

ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



volume III

UFPR

Optativas e Materiais Complementares

Engenharia Ambiental e Sanitária

UFPR

Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Centro de Estudos do Mar
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária

Engenharia Ambiental e Sanitária

Volume 3
Ano: 2024
1ª Edição
ISBN: 978-65-01-13962-3

Editor/Organizador

Cesar Aparecido da Silva

Comitê Editorial/Equipe Multidisciplinar

Cesar Aparecido da Silva

Liliam Maria Orquiza

Cíntia Miua Maruyama

Luciana Ramos Rodrigues

Revisão

Liliam Maria Orquiza

Capa

Cíntia Miua Maruyama

Autores

Alexandre do Amaral Ferreira

Helena Cristina da Silva de Assis

Cesar Aparecido da Silva

Henrique Machado Kroetz

Danyelle Schumanski

Juliana Almansa Malagoli

Dayanne Jéssica de Oliveira Czapak

Virnei Silva Moreira

Erúzia Aparecida Evangelista Ferreira

©2024 todos os direitos reservados. Proibida reprodução, ainda que parcial. Proibida comercialização.
Livro Digital com disponibilização gratuita na página do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária:
<http://www.cem.ufpr.br/portal/ambientalsanitaria>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Engenharia ambiental e sanitária [livro
eletrônico] : volume 3 / (org.) Cesar Aparecido
da Silva. -- 1. ed. -- Pontal do Paraná, PR :
Ed. dos Autores, 2024.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-01-13962-3

1. Engenharia ambiental 2. Engenharia sanitária
3. Engenharia - Estudo e ensino I. Silva, Cesar
Aparecido da.

24-226673

CDD-628

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia ambiental 628

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129



APRESENTAÇÃO **6**

INTRODUÇÃO À CONFIABILIDADE PARA ENGENHARIA **8**

HIGIENE ALIMENTAR E SANEAMENTO **21**

ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO E MEIO AMBIENTE **56**

FÍSICA I **93**

FÍSICA II **100**

FÍSICA III **107**

Apresentação

Em cumprimento à legislação vigente, especialmente à Portaria n. 2.117, de 6 de dezembro de 2019, do Ministério da Educação (MEC), o presente livro tem como objetivo a apresentação dos temas das disciplinas que contém carga horária (CH) em Educação À Distância (EAD) do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária (EAS), do Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná.

A confecção dos materiais didáticos das disciplinas com CH em EAD, independentemente de sua quantidade, é função de seus professores responsáveis, denominados aqui de autores, bem como de seu conteúdo.

O Comitê Editorial formado pela Equipe Multidisciplinar do referido curso, editora e normatiza os textos recebidos, sendo de seus autores a total responsabilidade dos teores neles contidos.

O presente livro é um compêndio dos temas em EAD das unidades curriculares **optativas** e de **materiais complementares**, devidamente registradas nas fichas 2 (planos de ensino), apresentados em capítulos e disponibilizados de forma gratuita nas plataformas virtuais desta Universidade.

Os estudantes devidamente matriculados nas disciplinas com CH em EAD, receberão o livro através de:

- Por e-mail enviado pelos professores responsáveis pelas unidades curriculares na primeira semana de aula utilizando o Sistema de Gestão Acadêmica (SIGAUFPR);
- Pela disponibilização da obra no Ambiente Virtual (AVA - UFPRVIRTUAL);
- Pela disponibilização da obra no site oficial do curso EAS;
- Pela disponibilização da obra na biblioteca CPP-CEM.

Isso garante que todos os graduandos tenham acesso de forma ininterrupta aos conteúdos didáticos das disciplinas com CH em EAD, acessando os diferentes canais de informação.

É facultado ao aluno imprimir os conteúdos deste livro.

Bons Estudos!

Comitê Editorial

Introdução À Confiabilidade Para Engenharia¹



HENRIQUE MACHADO KROETZ

Doutor em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela Universidade de São Paulo, com período sanduíche no Instituto Federal de Tecnologia da Suíça em Zurique (ETHz) (2019). Professor adjunto da Universidade Federal do Paraná.



DAYANNE JÉSSICA DE OLIVEIRA CZPAK

Mestranda em Engenharia Civil, na área de Estruturas, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (PPGEC/UFPR).

Como citar esse capítulo nas normas ABNT:

KROETZ, Henrique Machado; CZPAK, Dayanne J. de. Introdução à confiabilidade para engenharia. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). **Engenharia ambiental e sanitária**: volume 3. Pontal do Paraná, 2024. v. 3, cap. 1, p. 07-20. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/porta/ambientalsanitaria/> Acesso em: 14 maio 2024.

¹ Tópicos Especiais em Engenharia Ambiental e Sanitária

INTRODUÇÃO À CONFIABILIDADE PARA ENGENHARIA

APRESENTAÇÃO

É usual na prática da engenharia a consideração de parâmetros de sistemas físicos como sendo determinísticos. Sabe-se, porém, que esta abordagem pode não ser suficiente para uma representação precisa dos problemas considerados. Diversas normas técnicas consideram uma abordagem semiprobabilística quando é necessário garantir um certo nível de segurança no dimensionamento de diferentes tipos de sistemas de engenharia. Esta abordagem basta para a maioria dos casos práticos, porém mesmo ela pode não ser suficiente a depender do problema que se deseja resolver. A teoria da confiabilidade surge como uma ferramenta que possibilita a consideração explícita das incertezas que inevitavelmente se farão presentes. O que se busca são elementos que tenham uma probabilidade aceitável de falha, já que sabemos que nenhum sistema de engenharia estará cem por cento seguro contra qualquer tipo de falha. Uma grande dificuldade dessa área de conhecimento é a falta de dados estatísticos sobre falhas (ou acertos) ao longo dos anos, visto que apenas recentemente o advento dos computadores permitiu a coleta e o armazenamento de dados em massa. No contexto da Engenharia Ambiental e Sanitária, a confiabilidade se mostra uma ferramenta muito útil para garantir a eficácia dos sistemas de saneamento. Em projetos de abastecimento de água, tratamento de esgoto e gestão de resíduos sólidos, a confiabilidade dos processos e sistemas visa garantir a saúde pública e a proteção do meio ambiente. Pela característica estocástica dos fatores que afetam o desempenho desses sistemas, como a qualidade da água, as condições climáticas e a demanda dos usuários, a abordagem probabilística oferecida pela confiabilidade permite uma análise interessante do tema. Esta disciplina tem como objetivo introduzir os conceitos de confiabilidade, os quais têm aplicabilidade em diversos campos do conhecimento, porém, neste material, o foco será direcionado à engenharia. Serão apresentados conceitos de confiabilidade, probabilidade de falha, modos de falha, variáveis aleatórias, equação de estado limite e índice de confiabilidade. Ao final, serão propostos alguns exercícios de revisão do capítulo.

1 Introdução

Ao refletirmos sobre a evolução dos sistemas de engenharia ao longo dos anos, somos confrontados com um vasto histórico de tentativas, erros e sucessos que moldaram as soluções que temos hoje, adaptadas às demandas específicas de cada contexto. Smith (2001) contextualiza o estudo da confiabilidade ao longo do tempo, destacando como a trajetória histórica contribuiu para o desenvolvimento de padrões que refletem a eficiência e durabilidade observadas. Com base nessa trajetória, surgiram parâmetros e métodos de dimensionamento determinísticos, buscando estabelecer um nível mínimo de confiabilidade para cada elemento estrutural.

Mas afinal de contas, o que é a Confiabilidade?

Confiabilidade é o nível de segurança considerado aceitável para um determinado elemento dimensionado. Em outras palavras, um elemento é considerado confiável quando a probabilidade de falha em um dado momento é suficientemente baixa para ser considerada aceitável. Quanto maior a confiabilidade de um elemento, menor é a probabilidade de falha ao longo de sua vida útil.

Vamos explorar cada aspecto envolvido no estudo da confiabilidade na sequência.

2 Falha, Modos de falha e Probabilidade de Falha

A falha é o estado em que determinado elemento ou sistema deixa de atender às condições para as quais foi especificada. Dessa forma, a falha de determinado componente não significa necessariamente o colapso total do sistema. Por exemplo, considere uma tubulação de água potável que apresenta um pequeno vazamento em um trecho da rede de abastecimento. Esse vazamento pode não ser grande o suficiente para deixar a população sem atendimento, porém, ser suficiente para que a vazão entregue ao final não seja a vazão mínima esperada. Isso já poderia ser considerado um modo de falha deste sistema de abastecimento. Apesar de não ter ocorrido um colapso completo, o sistema não atende plenamente aos critérios de desempenho estabelecidos.

Portanto, um componente, estrutura ou sistema pode ter os mais diversos **Modos de falha**, ou seja, diversas situações em que não atende aos critérios de desempenho desejados. Isso inclui não apenas critérios de colapso total, mas também falhas mais simples, menos evidentes

e menos graves. No estudo da confiabilidade, os diversos modos de falha podem ser descritos através de funções de estado limite (Faber, 2006).

2.1 Probabilidade de Falha

A probabilidade de um equipamento, componente, sistema ou estrutura não atender às condições para as quais foi projetado é conhecida como **probabilidade de falha**.

Devido à natureza aleatória dos fenômenos que levam à falha desses sistemas, esses eventos podem não ser adequadamente representados por funções determinísticas. É aqui que entram as chamadas **Variáveis Aleatórias**, que são essenciais para modelar e compreender as incertezas associadas a esses sistemas. Utilizando as variáveis aleatórias, podemos calcular a probabilidade de falha e tomar medidas para diminuir os **riscos** associados às possíveis falhas dos sistemas estudados.

3 Variáveis aleatórias

Antes de introduzir as Variáveis aleatórias, vamos entender alguns conceitos de estatística. Ao realizar um experimento aleatório, cada possível resultado desse experimento é chamado de Ponto Amostral, representado pela letra grega *omega* minúscula (ω). O conjunto de todos os resultados obtidos no experimento é denominado Espaço Amostral, representado pela letra grega *omega* maiúscula (Ω) (Sudret, 2007, p.9).

Para que os dados de um espaço amostral sejam representados através de uma função real, define-se o que se chama de Variável Aleatória. Uma Variável Aleatória é uma função que associa cada ponto amostral de um espaço amostral a um número real, portanto, o domínio de uma variável aleatória $X(\omega)$ é o espaço amostral Ω . As variáveis aleatórias são comumente representadas por letras maiúsculas, enquanto suas realizações individuais são representadas por letras minúsculas (Beck, 2019).

Citemos um exemplo: uma companhia de saneamento está interessada em avaliar a qualidade da água de um rio que abastece uma cidade. Para isso, ela realiza medições diárias do nível de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) do rio, coletando e armazenando esses dados. Esses dados são considerados aleatórios, uma vez que estão sujeitos a diversos fatores imprevisíveis, como condições climáticas, ocorrência de chuvas, carga de poluentes despejados no rio, entre outros. A partir do conjunto desses dados ao longo do tempo, é possível utilizar

técnicas avançadas de regressão para se definir a variável aleatória que represente com precisão a aleatoriedade do comportamento deste parâmetro.

As Variáveis aleatórias são bem representadas por duas funções fundamentais: a Função densidade de probabilidade (PDF – Probability Density Function) e a Função de distribuição cumulativa de probabilidades (CDF – Cumulative Distribution Function). As equações deste capítulo foram adaptadas de Beck (2019) e Sudret (2007).

3.1 Função de distribuição cumulativa de probabilidades (CDF)

Considere uma variável aleatória $X(\omega)$ associada aos pontos amostrais ω . A função que descreve a probabilidade dessa variável aleatória assumir um valor menor que x é o que se denomina Função de distribuição cumulativa de probabilidades $F_X^\square(x)$:

$$F_X^\square(x) = P[\{X \leq x\}] \quad (1)$$

3.2 Função densidade de probabilidades (PDF)

A derivada da função de distribuição cumulativa de probabilidades $F_X^\square(x)$ em relação a x é o que se chama Função densidade de probabilidades (Probability density function – PDF), conforme equação (2).

$$f_X^\square(x) = \frac{dF_X^\square(x)}{dx} \quad (2)$$

Ou seja, a função densidade de probabilidades descreve a probabilidade de a variável aleatória assumir um valor entre x e $x + dx$, conforme equação (3):

$$f_X^\square(x) = P[\{x \leq X \leq x + dx\}] \lim_{dx \rightarrow 0, dx > 0} \frac{P[\{x \leq X \leq x + dx\}]}{dx} \quad (3)$$

3.3 Valores característicos de uma variável aleatória

As variáveis aleatórias podem ser bem descritas através de alguns valores característicos. A média ou valor esperado de uma variável aleatória ($E[.]$) é dada por:

$$E[X] = \mu_X = \int_{-\infty}^{\infty} x f_X(x) dx \quad (4)$$

A variância, que mede a dispersão da variável aleatória em relação à sua média, é expressa por:

$$Var[X] = E[(X - \mu_X)^2] \quad (5)$$

O desvio padrão, por sua vez, é obtido calculando a raiz quadrada da variância:

$$\sigma = \sqrt{Var[X]} \quad (6)$$

3.4 Distribuições de probabilidades

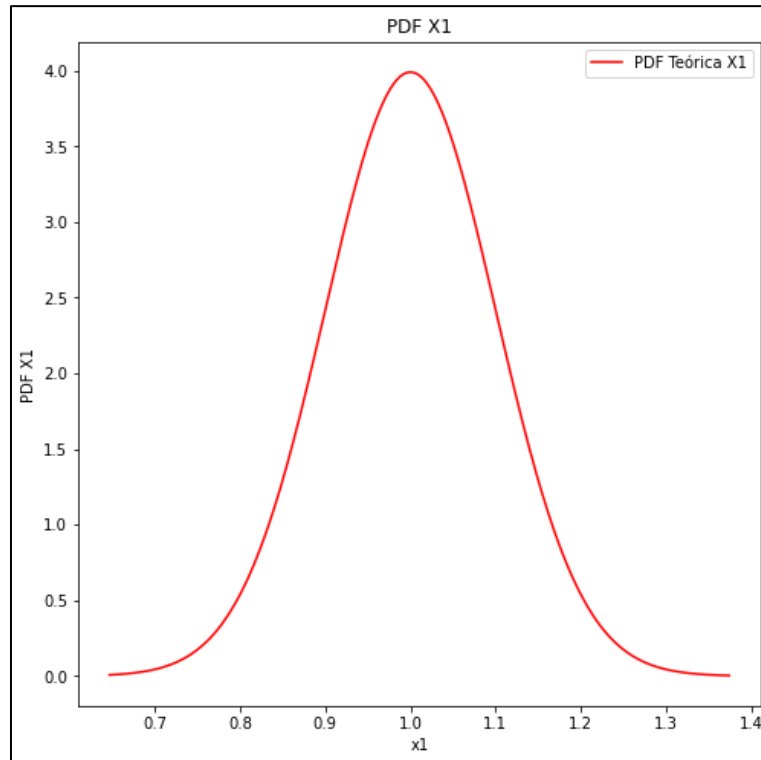
A função densidade de probabilidade das variáveis aleatórias pode ser representada por uma distribuição de probabilidades que melhor se ajusta às suas características. Existem várias distribuições de probabilidades estudadas e documentadas na literatura, cada uma com suas próprias particularidades. Uma das mais comuns é conhecida como Distribuição Normal ou Gaussiana.

Esta distribuição é uma das mais simples e pode ser completamente caracterizada apenas utilizando os dois primeiros momentos da variável aleatória, ou seja, sua média e desvio padrão. Uma variável aleatória é considerada normal quando sua função densidade de probabilidade (PDF) assume a forma da Equação (7):

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_X}{\sigma_X}\right)^2\right] \quad (7)$$

A forma de uma variável aleatória que segue uma distribuição normal é próxima ao formato de sino, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo de curva normal.



Fonte: Os autores (2024).

Para Saber Mais sobre outras distribuições de probabilidades existentes, leia o artigo de Novaes (2022) disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0424>>

4 Introdução à confiabilidade

Agora que você já está familiarizado com os conceitos fundamentais para o estudo da confiabilidade, vamos nos aprofundar nesse tema. Como mencionado anteriormente, os modos de falha se referem às diversas situações em que um elemento projetado deixa de atender aos critérios estabelecidos durante seu projeto.

Cada modo de falha pode ser chamado de um estado limite ao qual o componente projetado está sujeito. Matematicamente, existem formas de representar os diversos modos de falha desse componente. Vamos falar um pouco sobre as chamadas **Equações de estado limite**.

