO 6

Chá de hibisco

Não existe uma área de conhecimento autossuficiente para se debruçar em questões basilares como, por exemplo, a vida, cujo conceito permeia da filosofia à biologia, podendo ser representada por modelos matemáticos e manifestações artísticas. Adentramos no início não apenas de um novo século, mas de um novo milênio e a fome, a pobreza, a saúde, a poluição, a paz, dentre tantos outros temas sensíveis à humanidade, clamam por serem abordados pelos mais variados e distintos saberes, pois não existe um que venha a ser o senhor absoluto da verdade (Cremasco; Bertan, 2023a). Assim, a ciência e a tecnologia acabam por atender, além do desenvolvimento científico e tecnológico do país, o bem social de sua população. Aqui, pode-se estimular o conhecimento direcionado para situações corriqueiras e que fazem parte do dia a dia, por exemplo, ao atentar às virtudes da natureza. Na cultura guarani, por exemplo, o domínio de ervas medicinais era e é demonstração de elevado conhecimento botânico e terapêutico (Cremasco; Bertan, 2023b). Levantamentos etnomédicos apontam a influência cultural africana na medicina popular brasileira, em particular nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste, enquanto nas regiões Sul e Sudeste tais influências são de origem oriental e europeia (Almeida, 2011). O emprego de ervas medicinais está na simples infusão de um sachê de que as contém. Algumas, como a erva-mate, são nativas do continente sul-americano, incluindo o Brasil; outras, feito o hibisco, vêm do outro lado do Atlântico. Alguns autores mencionam que o hibisco, *Hibiscus sabdariffa* L., da família *Malvaceae*, é de origem africana (Maciel *et al.*, 2012; Guardiola; Macha, 2014), enquanto outros advogam a sua origem asiática (Jabeur *et al.*, 2017; Riaz; Chopra, 2018). Seja qual for a origem, a sua introdução, no Brasil, deveu-se à vinda de

CAPÍTULO 7

La yerba mágica

Em certo anoitecer, Araí, a nuvem, e Yasy, a Lua, transformaram-se em seres humanos e desceram na região do Guayrá, junto ao rio Pirapó. Caminharam embevecidos com a beleza da vegetação e não perceberam uma onça-pintada atocaiada entre arbustos. Ao se darem conta, não havia como fugir, pois a fera os cercava, mas, na iminência do ataque, foi interrompida por uma flecha que rasgou o ar, afugentando-a mata adentro. Araí e Yasy recuperaram as suas formas originais, retornando ao céu. Era um velho guerreiro guarani que os havia salvo, contudo ficou confuso com o ocorrido: onça-pintada, duas pessoas ascendendo ao céu e assumindo a forma de uma nuvem e da Lua. Alucinação? Nessa mesma noite, cansado, adormeceu às margens do Pirapó. Araí e Yasy surgiram em sonho e se fizeram reconhecidas como aquelas pessoas salvas e agradecidas pela nobreza do ato. Queriam presenteá-lo e lhe disseram que, ao acordar, encontraria uma planta, cujas folhas deveriam ser sapecadas e assim fazer uma infusão. A bebida traria conforto aos cansados e tonificaria os fracos. O velho guarani acordou e, para a sua surpresa, deu-se com a planta mágica ao seu lado. Imediatamente seguiu as instruções daqueles que estão no céu. Essa infusão é o mate, bebida requintada, símbolo de fraternidade entre os seres humanos (Piña; Recabarren, 2011) e um presente dos deuses. A lenda da erva-mate é um tesouro cultural da América do Sul. O seu emprego mais remoto refere-se aos Quéchua, povos do Peru, pertencentes à civilização inca. A palavra mate origina-se do quéchua *mati*, que remete a porongo, à cuia (Dors, 2017). Reporta-se, inclusive, o consumo de bebida, o *ka'y* (água de erva), elaborada a partir das folhas de erva-mate pela nação guarani, na região do Guayrá (Figura 7.1), desde que os jesuítas ali aportaram no século XVI, denominando-a *yerba del Paraguay* (Montoya, 1989).

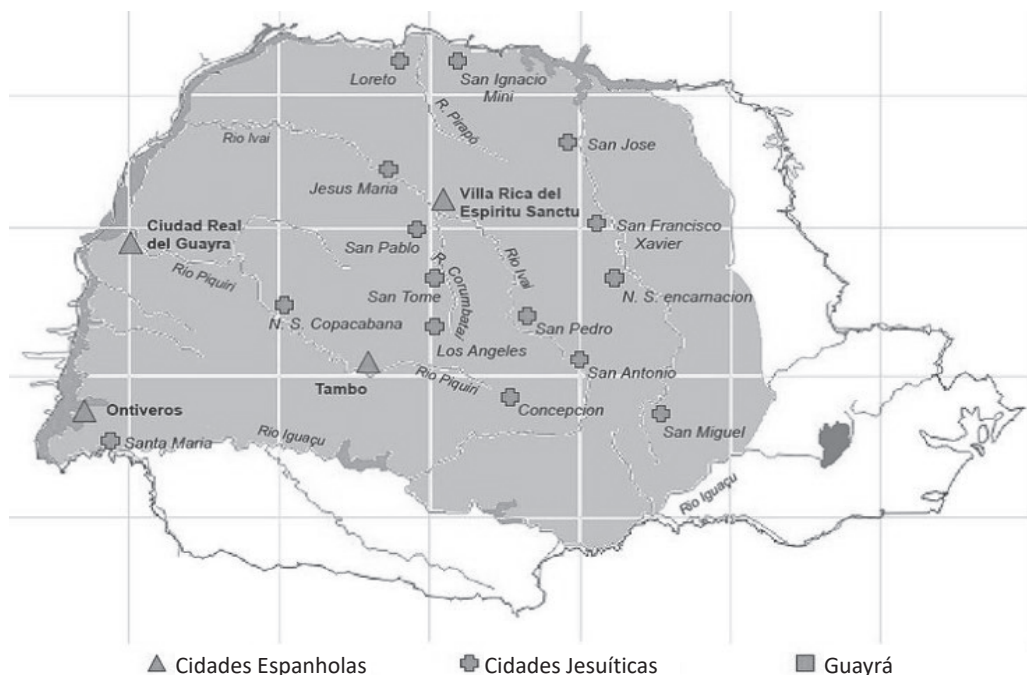


Figura 7.1 – Mapa da Província do Guayrá com as vilas espanholas do final do século XVI e as reduções jesuíticas do século XVII.

Fonte: Wikipédia (2022a).

A erva-mate apresenta propriedades importantes, como: estimulante, diurético, estomáquico, sudorífico (Bendlin, 2003); assim como auxilia no combate a doenças respiratórias como bronquite e pneumonia; previne cáries dentárias; auxilia no tratamento de doenças coronárias, vasculares; atua contra as bactérias *Escherichia coli* (Gram-negativa) e *Staphylococcus aureus* (Gram-positiva), que causam toxinfecção alimentar (gastroenterites); apresenta atividades quimiopreventivas e antifúngicas (Dors, 2017). Tais propriedades são consequência da composição química complexa da erva-mate, principalmente de seus compostos ativos, encontrados nas folhas e nos ramos, destacando-se as xantinas, nas quais se encontram, além da cafeína, a teobromina, e ácidos orgânicos, feito o ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA).

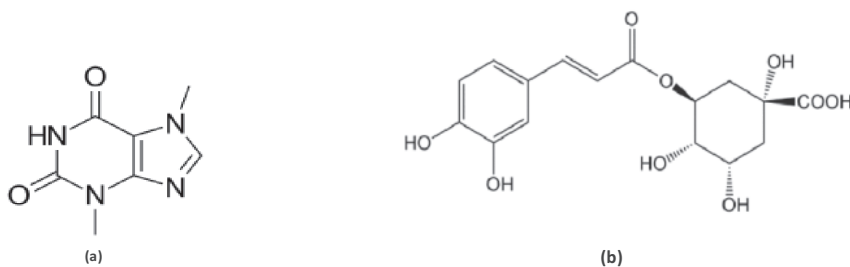


Figura 7.2 – Alguns compostos bioativos característicos da erva-mate: (a) teobromina; (b) ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA).

Fonte: Gerke (2016).

CAPÍTULO 8

Bananas?

Maçã. Ouro. Prata. Nanica. Terra... e cerca de quinhentos outros tipos espalhados pelo planeta; a banana é uma pseudobaga, categorizada como fruta, e conhecida há 10 mil anos. Oriunda do Sudoeste Asiático, a banana (*Musa sapientum*, *shum*.) está presente em centenas de países, em particular em regiões tropicais. A vinda da *Musa* para o Brasil e a sua incorporação em nossa culinária também fez que ela se ligasse a características pejorativas, por exemplo, “banana” como uma pessoa medrosa, covarde, preguiçosa e sem iniciativa; “dar uma” banana com os braços em gesto ofensivo; “república das bananas” para um país de atraso tecnológico e de política discutível, comandado por governantes corruptos e nada democráticos; “a preço de banana” quando o produto é demasiadamente barato (Sato, [s. d.]). Há, ainda, o aspecto degradante da discriminação racista e xenófoba quando, em um evento esportivo, lançam-se bananas em campo, tratando os atletas piores do que animais. Mas há atletas, como os tenistas, que se alimentam de banana no intervalo de suas partidas para recompor a perda de potássio. A banana possui considerável valor nutricional, sendo rica, além de potássio, em cálcio, fósforo, magnésio, além de ser fonte de vitaminas e de energia (veja a Tabela 8.1).

Tabela 8.1 – Composição nutricional da banana prata em 100 g de polpa (a partir de MERCALI, 2009)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
(kcal)	(g)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(µg)	(µg)	(µg)	(mg)
89	22,8	1,3	0,3	15,0	0,2	26,0	35,0	370,0	1,0	10,0	92,0	103,0	17,3

A – calorias; B – glicídios; C – proteínas; D – lipídios; E – cálcio; F – ferro; G – fósforo; H – magnésio; I – potássio; J – sódio; K – vitamina A; L – vitamina B1; M – vitamina B2; vitamina C.

Fonte: baseada em Mercali (2009).

A banana, no início do século XXI, era a fruta fresca mais consumida no planeta, e o Brasil, na época, o segundo produtor mundial, sendo cultivada por pequenos a grandes produtores; 60% de sua produção advinha da agricultura familiar, e era destinada principalmente para o consumo interno no país. Sob esse aspecto, 98% de tal produção dava-se *in natura*, e o restante era voltado a alimentos processados. Contudo, 40% do que era produzido perdia-se entre a colheita e a mesa do consumidor. O tratamento osmótico apresenta-se como alternativa para a redução de perdas pós-colheitas e é indicado enquanto pré-tratamento para outros processos. Na intenção de dar curso ao tratamento osmótico à banana do tipo prata, Mercali (2009) preparou 16,9 litros a 40 °C de solução osmótica à base de água destilada, sacarose e cloreto de sódio e a disponibilizou em tanque de acrílico, com manutenção de temperatura constante e mediante agitação mecânica o suficiente para garantir a hipótese de o mecanismo de transferência de massa ser regido pela difusão dos solutos no interior do meio difusivo (banana). A autora acondicionou, em tal reator, uma banana descascada e cortada na forma cilíndrica, conforme ilustra a Figura 8.1. A amostra foi envolvida por uma malha, com uma das extremidades atada a uma placa de chumbo para que permanecesse imersa no meio osmótico. Após dez horas de ensaio experimental, obteve-se a cinética de tratamento osmótico conforme apresentada na Tabela 8.2, tanto para a incorporação de cloreto de sódio e sacarose quanto pela remoção de água (desidratação) da banana.

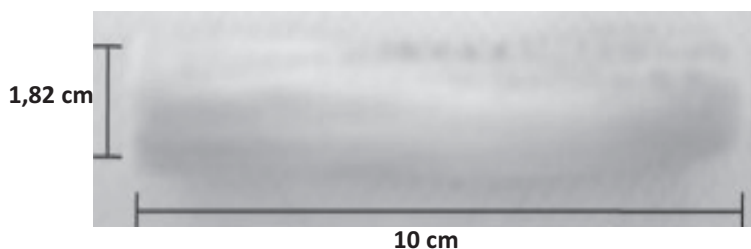


Figura 8.1 – Corpo de prova submetido a tratamento osmótico.

Fonte: Mercali (2009).

Tabela 8.2 – Tratamento osmótico de banana prata

t (h)	$\langle X_{H_2O} \rangle$ (g/g amostra seca)	$\langle X_{Sacarose} \rangle$ (g/g amostra seca)	$\langle X_{NaCl} \rangle$ (mg/g amostra seca)
0	2,167	0,093	6,67
1,0	1,613	0,143	16,06
2,0	1,485	0,165	19,5
3,5	1,337	0,185	22,63
5,0	1,183	0,194	25,43
6,5	1,086	0,202	27,63
8,0	1,072	0,211	29,63
10,0	0,997	0,217	31,31

Fonte: Mercali (2009).

CAPÍTULO 9

Pausa para o café

Isso. Aquilo. Tantos afazeres em nossas vidas. Pausa. Aroma inconfundível espalha-se. Pausa. Talvez seja a hora de se dar tempo ao próprio pensamento. Deixá-lo vago. Pausa. Ou preenchê-lo com a memória de um livro, filme ou daquela música que nos transporta para um lugar único, quicá mágico feito uma cozinha, sala de estar, escritório, laboratório; na praia, na praça que dá para a rua ou em uma das crateras da Lua. Pausa. Fechar os olhos e saborear. Pausa. Abandonar-se no prazer de degustar um momento singular em nossas vidas, resumida no cafezinho. A história do café tem início na Etiópia e chegou, em 1727, ao Brasil, aportando em Belém (então Grã Pará), propagando-se pelo Maranhão, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (Oliveira, 2012). Tornou-se produto essencial tanto de consumo quanto de exportação do país. Além do Brasil, a bebida do café é consumida ao redor do mundo, constituindo-se em uma das mais populares do planeta. O café faz parte da família *Rubiaceae*, consistindo em mais de cem espécies espalhadas em basicamente dois gêneros: *Coffea* e *Psilanthus*. O gênero *Coffea* é o mais comercializado, sobressaindo-se o *Coffea arabica* L, o café Arábica; e o *Coffea canefora*, conhecido como café Robusta. O café apresenta mais de mil substâncias bioativas, destacando-se polissacarídeos, lipídios, proteínas, aminoácidos livres, ácidos graxos e minerais (Olechno *et al.*, 2021). O consumo de café tem mostrado correlação, entre outras evidências, a uma menor incidência de doenças neurodegenerativas, óbito por causas cardiovasculares, câncer, especialmente câncer endometrial, bucal, de próstata, leucemia, melanoma, de fígado e outras doenças hepáticas, como fibrose hepática, cirrose e diabetes tipo 2. Todavia, o café não é recomendado para pessoas que sofrem de doenças estomacais, como refluxo gastroesofágico, doença da úlcera péptica ou gastrite aguda. As razões para se con-

sumir café incluem o desejo de melhorar as habilidades cognitivas e a concentração, reduzir a fadiga e a sonolência. Essas propriedades são determinadas, entre outros fatores, pela presença de cafeína no café. A cafeína (1,3,7-trimetilxantina, $C_8H_{10}N_4O_2$, $M = 194,21$ Da, Figura 9.1) é um alcaloide antagonista dos receptores de adenosina (Olechno *et al.*, 2021), substância que provoca letargia e sono, bem como diminui a pressão sanguínea e batimentos cardíacos.

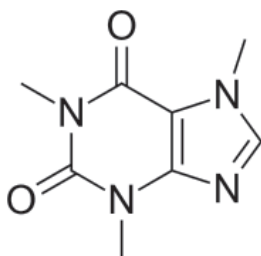


Figura 9.1 – Estrutura química da cafeína.

De acordo com a Autoridade Europeia de Segurança Alimentar, o consumo diário de cafeína por um adulto saudável não deve exceder 400 mg durante o dia, enquanto uma única dose de cafeína não deve exceder 3 mg/kg de peso corporal. Mulheres gestantes e em fase de amamentação não devem consumir mais de 200 mg por dia. Os grãos de café verdes Arábica contêm, em média, 0,9% a 1,5% de massa seca de cafeína. Em contrapartida, os grãos verdes de café Robusta apresentam entre 1,2 e 2,4% do alcaloide. O café, além de proporcionar uma bebida atraente, fornece um óleo de apelo comercial, em particular quando o grão está verde, ou seja, antes da torrefação. O óleo vegetal de grãos de café verdes é comercializado como matéria-prima para indústrias farmacêuticas devido à sua atividade antioxidante. É ingrediente para cremes e pomadas utilizados no tratamento de eczema, psoríase e outras doenças relacionadas à pele (Oliveira *et al.*, 2014). Pelo exposto, o processamento do café torna-se uma atividade tecnológica que merece ser estudada. Para tanto, considere a situação em que as cerejas do café sofrem pré-secagem ao sol e posteriormente são sujeitas à remoção de umidade por meio de secador convectivo (Corrêa, Resende, Ribeiro, 2006). O material seco é descascado e destinado a duas operações distintas: (a) torrefação, seguida de moagem para a obtenção de pó de café, permitindo a obtenção da bebida a ser consumida por meio do emprego de extração utilizando-se água quente enquanto solvente; (b) moagem para redução de tamanho para posterior extração do óleo vegetal de grãos verdes de café por CO_2 supercrítico e posterior remoção de cafeína desse óleo. Dessa maneira, as cerejas do café foram submetidas à secagem a $50^\circ C$, cujos resultados para a cinética em termos de concentração adimensional, na forma

$$\langle \theta \rangle = \frac{\langle X_A \rangle - X_A^*}{X_{A0} - X_A^*} \quad (9.1)$$

CAPÍTULO 10

Fome de quê?

A maioria da população pobre e faminta do planeta concentra-se em zonas rurais, e tem o seu sustento na agricultura. Na busca de empatia, pode-se imaginar uma mesa simples, tendo nela o trigo, o milho e o arroz, enfim, os cereais, cuja denominação remete à Ceres, deusa da agricultura no panteão latino, e base alimentar para boa parte da humanidade. O trigo (*Triticum* sp.), oriundo do Oriente Médio, sinônimo de pão e de comunhão, matéria-prima na preparação de outras massas além de pão, ajuda a compor a base da pirâmide alimentar (Scheuer *et al.*, 2011). O milho (*Zea mays*), de origem mexicana, cuja domesticação data de há mais de 7 mil anos, nos é oferecido por Quetzalcóatl, deus dos Astecas, Toltecas e Maias. O cultivo de arroz (*Oryza* sp.), de origem asiática, remonta há 12 mil anos na China, sendo que no Brasil existem indícios da presença do arroz selvagem há 4 mil anos em Rondônia. Mas, ao se pensar no Brasil, é impossível dissociar o arroz do feijão, pois a principal fonte proteica da alimentação de sua população deriva da ingestão dessa dupla. A Tabela 10.1 apresenta informações sobre a composição básica dos cereais e da leguminosa aqui citadas.

Tabela 10.1 – Composição dos alimentos (valores por 100 g)

Alimento	Energia (kcal)	Proteína (g)	Gordura (g)	Cálcio (mg)	Ferro (mg)
Trigo	330	14,0	2,2	36	3,1
Milho	348	8,9	3,3	22	3,1
Arroz	357	7,2	1,5	14	2,6
Feijão (vermelho)	343	22,5	1,5	110	6,9

Fonte: Miyasaka e Medina (1981).

Cumprе mencionar que a semente ou o grão de leguminosas e de cereais apresentam-se de modo complexo, conforme pode ser observada na ilustração de uma semente de arroz (Figura 10.1).

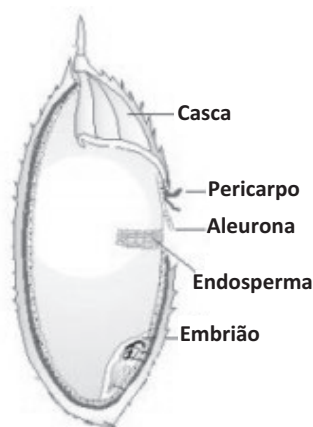


Figura 10.1 – Ilustração de uma semente de arroz.

Fonte: baseada em Kennedy e Burlingame (2003).

O volume do endosperma representa boa parte da estrutura da semente, sendo rico em amido, fonte mais importante de carboidrato na alimentação humana, composto por amilose e amilopectina, polímeros de D-glicose ($C_6H_{10}O_5$), cuja proporção varia entre 17% e 27% de amilose e 72% e 82% de amilopectina. A amilose e a amilopectina se associam por ligações de hidrogênio, formando áreas cristalinas ordenadas, entre as quais há regiões amorfas em que as moléculas não têm uma orientação em particular (Oliveira *et al.*, 2018). Tais características impactam a qualidade do produto, principalmente quando submetido a processos tecnológicos. Qualquer que seja o processamento ou de sementes ou de grãos dos produtos agrícolas discriminados na Tabela 10.1, aflora a problemática de sua colheita e de seu armazenamento, pois a ciência e tecnologia associadas a produtos agrícolas vêm desde o desenvolvimento de cultivares mais específicos, passando pela adequação do solo, técnicas de colheita e de armazenagem, com especial atenção para a secagem dos grãos, visto a necessidade de se remover a umidade contida no material para evitar a sua degradação quando do armazenamento. A remoção de umidade, por via de consequência, é etapa essencial no processamento de produtos agrícolas, cuja descrição pode ser observada pelo mecanismo difusivo no interior dos grãos. Em assim sendo, pede-se:

- a) Calcule o valor do coeficiente efetivo de difusão, D_{ef} , da umidade no interior das sementes de trigo, milho, arroz e feijão submetidos à secagem, cujo ar está a 40 °C, obtido de (Aguerre; Suarez; Viollaz, 1982)

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (10.1)$$

IV. CONSCIÊNCIA

Ao se debruçar sobre o conceito consciência, abre-se um leque de possibilidades, a começar pela leitura neurocientífica associada a estados mentais, inclusive vista, em abordagem searleniana, como fenômeno biológico, que deve ser concebida enquanto parte da história biológica do indivíduo. Estar consciente, no limite, é estar desperto, permitindo à pessoa a percepção do que vem a ser a existência. Nessa direção, tal cognição extrapola a condição meramente física associada, por exemplo, à atividade cerebral, para compor o sentido de perceber o mundo sob o aspecto ético e moral. A consciência, nesse contexto, aproxima-se da compreensão e do discernimento, possibilitando a avaliação e mesmo o juízo da conduta individual como também coletiva, relativos a questões amplas, principalmente direcionadas a problemas sociais. E, aqui, insere-se o compromisso social tanto da ciência quanto da tecnologia, cujo produto não é meramente o conhecimento em si ou aquele aplicado, mas o desenvolvimento da consciência ética positiva de ser necessariamente dirigida para o bem.