4.1 Equações de estado limite

Funções de estado limite estabelecem a fronteira entre o domínio de falha e o domínio de sobrevivência do elemento projetado. Cada modo de falha de uma estrutura é descrito por uma função de estado limite, as quais são dependentes das variáveis de projeto, que podem ser variáveis aleatórias (Beck, 2019). Considere um vetor X , que reúne todas as n variáveis aleatórias $X_1, X_2, \dots, X_n$ relevantes para um dado problema. A equação de estado limite que descreve um determinado modo de falha é obtida igualando-se a função de estado limite referente a este modo de falha a 0, conforme a Equação 8.

$$g(X) = 0 \quad (8)$$

Nas funções de estado limite, as variáveis aleatórias são organizadas de modo que quando assumem conjuntamente valores que levam a uma falha, a função assume valores negativos, e quando assumem valores que não levam a uma falha, a função assume valores positivos. Desse modo, a equação de estado limite delimita duas regiões no espaço das variáveis aleatórias do problema, uma referente a valores de falha, e outra a valores de sobrevivência. Assim, definem-se os domínios de falha D_f e de sobrevivência D_s , conforme as Equações 9 e 10.

$$D_f = \{x: g(x) \leq 0\} \quad (9)$$

$$D_s = \{x: g(x) > 0\} \quad (10)$$

Note que o domínio de falha também inclui a situação em que estamos exatamente na fronteira, ou seja, quando $g(x) = 0$.

4.2 O problema fundamental da confiabilidade

O problema de confiabilidade pode ser descrito em função do tempo, e suas variáveis aleatórias podem seguir várias distribuições de probabilidade, tornando-o potencialmente complexo. Neste material introdutório, entretanto, vamos tratar somente do caso mais básico.

Neste material, por simplicidade, todas as variáveis aleatórias serão consideradas independentes entre si.

O problema mais simples que podemos abordar é conhecido como o problema fundamental da confiabilidade. Ele é escrito de tal maneira que a equação de estado limite para um determinado modo de falha é expressa pela diferença entre a capacidade de um sistema C e a demanda solicitada D , situação representada matematicamente pela Equação (11).

$$g(C, D) = C - D = 0 \quad (11)$$

Através dessa formulação, podemos dizer que o sistema projetado falhou quando $g(C, D) \leq 0$, ou seja, quando demanda do sistema excedeu sua capacidade. Note que C e D são as variáveis aleatórias desse sistema.

Se assumirmos que as variáveis aleatórias C e D são normais e estatisticamente independentes, a média e desvio padrão de $g(C, D)$ podem ser facilmente calculados usando as Equações 12 e 13 (Beck, 2019).

$$\mu_{g(C,D)} = \mu_C - \mu_D \quad (12)$$

$$\sigma_{g(C,D)} = \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_D^2} \quad (13)$$

A razão entre $\mu_{g(C,D)}$ e $\sigma_{g(C,D)}$ é uma medida muito importante no estudo de confiabilidade, chamada de **índice de confiabilidade**, representado pela letra grega β . Esse índice expressa a distância geométrica entre a origem da distribuição normal e a fronteira definida pela equação de estado limite ($g(C, D) = 0$) (Beck, 2019):

$$\beta = \frac{\mu_{g(C,D)}}{\sigma_{g(C,D)}} = \frac{\mu_C - \mu_D}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_D^2}} \quad (14)$$

O índice de confiabilidade é amplamente utilizado em problemas de confiabilidade como um parâmetro que avalia a confiabilidade do sistema. Valores pequenos de beta indicam uma alta probabilidade de falha do sistema, o que significa baixa confiabilidade, enquanto valores maiores representam uma confiabilidade maior.

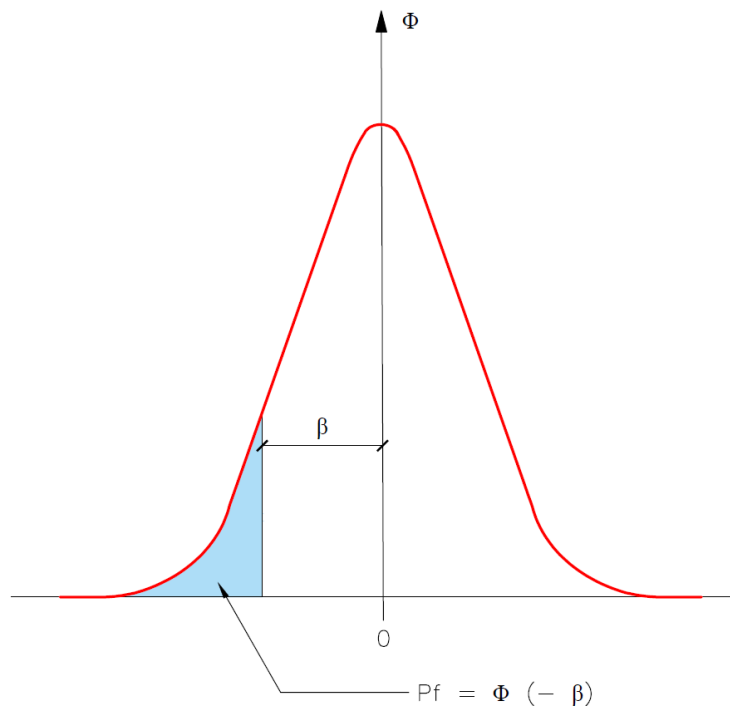
A partir do beta, é possível determinar a probabilidade de falha do sistema:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (15)$$

Onde $\Phi(.)$ é a distribuição cumulativa normal padrão, ou seja, a CDF de uma variável de distribuição normal, com média nula e desvio padrão unitário. A situação é ilustrada pela

Erro! Fonte de referência não encontrada..

Figura 2 – Relação entre β e P_f .



Fonte: Os autores (2024).

A aplicação desses conceitos ficará mais clara no exemplo 4.2.

Exemplo 4.2:

Um engenheiro sanitarista está interessado em determinar a confiabilidade de um sistema de abastecimento de água em uma pequena cidade. Para isso, ele modelou as variáveis de projeto Capacidade e Demanda como variáveis aleatórias da seguinte forma:

A capacidade diária de água C é uma variável aleatória normal com média $\mu = 700m^3/dia$ e desvio padrão $\sigma = 20m^3/dia$;

Introdução À Confiabilidade Para Engenharia

- A demanda do sistema de abastecimento de água D é outra variável aleatória normal, com média $\mu = 600 \text{ m}^3/\text{dia}$ e desvio padrão $\sigma = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$.

A partir dos dados, determine:

O índice de confiabilidade deste sistema.

- A probabilidade de o sistema não ser capaz de atender a demanda em um dado dia.

Resolução:

Para se determinar a confiabilidade do sistema, é preciso definir a equação de estado limite que dita essa relação:

$$g(C, D) = C - D$$

A equação de estado limite é linear, e as variáveis aleatórias que influenciam seu comportamento são todas independentes e normais. Dessa maneira, podemos simplesmente utilizar a equação (15) para determinar o índice de confiabilidade do sistema:

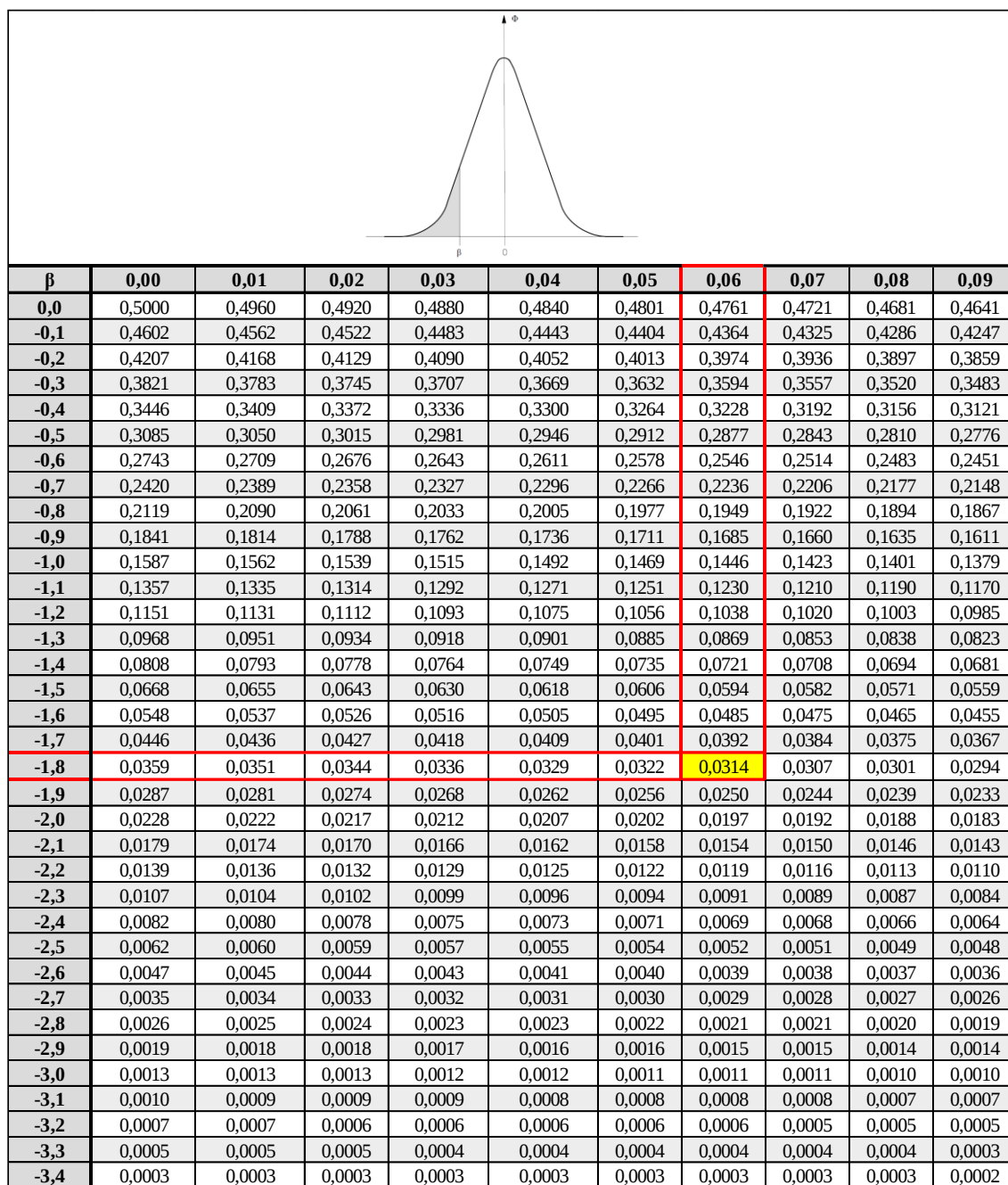
$$\beta = \frac{\mu_C - \mu_D}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_D^2}} = \frac{700 - 600}{\sqrt{20^2 + 50^2}} = \frac{100}{\sqrt{2900}} = 1,86$$

- A probabilidade de falha, então, pode ser calculada através da equação (16):

$$P_f = \Phi(-\beta) = \Phi(-1,86)$$

É necessário, então, localizar o valor -1,86 na tabela da Normal padrão acumulada à esquerda. Esta tabela pode ser encontrada em diversos livros, e é apresentada também aqui, a Figura 3.

Figura 3 – Tabela normal padrão acumulada à esquerda.



Fonte: Os autores (2024).

Sendo assim, a probabilidade de falha possui valor $P_f = 0,0314 = 3,14\%$.

5 Exercícios de revisão do capítulo

5.1) Explique, com suas palavras, o que significa confiabilidade e probabilidade de falha.

5.2) Como você descreveria a relação entre a função de distribuição cumulativa de probabilidades (CDF) e a função densidade de probabilidades (PDF) de uma variável aleatória?

5.3) Explique como as equações de estado limite são utilizadas para modelar os modos de falha em sistemas de engenharia.

5.4) Qual é a importância do índice de confiabilidade? Como ele é calculado?

5.5) Suponha que você tenha duas variáveis de projeto, C e D , representando a capacidade e a demanda de um sistema, respectivamente. Se a equação de estado limite for definida como $g(C, D) = C - D$, o que significa quando $g(C, D)$ é menor ou igual a zero?

5.6) Um engenheiro ambiental está projetando um sistema de tratamento de resíduos sólidos para uma cidade. Ele estima que a quantidade diária de resíduos sólidos produzidos (D) seguirá uma distribuição normal com média de 100 toneladas/dia e desvio padrão de 20 toneladas/dia. A capacidade diária de processamento do sistema de tratamento (C) segue uma distribuição normal com média de 120 toneladas/dia e desvio padrão de 50 toneladas/dia.

Calcule o índice de confiabilidade do sistema e a probabilidade de falha, considerando que a equação de estado limite é dada por $g(C, D) = D - C$.

O sistema falhou? Qual é a sua análise sobre a probabilidade de falha desse sistema?

Resposta: $\beta = 0,37$; $P_f = 0,3557 = 35,57\%$

REFERÊNCIAS

BECK, A. T. **Confiabilidade e segurança das estruturas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

FABER, M. H. Risk and Safety in Civil, Surveying and Environmental Engineering. Zurique: Swiss Federal Institute of Technology, 2001. Disponível em: https://archiv.ibk.ethz.ch/emeritus/fa/education/Seminare/Seminar0607/Lecture_11.pdf. Acesso em: 06 de.z 2024.

NOVAES, M. Distribuições de probabilidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, e20210424, p. 1-10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0424>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/6Qz5nSz8wC5rtB8yKKGKcy3L/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 maio 2024.

SMITH, D. J. **Reliability, maintainability and risk: practical methods for engineers**. 6. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

SUDRET, B. **Uncertainty propagation and sensitivity analysis in mechanical models: contributions to structural reliability and stochastic spectral methods**. 2007. 229f. Relatório de atividades científicas (Habilitação para Supervisão de Pesquisa) – École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur, Université BLAISE PASCAL, Clermont-Ferrand, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260145082_Uncertainty_propagation_and_sensitivity_analysis_in_mechanical_models_-_Contributions_to_structural_reliability_and_stochastic_spectral_methods. Acesso em: 14 maio 2024.

Higiene Alimentar e Saneamento



CESAR APARECIDO DA SILVA

Graduado em Engenharia Ambiental (UFPR), com mestrado e doutorado em Ecologia e Conservação e pós-doutorado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Atua principalmente com gestão ambiental, resíduos sólidos, saneamento ambiental, epidemiologia e ecotoxicologia.



ALEXANDRE DO AMARAL FERREIRA

Bacharel em Química, Doutor em Química Orgânica (Fitoquímica), pela UFMG. Pós-doutorado em Química de Produtos Naturais (Fiocruz) com ênfase em pesquisa de substâncias bioativas contra malária e leishmaniose. cursando o último período de graduação em Nutrição na Universidade Estácio de Sá.



ERÚZIA APARECIDA EVANGELISTA FERREIRA

Licenciada em Química, Mestre e Doutora em Síntese Orgânica, pela UFMG. Simpatizante da nutrição holística.

Como citar esse capítulo nas normas ABNT:

SILVA, Cesar Aparecido da; FERREIRA, Alexandre do Amaral; FERREIRA, Erúzia Aparecida Evangelista. Higiene alimentar e saneamento. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). **Engenharia ambiental e sanitária**: volume 3. Pontal do Paraná, 2024. v. 3, cap. 2, p. 21-55. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/portal/ambientalsanitaria/>. Acesso em: 25 set. 2024.

HIGIENE ALIMENTAR E SANEAMENTO

APRESENTAÇÃO

O saneamento básico é peça fundamental para o desenvolvimento sustentável e à segurança alimentar. Nesta disciplina, abordaremos as interferências do saneamento básico nos aspectos relacionados à higiene dos alimentos, e os riscos de surtos de intoxicação alimentar devido à presença de agentes etiológicos associados à alimentação. Neste contexto, os conteúdos a serem tratados poderão habilitar você, futuro profissional engenheiro ambiental sanitarista, a tratar das questões alimentares relacionadas aos pilares do saneamento: água, resíduos, esgoto e drenagem.

1 Introdução

A alimentação é a base da vida. Partindo desse princípio, a qualidade dos alimentos que ingerimos resultará em boa ou má saúde ao indivíduo. Assim, pode-se afirmar que a alimentação norteia a saúde pública.

A intoxicação alimentar tem causado muitas internações e afastamentos de trabalho (Brasil, 2010). Mas o que é uma intoxicação por alimentos?

Entende-se por intoxicação alimentar o surgimento de sintomas que vão de leves a fatais devido à ingestão de alimentos contaminados. Esses sintomas variam entre um mal-estar à diarreias, vômitos, paradas respiratórias, choque anafilático etc. (Silva *et al.*, 2022; Pereira, c1995).

Os sintomas podem aparecer vários dias após a ingestão do alimento contaminado tal como as salmoneloses, ou em apenas alguns segundos de exposição ao agente como é o caso da **anafilaxia**.

Os agentes etiológicos, isto é, os capazes de causar morbidades (Silva; Prandini, 2023) em alimentos são os mais diversos. Dentre os biológicos destacam-se os vírus, bactérias, protozoários e os **helmintos**.

Glossário

Anafilaxia: colapso fisiológico devido às reações alérgicas intensas.

Helmintos: popularmente chamados de vermes.

Contudo, existem outros agentes que podem desencadear sintomas de intoxicações agudas e crônicas tais como os resíduos de agrotóxicos, metais pesados e as biotoxinas provenientes de florações de microalgas como as saxitoxinas que podem estar presentes na água e peixes contaminados, e que podem provocar paralisia respiratória (Silva *et al.*, 2011) e de dinoflagelados produtores de ácido ocadáico que, presentes em frutos do mar, pode levar a episódios agudos de diarreia, dentre outros sintomas (Silva *et al.*, 2022).