CAPÍTULO 11

A consciência sustentável

A arte do fabrico de cerveja vem desde os sumérios e assírios, há, por volta de 8 mil anos, empregando a malteação de grãos para a sua obtenção. Os egípcios sabiam da cerveja há 5 mil anos, enquanto os babilônios, 4 mil anos antes de Cristo, produziam mais de dezesseis tipos dessa bebida. O Brasil a conheceu no início do século XIX, e as primeiras cervejas eram denominadas genericamente de “Cerveja Marca Barbante” (Carneiro, 2010). O seu consumo é mundial e o Brasil, no começo do século XXI, configurava-se no quarto maior consumidor do planeta, produzindo, em média, cerca de 13 bilhões de litros anuais de cerveja. Estima-se que, para cada 2 mil litros de mosto, utilizam-se 40 litros de levedura pastosa, e, quando se submete esta à fermentação, duplica-se esse valor. De 83,3 litros de cerveja produzidos, gera-se 1 litro de pasta residuária de levedura, conhecida como Gullerigue e levedura de recuperação. O Brasil, na década de 2010, produziu em torno de 15 milhões de litros/ano de pasta residuária; número relativamente baixo se comparado aos 13 bilhões de bebida produzida anualmente. Ou seja, o que representa 15 milhões de litros/ano de resíduos perto do lucro oriundo da comercialização de 13 bilhões de litros anuais de cerveja? Na medida em que existe a conscientização responsável, sustentável e humanitária, esta impulsiona soluções tecnológicas criativas e factíveis, que objetivam minimizar ou mesmo erradicar qualquer dano (Cremasco, 2023). Essa consciência só aflora se for provocada na fonte, na ideia, no pensamento. A discussão passa, necessariamente, por uma profunda reflexão, sopesando-se todas as opções, pois é crucial atentar à viabilidade socioambiental, além de considerar as legislações ambientais e trabalhistas, inclusive como critério para implantação ou não de determinada planta industrial. O

excedente de biomassa de levedura pode ser utilizado em sua forma íntegra ou de derivados na alimentação animal, como também na adsorção de metais pesados (Cremasco; Melo, 2018). Um dos desafios tecnológicos, portanto, além de se aproveitar a biomassa residuária de levedura, está na redução de seu volume após o processamento de produção de cerveja. Tal etapa é importante, pois se facilita tanto a estocagem quanto o transporte, assim como minimiza o impacto ambiental. Em assim sendo, é imprescindível o tratamento da suspensão de levedura residuária, que pode ser identificada no grupo disperso não ligado do tipo coloidal poroso-capilar, no qual as partículas estão suspensas em fase líquida dispersa (Figura 11.1a). Depois de centrifugado, o precipitado resultante (Figura 11.1b) é submetido à secagem, sendo classificado como disperso-ligado.



Figura 11.1a – Suspensão de levedura residuária de cervejaria.

Fonte: Melo (2010).

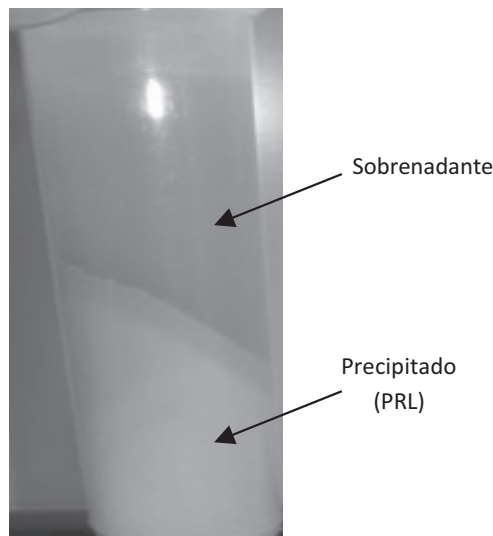


Figura 11.1b – Sedimento da suspensão de levedura residuária de cervejaria (PRL).

Fonte: Melo (2010).

A secagem do precipitado (PRL) é uma alternativa a ser considerada, sendo que unidades de maior porte se inclinam à utilização do *spray dryer*, enquanto as de pequeno porte adotam geralmente o secador de rolo rotativo ou do tipo leito de jorro e secador atmosférico condutivo indireto com agitação mecânica. Cremasco e Melo (2018) empregaram esse último equipamento na secagem de 300 g de PRL a 90 °C para a superfície de aquecimento, com rotação de 30 rpm para o impelidor, verificando a formação de aglomerados de leveduras residuárias secas (Figuras 11.2). Esse material foi tratado com cloreto de sódio e, posteriormente, diluído em água deionizada, destinado à adsorção de íons cúpricos (Cu^{+2}). A operação de adsorção foi conduzida em banho finito a 25 °C, pH 5,0 e 200 rpm, por um período de 3 horas, cujo resultado está apresentado na Tabela 11.1.

CAPÍTULO 12

Fora da moda?

Qual a cor de seu sonho? Não, não se trata da cor preferida. Mas como se colore um sonho? Quem sabe com as pinceladas esverdeadas de Monet ou com a tonalidade terrosa ao tempo luminosa de Caravaggio. Espera que o fundo azul do *Nascimento de Vênus*, de Botticelli, possa lhe trazer a tranquilidade do Paraíso? Quem melhor representa o arco-íris que paira sobre a sua imaginação? Qualquer possibilidade que essas palavras possam lhe despertar, nada mais do que o sentido da visão para trazer a percepção do mundo que o cerca. Cada um de nós tem a sensação particular de cor, que também depende da capacidade de observação e interpretação individual (Stringheta; Coelho; Ribeiro Filho, 2021). Uma coisa é certa: muito antes do surgimento da escrita, o ser humano, no período Paleolítico, registrava animais e hábitos diários, feito a caça e a pesca, por meio de pinturas à base de hematita (ocre-vermelho), goethita (ocre-amarelo), carvão, entre outros corantes naturais. No período Neolítico, o ser humano utilizou esses materiais para tingir vestimentas, utilizando, para tanto, cores primárias, como o azul, vermelho, lilás, amarelo e preto (Neves; Stringheta, 2021). A cor acompanhou o desenvolvimento da humanidade nas civilizações mesopotâmica, egípcia, romana, chinesa empregando-se corantes em tecidos, pinturas corporais; de casas e objetos, bem como para tingir os cabelos, pintar a face e colorir as unhas (Neves; Stringheta, 2021). O corante mais valorizado na Antiguidade ocidental era o púrpuro, oriundo de substância produzida por moluscos gastrópodes, como as espécies *Murex brandis* e *Thais haemastroma*. Possuir vestuário roxo tornou-se símbolo de riqueza e de poder na Roma antiga. Na Idade Média, o azul mais aquilatado era o lápis-lazuli ou azul-ultramar, derivado da azulita. Por ser abundan-

te na parte ocidental da Ásia, os templos dos primeiros católicos, situados na região da Capadócia, Turquia, ostentam pinturas feitas a partir desse pigmento (Neves; Stringheta, 2021). Com o advento do Renascimento, período marcado pela emergência da classe média de comerciantes e artesãos, houve demanda importante por obras de arte e, por conseguinte, por materiais corantes. Junto a isso, incrementaram-se as expedições marítimas, acarretando o descobrimento do Novo Mundo. Pero Vaz de Caminha, em carta para o rei de Portugal, relata os tons de preto e vermelho com os quais os nativos brasileiros se pintavam. Os Guarani, por exemplo, distante do olhar de Caminha, utilizavam pigmentos naturais, além da pintura corporal, para ornamentação de artefatos. Os espanhóis monopolizaram o comércio do carmim de cochonilha, e os portugueses exploraram o pau-brasil em solo brasileiro (Neves; Stringheta, 2021). E eis que o nome Brasil está intimamente associado a cor, esse vermelho abrasado encontrado nas obras de Rembrandt e de Rafael. O pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) é uma árvore nativa brasileira da qual se origina um extrato vermelho a partir de suas cascas, empregado principalmente em tecidos (Neves; Stringheta, 2021). Não se pode deixar de mencionar que a indústria química moderna nasceu devido à obtenção, por William Perkin, em 1856, do primeiro corante sintético, a mauveína, impulsionando a indústria têxtil. A partir de então houve uma expansão vertiginosa de produção industrial de corantes, em que cerca de 10 mil diferentes corantes e pigmentos passam a ser produzidos anualmente no planeta, e também são encontrados nas indústrias de alimentos, de fármacos, cosméticos, têxtil, de impressão e de couro. Ressalte-se que entre 275 e 365 L de corante são empregados para tingir 1 kg de tecido (Guilherme *et al.*, 2021), produzindo efluentes que acarretam danos tanto ao meio ambiente quanto à saúde humana. Por outro lado, dentre os corantes, os corantes azo são os mais presentes, embora sejam reconhecidos como aqueles mais problemáticos em efluentes têxteis, devido à elevada solubilidade em água e baixa degradabilidade, contribuindo sobremaneira para a toxicidade das águas residuárias. Além disso, representam sério agravamento devido à sua carcinogenicidade, sendo o representante dessa classe o diazo vermelho congo (Figura 12.1), empregado na tintura de algodão, seda e lã.

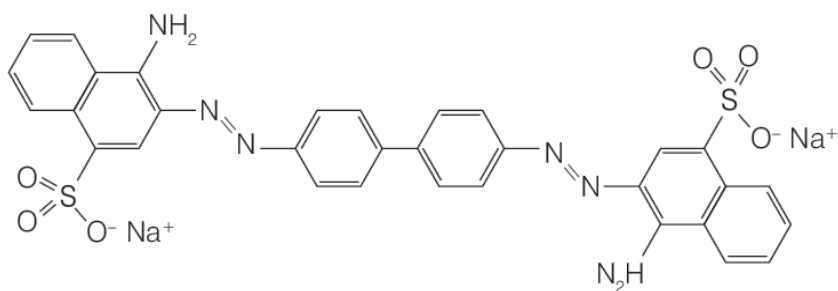


Figura 12.1 – Estrutura química do corante vermelho congo.

CAPÍTULO 13

O legado de Níobe

A busca do metal perfeito está no imaginário do ser humano e concretiza-se na medida em que a tecnologia se desenvolve. No início do século XXI houve, no Brasil, certo alvoroço a respeito de se ter deparado com um metal próximo à magia e que a tudo resolveria, inclusive a economia do país: o nióbio (Nb). Nesse período, em torno de 90% da produção de nióbio no planeta originava-se a partir da liga Fe-Nb, objetivando ligas mais resistentes de ferro e carbono, tendo em vista que, ao se adicionar 0,05% de Nb ao aço, incrementa-se em até 30% a sua resistência mecânica, tornando-o também mais leve, resistente à corrosão e à oxidação em temperaturas elevadas (Almeida; Barros; Monteiro, 2019). A principal aplicação do nióbio dá-se nos aços de baixa liga e alta resistência, em tubulações de grandes diâmetros, em obras civis de porte e na indústria automobilística (Silva Jr., 2005), e também como base de nanomateriais, empregados em eletroeletrônicos, em superligas metálicas nos setores aeroespaciais (Ody, 2018). Devido à sua elevada capacidade de conduzir corrente elétrica, o que favorece campos e forças magnéticas, o nióbio compõe ímãs presentes em aparelhos à base de ressonância magnética nuclear. As ligações decorrentes de Nb-O, assim como com outros óxidos, possibilitam a obtenção de adsorventes, células solares, catalisadores destinados a uma gama de reações químicas, como esterificação, hidrólise e desidrogenação (Almeida; Barros; Monteiro, 2019). O Brasil, no início do século XXI, apresentava cerca de 90 % das reservas mundiais de nióbio, configurando-se como a maior reserva do mundo (Silva Jr., 2005; Lopes *et al.*, 2019). Foi descoberto no país por Djalma Guimarães, durante a prospecção de depósito de urânio em Araxá em 1953 (Almeida; Barros; Monteiro, 2019). A desco-

berta do Nb em escala mundial, por sua vez, ocorreu entre o final do século XVIII e o começo do século XIX a partir de uma confusão entre os minerais tantalita, da qual se identificou o elemento químico tântalo (Ta), e a columbita, associado posteriormente ao nióbio (Nb). Coube a Jean-Charles de Marignac demonstrar que a tantalita fornecia o Ta e a columbita, o Nb. Por muito tempo o nióbio foi denominado colúmbio (Cb), principalmente nos Estados Unidos, cabendo à União Internacional de Química Pura e Aplicada (Iupac) tornar oficial, em 1951, o nome nióbio. Um aspecto interessante quanto à nomenclatura dos elementos químicos tântalo e nióbio é que ambos estão associados à mitologia grega. Tântalo, rei da Lídia, filho de Zeus, senhor dos deuses, e da ninfa Pluto, tinha passagem livre pelo Olimpo, morada dos deuses. Apreciador de boa mesa, Tântalo descobriu que a ambrosia era o alimento que propiciava a imortalidade aos deuses. Além de revelar esse segredo aos mortais, Tântalo quis equiparar-se aos deuses quanto a preparar uma culinária superior à divina, nem que para isso oferecesse o próprio filho enquanto prato principal aos comensais divinos. Isso mesmo. Como castigo, foi lançado ao Tártaro, onde ficaria em um lago com água até os joelhos e próximo a galhos de árvores frutíferas. Todavia, toda vez que estava sedento, a água lhe escapava das mãos; e, na fome, os galhos distanciavam-se dos braços, padecendo, por conseguinte, de sede e fome pela eternidade. A eleição do nome tântalo para o elemento químico pode estar associada à sua baixa reatividade. E quanto ao nióbio? O nome nióbio está vinculado ao de Níobe, filha de Tântalo e Dione. Com o esposo, Anfião, reinou em Tebas. Rainha belíssima e mãe de sete filhas e sete filhos, recusou-se a cultuar Leto, mãe dos deuses Apolo e Ártemis, que os teve com Zeus, dizendo que Leto é quem deveria homenageá-la por ser ela, além de bela, mãe de quatorze, enquanto Leto era de apenas dois. Foi o bastante para Apolo dizimar a flechas os filhos, cabendo à Ártemis dar cabo das filhas de Níobe. Inconformada, a rainha tebana chorou como mortal nenhum havia feito, a ponto de Zeus apenar-se e transformá-la em rocha, da qual sempre verte água. Diferentemente do elemento tântalo, para o qual se associa o nome à incapacidade de reagir, talvez o nome do elemento nióbio esteja vinculado à sua vasta aplicação, coincidindo com a fertilidade de Níobe. Entretanto, para que se obtenha o metal Nb torna-se necessária a sua extração, podendo, inclusive, causar sérios desastres ambientais, coligados à extração de ferro, como os ocorridos em Mariana (novembro de 2015) e Brumadinho (janeiro de 2019), localidades mineiras. Além disso, existem reservas desse metal em terras indígenas na Amazônia brasileira, criando um grave problema para a sua produção, com a perspectiva de ser uma *commodity* ambientalmente incorreta ou uma espécie de ouro de tolo carregado de arrogância, herança de Tântalo e Níobe. Quem sabe as setas de Apolo e de Ártemis não sejam as respostas da natureza para que isso não aconteça? Contudo, a tecnologia socioambiental correta e responsável incube-se de trazer o equilíbrio para a sua exploração sustentável. Sob tal aspecto, não se pode ignorar as propriedades do nióbio, em particular quando da presença de moléculas gasosas, como oxigênio, nitrogênio e carbono, em sua estrutura cúbica de corpo centrado (ccc), os quais, quando dissolvidos em metais e ligas, ocupam posições intersticiais na rede cristalina. A presença de solutos intersticiais origina o comportamento conhecido como anelasticidade, ao submeter metais à tensão mecânica, acarretando distorções elás-

V. RESILIÊNCIA

Imagine-se em uma reunião em que propostas de um novo produto são postas em discussão. Não é difícil ouvir. – Filtre o que foi dito. O sentido que nos apresenta essa sentença é a de ponderação e de discernimento, tendo como base as distintas possibilidades. Após a reserva quanto ao enunciado, continua-se com o ouvido empático em relação à prudência anterior. – Procure absorvê-lo. Aqui, uma ação complementar e positiva em relação “ao que foi dito”, pois, após a sua depuração, a intenção é a de mais bem aproveitá-lo. Filtrar e absorver, de certo modo, apresentam-se em etapas de um processo de comunicação, também encontrados, obedecidos os devidos limites, em um processamento tecnológico, identificadas a operações unitárias. Diante de um problema, técnico ou não, temos de lançar mão das mais diversas habilidades para solucioná-lo, inclusive para superar fragilidades. E, aqui, novamente buscamos paralelos na tecnologia ao associar fragilidade à fratura de certo material diante de deformações pequenas e permanentes. A capacidade de aguentar tensões e buscar alternativas para o que é frágil é o que torna não só o material, mas o ser humano resiliente. A resiliência, portanto, é vital diante de problemas que assolam a humanidade, como a fome, o declínio da saúde, a degradação do meio ambiente. A resiliência encontra-se em nossa capacidade científica e tecnológica de reagir a tais mazelas, tendo como pressuposto fundamental a preservação da vida no planeta, seja para esta geração, seja para as futuras.

CAPÍTULO 14

Não devemos esquecer

Não podemos dar as costas ao que acontece diante dos olhos, assim como ignorar a História ou obscurantizar os efeitos danosos da ignorância generalizada de governantes diante de catástrofes que atingem a humanidade, conforme o ocorrido no período da pandemia da covid-19, no alvorecer da década de 2020, no Brasil. Além da atitude negacionista bem como a ojeriza à democracia que caracterizam tais governantes, aflora a aversão à ciência ao se postarem contra o uso de máscaras e ações saneadoras como o distanciamento social (Cremasco, 2023). Esse período não pode nem deve jamais cair no esquecimento. Experimentou-se uma situação totalmente nova, de impacto profundo para a geração que a vivenciou. Atravessou-se um momento histórico de extrema excepcionalidade, que a levou ao ápice de se isolar. Esse isolamento não foi uma escolha pessoal, mas uma necessidade social. Situações e demandas corriqueiras poderiam ser avaliadas, contornadas, digeridas de tal modo a se dar prosseguimento nas vidas pessoais e profissionais. Não foi o caso, pois se teve a sensação do compartilhamento de um universo que se aproximou de ficção científica, apocalíptico, mas profundamente real. Foram necessárias prudência e sensatez, tendo a ciência e a tecnologia como aliadas determinantes, além da forte compreensão da população em relação ao distanciamento e à proteção pessoal. O uso de máscaras e a higienização foram fundamentais, incluindo o emprego constante de álcool em gel, em particular de etanol, como também o álcool isopropílico (isopropanol, propan-2-ol; C_3H_8O ; $M = 60,095 \text{ g/mol}$), principalmente para a higienização de equipamentos eletrônicos, como os celulares. A molécula do isopropanol contém um carbono a mais em sua estrutura quando comparada àquela do etanol, o que diminui, comparativa-

mente, a sua miscibilidade em água, dificultando a oxidação de peças (CRQ, 2020). O álcool isopropílico apresenta atividades contra fungos, bactérias e vírus. O isopropanol é largamente empregado em operações de extração de DNA (Plassart *et al.*, 2012), de canabidiol para uso terapêutico (Unodoc, 2009), óleos vegetais (Okene; Egbuomwan, 2014; Menezes *et al.*, 2021), na determinação de nicotina em particulados (Randolph, 1974), na extração de fármacos oriundo de caldos fermentescíveis (Ferrari *et al.*, 2017) e a recuperação desses fármacos presentes em biomassa residuária de fermentação (Cremasco; Bertan, 2024), como fase móvel no processamento de óleos essenciais e na purificação de fármacos por métodos cromatográficos em colunas (Gupta; Shanker, 2008; Ferrari, 2014; Nascimento, 2018). Nessas duas últimas aplicações, torna-se fundamental o conhecimento do tempo morto do sistema cromatográfico, que se refere ao tempo de trânsito dos analitos sem a presença da coluna cromatográfica. Sob esse aspecto, uma técnica empregada é aquela conhecida como o método de dispersão de Taylor ou de Taylor-Aris. Nessa técnica, um pulso de traçador (soluto) é injetado em um fluido que escoar no interior de um capilar, cuja concentração desse traçador é detectado na extremidade do capilar. Logo após a injeção do soluto, o pulso da amostra tende a dispersar-se no formato de uma gaussiana, de modo que, conhecendo-se o tempo de retenção (ou de residência) bem como o valor da variância da curva obtida, torna-se possível conhecer o valor do coeficiente de difusão do soluto/traçador no líquido que o arrasta através do capilar. Essa técnica, ilustrada na Figura 14.1, foi utilizada para estudos de difusão mássica associada ao escoamento de um líquido. Para tanto, empregou-se eluente composto por isopropanol e o 1,3,5-tri-terbutil benzeno (TTBB), enquanto traçador utilizando-se vazão volumétrica do eluente igual a 1,0 mL/min a 25 °C. Em determinada seção do capilar, de diâmetro 0,12 mm, injetou-se um pulso de TTBB (diluído em isopropanol), cuja concentração foi detectada e está apresentada na Tabela 14.1.