Neste contexto, a higiene alimentar é uma poderosa ferramenta para evitar e mitigar surtos de doenças devido aos alimentos.

As boas práticas de manipulação de alimentos, aliada a uma alimentação saudável, pode auxiliar na saúde pública e na qualidade de vida ao evitar sobrecarga no sistema público de saúde, ao mesmo tempo em que melhora a perspectiva de sobrevivência da população.

E o que o saneamento básico tem a ver com isso?

Você sabia que até cerca de metade do século XX, as doenças por infecções e parasitárias estavam entre as principais causas de morte no Brasil?

Devido à falta de água tratada e ao esgoto a céu aberto, especialmente nas regiões norte e nordeste, parte da população, sobretudo a mais pobre, era acometida por diversos agentes etiológicos que a infectava, depreciando sua qualidade de vida e levando muitas vezes ao óbito (Pereira, c1995).

Oficialmente, o saneamento básico é definido de acordo com o Art. 3º da Lei n. 11.445/2007:

I - saneamento básico: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020).

a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição; (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020).

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente; (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020).

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020).

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020).

Deste modo, ao contemplar as questões de disponibilização de água potável, coleta e tratamento de resíduos sólidos e esgotos domésticos, e drenagem evitando alagamentos e enchentes, o saneamento ambiental é primordial para a efetivação da higiene e segurança alimentar, conforme veremos a seguir.

Para Saber Mais sobre saneamento básico clique [aqui](#).

2 Inferência do Saneamento Ambiental na Segurança Alimentar

O saneamento é um dos grandes problemas geopolíticos do Brasil. Você sabia que um a cada dois brasileiros sofrem por carência de saneamento básico?

É o que aponta o levantamento feito junto ao PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios) divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2023, e que mostra que cerca de 70 milhões dos brasileiros sofrem com a falta de coleta e tratamento de esgoto, sendo que mais de 40% das residências com esse tipo de deficiência se encontram na região nordeste. O estudo mostra ainda que mais de quatro milhões de pessoas se quer tem acesso a um banheiro em casa.

Já a água potável representa também outro desafio aos brasileiros. Quase 24% dos domicílios avaliados não recebem água tratada diariamente, sendo que aproximadamente 27

milhões de pessoas não estão conectadas diretamente a rede de distribuição de água potável (Instituto Trata Brasil, 2023).

Se o saneamento ambiental é deficiente, e o esgoto e resíduos são dispostos a céu aberto e/ou com o descarte em rios, mares e oceanos, aumenta-se o risco de surtos epidemiológicos pela falta de higiene.

Além disso, a água não tratada carrega diversos agentes etiológicos que contaminam os alimentos servindo, pois, de vetores de disseminação de doenças.

Soma-se a isso as condições inadequadas de higiene pessoal que podem provocar contaminação difusa aos alimentos, especialmente as relacionadas aos microrganismos patogênicos como a *Salmonella sp.*, podendo levar a casos graves de infecção e promovendo surtos generalizados em comunidades com deficiência de saneamento.

E você sabe o que é um surto alimentar?

Um surto alimentar, também chamado de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA), ocorre quando duas ou mais pessoas que fizeram ingestão daquele mesmo alimento, ou água, apresentam sintomas tais como náusea, vômito, dor abdominal, diarreia, febre etc., ou ainda mais graves como paralisia muscular ou insuficiência renal (Brasil, 2023).

Fique atento!!!

No caso de sintomas de botulismo (toxina proveniente da bactéria *Clostridium botulinum*) e cólera, um único caso, segundo o Ministério da Saúde (Brasil, 2023), já é considerado um surto.

Como os sinais clínicos são bastante inespecíficos para os surtos alimentares, é imprescindível a avaliação laboratorial. Deste modo, os estudos **bromatológicos** tais como a microbiologia dos alimentos, como veremos a seguir, é indispensável para um correto diagnóstico do DTHA.

Glossário

Bromatologia: ciência que estuda os alimentos.

Destaca-se, entretanto, que não somente agentes etiológicos como os microrganismos são capazes de causar o DTHA. Substâncias químicas tais como os agrotóxicos também podem desencadear surtos, além de serem biocumuláveis na cadeia trófica (Guiloski *et al.*, 2013).

Para Saber Mais sobre o problema do saneamento nas regiões brasileiras, clique [aqui](#).

3 Microbiologia de Alimentos

Como vimos, a presença de microrganismos na água e alimentos podem causar sérios problemas de saúde e levar a surtos alimentares.

Contudo, nem sempre a simples presença de um determinado agente patológico pode vir a desencadear sintomas, uma vez que esses podem estar associados a outras questões fisiológicas do indivíduo. Da mesma forma, a constatação de uma determinada bactéria em um alimento não significa que desencadeará um surto alimentar em um grande número de pessoas, pois isso também está relacionado ao sistema imunológico individual, agravando-se quando em baixa imunidade.

Questões nutricionais também estão associadas à imunidade como as de deficiência em vitaminas e minerais. Porém, em regiões de menor IDH e com baixo atendimento ao saneamento básico, a questão da pobreza é fator crucial para o surgimento de surtos epidemiológicos devido a presença de microrganismos nos alimentos, especialmente àqueles presentes em fezes de humanos e animais.

Dentre os principais microrganismos capazes de provocar doenças e surtos alimentares, destacam-se especialmente as enterobactérias (do trato gastrointestinal) que podem produzir toxinas tais como (Autoridade de Segurança Alimentar e Econômica, 2023; Food and Drug Administration, 2023; Brasil, 2010; Silva; Yamanaka; Monteiro, 2017; Silva *et al.*, 2013; Tortora; Funke; Case, 2017):

- ✓ ***Escherichia coli***: conhecida como indicador fecal por estar presente em altíssima concentração nas fezes humanas e em animais de sangue quente. Por possuir características semelhantes a muitas bactérias patogênicas, é comumente utilizada como indicador de qualidade microbiológica. Pode ser encontrada na água e em praticamente todos os tipos de alimentos in natura e processados. Por ser uma espécie muito estudada, foram criadas diversas técnicas analíticas de processamento rápido em laboratório, e sua análise é relativamente menos onerosa que outros patógenos. A maioria das cepas de *E. coli* não oferece perigo à saúde pública, mas sua presença indica que o alimento teve contato com fezes e, por isso, pode conter outros micróbios patogênicos gastrointestinais na amostra. Contudo, a cepa sorotipo enterohemorrágica O157:H7 pode provocar diarreia e outros sintomas característicos de gastroenterites e hemorragias. A *E. coli* é um coliforme

termotolerante, com resistência a temperatura de até aproximadamente 45°C, semelhante a determinadas bactérias patogênicas. Entretanto, podem resistir ao congelamento a -20°C, e serem toleráveis ao pH ácido de até 4,5. A falta de higiene pessoal, o uso de excremento animal sem qualquer tratamento, e o contato de alimentos in natura com esgoto doméstico pode representar um agravo à saúde pública com surtos epidemiológicos. A espécie *E. coli enterotoxigênica* (ETEC) é geralmente responsável pela chamada diarreia do viajante.

- ✓ ***Staphylococcus aureus***: pertencem a família *Micrococcaceae*, e se apresentam em forma de cocos. Estão presentes naturalmente no ambiente, inclusive na superfície do corpo humano e nas mucosas. A contaminação do alimento ocorre principalmente pela manipulação. São encontrados em queijos, produtos com recheio cárneos, alimentos com ovos etc. Embora o processo de pasteurização seja suficiente para sua inativação, suas células produzem uma enterotoxina termotolerante que resiste a 100°C por cerca de 30 minutos e, conseqüentemente, o simples cozimento do alimento, ou sua fervura, é na maioria das vezes insuficiente para desativar a sua toxicidade. Pode sobreviver a grandes períodos de congelamento a -20°C e ao congelamento/descongelamento, e são resistentes a pH ácido e básico (4,5 a 9,3). Os sintomas, que duram cerca de 48h, são os mais comuns em gastroenterites: náuseas, vômitos, diarreia e dores abdominais.
- ✓ ***Salmonella***: praticamente quase todas as cepas conhecidas de *Salmonella* são patogênicas para humanos. São bactérias Gram-negativas em forma de bacilos. Suportam temperaturas até 48°C, e geralmente não se multiplicam sob refrigeração, mas são muito resistentes ao processo de congelamento. Suas células não resistem à pasteurização. Toleram bem aos pHs ácidos e básicos (4,5 a 9,3) e são anaeróbias facultativas, desenvolvendo-se em ambientes de baixo oxigênio. São encontradas, sobretudo, em alimentos cárneos e ovos. Práticas de manipulação de alimentos inadequadas podem provocar contaminação difusa de salmoneloses em produtos vegetais como frutas e verduras. Os sintomas variam de acordo com as cepas e, no caso da febre tifoide (*S. typhi*, *S. paratyphi*), cuja taxa de mortalidade é alta, ocorrem dores de cabeça, febre alta e persistente, dores abdominais e musculares. O período de incubação é de 3 a 56 dias. Já para as enterocolites (*S. enteritidis*, *S. typhimurium*), com taxa de mortalidade baixa (1%), os sintomas vão de vômitos, diarreia, febre, náuseas e dores abdominais. O período de incubação é mais baixo quando comparado à febre tifoide: de 5h a 5 dias, contudo, em alguns casos, bastam apenas 10 células da bactéria para desencadear a sintomatologia.

- ✓ ***Clostridium botulinum***: agente causador do botulismo, de alta letalidade. É um bacilo Gram-positivo esporulado, e seus esporos podem germinar e produzir a toxina botulínica no intestino de crianças, ou em feridas abertas. Os esporos não são destruídos durante a pasteurização normal, e necessita uma temperatura de 121°C por pelo menos 3 minutos para sua completa inativação. As toxinas, entretanto, podem ser inativadas em temperaturas inferiores a 100°C. É uma bactéria anaeróbia, no entanto, a presença de oxigênio não é suficiente para impedir seu desenvolvimento, pois elas podem estar alojadas dentro do alimento em zonas de baixa concentração de oxigênio, favorecendo-as. São encontradas principalmente em conservas, carnes curadas, presuntos e embutidos caseiros. Os sintomas são severos, iniciando com fraqueza e dificuldade visual tal como a dupla visão, secura na boca, dificuldade em falar e em engolir, e ao atingir o sistema nervoso pode levar à paralisia devido à alta toxicidade da toxina botulínica (dose letal para humanos é de apenas 10 ng/Kg - dependendo da via de exposição). A morte ocorre por parada cardiorrespiratória, e os sintomas e a letalidade variam de acordo com o tipo de toxina produzida: de 20% a 50%.
- ✓ ***Listeria monocytogenes***: é uma bactéria anaeróbia facultativa Gram-positiva. Tem sobrevivência prolongada em alimentos congelados e se desenvolve em temperaturas que podem variar de -0,4°C a 45°C, e suporta bem as variações de pH. Pode ser encontrada principalmente em leite cru, em laticínios produzidos com leite cru, peixe defumado e embutidos. Os sintomas de listerioses estão relacionados a septicemia (infecção generalizada) e a meningites, além de gastroenterites. Em grávidas pode levar ao aborto ou ao parto prematuro. Uma forma de avaliar se as boas práticas de manipulação de alimentos estão a contento é a realização de análise de *Listeria spp.*, pois sua presença indica higiene inadequada.
- ✓ ***Vibrio parahaemolyticus***: bactérias comuns em ambientes estuarinos; são bacilos (bastonetes) Gram-negativos, e que conseguem crescer em temperatura de até 43°C e na presença de sal na concentração de até 8%, e são anaeróbias facultativas. São encontradas em fezes de humanos que, mesmo assintomáticos, podem contaminar alimentos devido à má higienização das mãos, sobretudo, em peixes e frutos do mar quando em cozimento insuficiente. Os sintomas podem demorar até quatro dias para aparecer: diarreia, dores abdominais, náuseas, vômitos, dores de cabeça, arrepios e febre, e duram em média três dias.
- ✓ ***Vibrio cholerae***: com descrição semelhante ao *V. parahaemolyticus*, são as responsáveis pela doença de cólera, sendo encontradas em água e alimentos contaminados tais como

peixes, mariscos e vegetais regados com efluentes domésticos, entre outros. Podem causar forte diarreia aquosa, e levar à morte por desidratação, especialmente em grupos de risco: imunossuprimidos, diabéticos e com problemas hepáticos.

- ✓ ***Bacillus cereus***: bactérias Gram-positivas em forma de bastonetes que podem ser encontradas em carnes, leite, vegetais e peixes. Formam esporos, e produz dois tipos de enterotoxinas: diarreica e emética (induz ao vômito). São bastante resistentes ao calor, e podem provocar os seguintes sintomas quando uma pessoa é exposta ao alimento contaminado por elas: diarreia fluída, dores abdominais, náuseas e vômitos. Os sintomas duram em torno de 24h.
- ✓ ***Brucella***: conhecido também como agente etiológico causador da febre de malta. São quatro espécies capazes de provocar doenças em humanos: *B. abortus*, *B. suis*, *B. canis* e *B. melitensis*, sendo esta última responsável pela maioria dos casos de brucelose. Encontrada principalmente em leite cru e/ou mal pasteurizado, e em carnes mal-cozidas. Os sintomas demoram a aparecer e, à medida que a doença progride, ocorre o surgimento de febres de altas temperaturas (em torno de 40°C) geralmente ao final da tarde, e que perdura até a manhã do dia seguinte, e podem apresentar ainda forte obstipação com perda de apetite e de peso, e dores: abdominais, nas articulações, de cabeça e de costas. Além disso, pode provocar fraqueza generalizada, irritabilidade, insônia e depressão. Os sintomas duram até cinco semanas, mas em alguns casos, os infectados podem desenvolver brucelose crônica e perdurar até por anos.

Além desses microrganismos citados, outros também podem causar sérios surtos alimentares como as bactérias do gênero *Streptococcus spp.* e *Yersinia spp.*, e os protozoários *Cryptosporidium spp.*, dentre tantos outros. Por essa razão, é vital a implementação de sistemas de controle de qualidade e de sanitização na indústria alimentícia, e o emprego das boas práticas de manipulação de alimentos (BPMA), com o intuito de evitar danos à saúde pública, aos quais veremos mais adiante.

3.1 Legislação

O controle microbiológico dos alimentos é um procedimento de máxima importância para assegurar que os mesmos não acarretem riscos à saúde pública.

A avaliação microbiológica deve ser realizada desde a água utilizada no processo de fabricação, nos insumos e no produto final.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) edita normas e resoluções sobre os aspectos higiênicos-sanitários dos alimentos, e devem ser seguidos por todos os empreendimentos do ramo alimentício.

Dentre as principais diretrizes legais sobre microbiologia de alimentos destacam-se a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 724/22 que trata sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação para toda a cadeia produtiva de alimentos, e a Instrução Normativa (IN) nº 161/22, que estabelece listas de padrões microbiológicos de alimentos (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022a, 2022b).

Porém, antes de conhecermos alguns padrões permissíveis de microrganismos em alimentos, vamos nos familiarizar com alguns dos principais conceitos legais sobre os mesmos, conforme Art. 3º da RDC 724/22 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022b):

I - alimento pronto para oferta ao consumidor: alimento na forma como será disponibilizado ao consumidor, destinado à venda direta ou qualquer outra forma de distribuição, gratuita ou não;

II - amostra indicativa: amostra constituída por um número de unidade amostrais inferior ao estabelecido em plano de amostragem representativo;

III - amostra representativa: amostra constituída por um determinado número de unidades amostrais (n), retiradas aleatoriamente de um mesmo lote, conforme estabelecido no plano de amostragem;

IV - cadeia produtiva de alimentos: todos os setores envolvidos nas etapas de produção, industrialização, armazenamento, fracionamento, transporte, distribuição, importação ou comercialização de alimentos para consumo humano;

VI - limite microbiológico: limite estabelecido para um dado micro-organismo, suas toxinas ou metabólitos, utilizado para classificar unidades amostrais de um alimento em "Qualidade Aceitável", "Qualidade Intermediária" ou "Qualidade Inaceitável";

VII - limite microbiológico m (m): limite que, em um plano de três classes, separa unidades amostrais de "Qualidade Aceitável" daquelas de "Qualidade Intermediária" e que, em um plano de duas classes, separa unidades amostrais de "Qualidade Aceitável" daquelas de "Qualidade Inaceitável";

Higiene Alimentar e Saneamento

VIII - limite microbiológico M (M): limite que, em um plano de três classes, separa unidades amostrais de "Qualidade Intermediária" daquelas de "Qualidade Inaceitável";

IX - lote: conjunto de produtos de um mesmo tipo, processados pelo mesmo fabricante ou fracionador, em um espaço de tempo determinado, sob condições essencialmente iguais;

X - número mais provável (NMP): unidade de medida usada para estimar o número de microrganismos em uma amostra quando se utiliza a técnica de tubos múltiplos e tabelas de probabilidade.