Tabela 14.1 – Pulso cromatográfico para a concentração de TTBB diluído em isopropanol

t (min)	0,05	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
V/V _{máx}	1,350x10 ⁻⁵	0,248	0,926	0,909	0,560	0,272	0,113	0,043	0,017

Pede-se:

- a) O valor do tempo morto da planta na vazão volumétrica do eluente considerada neste capítulo.
- b) Avalie a viabilidade da descrição do modelo da dispersão de Taylor para os dados apresentados na Tabela 14.1 por meio da comparação entre as curvas experimental e teórica.

CAPÍTULO 15

Na esfera do conhecimento

Ao se perceber o formato da Terra e o de uma gota líquida, aflora uma curiosidade aparentemente banal: por que apresentam formato próximo ao de uma esfera? No caso de nosso planeta, a sua forma geoide ou quase esférica deve-se basicamente à ação gravitacional, que atrai a massa ao redor para o seu centro. No caso das gotas, devido à tensão superficial, haverá maior número de moléculas comprimido em seu centro, tendo em vista a oferecer menor superfície exposta ao ar. Aqui, pode-se lançar mão do conceito de área superficial específica, que se trata da área superficial de determinado corpo por massa ou por volume. Um corpo esférico de área superficial $4\pi r^2$ e volume $4\pi r^3/3$ apresenta área superficial específica, $3/r$, maior, por exemplo, à de um corpo cilíndrico, $2/r$, para o mesmo valor do raio r . Essa característica é importante no contexto técnico, pois um corpo esférico de mesmo raio ao de um corpo cilíndrico oferece maior área superficial específica para a ocorrência de determinado fenômeno de transporte, de energia e/ou de matéria, proporcionado maior taxa da respectiva grandeza. Note que, na medida em que existe a preocupação em analisar o formato de determinada partícula, seja ela direcionada a um catalisador ou a um adsorvente, por exemplo, busca-se aperfeiçoar o desempenho de um equipamento, reator ou adsorvedor, que influenciará processos de produção, impactando o cotidiano das pessoas. A compreensão da transferência de massa em corpos esféricos, isolados e submetidos ou não a escoamento externo ou compondo um sistema particulado contido em uma coluna, é essencial tanto para o entendimento do fenômeno em si quanto para o projeto de engenharia. Assim, considere que tal estudo possa ser conduzido por meio de três experimentos, os quais objetivam a obtenção dos coeficientes de transportes ca-

racterísticos tanto de difusão mássica quanto de convecção mássica. No primeiro experimento, ilustrado na Figura 15.1a, uma partícula esférica de naftaleno de diâmetro d_p é disposta no centro de uma coluna de diâmetro D , de extremidades abertas, de modo a manter a estagnação do ar em seu interior. No segundo ensaio, Figura 15.1b, expõe-se uma partícula esférica de naftaleno de diâmetro d_p no centro de uma tubulação de diâmetro D , em que uma de suas extremidades está sujeita ao escoamento de ar, de vazão volumétrica igual a Q . No terceiro experimento, esquematizado na Figura 15.1c, um conjunto de partículas esféricas de naftaleno, de diâmetro médio d_p , é acondicionado em uma coluna vertical de diâmetro D , resultando em um leito fixo de fração de vazios (ou porosidade) ϵ , em cuja base se dá alimentação de ar à vazão volumétrica Q .

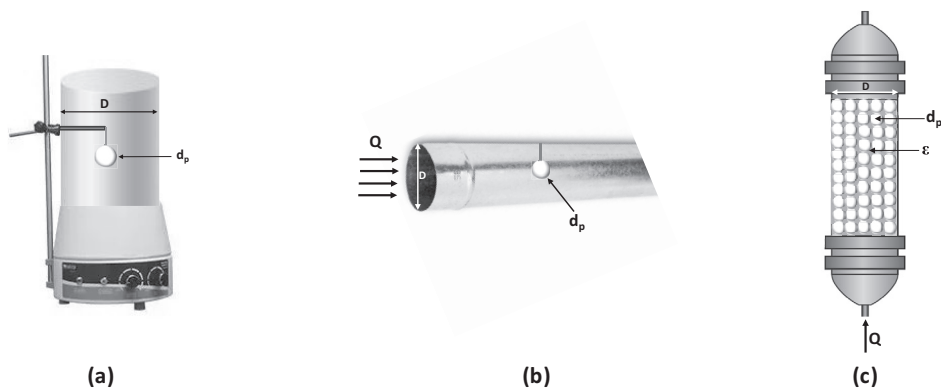


Figura 15.1 – Ensaios experimentais de transferência de massa: (a) esfera isolada – difusão mássica; (b) esfera isolada – convecção mássica; (c) leito fixo.

Em assim sendo, pede-se:

- a) Cremasco (1998) acompanhou a sublimação de naftaleno em um aparato experimental à semelhança daquele ilustrado na Figura 15.1a, ou seja, sujeitou uma esfera de naftaleno de diâmetro 1,70 cm em meio amplo e estagnado a 72 °C e 1,0 atm. Decorridos 295 minutos, constatou-se que o diâmetro da esfera se apresentou igual a 1,64 cm. O experimento consiste na medida do raio do corpo de prova antes e depois de ser submetido à sublimação, cujo valor experimental do coeficiente de difusão resulta do modelo pseudoestacionário segundo

$$D_{AB} = \frac{RT}{P \ln(1 - P_A^{\text{vap}}/P)} \left(\frac{\rho_{A_p}}{M_A} \right) \left(\frac{d_{p_i}^2 - d_{p_0}^2}{8t} \right) \quad (15.1)$$

CAPÍTULO 16

A dispersão do ideal

A idealidade, em algumas ocasiões, é vista enquanto contraponto da realidade. Não se encontrando determinada situação ideal, busca-se a sua perfeição na excelência em determinada escala de valores. Nesse sentido, e em se tratando de uma sociedade perfeita e, portanto, ideal, encontra-se o livro *Utopia*, do inglês Thomas More (1478-1535), no qual se observa que uma organização ideal para a sociedade, tanto política quanto social, estaria baseada na divisão igualitária de bens, distanciando-se da realidade da época (inclusive a de hoje). O frade dominicano Bartolomé de Las Casas (1484-1566), contemporâneo de More, defendeu, na obra *Brevíssima relação da destruição das Índias*, a humanidade dos povos originários das Américas, a partir da relação harmoniosa em contrapartida àquela colonizadora e hierárquica imposta por espanhóis no Novo Mundo (Witeze Jr.; Nazareno, 2014). A condição ideal também se objetiva nas relações humanas. Sob esse aspecto, o dramaturgo Oscar Wilde (1854-1900), em sua peça *Uma mulher sem importância*, dá voz à personagem Sr.^a Allonby, que diz: “O marido ideal! Oh, o marido ideal conversaria conosco como fôssemos deusas e nos trataria como crianças. Ele recusaria todos os nossos pedidos sérios e satisfaria cada um de nossos caprichos. Ele nos encorajaria a termos caprichos e nos proibiria a ter missões. Ele sempre diria muito mais do que quis dizer e sempre refletiria muito mais sobre o que disse” (Wilde, 1927). No ambiente das ciências da natureza, em que o objeto de estudo se baseia no entendimento de fenômenos naturais, como o comportamento de gases confinados em determinado recipiente, tem-se o conceito de idealidade na clássica equação de estado $PV = nRT$, em que as moléculas são consideradas partículas materiais pontuais que se movimentam independentemente entre si e, ao colidirem com a parede do reci-

piante em que estão alocadas, geram a pressão P (Callen, 1985). No campo tecnológico, em particular na aplicação de conhecimentos de engenharia química, tem-se os reatores químicos e equipamento de transferência de massa, concebidos por dois extremos perfeitos ou ideais, considerando-se o teor de mistura das espécies envolvidas ou na reação química ou na transferência de massa. O reator perfeitamente agitado (STR em inglês, Figura 16.1a) comporta-se de modo ideal, no sentido de provocar mistura completa, ou seja, proporciona a homogeneidade da concentração do soluto em todo o volume do equipamento. O extremo oposto de um STR é o reator tubular empistonado (*plug flow*, Figura 16.1b), no qual se assume que a transferência de massa ocorra em seções diferenciais ao longo do comprimento do reator. Tais características podem ser resumidas na dispersão do fluxo em relação ao eixo longitudinal do equipamento ou dispersão axial. Enquanto a dispersão em um STR ideal é infinita, essa dispersão é nula em um reator tubular *plug flow* ideal. O reator real, por via de consequência, apresenta-se em condição fluidodinâmica caracterizada por apresentar mistura parcial, em que a dispersão axial se situa entre a mistura perfeita e o escoamento *plug flow* ideal. Assim, tanto o modelo de mistura completa quanto o de pistão são idealizados. A realidade aponta para uma situação intermediária, de mistura parcial, reconhecido como modelo de dispersão e sendo esta posicionada longitudinalmente, tendo-se a concepção da dispersão axial.

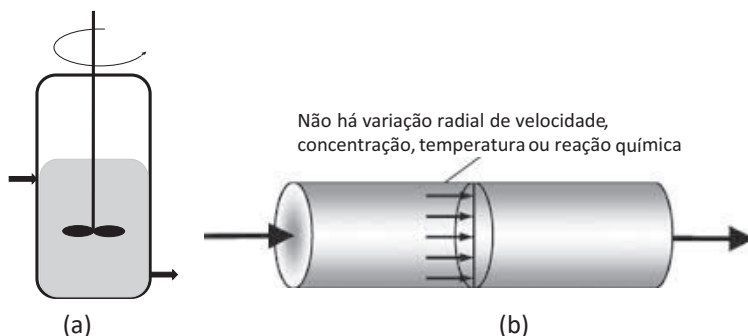


Figura 16.1 – (a) Mistura perfeita (completa); (b) Reator *plug flow* ideal.

Na busca do entendimento da ocorrência da dispersão axial, elege-se o escoamento de determinada solução em um equipamento do tipo leito fixo que apresenta fração volumétrica de vazios ϵ (porosidade do leito), conforme ilustrado na Figura 15.5, da qual se recupera a ilustração 15.5c na Figura 16.2.

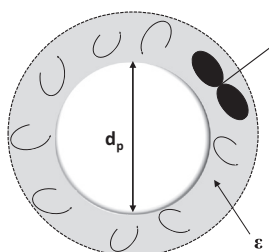


Figura 16.2 – Ilustração da dispersão axial que envolve uma partícula contida em um leito fixo.

CAPÍTULO 17

Que fase!

Assisto a uma partida de futebol do Corinthians. Amem-me se possível, mas não odeiem, pois o Timão está péssimo. Ouço do Milton Leite, jornalista, escritor e locutor esportivo: “Que fase!”, atribuído à atuação do time, corroborando a minha percepção. Desligo a tevê, pois o Curíntia acaba de levar mais outro. Pego uma xícara e vou à varanda. Aprecio o céu de Campinas enquanto sorvo o aroma do café e, de pronto, me vem o bordão do Milton Leite, mas, em vez de me entristecer, contento-me com a Lua cheia, que explode em exuberância. “Que fase!” Ao nos depararmos com o conceito “fase”, este é amplo, pois abarca sinônimos que aludem à etapa, estágio e período: ciclo, época, era, estação, idade. Tem-se, portanto, a fase relativa à etapa ou estágio de certo processo, feito as de uma pesquisa clínica para o desenvolvimento de fármacos, envolvendo desde a etapa pré-clínica, correspondente a testes em laboratórios para avaliar o seu potencial de uso, para, a seguir, dar curso à fase clínica, composta, por sua vez, por várias fases de testes de avaliação quanto a farmacocinética e farmacodinâmica, administração apropriada, dosagem, efeitos colaterais, segurança e eficácia, contraindicações, medidas de precaução e demonstração de vantagem terapêutica etc. Quanto a período ou ciclo, pode-se citar o ciclo menstrual, que envolve a fase folicular, que ocorre antes da liberação do óvulo; a fase ovulatória, associada à liberação do óvulo; e a fase lútea, após a liberação do óvulo. E, aqui, pode-se dar continuidade ao raciocínio, atrelando-o ao conjunto de quadros *A jornada da vida*, Figura 17.1, de Thomas Cole (1801-1848), que se referem às fases da vida do ser humano, sendo elas infância, juventude, maturidade e velhice, as quais se evidenciam em nos-

sas faces, remetendo à origem grega para “fase”, φασις, com o significado de aspecto, aparência. As fases da Lua, por exemplo, em nossas faces.



(a) Infância



(b) Juventude



(c) Maturidade



(d) Velhice

Figura 17.1 – A jornada da vida. (a) Infância; (b) juventude; (c) maturidade; (d) velhice.

Fonte: NIIOD (2024).

A questão do aspecto, para fase, também é encontrada tanto na física quanto na química, para categorizar um sistema microscopicamente homogêneo, entendendo-o como determinado volume que contém certa matéria, em que esta apresenta características físicas uniformes, implicando na mesma composição química e estado físico. Dessa maneira, e desde que observado a natureza homogênea e não reacional, tem-se as fases gasosa, líquida e sólida. E, aqui, entra um aspecto importante de transferência de massa, que trata da migração de um determinado soluto de uma fase para outra. Guardando as devidas proporções e trazendo o atrevimento para a cena, capítulos anteriores praticamente concentravam-se no movimento do soluto em uma única fase, por exemplo, o movimento do barco que contém o ser humano, no conjunto de quadro de Cole (Figura 17.1): esse barco movimenta-se em águas calmas, regime laminar, da infância ou da velhice, ou estava à mercê da turbulência da maturidade. Interessa-nos, agora, avaliar o fluxo global, ou seja, sabendo que cada fase oferece determinada resistência à migração do soluto, como se dá a sua transferência de uma fase para outra. A transferência de massa entre fases, em linhas gerais, está associada ao transporte do soluto de certa fase até a interface e desta à outra fase. Tal interface decorre das condições termodinâmicas atreladas à operação de separação, que é de interesse tecnológico, como aquele encontrado na separação de aminoácidos presentes em uma solução aquosa, utilizando-se a operação de adsorção. É importante o registro de que aminoácidos são as estruturas bá-

CAPÍTULO 18

A delicada condição de ser

Stefan Zweig teve publicado, em 1941, *Brasil, o país do futuro*. Residindo no Rio de Janeiro, Zweig considerou que o país estava ungido a ser uma potência mundial, tendo em vista, sob a sua ótica, seu vasto território e riqueza natural, sem conflitos generalizados com nações vizinhas e um povo multirracial. No início da década de 2020, quando este livro sobre *Transferência de massa* foi escrito, portanto mais de oitenta anos após a publicação da obra do escritor austríaco, verificou-se que mais de 50 milhões de brasileiros (e brasileiras) estavam em situação de pobreza. Em 2018, 44% dessa população encontrava-se na região Nordeste, sendo que nesta e na região Norte do país os indicadores de pobreza estavam acima da média nacional. Nessa estatística, os pretos e pardos correspondiam a 72,7% dos que estavam em situação de pobreza ou extrema pobreza e, entre esses, as mulheres pretas e pardas faziam parte do maior contingente. Brasil, o país do futuro, parecia nunca ter saído do passado ou ainda estar aprisionado ao então presente sufocante, cuja esperança aparentava ser a única voz para vencer tamanha vulnerabilidade. A erradicação da pobreza é central em qualquer estratégia de desenvolvimento sustentável, como também a mais urgente a ser considerada em qualquer política, e a sua erradicação configura-se no primeiro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), formulados pela Organização das Nações Unidas (ONU) e ilustrados na Figura 18.1. Esses objetivos compunham uma agenda de ações que deveriam ser abraçadas por todas as nações do planeta, destinados à garantia da prosperidade da humanidade em harmonia entre os povos até 2030.



Figura 18.1 – 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: UNICEF (2023).

Além do primeiro objetivo das ODS, vem de imediato a leitura do primeiro artigo da Declaração dos Direitos Humanos da ONU, cujo documento, criado em 1942, diz que as pessoas nascem livres e iguais em sua plenitude de dignidade e de direitos. Sob a tutela da ONU, elaborou-se, em 1979, o documento sobre os Direitos da Mulher, segundo o qual, além do direito à vida, a Mulher tem direito à saúde e à proteção desta, como também lhe cabe a decisão sobre ter filhos ou não e quando os ter. Tendo ou não tendo filho, o fato é que as mulheres são, quando comparadas biologicamente aos homens, mais suscetíveis às doenças sexualmente transmissíveis, e a maioria é assintomática (Dall’Alba; Jaskulski, 2014). Em uma cultura vista como machista, tocar no tema vai além de ser tabu, sendo algo que remete à expulsão do Paraíso, como se as mazelas do Mundo fossem creditadas à Eva. Aflora Rita Lee, na letra de “Cor de rosa choque”, em que escreve “Mulher é bicho esquisito, todo mês sangra”. Aqui, potencializada pela menstruação ou depois do contato com fluido seminal, pode ocorrer um distúrbio ginecológico comum, a vaginose bacteriana (Carvalho *et al.*, 2021). Além de comprometer o equilíbrio biopsicossocial, eleva-se o risco de doença inflamatória pélvica aguda e, durante a gravidez, está associada, entre outros, ao parto prematuro e abortamento séptico (Amorim; Santos, 2003). Você que me lê: como pode contribuir? É crucial ter uma formação técnica sólida, associada à consciência de que essa formação não se direciona apenas para o desenvolvimento pessoal, mas também para contribuir na elevação da dignidade humana. Quanto à questão técnica, basta obser-

CAPÍTULO 19

Sede de quê?

O desenvolvimento tecnológico direcionado a processos de transformação não tem sentido caso não envolva o gerenciamento e uso da água. Na aurora do novo milênio, constatou-se que 1,1 bilhão de seres humanos estavam privados de água tratada e 2,6 bilhões sem acesso ao esgoto tratado. As crianças são as que mais sofrem ao consumir água não tratada, sendo a diarreia responsável pela morte de 1,8 milhão de crianças, anualmente, no planeta (Pacheco, 2012). O descarte nas instalações sanitárias de fármacos não usados ou com prazos de validade expirados, como hormônios naturais, produtos de limpeza e de higiene pessoal na rede de esgoto, constituem-se em micropoluentes emergentes (MEs), que proporcionam danos à saúde humana e ao equilíbrio da flora e da fauna, como a elevação da toxicidade aquática. Os números aumentaram ao longo dos anos, como também os desafios para tratar os efluentes gerados industrialmente e aqueles de outras atividades, feito os agropecuários. Quanto ao tratamento de água destinada ao consumo humano, há o processamento clássico, constituído desde a captação da água *in natura*, passando pelo gradeamento, coagulação, floculação, sedimentação/clarificação, filtração e desinfecção (Cremasco, 2018). Enquanto as etapas anteriores à filtração são encaminhadas para, principalmente, a remoção de particulados, a desinfecção é reservada para a eliminação de patógenos. A busca de tecnologias, portanto, tem sido direcionada para o desenvolvimento ou aprimoramento de métodos de tratamento de água ou efluentes. Dentre as técnicas, está a ozonização, que consiste do transporte do ozônio presente em uma corrente gasosa para uma corrente líquida, pois, além de ser um poderoso oxidante, promove uma baixa formação de subprodutos de oxidação (Mochi; Pacheco; Cremas-

co, 2010). Podem-se citar, dentre as várias aplicações do ozônio, a pré-oxidação (para a prevenção na formação de trihalometanos), a desinfecção da água nas estações de tratamento e de efluente final de esgoto sanitário; remoção de odores, incluindo o ácido sulfídrico, encontrado em estações de tratamento de água para consumo humano e nas indústrias farmacêuticas, têxteis, de papel e do petróleo. O ozônio também pode ser empregado na descontaminação de alimentos em suas etapas da cadeia produtiva, importante para o fornecimento de alimentos seguros, podendo-se citar o seu emprego tanto na desinfecção de frutas e legumes no pós-colheita, reduzindo a carga microbiana, quanto no processamento de produtos lácteos. Ressalte-se que o ozônio apresenta a capacidade de oxidar uma gama de compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água, tendo em vista o seu alto poder oxidante, $E^\circ = 2,1 \text{ V}$ (Mochi; Pacheco; Cremasco, 2010). Além dessa última propriedade, o ozônio não gera poluição intrínseca, como o KMnO_4 ($E^\circ = 1,68 \text{ V}$), que, muitas vezes, gera subprodutos de oxidação às vezes mais tóxicos do que os originalmente poluentes. Um dos aspectos essenciais no estudo da ozonização está no entendimento dos mecanismos de transferência de massa entre as fases, antes de um projeto de equipamento que dê efeito à operação de ozonização (Zapata, 2012). Tendo em vista a baixa solubilidade de ozônio em água, diz-se que a resistência à transferência de massa reside basicamente na fase líquida (Silva, 2006). A definição de o que está controlando o processo de separação é importante, inclusive, para a escolha do equipamento destinado para tanto. No caso em que a resistência à fase líquida é a etapa controladora da remoção do poluente, pode-se utilizar torres de borbulhamento, onde se borbulha o gás na base da coluna, preenchida por líquido, conforme ilustra a Figura 19.1. Aliás, constatou-se, no início do século XXI, que a coluna de borbulhamento fora o equipamento mais estudado entre os encontrados para o tratamento de água e de efluentes com ozônio. Silva (2006), por exemplo, conduziu experimentos de ozonização em uma torre (ou coluna) dessa natureza, a qual ofereceu o contato entre as fases gasosa (mistura de oxigênio e ozônio) e líquida (água destilada). A coluna tinha diâmetro igual a 0,15 m e altura útil de 0,48 m. A fase gasosa foi distribuída através de disco poroso, conduzindo à formação de bolhas entre 3 mm e 5 mm. Silva (2006) fixou a vazão de gás em 200 L/h, observando que o seu sistema conduziu ao valor de *holdup* do gás igual a 0,015. Para tanto, fixou-se, para o $\text{pH} = 5,0$, a temperatura de operação da coluna em $23,1^\circ\text{C}$ e concentração de ozônio na fase gasosa na alimentação da coluna, $c_{\text{G}0}$, igual a 13,8 mg/L. Foi obtida a cinética de ozonização na fase líquida, conforme consta na Tabela 19.1. Assumindo que a fase gasosa apresente escoamento *plug flow* ideal e que a reação de ozonização é de primeira ordem, obtenha a curva teórica e a compare com aquela fornecida na Tabela 19.1.