Na prática, o estabelecimento deve adotar um plano de amostragem de cada lote de seu produto de acordo com o disposto na RDC 724/22, e conduzir as amostras devidamente identificadas e acondicionadas ao laboratório de microbiologia de alimentos o qual, de acordo com o tipo de alimento, efetuará determinadas análises dos microrganismos exigidos pela sua tipologia. Os resultados encontrados são então conferidos com as listas microbiológicas que fazem parte dos anexos da IN nº 161/22 da ANVISA.

Os resultados obtidos das análises microbiológicas classificam o lote em Qualidade Aceitável, Qualidade Intermediária e Qualidade Inaceitável.

Fique Atento!!!

Em análises microbiológicas de alimentos, utilizam-se geralmente 25g do produto após sua devida homogeneização. As análises são feitas, geralmente, em triplicatas para cada amostra.

Veja um exemplo de padrões permissíveis para análises microbiológicas no Quadro 1, constantes do anexo I da IN nº 161/22. Note que o limite para *Salmonella* é sempre ausente, pois um número muito reduzido de células já é capaz de provocar sintomas.

QUADRO 1 - EXEMPLO DE PADRÕES PERMISSÍVEIS PARA AVALIAÇÕES MICROBIOLÓGICAS DE CARNE DE AVES.

Categorias Específicas	Micro-organismo/Toxina/Metabólito	n	c	m	M
a) Carnes cruas, maturadas ou não, temperadas ou não, refrigeradas ou congeladas, embaladas a vácuo ou não, miúdos, toucinho e pele	<i>Salmonella</i> /25g, para carne bovina e outras carnes	5	0	Aus	-
	<i>Salmonella</i> /25g, para carne suína	5	1	Aus	-
	<i>Escherichia coli</i> /g, para carne bovina e outras carnes	5	2	10	10 ²
	<i>Escherichia coli</i> /g, para carne suína	5	3	10 ²	10 ³
	Aeróbios mesófilos/g, exceto para miúdos	5	3	10 ⁵	10 ⁶
	Aeróbios mesófilos/g, somente para miúdos	5	3	5x10 ⁵	5x10 ⁶
b) Carne moída, produtos cárneos crus moldados, temperados ou não, refrigerados ou congelados (hamburgueses, almôndegas, quibes)	<i>Salmonella</i> /25g, para carne bovina e outras carnes	5	0	Aus	-
	<i>Salmonella</i> /25g, para carne suína	5	1	Aus	-
	<i>Escherichia coli</i> /g, para carne suína	5	3	10 ²	10 ³
	<i>Escherichia coli</i> /g, para carne bovina e outras carnes	5	2	10	10 ²
	<i>Estafilococos coagulase positiva</i> /g	5	2	10 ²	10 ⁴
	Aeróbios mesófilos/g	5	3	10 ⁵	10 ⁶
c) Embutidos crus (linguiças frescas)	<i>Salmonella</i> /25g, para carne bovina e outras carnes	5	0	Aus	-
	<i>Salmonella</i> /25g, para carne suína	5	1	Aus	-
	<i>Escherichia coli</i> /g, para carne suína	5	3	10 ²	10 ³
	<i>Escherichia coli</i> /g, para carne bovina e outras carnes	5	2	10	10 ²
	Aeróbios mesófilos/g	5	3	10 ⁵	10 ⁶
d) Produtos cárneos maturados, dessecados (presuntos crus, copas, salames, linguiças dessecadas, charque, "jerked beef")	<i>Salmonella</i> /25g	5	0	Aus	-
	<i>Estafilococos coagulase positiva</i> /g	5	1	10 ²	10 ³
	<i>Escherichia coli</i> /g	5	2	menor que 10	10 ²
e) Carnes e produtos cárneos crus salgados miúdos internos, externos e pele	<i>Salmonella</i> /25g	5	0	Aus	-
	<i>Estafilococos coagulase positiva</i> /g	5	2	10 ²	10 ³
	<i>Escherichia coli</i> /g	5	2	menor que 10	10 ²
f) Produtos cárneos cozidos, curados ou não, defumados ou não,	<i>Salmonella</i> /25g	10	0	Aus	-
	<i>Clostridium perfringens</i> /g	5	1	10 ²	10 ³

Legenda - Aus: Ausente; n: número de amostras de determinado lote; c: limite microbiológico classificador; m: limite separador das classes "Qualidade Aceitável" de "Qualidade Intermediária" ou de "Qualidade Inaceitável"; M: limite separador de "Qualidade Intermediária" de "Qualidade Inaceitável". Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2022a).

Para Saber Mais sobre as listas de padrões microbiológicos em alimentos, clique [aqui](#).

4 Sistemas de Controle de Qualidade Microbiológica e Sanitização

Dentre as práticas para se evitar a contaminação microbiológica de alimentos incluem os sistemas de esterilização e o da sanitização.

A esterilização é um processo de inativação dos microrganismos, prolongando a vida útil dos alimentos ou evitando sua contaminação devido ao contato com embalagens, bancadas ou equipamentos. Os principais processos industriais são os de ultrafiltração em membranas capazes de reter microrganismos, emprego de substâncias químicas tais como o cloro, radiação ionizante e não-ionizante, exposição à altas temperaturas, Pasteurização e outros.

A esterilização de alimentos utilizando o calor difere devido ao tempo de exposição e à temperatura.

Em alimentos lácteos, é comum o uso de tratamento por alta temperatura e baixo tempo de contato, em um processo conhecido como UHT (*Ultra High Temperature*) que consiste em elevar o leite rapidamente a temperatura que pode variar de 130°C a 150°C por 2 a 4 segundos e após submeter a um rápido resfriamento. Como, neste caso, a temperatura é alta, utilizam-se outras técnicas alimentícias para evitar que o leite sofra grandes alterações em suas propriedades, adicionando estabilizantes como a caseína, e sais de citrato e fosfato de sódio (Brasil, 1996, 2017).

Já a Pasteurização é um método desenvolvido por Louis Pasteur no séc. XIX, e consiste em dois tipos de tratamento: a rápida e a lenta.

A Pasteurização rápida ocorre quando o produto é submetido a uma temperatura de 72°C a 75°C por 15 a 20 segundos, enquanto a lenta a temperatura é um pouco inferior (63°C - 65°C), mas o tempo é de 30 minutos. Em ambos os casos, após a exposição às temperaturas, ocorre o rápido resfriamento a 2°C - 4°C, garantindo que as propriedades alimentícias sofram o mínimo de alterações e evite que eventuais microrganismos sobreviventes do processo possam ainda se proliferar (Brasil, 2017; Vasconcelos; Melo Filho, 2010).

Evidentemente, nem todos os alimentos podem ser esterilizados, porém podem ser sanitizados.

A sanitização, ou desinfecção, é o tratamento que visa a diminuição da probabilidade de o alimento conter altas contagens de microrganismos patogênicos, podendo ser feito com o uso de calor, de irradiação ou uso de substâncias químicas.

Agora que você já conhece alguns conceitos sobre qualidade microbiológica em alimentos, responda: o que é higienização?

A higienização na produção de alimentos é o emprego da limpeza e a desinfecção (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022b).

Uma das práticas mais utilizadas para higienização de alimentos *in natura* é, após a lavagem, deixar os produtos imersos em solução de hipoclorito de sódio entre 100 e 250 ppm (parte por milhão) por cerca de 15 minutos, e enxaguá-las em seguida com água potável (Associação Brasileira das Empresas de Refeições Coletivas, 2009).

Esse procedimento pode ser feito a partir de hipoclorito de sódio comercial, na concentração de cerca de 12%, ou da própria água sanitária (2% a 2,5%), ou ainda utilizando pastilhas de cloro específicas para desinfecção de alimentos.

Contudo, as bancadas e equipamentos podem ser sanitizadas com o hipoclorito de sódio de 0,05% a 0,1% ou etanol 70%, ou ainda usando soluções sanitizantes comerciais para garantir a higiene na produção (World Health Organization; Unicef, 2020).

O uso de sanitizantes tornou-se rotineiros depois da pandemia de COVID-19, pois apresentaram bons resultados na inativação do coronavírus, e é amplamente recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Contudo, em uma indústria de alimentos existem muitas variáveis que podem levar à contaminação, uma vez que a produção de um determinado produto passa por diversas etapas, e em cada uma delas é possível o contágio com determinados agentes potencialmente patogênicos. Assim, é preciso haver um controle em determinados pontos específicos dessa cadeia produtiva, como veremos a seguir.

4.1 Pontos Críticos de Controle

Várias são as normativas para a produção e segurança dos alimentos. Dentre elas, destaca-se a série de normas internacionais ISO 22000 que normatiza os procedimentos relacionados à produção alimentar desde a colheita até o seu consumo, e tem como objetivo garantir a segurança alimentar, evitando surtos e promovendo a rastreabilidade dos produtos.

A norma também estabelece requisitos para o planejamento de um sistema de gestão documentado e registrado; a avaliação e documentação do desempenho deste sistema; a gestão de recursos humanos especializada em segurança alimentar e os procedimentos de comunicação entre os departamentos envolvidos; o monitoramento de indicadores; auditorias internas e as ações corretivas e de controle de não conformidades; sistemas de rastreabilidade e a infraestrutura necessária para assegurar a confiabilidade dos alimentos produzidos.

Essa norma que rege a implementação do Sistema de Gestão da Segurança de Alimentos (SGSA), se baseia nos princípios do HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point* - Sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle - APPCC) do *Codex Alimentarius*, que são publicações internacionais que visam padronizar a produção de alimentos.

O APPCC é um sistema de segurança compulsório para os fabricantes de alimentos no Brasil, e tem como objetivo a prevenção, eliminação ou mitigação e controle dos riscos biológicos, químicos e físicos em todas as etapas produtivas até o consumidor final (SISCOMEX, 2023), e tem como princípios (Brasil, 2010):

1. Identificar os perigos, estimar os riscos e estabelecer medidas para controlá-los.
2. Identificar os pontos onde o controle é crítico para o manejo da inocuidade do alimento.
3. Estabelecer critérios de controle (Limites Críticos) a serem cumpridos nesses pontos críticos.
4. Estabelecer procedimentos para vigiar por meio da monitorização, o cumprimento dos critérios de controle.
5. Definir as medidas corretivas a serem aplicadas quando a vigilância indicar que os critérios de controle não são satisfeitos.
6. Estabelecer procedimentos para verificar o correto funcionamento do sistema.
7. Manter um sistema de registro e documentação sobre o sistema.

Mas afinal, o que é um ponto crítico de controle (PCC)?

Um PCC é qualquer etapa do processo, insumos ou um equipamento, uma bancada, um procedimento etc., que possa oferecer riscos de contaminação ao alimento que está sendo produzido como, por exemplo, o moedor de uma carne que, não sendo higienizado satisfatoriamente, pode se transformar em um foco disseminador de patógenos.

E como encontrar um PCC?

Basicamente, é preciso realizar um diagnóstico de todo o processo produtivo de determinado alimento, incluindo os equipamentos e sua localização, verificando os pontos possíveis de uma potencial contaminação. A partir daí, deve-se planejar as medidas a serem tomadas para evitar ou mitigar esse risco, monitorar esses pontos e documentar essas verificações/monitoramento. Este procedimento pode ser feito em forma de *checklist*, ou lista de verificação, de cada etapa do processo (QUADRO 2).

QUADRO 2 - EXEMPLOS DE VERIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE E SEUS RESPECTIVOS APPCC.

Ingredientes/ Etapa do processo		Perigos potenciais introduzidos controlados ou aumentados nesta etapa		O perigo potencial é significativo? (Sim/Não)		Justificativa para decisão		Que medidas podem ser aplicadas para prevenir perigos?		Esta etapa é conside- rada um PCC?	
Etapa do processo/PCC		Limites críticos		Procedimentos de monitoramento						Ação Corretiva	
				O que?	Como?	Frequência	Quem?				
Etapa do processo/PCC				Registros				Procedimentos de verificação			
PCC	Perigo signifi- cativo	Limite - crítico para medida de controle	MONITORAMENTOS						Ação Corretiva	Registros	Verifi- cação
			O que?	Como?	Frequência	Quem?					

Fonte: Adaptado de Brasil (2010).

Como evidenciado no Quadro 2, uma vez identificado o PCC, é necessário gerar um APPCC com o intuito de direcionar as ações dos responsáveis pelo processo, padronizando assim a coleta de dados, as ações corretivas tomadas e as de monitoramento.

Na indústria alimentícia, ao final da produção deve ser realizado uma limpeza geral e a sanitização de toda a linha de produção. Essa desinfecção é feita através de calor, irradiação e uso de diversos produtos químicos. Mas isso por si só não assegura que o procedimento de higienização esteja adequado.

Por isso, geralmente após a higienização, é realizada a coleta de amostras utilizando *swabs* (cotonetes) ou placas de meio microbiológico de contato, em bancadas e equipamentos ou em determinado PCC, e conduzir ensaios microbiológicos com o intuito de avaliar o processo. O aparecimento de determinadas contagens microbianas ou fúngicas pode indicar que o sistema sanitizante, seja a concentração dos produtos ou o tempo de contato, não esteja satisfatório.

Também é comum o uso de equipamentos portáteis de análises de processos higienizadores tais como os que utilizam tecnologia enzimática com a luciferina-luciferase. Neste método, o técnico realiza na própria linha de produção a amostragem de um determinado PCC com um *swab* umedecido com uma solução de tampão estéril, e o insere em um espectrofotômetro portátil. Quando o ATP (adenosina trifosfato), que só existe em células vivas, encontra o complexo enzimático ocorre uma reação luminosa que pode ser medida neste equipamento, e indica que o processo de higienização não está adequado. A principal vantagem dessa técnica é que o resultado pode ser visualizado em poucos minutos. Em contrapartida, as análises microbiológicas tradicionais podem durar vários dias.

Embora a verificação e monitoramento dos PCCs seja uma excelente ferramenta de gestão à segurança alimentar, é imprescindível, e exigida por legislação, a adoção nos estabelecimentos alimentícios das chamadas boas práticas de manipulação de alimentos, tema que será agora abordado.

4.2 Boas Práticas de Manipulação de Alimentos

Os manipuladores de alimentos, isto é, aqueles que laboram diretamente na fabricação de alimentos, devem atentar para diversas normas que regulamentam os serviços de alimentação no que tange aos aspectos higiênicos-sanitários. Nesta seção, iremos abordar as principais recomendações legais acerca deste assunto.

No Brasil, a normatização desses serviços é dada pela Resolução RDC nº 216/2004 da ANVISA, e uma das partes mais importantes na segurança alimentar é o manipulador de alimentos.

E o que são essas boas práticas?

As boas práticas são as ações relacionadas à higiene que devem ser realizadas pelos manipuladores que, direta ou indiretamente, estão em contato com os alimentos, evitando que os alimentos possam atuar como vetores disseminadores de doenças, como as já mencionadas anteriormente.

Nas unidades de alimentação, todo o manipulador deve ser capacitado e treinado periodicamente (ANVISA, 2004).

São muitos os hábitos que devem ser evitados para que o manipulador não venha a contaminar os alimentos que serão servidos *in natura* ou cozidos.

Dentre eles, pode-se destacar o costume de conversar enquanto prepara os alimentos, pois gotículas de saliva podem atingi-los. Além disso, podem ocorrer espirros e tosses. Neste caso, o uso de máscara descartável é recomendado para mitigar uma possível contaminação por salivas.

Porém, as mãos podem se tornar um importante vetor de disseminação de microrganismos, uma vez que o manipulador constantemente está em contato com diversos insumos que serão utilizados no preparo das refeições. Assim, uma única ida ao banheiro ou tocar a fechadura de uma porta não higienizada, pode provocar a contaminação cruzada de alimentos e levar a surtos epidemiológicos.

E como lavar as mãos?

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2022c), a lavagem das mãos é a primeira etapa da preparação de alimentos, e os seguintes procedimentos devem ser realizados para uma correta lavagem de mãos para o manipulador:

1. Utilize a água corrente para molhar as mãos;
2. Esfregue a palma e o dorso das mãos com sabonete, inclusive as unhas e os espaços entre os dedos, por aproximadamente 15 segundos;
3. Enxágue bem com água corrente retirando todo o sabonete;
4. Seque-as com papel toalha ou outro sistema de secagem eficiente;
5. Esfregue as mãos com um pouco de produto antisséptico.

É comum, no entanto, que logo após a assepsia das mãos o manipulador fechar a torneira (que não foi higienizada), e acabar por contaminar novamente suas mãos. Para evitar isso, é importante utilizar uma torneira que possa ser fechada usando os cotovelos ou usar um papel toalha para fazê-lo. Igualmente as portas da cozinha devem ser de fácil passagem, evitando que o manipulador necessite usar uma manopla para abri-la, mas se for o caso, utilize sempre um papel toalha, evitando o contato direto com a maçaneta.

As mãos devem ser sempre lavadas toda vez que o manipulador se afastar de seu ambiente de trabalho ou, por exemplo, atender o telefone.

Uma vez as mãos higienizadas, agora é a vez de higienizar os alimentos. Contudo, alguns apetrechos utilizados pelo pessoal da cozinha podem se tornar verdadeiros PCCs tais como

Higiene Alimentar e Saneamento

brincos, anéis, colares, barbas, cabelos soltos, unhas compridas ou com esmalte, relógio, maquiagem etc.

Pergunta: nos programas de TV de culinária, você conseguiria identificar os PCCs do apresentador que prepara os alimentos durante a gravação?

Um manipulador de alimentos deve ter asseio diário, estar com seu uniforme sempre limpo e trocá-lo diariamente, usando-o somente no ambiente de trabalho e utilizar redes ou toucas, evitando a exposição dos cabelos.

E atenção, se o manipulador estiver com cortes ou doente, ele não deve participar da elaboração de qualquer refeição seja cozida ou *in natura*, pois o risco é potencial de contaminação microbiológica.

Mas não é somente o manipulador dos alimentos que pode colocar em risco a segurança alimentar.

As instalações, equipamentos e insumos também devem ser cuidadosamente avaliados.

A limpeza e organização do local de trabalho é fator impactante no preparo dos alimentos, no qual deve ser bem arejado e iluminado. As paredes, teto, pisos e bancadas não devem apresentar rachaduras, infiltrações, mofos ou descascamentos. As janelas devem ter telas para evitar a entrada de mosquitos e outros insetos.

Os materiais das bancadas, paredes e teto devem ser de fácil limpeza e seguir as normas técnicas relativas às unidades de alimentação. Ao fim do expediente deve ser realizada uma limpeza geral, seguido por higienização.

As sobras de alimentos devem ser guardadas na geladeira ou em armários ou equipamentos apropriados, e todos os utensílios utilizados no preparo devem ser higienizados corretamente ao final dos trabalhos.

Lembre-se!!!

Os produtos de limpeza **não** devem ser guardados junto aos alimentos, e devem ter registro no Ministério da Saúde e/ou aprovados pela ANVISA.

Segundo a legislação em vigor, "os banheiros e vestiários não devem se comunicar diretamente com as áreas de preparo e de armazenamento dos alimentos" (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005). Além disso, devem estar limpos e organizados, com papel higiênico, sabonete, preferencialmente antisséptico, e papel toalha disponibilizados, e os recipientes de descarte devem ter tampa com pedal.

As lixeiras nas unidades de alimentação são outras formas passíveis de se tornarem focos de contaminação, e podem ser consideradas potenciais PCCs as quais devem ser monitoradas constantemente.

Elas devem ter tamanhos adequados ao quantitativo de geração de resíduos, com tampa e pedal, e sacos reforçados. Após o saco estar cheio, deve-se imediatamente conduzi-los, amarrados, para fora da área de preparo dos alimentos, e acondicioná-los em contêiner fechado. As lixeiras devem ser esvaziadas diariamente após o expediente.

Outro ponto importante é o uso da água potável que deve ser utilizada para preparo das refeições e do gelo. No caso de fontes alternativas, como poços artesianos, é necessário análises laboratoriais periódicas, sendo obrigatório manter o registro dos resultados. A reservação da água também pode ser considerada um PCC. Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2022c), a caixa d'água deve ser higienizada no período mínimo de seis meses, mantendo-se os registros.

Os ingredientes com qualidade sanitária são imprescindíveis para uma boa prática de manipulação de alimentos. Os produtos que devem ser mantidos refrigerados ou congelados devem ser acondicionados imediatamente em geladeira ou freezer assim que chegam ao estabelecimento. Ao acondicionar os demais produtos em temperatura ambiente, deve-se atentar pela ordem e asseio do local que deve ser sempre arejado e protegidos de insetos e outros animais, e com acesso restrito.

Uma atenção especial deve ser dada ao adquirir os produtos alimentícios, evitando embalagens amassadas, estufadas, enferrujadas, trincadas, com furos ou vazamentos etc. Lembre-se de sempre higienizar as embalagens, sobretudo as latas, antes de abri-las, pois podem apresentar focos de contaminação, como urinas e dejetos de ratos e poeira, dentre outros. Essa higienização pode ser feita lavando-as com água potável e detergente neutro, seguido por etanol 70%.

Os insumos que depois de abertos não foram totalmente utilizados, devem ser transferidos para recipientes limpos, e identificados e com o nome do produto, a data da retirada da embalagem original e o prazo de validade após a abertura (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022c).

Atenção!!!

É proibido o uso de produtos com prazos de validade vencidos no preparo de alimentos.

No preparo dos alimentos, é recomendável o uso de termômetros culinários para atestar que todas as partes, inclusive o miolo, da preparação sejam cozidas em pelo menos 70°C.

Os alimentos crus não devem entrar em contato com os já cozidos ou prontos para o consumo. Outra recomendação da ANVISA (2022c), é que os produtos congelados não devem ser descongelados à temperatura ambiente, mas sim sob refrigeração ou utilizando fornos de micro-ondas, sendo que as carnes devem ser descongeladas dentro de recipientes adequados.

Já as frutas, hortaliças e legumes que serão consumidas cruas, a higienização deve ser feita através de água clorada, conforme procedimento já descrito anteriormente.

Em caso de transporte de refeições, as mesmas devem estar identificadas com o nome, a data de preparo e a data de validade, em veículo devidamente adequado para o transporte de alimentos, em caixas térmicas. É proibido o veículo transportar outros produtos além dos alimentícios.

Os alimentos já preparados que ficarão em balcões, bufês e/ou estufas para serem servidos devem ter temperatura mínima de 60°C, e podem ficar disponíveis por até 6 horas, enquanto os refrigerados devem ser mantidos a 5°C. Os funcionários que servem os alimentos aos consumidores não podem pegar em dinheiro, devendo haver um específico para tal fim.

A legislação é bastante rígida em alguns aspectos relacionados à produção de alimentos, e o manual de boas práticas é um documento que descreve os procedimentos adotados pelo estabelecimento para garantir a segurança alimentar tais como a limpeza, o treinamento dos funcionários, o controle de pragas, os resíduos etc. (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005; 2022c).

Esses procedimentos são conhecidos como POPs (Procedimento Operacional Padronizado) que descrevem detalhadamente as tarefas e as suas respectivas responsabilidades.

Alguns POPs são exigidos aos estabelecimentos alimentícios (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005):

- Limpeza das instalações, do reservatório de água, equipamentos e móveis;
- Controle de vetores e pragas;
- Higiene e saúde dos manipuladores.

Os estabelecimentos ainda precisam ter um profissional responsável, supervisor, o qual deve ser capacitado nos temas relacionados à higiene alimentar tais como os contaminantes alimentares, as morbidades associadas aos alimentos, a manipulação e as boas práticas higiênicas.

A inspeção da vigilância sanitária avalia a segurança dos alimentos devido à produção comercial/industrial dos alimentos, por isso, os inspetores devem conhecer profundamente a legislação aplicável a este tema, incluindo as distintas esferas: municipal, estadual e federal. É importante ainda lembrar que dependendo do tipo de alimento e se ele será exportado, ou não, poderão ainda ter regras específicas que deverão ser atendidas.

Para Saber Mais sobre as boas práticas de manipulação de alimentos, acesse o [manual](#) desenvolvido pela ANVISA.

A alimentação é muito mais do que higiene e saneamento. Ela é aquilo que nos sustenta, nos cura ou nos adocece. Uma nutrição equilibrada é muito mais do que pesar a comida e fazer dieta. Devemos pensar nos alimentos desde o grão, no fertilizante, nos defensivos agrícolas, no transporte, no consumo e no descarte. Ampliar nossa visão sobre os alimentos é preciso. Afinal, *somos aquilo que comemos* (Hipócrates -370 a.C).

Leitura Complementar: Nutrição em Uma Visão Holística

A visão holística da alimentação é uma abordagem que considera “o todo”, e não apenas os aspectos físicos dos alimentos, como a quantidade e variedade de macro e micronutrientes, mas também os aspectos mentais, emocionais e espirituais relacionados à alimentação. Essa abordagem nos leva, muitas vezes, a sistemas de crenças religiosas e filosóficas. Podemos citar o hinduísmo, o taoísmo, o lamaísmo e a medicina ayurvédica. Independente das crenças religiosas, a alimentação quando enfocada por essa abordagem adquire características peculiares que podem afetar o estado nutricional e a saúde de diversas formas, basicamente pelas escolhas alimentares, pela atitude mental e pelo ambiente do comensal.

Será destacado nesta seção a relação da alimentação holística com conceitos modernos de saúde e benefícios adquiridos por uma alimentação saudável, que considera o homem na sua integralidade.

De acordo com Weil (1987 *apud* Boog, 1992), o termo “Holismo” refere-se a uma abordagem de conhecimentos que visa estabelecer pontes entre as fronteiras das ciências físicas, biológicas e humanas e as tradições espiritualistas. O termo foi criado por Jan Smuts (1880-1953), filósofo, general e estadista sul-africano, quando divulgou seu livro *Holismo and Evolution* em Londres no ano de 1926. A abordagem busca compreender os fenômenos em

função de uma totalidade integrada que contempla aspectos científicos, tradicionais e artísticos. Seu conceito avança para uma visão sintética do universo e propõe a totalidade em oposição à fragmentação cartesiana. Essa construção ocidental vai de encontro com as antigas tradições orientais (Chaer, 2006).

No campo da nutrição, a visão holística é uma abordagem ampla e abrangente para a alimentação e a saúde que considera não apenas os aspectos físicos do corpo, mas também os aspectos emocionais, mentais e espirituais. Ela se baseia na ideia de que todas as partes do ser humano estão interconectadas e influenciam a saúde de forma integral.

Glossário

Holismo: termo derivado da palavra *Holon*, do grego, que significa todo, totalidade (Chaer, 2006).

Você sabe o que é Saúde Integral?

A Organização Mundial da Saúde, em 1946, definiu saúde como um estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas como a ausência de doenças ou enfermidades (Brasil, 2021).

Isso faz muito sentido, pois geralmente associamos o fato de sentir-se bem com a qualidade da saúde, sem considerar que o bem-estar vai muito além de não sentir dores físicas ou não apresentar doenças diagnosticadas.

Na visão holística da nutrição, tem-se a base do conceito de saúde integral, pois considera a existência de uma conexão entre corpo, mente e espírito, associado à saúde e a uma boa alimentação. Essa relação entre saúde e espiritualidade começa a ser abordada amplamente e, cientificamente, na atualidade.

E como se vê, atualmente, a relação entre saúde e espiritualidade?

Até recentemente os temas religião e espiritualidade eram pouco abordados no meio científico, e totalmente excluídos da prática clínica de profissionais de saúde. Atualmente, vários estudos apontam uma relação positiva entre religiosidade, espiritualidade e saúde (Vasconcelos, 2006; Souza, 2014). Muitas escolas de medicina no mundo já integram o tema espiritualidade ao currículo. No Brasil, a iniciativa pioneira partiu das Faculdades de Medicina, da Universidade Federal do Ceará, e da Universidade Federal de Minas Gerais (Stroppa; Moreira-Almeida, 2008).

De acordo com Stroppa e Moreira-Almeida (2008), esses benefícios parecem estar relacionados a vários fatores incluindo o estilo de vida e a capacidade de *coping* religioso/espiritual; atitude desenvolvida por uma pessoa que lhe permite enfrentar, de forma positiva, as adversidades da vida com base em sua fé ou crenças religiosas.

Glossário

Coping: O *coping* religioso/espiritual (CRE) – conceito desenvolvido por Kenneth Pargament, e definido como a utilização da religião, espiritualidade ou fé para o manejo do estresse – representa um importante aspecto na área da saúde com possíveis implicações no tratamento de doenças (Corrêa *et al.*, 2016).

Os autores também consideram que em razão da vivência religiosa, pessoas estão menos expostas a situações de agravo como: fumar, fazer uso excessivo de bebidas alcoólicas, de drogas, ter comportamento sexual de risco e envolvimento em situações de violência física.

Sobre o tema alimentação e espiritualidade, apesar da grande relação sociocultural entre cultura e religião, poucos estudos têm sido realizados no campo científico. Historicamente, as culturas que se desenvolveram nos quatro continentes do mundo conservaram uma forte relação entre suas tradições religiosas com a alimentação. Cada uma delas escolheu um alimento e a este lhe rendeu culto: os orientais cultuaram o arroz, os europeus o trigo, os ameríndios consideravam o milho um alimento sagrado e, no continente africano, o sorgo foi também elemento de culto (Souza, 2014; Boog, 1992).

Então a religiosidade ou espiritualidade pode influenciar a saúde através da alimentação?

Em relação à nutrição, evidentemente, essa influência se dá através dos hábitos alimentares como comer à mesa com a família, buscar por alimentos que venham da natureza, como uma representação daquilo que vem da divindade, boa mastigação e concentração ao comer, seleção do que se fala na mesa e um estado psicológico mais harmonioso produzido pela oração ou atitude devocional ao alimentar-se.

Esse estilo de vida, induzido pela religiosidade ou espiritualidade, colabora inevitavelmente para uma alimentação mais saudável, como definido no Guia Alimentar para a População Brasileira, que sugere como bons hábitos alimentares: a regularidade e atenção ao comer, a escolha de alimentos *in natura* e minimamente processados, o comer em ambiente apropriado e em companhia, o compartilhamento de hábitos culinários, dando à alimentação o espaço que ela merece (Brasil, 2014).

E como alcançar uma alimentação saudável de acordo com a visão holística?

Com o aumento da oferta de alimentos processados e ultraprocessados, nocivos para a saúde, torna-se imprescindível a escolha correta para uma alimentação saudável.

Com a mudança de hábitos alimentares e estilo de vida alcança-se uma melhor qualidade de vida e, conseqüentemente, maior longevidade.

De acordo com a visão holística indiana, para uma alimentação saudável, é fundamental equilibrar três tipos de alimentos incorporando, principalmente, escolhas de alimentos *sátwicos*, com consumo moderado de alimentos *rajásicos* e evitando ao máximo os alimentos *tamásicos*.

Mas o que são alimentos sátwicos, rajásicos e tamásicos?

Tipos de Alimentos: As Três Gunas

Guna (palavra em sânscrito) é um conceito no hinduísmo que pode ser traduzido como "qualidade, peculiaridade, atributo, propriedade".

De acordo com a filosofia hindu, tudo no universo responde a três qualidades básicas (gunas) que determinam a natureza substancial de todas as coisas (Martínez, 2014). Assim, como tudo na natureza, os alimentos também são classificados de acordo com três qualidades ou gunas: *satwa*, a harmonia, *rajas*, a paixão e *tamas*, a inércia.

Satwa: esta guna é associada à pureza, luz, equilíbrio e harmonia.

Assim o que seria um alimento *sátwico* e o que o caracteriza?

Os alimentos *sátwicos* são aqueles que são puros, frescos, nutritivos e cheios de vitalidade. Esses alimentos contêm 100% de princípio vital. Geram na pessoa um estado de serenidade, tranquilidade, paz de espírito e saúde para o corpo. Trazem saúde e harmonia. O alimento *sátwico* é ainda caracterizado por ser livre de modificação genética, e livre de conservantes, aditivos químicos e sabores artificiais.

Eles são considerados benéficos para a mente e o corpo, promovendo equilíbrio, calma e clareza mental. Exemplos de alimentos *sátwicos* incluem frutas frescas (Figura 1), legumes orgânicos, grãos integrais, nozes e sementes. Esses alimentos são ricos em nutrientes essenciais, fibras, antioxidantes e compostos bioativos ajudando a fortalecer o sistema imunológico, prevenir doenças e manter a saúde física e mental. Esses alimentos devem ser consumidos na forma mais natural possível, crus ou levemente cozidos e bem combinados entre si.

Figura 1 - Exemplo de alimentos *sátwicos*: uva orgânica, não modificada.



Fonte: UNPLASH (2023).

E como identificar um alimento *rajásico*?

Já os alimentos *rajásicos* perderam parte de sua vitalidade e possuem algumas substâncias nocivas à saúde. O consumo desses alimentos ativa a tendência ao movimento e o desejo. São estimulantes e energéticos. Embora possam fornecer um impulso momentâneo de energia, o consumo excessivo de alimentos *rajásicos* pode levar a flutuações de humor e desequilíbrios orgânicos. As pessoas que consomem predominantemente esses alimentos tendem a hiperatividade, transtornos da saciedade e desequilíbrios emocionais. Alimentos *rajásicos* se caracterizam por serem muito picantes, amargos, salgados, doces, ácidos, quentes ou excessivamente frios.

Exemplos de alimentos *rajásicos* incluem café, condimentos (pimentas, especiarias e ervas fortes) e alimentos processados (palmitos e outros vegetais em conserva, queijos, geleias e frutas enlatadas etc. (Figura 2). Alguns desses alimentos podem ser consumidos com moderação, essencialmente como temperos suaves em refeições *sátwicas*, evitando assim impactos negativos à saúde.

Figura 2 – Exemplo de alimentos *rajásicos*: queijos.



Fonte: UNPLASH (2023).

E o que caracteriza os alimentos *tamásicos* e como identificá-los?

Já os *tamásicos*, na visão holística, são alimentos desprovidos de vitalidade. Eles podem causar letargia, sonolência, alterações no humor e outros impactos negativos nas funções cognitivas (concentração, memória e clareza mental). O consumo de alimentos *tamásicos* prejudicam a saúde. Exemplos de alimentos *tamásicos* incluem as frituras, alimento com alto teor de gordura saturada, alimentos processados com baixo valor nutricional, alimentos geneticamente modificados e os alimentos industrializados ultraprocessados (embutidos, salgadinhos de pacote, refrigerantes e bebidas adoçadas, macarrão instantâneo, biscoitos recheados, achocolatados, dentre outros) (Figura 3). Evitar esses alimentos é essencial para manter um estado de bem-estar, equilíbrio e saúde.