Tabela 19.1 – Cinética de ozonização em água líquida em um sistema semicontínuo

t (min)	0	1,5	3,0	4,5	6,5	9,5	11,5	14,5	16,5	19,5
c_l (mg/L)	0	2,40	3,31	3,68	3,86	3,91	3,95	3,99	3,99	4,03

Fonte: Silva (2016).

CAPÍTULO 20

Um girassol no olhar

Sim, descobri a beleza do girassol por meio da arte, a começar pela música “Um girassol da cor de seu cabelo”, presente no álbum icônico do mineiro e brasileiro Clube da Esquina, e “Girassol”, do Grupo Gralha Azul, de Paranaíba, lá no Paraná. Os girassóis também estão presentes no cinema, podendo-se citar o “Girassóis da Rússia”, dirigido por Vittorio De Sica, tendo Sophia Loren e Marcello Mastroianni no elenco. Não podemos nos esquecer dos girassóis pincelados por Van Gogh. Dentre os óleos ricos em ácidos graxos, o óleo de girassol configura-se como o mais charmoso. Diríamos, é o Chanel n. 5 dos óleos vegetais. O girassol (*Helianthus annuus* L.), termo oriundo do grego: flor do Sol, é espécie nativa da América do Norte, e o seu emprego remonta há 3000 a.C., quando as sementes eram utilizadas como fonte de fibras e proteínas para consumo alimentar, corantes obtidos das flores, e o seu óleo para tratamento capilar. O óleo de girassol, na Rússia, vem sendo utilizado como óleo comestível desde o início do século XIX. Encontra-se o seu emprego em processo de saponificação para a obtenção de tensoativos (Moraes; Paula, 2013). O óleo de girassol é fonte importante de carbono, em particular por ser rico em ácido linoleico, e de micronutrientes, como fósforo e zinco, sendo, portanto, indicado na composição de meio de cultura para obtenção via fermentação, por exemplo, de antibióticos. Pelo fato de ser rico em ácidos graxos, o óleo de girassol é fonte importante na obtenção de biodiesel, que se trata de um mono-alquil éster de ácidos graxos, oriundo de biomassa renovável. Usualmente, o biodiesel deriva de reação catalítica de transesterificação de triglicerídeos, da qual resultam ésteres de ácidos graxos, apresentando propriedade análogas às do combustível fóssil. Acrescente-se ao girassol uma gama de biomassa

empregada na obtenção de biodiesel, sendo elas: amendoim, algodão, mamona, soja, gergelim, canola, dendê, babaçu e palma (Cremasco, 2018). A descrição da cinética de reações de transesterificação é importante na medida em que estabelece o rendimento do processo, ou seja, o quanto se pode produzir de biodiesel. Além do tipo de oleaginosa, diversos fatores influenciam no desempenho do reator, podendo-se citar: tipo de catalisador, proporção óleo:álcool e a seleção da fase dispersa, que é o álcool, sendo este ou etanol ou metanol. Peiter (2017), ao utilizar o metanol na obtenção de biodiesel, tendo óleo de soja enquanto matéria-prima, menciona cinética de primeira ordem para a transesterificação; tal descrição segue a cinética de segunda ordem ao se utilizar etanol. Stamenović *et al.* (2007) empregaram metanol na produção de biodiesel de girassol. Para tanto, utilizaram 300 g de óleo de girassol refinado, 66 g de metanol, de modo a proporcionar a relação molar 1:6 entre número de mols do óleo e álcool metílico; massa de catalisador, hidróxido de potássio, igual a 3 g. O reator empregado foi do tipo tanque agitado com chicanas, de 1 litros de capacidade, com impelidor do tipo duas pás reta de diâmetro igual a 7,5 cm, acionando-o em 120 rpm. Visto a temperatura de operação ser 20 °C, pede-se:

- Estime o valor da potência consumida pelo sistema de agitação.
- Obteve-se as frações mássicas de seus ácidos graxos livres, conforme apresentadas na Tabela 20.1. Considerando-se que a massa molar dos alquil ésteres que compõem o biodiesel é a mesma daquela dos ácidos graxos, estime o valor do coeficiente de difusão do biodiesel no metanol, no óleo de girassol e na emulsão metanol/óleo diesel a 20 °C.

Tabela 20.1 – Composição de ácidos graxos livres no óleo de girassol

Ácido graxo	C<14	Mirístico	Palmítico	Palmitoleico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolenico	Araquídico
M (g/mol)	*226,38	228,37	256,4	254,41	284,48	282,47	280,45	278,43	304,47
% mássica	0,44	0,24	6,18	0,43	2,56	28,32	61,53	0,29	0,12

* Estimado neste livro.

Fonte: Nunes (2013).

- Obtenha a curva teórica da cinética de produção de biodiesel a partir de óleo de girassol, assumindo que o valor da constante da cinética de reação é igual a $0,015 \text{ min}^{-1}$, e a compare com aquela experimental apresentada na Tabela 20.2.

Tabela 20.2 – Cinética da produção de biodiesel de girassol via metanólise a 20 °C

t (min)	0	10	15	20	25	30	40	60	90
c/c*	0	0,53	0,70	0,77	0,80	0,83	0,84	0,86	0,86

Fonte: baseada em Stamenović *et al.* (2007).

CAPÍTULO 21

Spray

Pobreza e fome ferem os direitos humanos fundamentais. Buscar, portanto, soluções para diminuir os seus impactos, e trazer o mínimo de dignidade às pessoas, está no epicentro de qualquer discussão, incluindo aquelas relacionadas à agricultura, em que o Brasil ocupa destaque mundial, pois é notável produtor e exportador de *commodities* agropecuárias (Jorge, 2022). Entretanto, o solo é tido como carente quanto a nutrientes, em particular nas regiões Centro-Oeste e Sul do país (Avella; Santos; Silva, 2022), principalmente quando endereçados para a produção de cereais e leguminosas. A carência de nutrientes é suprida por fertilizantes (Jorge, 2022), que requerem de 30% a 35% dos gastos totais de uma lavoura, impactando no preço final dos alimentos (Avella; Santos; Silva, 2022). Ressalte-se que os principais fertilizantes empregados para prover substâncias vitais a solos carentes são o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), provenientes de depósitos minerais concentrados em regiões geográficas específicas. Tais questões são preocupantes, especialmente ao se considerar o horizonte de 9 bilhões de habitantes em 2050 e a necessidade de produzir mais alimentos de forma sustentável (Bolzonella *et al.*, 2018). Além do impacto da mineração, cumpre mencionar que os fertilizantes nitrogenados, por exemplo, são obtidos da amônia anidra, oriunda do processamento de combustíveis fósseis, potencializando emissões poluidoras. Existem fontes alternativas que complementam ou reduzem a adubação mineral, podendo-se mencionar adubos orgânicos oriundos de compostagem do lodo resultante do tratamento do esgoto (Jorge, 2022). Há a possibilidade de se utilizar resíduos pecuários, ricos em macronutrientes, em que concentrações de nitrogênio e fósforo variam entre 5 e 15 kgN/ton e 0,1 e 1 kgP/ton, respectivamente, em esterco

bovino e de frango (Bolzonella *et al.*, 2018). Por outro lado, o digestado, material que passa por digestão anaeróbica, é rico em nitrogênio, o que pode levar à eutrofização da água, bem como contribuir com a poluição de águas subterrâneas (Liu *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2015). Acrescente-se que a gestão de resíduos pecuários e a produção de fertilizantes são responsáveis por 90% do total de emissões de amônia para a atmosfera. Ao procurar estocá-la em concentrações elevadas, corre-se o risco de explosão. A mitigação das emissões de NH_3 na corrente atmosférica é questão central para a saúde humana e para o meio ambiente (Jafari *et al.*, 2018). Os processos de recuperação de amônia, que permitem a produção de potenciais fertilizantes agrícolas, incluem, entre outros processos, a sua absorção (Zhao *et al.*, 2015). Em se tratando da absorção do NH_3 , presente em gás, esta ocorre por contato com uma corrente líquida aquosa, cujo equipamento apropriado para tanto pode ser a torre *spray* (ou coluna *spray*, torre ou coluna de nebulização, torre ou coluna de pulverização), Figura 21.1, na qual a fase líquida é introduzida como *spray*, formando gotículas destinadas a proporcionar maior área de contato entre as correntes envolvidas na separação.

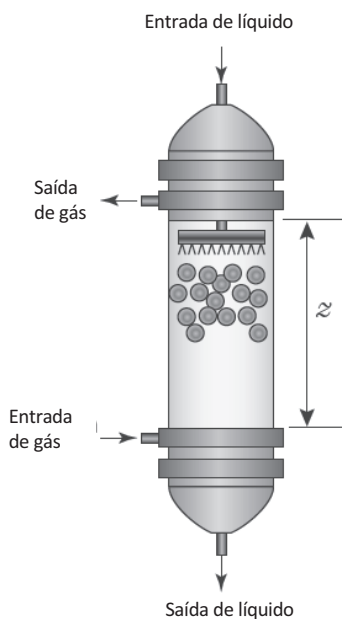


Figura 21.1 – Torre *spray*.

Fonte: Cremasco (2015).

A coluna de nebulização opera normalmente em contato em contracorrente, com injeção do gás na parte inferior e saída na parte superior do equipamento. A dispersão da solução líquida, alimentada no topo da torre, é realizada por bicos pulverizadores, que possuem diversas configurações de aspersão, assim como podem ser dispostos de diversas maneiras no interior do equipamento (Valera, 2021). Dada a necessidade de minimizar a contaminação do ar por amônia, avaliou-se o desempenho de uma colu-

CAPÍTULO 22

A lágrima que corrói

Na sociedade contemporânea há poucos produtos que não tenham pelo menos uma etapa, na sua obtenção, que envolva um processo químico ou bioquímico. Desde alimentos até têxteis, combustíveis, cosméticos, farmacêuticos, apenas para citar aqueles insumos de uso diário e corriqueiro (Cremasco; Bertan, 2024). Essa característica exige a formação ampla de seus profissionais, como também estabelece uma relação transdisciplinar com outras áreas do conhecimento e campos de atuação, tendo por fundamento conceitos matemáticos, físicos, químicos, biológicos e de ciências humanas, cuja interação permite o seu desenvolvimento e a sua compreensão, assim como estabelece uma relação dialógica com a sociedade, para acolher as suas necessidades básicas quanto à alimentação, saúde e moradia. A visão contemporânea, além de atender ao meio produtivo, direciona-se a cidadãs e cidadãos comprometidos com a solução de problemas técnicos e científicos, bem como com aspectos de responsabilidade e desenvolvimento social. Nessa direção, e baseado no fato de que, para um projeto (bio)químico, é imperativo o seu estudo e avaliação a partir da análise de viabilidades científicas, técnicas, econômicas e socioambientais, de modo a ser algo exequível e consoante com as dimensões do desenvolvimento sustentável, sendo elas a social, a econômica e a ambiental, que interagem e dialogam entre si: das dimensões social e ambiental, resulta a socioambiental; entre a econômica e a ambiental, a econômico-ambiental; e, entre a social e econômica, a socioeconômica, conforme ilustra a Figura 22.1, de forma a atender às necessidades da atual geração, bem como às das gerações futuras (Cremasco; Bertan, 2023). Nessa direção, boa parte da produção mundial de energia, no início do século XXI, advinha da queima de combustíveis

fósseis, como o petróleo, carvão e gás, resultando em fontes preocupantes de problemas ambientais, por exemplo, efeito estufa, poluição fotoquímica, destruição da camada de ozônio e a chuva ácida.