Figura 3 – Exemplo de alimentos ultraprocessados.



Fonte: Freepik (2024).

Para Saber Mais sobre alimentos processados e ultraprocessados, acesse o site do Ministério da Saúde, clique [aqui](#).

Agora que você conhece as três gunas, quais são os benefícios da nutrição holística?

Como vimos, a nutrição holística preza por uma alimentação natural e saudável. Assim, um cardápio que segue essa tendência é variado em frutas, verduras, legumes e especiarias frescas e preferivelmente da época, cereais integrais, leguminosas e oleaginosas, alimentos produzidos sem defensivos, conservando as cores e aromas naturais, guardando o máximo de vitalidade dos alimentos.

Esse conceito da nutrição ou alimentação holística nos convida a realizar às refeições em ambientes saudáveis, agradáveis, que harmonizam o estado de mente e de espírito. Valoriza a alimentação em ambiente familiar, com atitude serena, e a combinação de elementos como a música, as cores e os jardins nos ambientes onde se come.

Além de prezar pela alimentação saudável essa visão, com influência espiritualista, ajuda a tornar as pessoas mais conscientes, visto que incentiva a busca por alimentos produzidos de forma sustentável e que não prejudicam o meio ambiente. Também incentiva o consumo de

plantas medicinais, de fibras, gorduras saudáveis, probióticos e de outros alimentos funcionais, ricos em compostos bioativos, que estimulam as funções orgânicas, dando caráter, acentuadamente, preventivo para a saúde.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Instrução Normativa: IN N° 161**, de 1º de julho de 2022. Brasília, DF: Anvisa, 2022a. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_161_2022_.pdf/b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2. Acesso em: 17 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Resolução da Diretoria Colegiada: RDC N° 724**, de 1º de julho de 2022. Brasília, DF: Anvisa, 2022b. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_724_2022_.pdf/33c61081-4f32-43c2-9105-c318fa6069ce. Acesso em: 17 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Resolução N° 216, de 15 de setembro de 2004**. Brasília, DF: Anvisa, 2022c. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html. Acesso em: 27 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE REFEIÇÕES COLETIVAS. **Manual ABERC de Práticas de Elaboração e Serviço de Refeições para Coletividades**. 9. ed. São Paulo: ABERC, 2009.

AUTORIDADE DE SEGURANÇA ALIMENTAR E ECONÔMICA (Portugal). **Riscos biológicos**. Lisboa: ASAE, 2023. Disponível em: <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/riscos-biologicos>. Acesso em: 9 nov. 2023.

BOOG, Maria Cristina Faber. Perspectivas da abordagem holística para a dietética. **Revista de Nutrição PUCCAMP**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 171-180, jul./dez. 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Cartilha sobre boas práticas para serviços de alimentação**: resolução - RDC n° 216/2004. Brasília, DF: Anvisa, [2005]. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/alimentos/manuais-guias-e-orientacoes/cartilha-boas-praticas-para-servicos-de-alimentacao.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

BRASIL. **Decreto n° 9.013, de 29 de março de 2017**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm. Acesso em: 27 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**: estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 9 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Disponível em: [L14026 \(planalto.gov.br\)](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20192023/2020/lei/L14026.htm). Acesso em: 9 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Abastecimento e da Reforma Agrária. **Portaria nº 146, de 7 de março de 1996**. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/inspleite/files/2016/03/Portaria-n%C2%B0-146-de-7-de-mar%C3%A7o-de-1996.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf.

Acesso em: 3 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **O que significa ter saúde?** Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-brasil/eu-quero-me-exercitar/noticias/2021/o-que-significa-ter-saude>. Acesso em: 03 de out 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde Brasil, eu quero me alimentar melhor**: por que limitar o consumo de alimentos processados e evitar alimentos ultraprocessados? Brasília: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-brasil/eu-quero-me-alimentar-melhor/noticias/2022/por-que-limitar-o-consumo-de-alimentos-processados-e-evitar-alimentos-ultraprocessados>. Acesso em: 26 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde Brasil, eu quero me exercitar**: o que significa ter saúde? Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-brasil/eu-quero-me-exercitar/noticias/2021/o-que-significa-ter-saude>. Acesso em: 30 jan. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde de A a Z**: doenças de transmissão hídrica e alimentar (DTHA). Brasília: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a->

[z/d/dtha#:~:text=%C3%89%20considerado%20surto%20de%20DTHA, caso%20j%C3%A1%20%C3%A9%20considerado%20surto](#). Acesso em: 16 Nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Manual integrado de vigilância, prevenção e controle de doenças transmitidas por alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2010. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_integrado_vigilancia_doencas_alimentos.pdf. Acesso em: 9 nov. 2023.

CHAER, Laura. Uma pesquisa sobre holismo e educação holística. **Fragmentos de Cultura**, Goiânia, v. 16, n. 78, p. 555-566, 2006.

CORRÊA, Caiu Vieira; BATISTA, Jeniffer Soley; HOLANDA, Adriano Furtado. Coping religioso/espiritual em processos de saúde e doença: revisão da produção em periódicos brasileiros (2000-2013). **Revista PsicoFAE: Pluralidades em Saúde Mental**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 61-77, 2016.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Center for Food Safety and Applied Nutrition. **Hazard analysis and risk-based preventive controls for human food: draft guidance for industry**. White Oak, Maryland: FDA, 2023. Disponível em: <https://www.fda.gov/media/99581/download>. Acesso em: 9 nov. 2023.

GUILOSKI, Izonete Cristina; ROSSI, Stéfani Cibele; SILVA, Cesar Aparecido da; ASSIS, Helena Cristina Silva de. Insecticides biomarker responses on a freshwater fish *Corydoras paleatus* (Pisces: Callichthyidae). **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 48, n. 4, p. 272-277, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.743774>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03601234.2013.743774>. Acesso em: 19 jun. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **A vida sem saneamento: para quem falta e onde mora essa população?** [São Paulo]: ITB, 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/11/Estudo-ITB-A-vida-sem-saneamento-Para-quem-falta-e-onde-mora-essa-populacao-V.-2023-11-14.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MARTÍNEZ, Comodoro Chacón. **Guia prático de alimentação natural**: noções fundamentais: saladas, seus benefícios e receitas. 2. ed. Brasil, 2015.

PEREIRA, Maurício Gomes. **Epidemiologia**: teoria e prática. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, c1995.

SILVA, C. A.; PRANDINI, M. K. Epidemiologia aplicada ao saneamento ambiental. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). **Engenharia ambiental e sanitária**. Herval d'Oeste: [s.n.], 2023. v. 2. p. 96-124.

SILVA, Cesar Aparecido da; MAFRA, Luiz Laureno; ROSSI, Gustavo Rodrigues; TRINDADE, Edvaldo da Silva; MATIAS, William Gerson. A simple method to evaluate the toxic effects of *Prorocentrum lima* extracts to fish (sea bass) kidney cells. **Toxicology in vitro**, v. 85, Article 105476, p. 1-8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2022.105476>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/toxicology-in-vitro/vol/85/suppl/C>. Acesso em: 30 jan. 2024.

SILVA, Cesar Aparecido da; OBA, Eliane T.; RAMSDORF, Wanessa A.; MAGALHÃES, Valéria F.; CESTARI, Marta M.; RIBEIRO, Ciro Alberto Oliveira; ASSIS, Helena C. Silva de. First report about saxitoxins in freshwater fish *Hoplias malabaricus* through trophic exposure. **Toxicon (Oxford)**, v. 57, n. 1, p. 141-147, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.10.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004101011000396X?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jan. 2024.

SILVA, Cesar Aparecido da; YAMANAKA, Elisa Hizuru Uemura; MONTEIRO, Cristiane Schüler. Monitoramento microbiológico da água de bicas em parques públicos de Curitiba (PR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n.1, p. 271-275, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016158283>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/z4yfQTPWH3yFyL9cc8GVJLC/?lang=pt#>. Acesso em: 24 jun. 2024.

SILVA, Cesar Aparecido da; STRAPAÇÃO, Sidney; YAMANAKA, Elisa Hizuru Uemura; BALLÃO, Carmen; MONTEIRO, Cristiane Schüler. Diagnóstico da potabilidade da água de poços rasos de uma comunidade tradicional, Curitiba-PR. **Revista Biociências**, v. 19, n. 2, p.

88-92, 2013. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/biociencias/article/view/1628/1273>. Acesso em: 24 jun. 2024.

SISCOMEX (Sistema Integrado de Comércio Exterior). **Sistema APPCC (HACCP)**: o que é o sistema APPCC (HACCP). [Brasília]: [Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços], 2023. Disponível em: [https://www.gov.br/siscomex/pt-br/servicos/aprendendo-a-exportar/conhecendo-temas-importantes-1/sistema-appcc-haccp#:~:text=O%20Sistema%20APPCC%20\(Sistema%20de,todas%20as%20etapas%2C%20desde%20a](https://www.gov.br/siscomex/pt-br/servicos/aprendendo-a-exportar/conhecendo-temas-importantes-1/sistema-appcc-haccp#:~:text=O%20Sistema%20APPCC%20(Sistema%20de,todas%20as%20etapas%2C%20desde%20a). Acesso em: 23 de nov 2023.

SOUZA, Patrícia Rodrigues de. **Religião e comida**: como as práticas alimentares no contexto religioso auxiliam na construção do homem. 2014. 181f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Religião) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2014.

STROPPIA, André; MOREIRA-ALMEIDA, Alexander. Religiosidade e saúde. In: SALGADO, Mauro Ivan; FREIRE, Gilson Teixeira. (org.). **Saúde e espiritualidade**: uma nova visão da medicina. Belo Horizonte: Inede, 2008. Cap. 20, p. 427-443.

TORTORA, Gerard J.; FUNKE, Berdell R.; CASE, Christine L. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VASCONCELOS, Eymard Mourão (org.). **A espiritualidade no trabalho em saúde**. São Paulo: Hucitec, 2006.

VASCONCELOS, Margarida Angélica da Silva; MELO FILHO, Artur Bibiano de. **Conservação de alimentos**. Recife: EDUFRPE, 2010. Disponível em: https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/316/Cons_Alimentos.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 24 jun. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF. **Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus**: technical brief, 3 March 2020. Geneva, Switzerland: WHO/UNICEF, 2020. Disponível em: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/331305/WHO2019-NcOVIPC_WASH-2020.1-eng.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 nov. 2023.

FIGURAS

Figura 1: Disponível em: <https://unsplash.com/pt-br/fotografias/pessoa-detentora-de-uvas-vGQ49l9I4EE>. Acesso em: 01 Dez 2023.

Figura 2: Disponível em: https://unsplash.com/pt-br/fotografias/queijo-fatiado-na-tabua-de-cortar-madeira-marrom-_L5MGd0w1FQ. Acesso em: 01 Dez 2023.

Figura 3: Disponível em: https://img.freepik.com/fotos-gratis/closeup-tiro-de-fatias-de-salsichas-com-alface-verde-em-uma-placa-de-madeira_181624-38741.jpg?w=1480&t=st=1720464985~exp=1720465585~hmac=a461f3d2c51e892631fa964854b976f58b96d3c31fa95382654812cd4f12dfe4. Acesso em: 08 Jul 2024.

Engenharia de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente



CESAR APARECIDO DA SILVA

Graduado em Engenharia Ambiental (UFPR), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, com mestrado e doutorado em Ecologia e Conservação e pós-doutorado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Atua principalmente com gestão ambiental, resíduos sólidos, saneamento ambiental, epidemiologia e ecotoxicologia.



HELENA CRISTINA DA SILVA DE ASSIS

Doutora em Ecotoxicologia (Universidade Técnica de Berlim), pós-doutorado em Genômica Ambiental (Universidade de Ottawa). Professora titular sênior do Depto de Farmacologia (UFPR), presidente mundial da Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (2020-2021).

Como citar esse capítulo nas normas ABNT:

SILVA, Cesar Aparecido da; ASSIS, Helena Cristina da Silva de. Engenharia de segurança do trabalho e meio ambiente. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). **Engenharia ambiental e sanitária**: volume 3. Pontal do Paraná, 2024. v. 3, cap. 3, p. 56-92. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/porta/ambientalsanitaria/>. Acesso em: 25 set. 2024.

ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO E MEIO AMBIENTE

APRESENTAÇÃO

O ambiente laboral do profissional engenheiro ambiental sanitarista pode apresentar diversos tipos de riscos para a saúde. Nesta disciplina, abordaremos as regulamentações legais que tratam da segurança do trabalho; os riscos associados ao desempenho das funções do futuro engenheiro; noções sobre ergonomia, equipamentos de proteção, incêndios, produtos químicos diversos, tais como agrotóxicos e metais pesados; os resíduos industriais; e, trataremos, também, sobre o gerenciamento de riscos ocupacionais, visando a proteção à saúde humana e ambiental.

1 Introdução

O ambiente laboral comumente pode provocar riscos aos profissionais e ao meio ambiente, seja pela exposição a agentes tóxicos ou a acidentes.

Além disso, as condições do ambiente de trabalho podem desencadear doenças ocupacionais ou piorar o quadro de alguma enfermidade preexistente do trabalhador, especialmente, em situações de excesso ou depreciação de algum fator ambiental tais como a temperatura, umidade, radiação solar, som, vento, entre outros.

Essas condições inapropriadas resultam em afastamento do trabalhador para tratamento de saúde, comprometendo sua qualidade de vida e, em alguns casos, levando ao óbito.

Estima-se que cerca de dois milhões de trabalhadores morrem por ano devido às causas laborais (World Health Organization, 2021), obrigando os governos a promulgarem políticas públicas para garantir ambiente adequado ao desempenho das funções laborais.

E você sabia que doenças ocupacionais podem ser consideradas como acidente de trabalho?

Entende-se por doenças ocupacionais aquelas que devido às atividades laborais provoquem alterações na saúde do trabalhador, e se dividem em duas categorias (Brasil, 1991):

- **Doenças Profissionais:** se referem às enfermidades comuns a determinados tipos de atividades do trabalho por conter algum tipo de agente capaz de provocar alterações na saúde como, por exemplo, a manipulação de produtos químicos.
- **Doenças do Trabalho:** são aquelas relacionadas às condições do ambiente laboral.

Atenção!

O anexo II do Decreto 3.048/99 relaciona os agentes e as atividades capazes de provocar tais doenças (Brasil, 1999).

Mas afinal, o que vem a ser um acidente de trabalho?

O Art. 19 da Lei 8213/1991 diz o seguinte sobre essa matéria:

Acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço de empresa ou de empregador doméstico ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho. (Redação dada pela Lei Complementar nº 150, de 2015).

E, como veremos adiante, muitos são os riscos ocupacionais inerentes à profissão de engenheiro ambiental sanitarista, e muitos deles podem provocar diversos tipos de doenças e, para evitá-las, é preciso estar atento às normativas de segurança do trabalho.

2 Riscos Laborais em Atividades de Engenharia Ambiental e Sanitária

O engenheiro ambiental sanitarista exercerá diversas atividades capazes de provocar alterações indesejáveis em sua saúde, pois devido à natureza das funções profissionais associadas estará sujeito aos seguintes riscos laborais (Silva; Gomes, 2011):

- **Riscos Físicos:** são aqueles associados diretamente aos fatores ambientais inerentes ao seu local de trabalho: ruído, iluminação, calor, pressão, umidade entre outros. Também nesta categoria encontram-se os aspectos ergométricos, e nos quais discutiremos mais adiante. Nos riscos físicos, além daqueles possíveis de provocar sérios danos à saúde como surdez, cegueiras etc., é possível destacar dois tipos de morbidades associadas: a LER (lesão por esforço repetitivo) e a DORT (Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho), e que trataremos no item 3.2.
- **Riscos Químicos:** estão associados à exposição por contato à pele, pelo ar ou por ingestão de produtos químicos orgânicos tais como solventes, agrotóxicos, gases, névoas, combustíveis etc., e inorgânicos tais como os metais. Ressalta-se que a concentração e o tempo de exposição são determinantes para avaliar a gravidade da lesão.
- **Riscos Biológicos:** se relacionam aos agentes etiológicos biológicos tais como os fungos, bactérias, vírus, protozoários, insetos, animais peçonhentos, entre outros, capazes de causar

morbidades. Estão associados principalmente aos resíduos das mais diferentes fontes, inclusive devido ao seu tratamento, ao ambiente de clínicas e hospitais, às estações de tratamento de esgoto, aos abatedouros, laboratórios, trabalhos em campo etc. De acordo com a capacidade de propagação, a existência de prevenção e tratamento, os riscos biológicos são distribuídos em 4 grupos, sendo o grupo 1 o de baixo risco e 4 o de risco elevado.