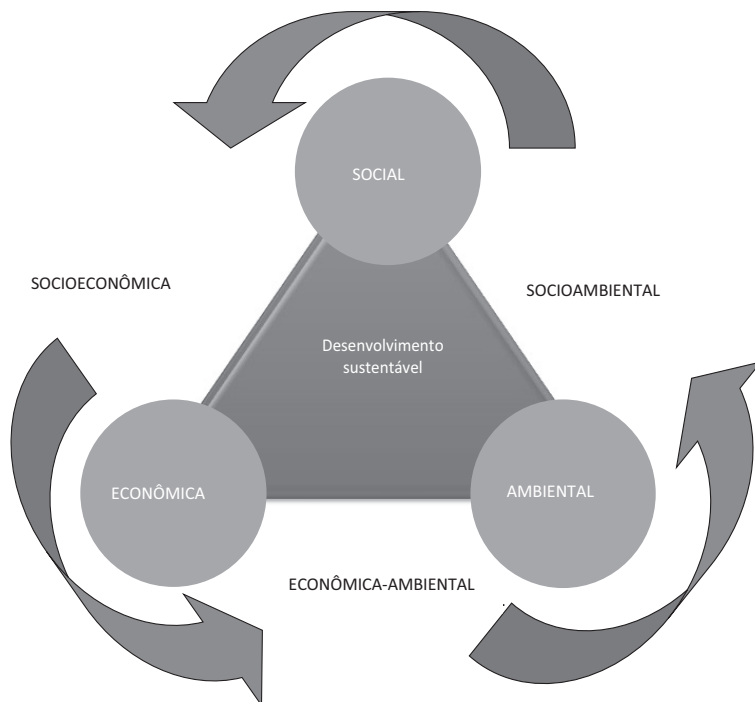


Figura 22.1 – Dimensões do desenvolvimento sustentável.

Fonte: Cremasco (2015a).

As questões ambientais, portanto, não podem estar relegadas ao descaso ou esquecimento. A população nem sempre sabe da real condição de seu meio ambiente, uma vez que poucos informam o que acontece na cidade com relação aos poluentes do ar, entre os quais, em termos de periculosidade, o dióxido de enxofre, SO_2 , que figura entre os contaminantes mais nocivos (Pape, 1988). O SO_2 é emitido tanto por fontes naturais quanto por aquelas antropogênicas, sendo as primeiras oriundas, por exemplo, de vulcões, enquanto as últimas resultam principalmente da queima de combustíveis fósseis por atividades humanas. Ao ser liberado para atmosfera, o SO_2 origina o ácido sulfúrico, responsável pela formação da chuva ácida, que provoca a desmineralização dos solos, acidificação das águas subterrâneas, de lagos e rios; corrosão de materiais, afetando prédios, esculturas, pontes e viadutos, além de provocar danos aos pulmões, câncer ou até mesmo morte prematura (Cremasco, 2025) – veja a Figura 22.2.

VI. ESPERANÇA

Se não há novo sob o Sol, por que estudar? Se não há novo sob o Sol, por que conhecer? Mas uma coisa é certa: o paciente que sofre um desmaio e procura um médico espera ser atendido e, quando o é, nutre a esperança de ser uma indisposição leve. Pedem-se vários exames: ácido úrico, creatinina etc. O desmaio não era nada trivial, e o paciente é encaminhado à diálise, com a esperança de o rim funcionar novamente ou, caso não seja possível, entrar em uma fila de espera para um transplante, nutrindo a esperança de que o novo órgão lhe traga sobrevivência. E vem o transplante, mas, para que o organismo do paciente entenda o enxerto como seu, torna-se necessária a imunossupressão oferecida por fármacos. E, aqui, o paciente entra em outro estado de espera do medicamento para continuar vivo. Caso não exista a medicação, o ciclo de vida é interrompido. Pode-se guardar semelhança entre os ciclos de vida microbiano e humano, por exemplo, mas seres humanos não são microrganismos ou produtos descartáveis. Chega-se ao ponto de equipará-los, em dimensão, a seres unicelulares caso postos diante do Sol, mas ainda existem pessoas que entram em estado de espera, atravessando noites e madrugadas, para contemplar o amanhecer e descobrir, sim, que sempre há algo novo sob o Sol: a Esperança.

CAPÍTULO 23

Ciclo da vida

Ariano Suassuna (1927-2014), notável escritor, dramaturgo, pensador paraibano, membro da Academia Brasileira de Letras, nos deixou obras basilares, feito o *Auto da Compadecida*. Muito além das letras, Ariano nos faz pensar quando elabora a reflexão: o ser humano se repete, independentemente do lugar, do tempo e de sua condição. Tal pensamento, por sua vez, nos estimula às mais diversas leituras, incluindo o Eclesiastes (1:9), no qual se lê *Nihil novi sub sole*, ou, em tradução livre do latim, Não há nada de novo sob o Sol. Somos, de pronto, a debruçar na condição humana elaborada por Ariano e retroceder cerca de 2.900 anos e encontrar Salomão (990 a.C.-931 a.C.), a quem alguns atribuem o versículo bíblico; ou ler do português Eça de Queiroz (1845-1900) que a eterna repetição das coisas está naquela dos males. Será necessário, como sustentava Benjamin Franklin (1706-1790), provar que o ser humano não foi e sequer é na atualidade uma espécie detestável e cruel? Note que “atualidade” escrita na sentença anterior foi formulada há cerca de trezentos anos e parece corroborar Salomão. Seria isso? O ser humano é uma espécie destinada à mesmice e, disso, à apatia? O novo não é tão novo a ponto de a cada amanhecer sermos impedidos de apreciar o Sol com olhos distintos? Não podemos, simplesmente, questionar o nosso olhar sobre a própria existência, ainda que restritos ao ciclo da vida? Penso que sim. Penso que devemos, pois o progresso nasce da diferença entre o antes e o agora. O que temos senão o limite do que conhecemos e do que podemos contribuir dentro do escasso tempo que nos resta para contemplar o Sol? Nesse sentido, resgatamos do latim a palavra *innovātus*, em que *in* remete a *para dentro*, e o adjetivo *novus* refere-se a *novo*, ou seja, Inovação. Dessa feita, inovação traduz a ação na busca pelo novo (Grizendi,

2011). Em linhas gerais, classifica-se a inovação como: *inovação de produtos e serviços*, a qual se fundamenta em novas tecnologias e é atrelada às necessidades das pessoas; *inovação de processos*, relacionada ao desenvolvimento de novas estratégias de obtenção de produtos ou de relacionamento no que tange à prestação de serviços; *inovação de negócios*, associada ao desenvolvimento de novos negócios que subsidiem o benefício competitivo e sustentável; e a *inovação em gestão*, relacionada ao desenvolvimento de novas estruturas de poder e de liderança. No caso específico de produto, Siqueira (1992) aponta as seguintes categorias para um novo produto: *novos produtos provenientes dos já existentes*, que se referem à geração subsequente de produtos, ou seja, produtos modificados ou aprimorados; *novos produtos para a linha de produtos de fabricantes*, mas já existentes no mercado, que dizem respeito à adição de produtos de concorrentes; *produtos lançados em novos mercados*, em particular em mercados menos desenvolvidos; *produtos inteiramente novos*, que são produtos únicos, inovações reais. Seja qual for a natureza comercial do produto, e considerando-o concretizado e posto no mercado, a questão é: por quanto tempo sobrevive? A sobrevivência do produto guarda semelhança com a nossa: produtos são concebidos, nascem, crescem, atingem a maturidade e entram em declínio, caracterizando um ciclo de vida (Figura 23.1). Como a própria denominação induz, na primeira fase (lançamento) o produto é lançado no mercado, ganhando a sua aceitação na fase de crescimento, e atende as necessidades do mercado na maturidade, enquanto, em seu declínio, tais necessidades são amplamente atendidas.

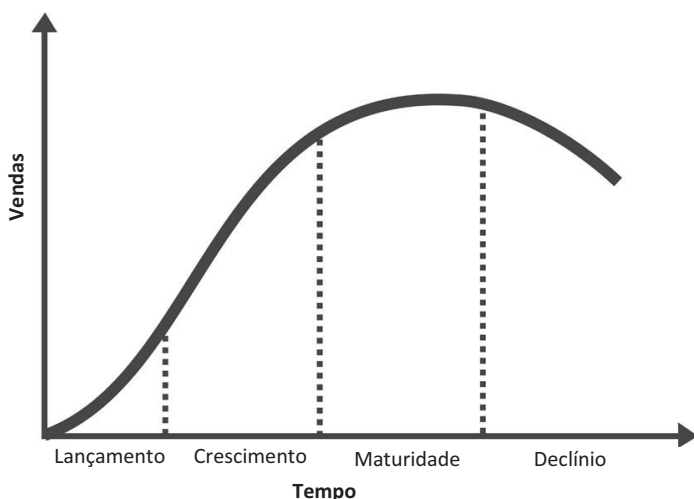


Figura 23.1 – Curva do ciclo de vida de um produto.

Dentre os produtos em que a novidade é vital ou se caracteriza por introduzir inovação quanto à sua especificidade de ação, estão os fármacos. Ainda que existam rotas químicas para obtê-los, há aqueles oriundos de processos fermentativos,



Clique aqui e:

VEJA NA LOJA

Transferência de massa - Vol. 3

Equações de transporte e operações unitárias

Marco Aurélio Cremasco

ISBN: 9788521225430

Páginas: 552

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2026

Transferência de massa: equações de transporte e operações unitárias é um livro necessário, cujo epicentro é a vida, percebida pela própria existência, sua essência, sobrevivência, consciência e resiliência diante de questões que nos afetam no dia a dia.

Tais elementos são acolhidos em três campos de estudos: fundamentos de difusão mássica, balanço microscópico de matéria e operações unitárias de transferência de massa. Os conteúdos são oferecidos em vinte e três capítulos, vistos em uma estrutura pedagógica transdisciplinar densa, possibilitando o diálogo entre as diversas áreas do conhecimento. Tem-se, portanto, um livro que transpõe as fronteiras da tecnologia, lembrando-nos que a rigidez técnica não deve ser motivo para perdermos a sensibilidade e sequear a nossa humanidade. O prof. Marco Cremasco nos oferece uma obra de engenharia da esperança.



www.blucher.com.br

Blucher