Todos esses riscos citados podem afetar o trabalhador de forma isolada ou em conjunto, pois em um aterro sanitário, por exemplo, além de todos os riscos biológicos associados, há ainda a questão do biogás que é tóxico, risco de explosões, ruídos intensos, possibilidade de acidentes por maquinários, deslizamento de taludes etc.

Por isso, a profissão exige cuidados especiais durante o desempenho das atividades tais como o uso de equipamentos de proteção e a obediência às normas regulamentadoras do trabalho (NRs), que trataremos a seguir.

3 Normas Regulamentadoras

Com a promulgação da CLT (Consolidação das Leis do Trabalho) em 1943 (Decreto-Lei nº 5.452), a saúde do trabalhador passou a ser um fator importante nas relações entre empregado e empregador.

Embora a CLT tenha passado por muitas mudanças ao longo dos anos, vários benefícios ao trabalhador continuam em validade, tais como os adicionais de insalubridade e periculosidade, higiene e segurança laboral e a disponibilidade de equipamentos de proteção individual e coletiva pelo empregador.

As normas de segurança foram estabelecidas pelo capítulo V da CLT (Segurança e Medicina do Trabalho), à qual receberam atualizações pela Lei 6514/1977. Essas normas necessitam ser seguidas tanto pelos empregadores quanto pelos empregados, e de acordo com o Art. 157, cabe às empresas:

- I - cumprir e fazer cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho;
- II - instruir os empregados, através de ordens de serviço, quanto às precauções a tomar no sentido de evitar acidentes do trabalho ou doenças ocupacionais;

III - adotar as medidas que lhes sejam determinadas pelo órgão regional competente;

IV - facilitar o exercício da fiscalização pela autoridade competente.

Já as obrigações dos empregados são determinadas pelo Art. 158 da mesma Lei (Brasil, 1977):

I - observar as normas de segurança e medicina do trabalho, inclusive as instruções de que trata o item II do artigo anterior;

II - colaborar com a empresa na aplicação dos dispositivos deste Capítulo.

Parágrafo único - Constitui ato faltoso do empregado a recusa injustificada:

a) à observância das instruções expedidas pelo empregador na forma do item II do artigo anterior;

b) ao uso dos equipamentos de proteção individual fornecidos pela empresa.

O Art. 162 da CLT exige que as empresas mantenham serviços especializados em segurança e medicina do trabalho, com face à manutenção da saúde do trabalhador, e ao cumprimento das NRs.

Essas normas e seus anexos estão em contínuo aprimoramento e são cruciais para manter a segurança no ambiente laboral, sendo que muitas delas são específicas para determinadas atividades, enquanto outras são mais genéricas. Muitas dessas NRs se aplicam diretamente às atividades inerentes à engenharia ambiental e sanitária.

Conheça agora as NRs em vigor no Brasil (Brasil, 2020):

- NR-01 - DISPOSIÇÕES GERAIS E GERENCIAMENTO DE RISCOS OCUPACIONAIS
- NR-02 - INSPEÇÃO PRÉVIA (REVOGADA)
- NR-03 - EMBARGO E INTERDIÇÃO
- NR-04 - SERVIÇOS ESPECIALIZADOS EM SEGURANÇA E EM MEDICINA DO TRABALHO
- NR-05 - COMISSÃO INTERNA DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES
- NR-06 - EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EPI
- NR-07 - PROGRAMA DE CONTROLE MÉDICO DE SAÚDE OCUPACIONAL
- NR-08 - EDIFICAÇÕES

- NR-09 - AVALIAÇÃO E CONTROLE DAS EXPOSIÇÕES OCUPACIONAIS A AGENTES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS
- NR-10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE
- NR-11 - TRANSPORTE, MOVIMENTAÇÃO, ARMAZENAGEM E MANUSEIO DE MATERIAIS
- NR-12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
- NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO
- NR-14 - FORNOS
- NR-15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES
- NR-16 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES PERIGOSAS
- NR-17 - ERGONOMIA
- NR-18 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
- NR-19 - EXPLOSIVOS
- NR-20 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO COM INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS
- NR-21 - TRABALHOS A CÉU ABERTO
- NR-22 - SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL NA MINERAÇÃO
- NR-23 - PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS
- NR-24 - CONDIÇÕES SANITÁRIAS E DE CONFORTO NOS LOCAIS DE TRABALHO
- NR-25 - RESÍDUOS INDUSTRIAIS
- NR-26 - SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA
- NR-27 - REGISTRO PROFISSIONAL DO TÉCNICO DE SEGURANÇA DO TRABALHO (REVOGADA)
- NR-28 - FISCALIZAÇÃO E PENALIDADES
- NR-29 - NORMA REGULAMENTADORA DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO PORTUÁRIO
- NR-30 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO AQUAVIÁRIO
- NR-31 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA AGRICULTURA, PECUÁRIA SILVICULTURA, EXPLORAÇÃO FLORESTAL E AQUICULTURA
- NR-32 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM SERVIÇOS DE SAÚDE
- NR-33 - SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS

- NR-34 - CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, REPARAÇÃO E DESMONTE NAVAL
- NR-35 - TRABALHO EM ALTURA
- NR-36 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM EMPRESAS DE ABATE E PROCESSAMENTO DE CARNES E DERIVADOS
- NR-37 - SEGURANÇA E SAÚDE EM PLATAFORMAS DE PETRÓLEO
- NR-38 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NAS ATIVIDADES DE LIMPEZA URBANA E MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Como pode ser visto, algumas NRs possuem peculiaridades de acordo com as atividades específicas de algumas profissões. Veremos algumas delas no decorrer deste capítulo.

Para Saber Mais sobre as normas regulamentadoras, clique [aqui](#).

3.1 Insalubridade e Periculosidade

Muitas atividades inerentes ao engenheiro ambiental sanitaristas são consideradas insalubres ou perigosas, mas qual é a diferença?

De modo genérico pode-se dizer que um ambiente insalubre é aquele que pode causar danos à saúde de quem o frequenta, enquanto perigoso é o risco de sofrer danos caso ocorra um acidente (Silva; Gomes, 2011).

Em aterro sanitário, por exemplo, temos a insalubridade pela exposição constante a diversos riscos ambientais tais como os patógenos, substâncias tóxicas diversas, liberação de biogás contendo metano e gás sulfídrico etc.

Por outro lado, em atividades próximas às linhas de alta voltagem, por exemplo, há sempre o risco de uma descarga elétrica que poderia causar sérios danos à saúde, por isso é um lugar perigoso para se trabalhar.

Neste contexto, a considerar que o trabalhador pode prejudicar sua saúde em um ambiente desfavorável, a lei trabalhista exige que o empregador pague, em retribuição, os adicionais de insalubridade ou periculosidade, que são definidos pelas NRs 15 e 16 respectivamente.

São consideradas insalubres as atividades que se encontram acima dos chamados limites de tolerância aos fatores físicos e químicos de acordo com o preconizado nos anexos da NR-15,

ou até mesmo em exposição direta a agentes tóxicos, patógenos, radiação ionizante etc. (Silva; Gomes, 2011).

E o que é o adicional de insalubridade ou periculosidade?

Primeiro é preciso entender que o trabalhador somente fará jus ao adicional quando comprovada as condições para o recebimento de uma ou outra modalidade, isto é, mesmo que suas atividades estejam em ambiente insalubre tal como exposição contínua a um agente tóxico e ao mesmo tempo perigosa (risco de explosão, por exemplo), ele receberá apenas um adicional, geralmente o de maior valor. Esse adicional é um benefício financeiro de modo a indenizar seu prejuízo à saúde.

Segundo a NR-15, os valores de insalubridade sobre o salário são os seguintes:

- 40% (quarenta por cento) para insalubridade de grau máximo
- 20% (vinte por cento) para insalubridade de grau médio
- 10% (dez por cento) para insalubridade de grau mínimo.

Contudo, uma vez cessando os fatores que deram causa ao adicional, cessa também o direito do recebimento do mesmo.

Já para o adicional de periculosidade (NR-16), o valor é de 30% sobre o salário, desconsiderando os valores de outros benefícios que o trabalhador possa receber.

Esses adicionais a que o trabalhador tem direito somente são implementados após uma avaliação, geralmente feita pelo engenheiro de segurança do trabalho, no ambiente laboral, no qual podem ser analisadas a concentração e o tempo de exposição aos agentes insalubres.

Apesar desses adicionais serem comuns, muitas vezes os empregadores não querem pagá-lo, alegando que o ambiente de trabalho não apresenta riscos à saúde, ou que implementou medidas de proteção tais como a distribuição de equipamentos de proteção individual (EPI) ou coletivo (EPC). Neste caso, o empregado deve procurar a justiça do trabalho que pode solicitar uma perícia técnica no ambiente laboral para decidir sobre o processo.

Para Saber Mais clique: [insalubridade](#); [periculosidade](#).

Além da insalubridade e periculosidade que são fatores de risco, a ergonomia também é um fator muito importante à saúde do trabalhador, uma vez que este passa boa parte do seu dia no ambiente laboral. E você sabe o que é ergonomia e qual a importância na sua postura corporal? É o que veremos em seguida.

3.2 Ergonomia

A falta de condições adequadas de trabalho como iluminação, temperatura, ruídos etc., pode provocar sérios danos à saúde do trabalhador, e a NR-17 é a norma que regulamenta a ergonomia no ambiente laboral.

E você sabe o que é ergonomia?

Conforme Silva e Gomes (2011, p. 70) a "ergonomia vem das palavras gregas *ergon* (trabalho) e *nomos* (lei natural), e é entendida como uma disciplina do conhecimento como fatores humanos que aborda a relação homem-trabalho".

Segundo o mesmo autor a ergonomia está relacionada ao conforto do trabalhador em seu ambiente devido a sensação de segurança e bem-estar.

A legislação em vigor entende que esse conforto em relação ao desempenho das funções do trabalhador é um dever a ser cumprido por parte do empregador como, por exemplo, quando a função exige que o trabalhador fique muito tempo sentado, é importante que o posto de trabalho seja planejado visando o conforto visual, auditivo e preservando uma postura correta do corpo, evitando lesões, isto é, o ambiente deve ser adaptado às suas características psicofisiológicas.

Para os trabalhadores em ambientes que exigem esforços intelectuais tais como escritórios, laboratórios, salas de desenvolvimento de projetos etc., a NR-17 traz algumas normativas mínimas de conforto laboral, vejamos algumas delas:

- Níveis de ruído de até 65 dB;
- Pausas para propiciar a recuperação psicofisiológica dos trabalhadores, que devem ser computadas como tempo de trabalho efetivo;
- Mobiliário ajustável de acordo com as características pessoais;
- Iluminação adequada que deve seguir a Norma de Higiene Ocupacional nº 11 (NHO 11) da Fundacentro - Avaliação dos Níveis de Iluminamento em Ambientes Internos de Trabalho;
- Temperatura entre 18°C e 25°C para ambientes climatizados.

Para Saber Mais Sobre:

- NHO 11 - clique [aqui](#).
- NR-17 - clique [aqui](#).

Quando as condições não são satisfatórias, algumas lesões podem vir a acontecer, como é o caso da LER.

O esforço repetitivo, tais como os de digitação, direção de veículos, trabalhos em máquinas de costura ou até mesmo analisando lâminas em microscópios, pode comprometer determinadas áreas do corpo levando a casos de bursites (inflamações nas articulações) e tendinites (inflamações nos tendões), ocasionando dores crônicas no indivíduo.

Em alguns casos, a LER pode impedir o desempenho do trabalhador, e fazer com que o mesmo tenha que realizar outras funções diferentes às quais foi inicialmente contratado.

Quer Saber Mais sobre ergonomia, e como manter uma postura adequada para o desempenho de suas funções no ambiente de trabalho e evitar dores e lesões? Acesse a [Cartilha de Ergonomia](#) produzida pelo Ministério da Saúde.

3.2 Equipamentos de Proteção Individual e Coletiva

As atividades laborais executadas no pátio da empresa, em campo, laboratório ou outros locais, podem colocar em risco a integridade do trabalhador, especialmente, as relacionadas ao desempenho das atribuições na área de saneamento devido aos diversos agentes químicos, físicos e biológicos.

Entre as medidas atenuantes para essas condições estão os equipamentos de proteção individual e os para a coletividade.

Os EPIs são os equipamentos que podem prevenir e ou evitar lesões ou doenças no ambiente laboral. Por essa razão, o uso dos EPIs em determinadas atividades ou áreas da empresa é **obrigatório**. Um exemplo para a área de saneamento básico é o ambiente de tratamento de esgoto ou de resíduos. Neste caso, é imprescindível o uso de botas, capacetes e luvas, dentre outros (Silva; Gomes, 2011).

A NR-06 regulamenta os EPIs, e deve ser rigorosamente seguida pelos trabalhadores e pelo empregador. Vejamos quais são as responsabilidades de cada um segundo a NR-06:

Cabe à organização, quanto ao EPI:

- a) adquirir somente o aprovado pelo órgão de âmbito nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho;
- b) orientar e treinar o empregado;
- c) fornecer ao empregado, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, nas situações previstas

no subitem 1.5.5.1.2 da Norma observada a hierarquia das medidas de prevenção;

d) registrar o seu fornecimento ao empregado, podendo ser adotados livros, fichas ou sistema eletrônico, inclusive, por sistema biométrico;

e) exigir seu uso;

f) responsabilizar-se pela higienização e manutenção periódica, quando aplicáveis esses

procedimentos, em conformidade com as informações fornecidas pelo fabricante ou importador;

g) substituir imediatamente, quando danificado ou extraviado; e

h) comunicar ao órgão de âmbito nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho qualquer irregularidade observada.

Já para o trabalhador, as obrigações são as seguintes:

a) usar o fornecido pela organização, observado o disposto no item 6.5.2;

b) utilizar apenas para a finalidade a que se destina;

c) responsabilizar-se pela limpeza, guarda e conservação;

d) comunicar à organização quando extraviado, danificado ou qualquer alteração que o torne impróprio para uso; e

e) cumprir as determinações da organização sobre o uso adequado.

E o que vem a ser um EPI e por que ele é obrigatório?

Segundo a NR-06, o EPI é "todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho".

Ele é obrigatório porque assegura a saúde do trabalhador e evita acidentes. Quando o empregador se nega a fornecer o EPI para as atividades a serem desempenhadas, ele estará agindo de forma ilegal e poderá ser processado na justiça. Porém, o contrário também é verdadeiro: se é fornecido o EPI e o trabalhador se nega a utilizá-lo, este também pode ser punido.

Mas você já imaginou se numa emergência, tal como o vazamento de algum gás tóxico, você for usar uma máscara e ela não funcionar adequadamente?

Para evitar isso, é exigido para os EPIs o Certificado de Aprovação (CA) que indica que tal EPI passou por inspeção e validação no órgão competente, e os fabricantes e importadores só podem comercializar os equipamentos que detenham o CA válido.

E lembre-se: é obrigatório ao empregador fornecer treinamento de uso adequado dos EPIs.

Existem diversos tipos de EPIs, e eles variam de acordo com a necessidade específica de proteção, conforme elencado no Anexo I da NR-06. Destacam-se, segundo Silva e Gomes (2011, p. 86-88):

Proteção facial: Protege todo o rosto de impacto de materiais projetados e de calor radiante, podendo ser acoplado ao capacete. É articulado com perfil côncavo de tamanho e altura que permitem cobrir todo o rosto, sem tocá-lo, sendo construído em acrílico, alumínio ou tela de aço inox.

Capuz: Protege as laterais e a parte posterior da cabeça (nuca) de proteção das fagulhas, poeiras e similares. Para uso em ambientes de alta temperatura, o capuz é equipado com filtros de luz, permitindo proteção também contra queimaduras.

Respiradores e Máscaras: Protegem as vias respiratórias contra gases tóxicos, asfixiantes e aerodispersóides (poeiras). Protegem não somente de envenenamento e asfixias, mas também de inalação de substâncias que provocam doenças ocupacionais. Há vários tipos de máscaras para aplicação específicas, com ou sem alimentação de ar respirável.

Luvas: Protegem os dedos e as mãos de ferimentos cortantes e perfurantes, de calor, choques elétricos, abrasão e radiações ionizantes.

Protetor Auricular: Diminui a intensidade da pressão sonora exercida pelo ruído contra o aparelho auditivo. Não anula o som, mas reduz o ruído a níveis compatíveis com a saúde auditiva. Isso significa que, mesmo usando o protetor auricular, ouve-se o som e o ruído também, sem que este afete o usuário. Existem dois tipos básicos:

- Tipo PLUG (de borracha macia ou espuma de poliuretano), que é introduzido no canal auditivo.
- Tipo CONCHA, que cobre todo o aparelho auditivo, e protege também o sistema auxiliar de audição (óssea).

Calçados de Segurança: Protege os pés contra impactos de objetos que caem ou são projetados, impacto contra objetos imóveis e contra perfurações.

Muitos tipos de EPIs existem disponíveis no mercado e devem ser utilizados sempre que o trabalhador esteja exposto a qualquer risco à sua saúde. A figura 1 ilustra alguns deles.

Figura 1 - Exemplos de EPIs.



Fonte: Freepik (banco de imagens).

E os de uso coletivo, o que são?

Os EPCs, ou equipamentos de proteção de uso coletivo, são aqueles dispositivos capazes de mitigar os riscos para duas ou mais pessoas em determinada área ou atividade. São exemplos de EPCs os fluxos laminares, os exaustores, ventiladores, equipamentos de combate a incêndio, chuveiro de emergência etc. (Silva; Gomes, 2011).

Contudo, a presença de EPCs não dispensam o uso de EPIs.

Para Saber Mais sobre EPIs acesse a [NR-06](#).

4 Proteção Contra Incêndios

Dentre os riscos laborais que os profissionais estão sujeitos no ambiente de trabalho, destaca-se os incêndios, que podem ter várias origens tais como resultado de reações químicas operadas inadequadamente, curto-circuito etc.

Desta forma, conhecer as normas de segurança sobre incêndios é crucial para evitar graves consequências.

Várias substâncias químicas podem reagir entre si e liberar energia em forma de calor (reação exotérmica) e por isso, alguns cuidados precisam ser tomados a fim de evitar que eles estejam próximos entre si. Veja alguns exemplos de substâncias altamente reativas, conforme Hirata e Mancini Filho (2002) *apud* Silva e Gomes (2011, p. 91-94):

Acetileno

Incompatível com: cloro, bromo, flúor, cobre, prata, mercúrio

Ácido acético

Incompatível com: ácido crômico, ácido perclórico, peróxidos, permanganatos, ácido nítrico, etilenoglicol.

Acetona

Incompatível com: misturas concentradas de ácido sulfúrico e ácido nítrico, peróxido de hidrogênio. [...]

Ácido nítrico concentrado

Incompatível com: Ácido cianídrico, anilinas, óxidos de cromo VI, sulfeto de hidrogênio, líquidos e gases combustíveis, ácido acético, ácido crômico.

Ácido sulfúrico

Incompatível com: cloratos, percloratos, permanganatos e água.

Amônia anidra

Incompatível com: mercúrio, cloro, hipoclorito de cálcio, iodo, bromo, ácido fluorídrico [...]

Cloro

Incompatível com: amônia, acetileno, butadieno, butano, outros gases de petróleo, hidrogênio, carbeto de sódio, terebintina, benzeno, metais finamente divididos, benzinas e outras frações do petróleo. [...]

Flúor

Deve ser isolado de tudo, pois é altamente reativo.

Fósforo

Incompatível com: enxofre, compostos oxigenados, cloratos, percloratos, nitratos, permanganatos. [...]

Hidrocarbonetos (butano, propano, tolueno)

Incompatível com: ácido crômico, flúor, cloro, bromo, peróxidos.

Oxigênio

Evitar contato com substâncias inflamáveis.

Peróxido de hidrogênio

Incompatível com: cobre, cromo, ferro, alcoóis, acetonas, substâncias combustíveis.

Sulfeto de hidrogênio

Incompatível com: ácido nítrico fumegante, gases oxidantes.

Mas o que fazer quando um incêndio ocorrer?

Antes de tudo, é preciso entender o que é o fogo.

O fogo, considerando um dos elementos vitais existentes no planeta Terra, é a combustão da matéria com liberação de calor. Contudo, para que o fogo exista é preciso de três fatores principais: o combustível (tal como a madeira), o comburente (o oxigênio) e a ignição (o calor).

Desta forma, ao se retirar um dos fatores o fogo deve se extinguir por si próprio, ou seja, se resfriar o calor da reação ou realizar a retirada do material combustível, ou ainda se abafar o local da reação de modo que a concentração de oxigênio fique abaixo de 13% do volume, o fogo se apagará (Andrade, 2013).

É possível classificar o fogo de acordo com as características do combustível (Andrade, 2013; Silva; Gomes, 2011):

Classe A: é a espécie de incêndio na qual o combustível corresponde a corpos comuns e sólidos, tendo como características básicas o fato de que a queima se dá na superfície e em profundidade e, após a queima, deixam resíduos (cinzas e brasas). Exemplos: papel, madeiras, fibras, tecidos e algodão.

Classe B: são aquelas nos quais o combustível corresponde a líquidos combustíveis e inflamáveis, inclusive gasosos, apresentando como característica básica o fato de que a queima é limitada à superfície e, depois de concluído o processo de queima do combustível, não deixam resíduos. Exemplos: derivados de petróleo (óleo, graxa, solventes, gasolina), álcool, tintas e vernizes.

Classe C: é a modalidade de incêndio envolvendo componentes elétricos energizados, ou seja, na presença da corrente elétrica. Exemplo: motores e equipamentos elétricos ou eletrônicos, transformadores, instalação elétrica predial e industrial energizados.

Classe D: caracteriza-se quando o combustível corresponde a um dos tipos de metais pirofóricos, ou seja, substâncias que tem o poder de alimentar a própria chama. Exemplo: magnésio, zircônio e titânio.

Existe ainda o incêndio **classe K** que está relacionado a óleos e gorduras existentes em cozinhas.

Conhecendo-se o tipo de combustível que alimenta o fogo é mais fácil utilizar um extintor para combatê-lo.

Os extintores são equipamentos dotados de substâncias capazes de extinguir o fogo tais como: água, espuma, gás carbônico (CO₂) e pó químico seco (PQS). Assim, cada tipo de extintor deverá ser utilizado para fim específico, tal como recomenda Casteletti (2011) apud Silva e Gomes (2011, p. 96-97):

[...] a água (para incêndio classe A) apresenta como característica principal a capacidade de diminuir a temperatura dos materiais em combustão. A água age por resfriamento quando direcionada em forma de jato, ou por abafamento quando utilizada em forma de neblina. Já a espuma (para incêndios classes A e B) faz a extinção por abafamento ao formar uma barreira entre o material combustível e o oxigênio. O mesmo acontece com o CO₂ (para incêndios classes A e C, principalmente, mas pode ser utilizado para outras classes) que sendo mais pesado que o ar impede a entrada de oxigênio. A ação do PQS, principalmente utilizado para incêndios classes A e C, embora também possa ser utilizado para outras classes, também é por abafamento, e é considerado mais eficiente do que o CO₂ em ambientes abertos e ventilados, e tem como carga o bicarbonato de sódio. Para os incêndios de classe D (metais), é recomendável os pós químicos especiais que se fundem ao serem aquecidos, e formam uma camada protetora isolando o metal do oxigênio.

Atenção!!!

Em incêndios classe C **não** se deve utilizar os extintores de espuma, pois apresentam água, o que pode provocar curto-circuito. Utilizam-se agentes saponificantes no caso da classe K.

A norma que rege a prevenção e combate aos incêndios é a [NR-23](#) que, entre outras diretrizes, diz que deve sempre haver saídas de emergências e número suficiente para evacuação, proibindo sua obstrução. Os trabalhadores devem ser treinados para a prevenção/combate a incêndio e sobre o uso de extintores.

E você sabe como utilizar um extintor?

Assista a esse [vídeo](#) e aprenda como apagar o fogo utilizando um extintor.

5 Gerenciamento de Riscos Ocupacionais

O empregador deve garantir no local de trabalho a existência de profissionais habilitados em segurança e saúde ocupacional.

Dentre os programas relacionados à saúde do trabalhador exigidos destaca-se o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), que dentre outras atividades acompanha e executa os exames médicos obrigatórios específicos de determinadas atividades nas fases admissional, periódico, de mudança de riscos ocupacionais, retorno ao trabalho e demissional, e é regulada pela NR-07.

A NR-07 determina as seguintes responsabilidades ao empregador:

- a) garantir a elaboração e efetiva implantação do PCMSO;
- b) custear sem ônus para o empregado todos os procedimentos relacionados ao PCMSO;
- c) indicar médico do trabalho responsável pelo PCMSO.

E o que deve conter no PCMSO?

Segundo a NR-07, é necessário que o PCMSO:

- a) descreva os possíveis agravos à saúde relacionados aos riscos ocupacionais identificados e classificados no PGR;
- b) contenha planejamento de exames médicos clínicos e complementares necessários, conforme os riscos ocupacionais identificados, atendendo ao determinado nos Anexos desta NR;
- c) contenha os critérios de interpretação e planejamento das condutas relacionadas aos achados dos exames médicos;
- d) seja conhecido e atendido por todos os médicos que realizarem os exames médicos ocupacionais dos empregados;

e) inclua relatório analítico sobre o desenvolvimento do programa, conforme o subitem 7.6.2 desta NR.

A periodicidade dos exames varia de acordo com as atividades do trabalhador, indo de um ano (ou antes, a critério médico, quando este é portador de doenças crônicas, por exemplo) a cada dois anos. Essa periodicidade também está relacionada aos riscos associados às condições hiperbáricas, elencadas no anexo IV da NR-07.

Além do PCMSO, a empresa também deve oferecer Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT), o qual é regida pela NR-04.

Segundo a NR-04, "O SESMT deve ser composto por médico do trabalho, engenheiro de segurança do trabalho, técnico de segurança do trabalho, enfermeiro do trabalho e auxiliar/técnico em enfermagem do trabalho [...]".

E o que faz o SESMT?

A NR-04 atribui as seguintes competências ao SESMT:

- a) elaborar ou participar da elaboração do inventário de riscos;
- b) acompanhar a implementação do plano de ação do Programa de Gerenciamento de Riscos - PGR;
- c) implementar medidas de prevenção de acordo com a classificação de risco do PGR e na ordem de prioridade estabelecida na Norma Regulamentadora nº 01 (NR-01) - Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais;
- d) elaborar plano de trabalho e monitorar metas, indicadores e resultados de segurança e saúde no trabalho;
- e) responsabilizar-se tecnicamente pela orientação quanto ao cumprimento do disposto nas NR aplicáveis às atividades executadas pela organização;
- f) manter permanente interação com a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA, quando existente; (redação vigente até 19 de março de 2023).
- f) manter permanente interação com a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes e de Assédio - CIPA, quando existente; (Portaria MTP nº 4.219, de 20 de dezembro de 2022 - redação que entrou (sic) em vigor no dia 20 de março de 2023)

- g) promover a realização de atividades de orientação, informação e conscientização dos trabalhadores para a prevenção de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho;
- h) propor, imediatamente, a interrupção das atividades e a adoção de medidas corretivas e/ou de controle quando constatar condições ou situações de trabalho que estejam associadas a grave e iminente risco para a segurança ou a saúde dos trabalhadores;
- i) conduzir ou acompanhar as investigações dos acidentes e das doenças relacionadas ao trabalho, em conformidade com o previsto no PGR;
- j) compartilhar informações relevantes para a prevenção de acidentes e de doenças relacionadas ao trabalho com outros SESMT de uma mesma organização, assim como a CIPA, quando por esta solicitado; e
- k) acompanhar e participar nas ações do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional - PCMSO, nos termos da Norma Regulamentadora nº 07 (NR-07).

O número de profissionais e suas habilitações segue a tipologia das atividades do empreendimento com seu respectivo grau de risco (GR) e o seu número de empregados, e é definido no anexo II da NR-04. Por exemplo, uma empresa que tenha entre 3.501 a 5.000 empregados, e que apresente GR=1, deve ter os seguintes profissionais do SESMT: 2 técnicos de segurança do trabalho, 1 engenheiro de segurança do trabalho, 1 auxiliar/técnico de enfermagem do trabalho, 1 enfermeiro do trabalho e 1 médico do trabalho. Esse número aumenta de acordo com o grau de risco.

E quando ocorre um acidente, o que acontece?

É necessário que o empregador emita um CAT (Comunicação de Acidente de Trabalho) que será encaminhado para a previdência social tal como o INSS (Instituto Nacional de Seguro Social) e que serve, além de notificar a ocorrência, para monitorar estatisticamente os acidentes laborais. A não emissão do CAT em 24 h pode incorrer em multa ao empregador.

Para Saber Mais sobre o SESMT clique [aqui](#).

Além disso, o empregador deve garantir a implantação de um Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) para prevenir riscos ao trabalhador, que é regida pela NR 09, cujo planejamento e execução é de responsabilidade da SESMT.

O PPRA deve identificar as exposições ocupacionais devido aos agentes físicos, químicos e biológicos e deverá contemplar, segundo a NR-09:

- a) descrição das atividades;
- b) identificação do agente e formas de exposição;
- c) possíveis lesões ou agravos à saúde relacionados às exposições identificadas;
- d) fatores determinantes da exposição;
- e) medidas de prevenção já existentes; e
- f) identificação dos grupos de trabalhadores expostos.

Após identificar os riscos, é feita uma avaliação quantitativa dos mesmos para criar medidas de prevenção e os controles de exposição associados.

Para Saber Mais sobre o PPRA, acesse a [NR-09](#).

Dentre os instrumentos de proteção à saúde e segurança do trabalhador, destaca-se a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) que é formada por representantes do empregador e dos empregados.

A CIPA é regulamentada pela NR-05 e tem por atribuição:

- a) acompanhar o processo de identificação de perigos e avaliação de riscos bem como a adoção de medidas de prevenção implementadas pela organização;
- b) registrar a percepção dos riscos dos trabalhadores, em conformidade com o subitem 1.5.3.3 da NR-01, por meio do mapa de risco ou outra técnica ou ferramenta apropriada à sua escolha, sem ordem de preferência, com assessoria do Serviço Especializado em Segurança e em Medicina do Trabalho - SESMT, onde houver;
- c) verificar os ambientes e as condições de trabalho visando identificar situações que possam trazer riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores;
- d) elaborar e acompanhar plano de trabalho que possibilite a ação preventiva em segurança e saúde no trabalho;
- e) participar no desenvolvimento e implementação de programas relacionados à segurança e saúde no trabalho;

- f) acompanhar a análise dos acidentes e doenças relacionadas ao trabalho, nos termos da NR-1 e propor, quando for o caso, medidas para a solução dos problemas identificados;
 - g) requisitar à organização as informações sobre questões relacionadas à segurança e saúde dos trabalhadores, incluindo as Comunicações de Acidente de Trabalho - CAT emitidas pela organização, resguardados o sigilo médico e as informações pessoais;
 - h) propor ao SESMT, quando houver, ou à organização, a análise das condições ou situações de trabalho nas quais considere haver risco grave e iminente à segurança e saúde dos trabalhadores e, se for o caso, a interrupção das atividades até a adoção das medidas corretivas e de controle;
 - i) promover, anualmente, em conjunto com o SESMT, onde houver, a Semana Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho - SIPAT, conforme programação definida pela CIPA; e
 - j) incluir temas referentes à prevenção e ao combate ao assédio sexual e a outras formas de violência no trabalho nas suas atividades e práticas.
- (Portaria MTP nº 4.219, de 20 de dezembro de 2022 - redação entrou (sic) em vigor no dia 20 de março de 2023).

E como é constituída uma CIPA?

Como mencionado anteriormente, a CIPA é constituída por representantes indicados pela empresa e dos empregados, estes por sua vez são eleitos, com mandato de um ano, sendo permitida uma reeleição. O presidente é designado pela empresa, mas o vice-presidente é eleito pelos trabalhadores.

Aos membros eleitos é vedada a dispensa arbitrária ou sem justa causa, desde o registro da candidatura até um ano após o mandato.

As reuniões deverão ser mensais, de forma ordinária, ou extraordinária quando ocorrer acidente grave ou fatal ou ser solicitada por uma das representações, com registro em atas.

Entre as atividades da CIPA, está a Semana Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho - SIPAT, que deve ser realizada anualmente e tem por objetivo realizar palestras, treinamentos e várias atividades para prevenir e conscientizar os trabalhadores sobre a segurança no ambiente laboral (Silva; Gomes, 2011).

O dimensionamento dos integrantes está relacionado ao número de empregados da corporação e o seu respectivo grau de risco, e é definido na NR-05. O empregador deve oferecer treinamento para os membros da CIPA.

E como é definido o grau de risco, uma vez que ele é usado para dimensionar o quadro da SESMT e da CIPA?

O GR se deve à Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE que, de acordo com a exposição aos fatores de risco tal como o físico, químico, biológico e ergométrico, classifica a atividade entre 1, menor risco, a 4, onde o trabalhador possui maior exposição.

Clique [aqui](#) para conhecer o grau de risco das atividades laborais.

Para Saber Mais sobre a CIPA clique [aqui](#).

6 Riscos Ambientais

São muitos os riscos que os trabalhadores estão sujeitos no ambiente de trabalho, pois em cada setor ou área pode haver distintas atividades capazes de provocar acidentes ou situações de perigo ou insalubres.

Com o intuito de mitigar esses possíveis riscos, são desenvolvidos **mapas de riscos** para os locais de trabalho, seguindo uma lógica de símbolos para facilitar a visualização dos perigos ocupacionais em cada área, departamento, setor etc.

Basicamente é uma representação gráfica, geralmente círculos, dos fatores presentes nos locais confeccionada em planta baixa, identificando os tipos de riscos que podem provocar prejuízos à saúde (Silva; Gomes, 2011). Os mesmos autores detalham que os mapas de riscos devem conter:

- O grupo a que pertence o risco, de acordo com a cor padronizada.
- O número de trabalhadores expostos ao risco.
- A especificação do agente (Ex.: físico - calor, frio, poeira; ergonômico).
- A intensidade do risco, de acordo com avaliação técnica, deve ser representada por tamanhos proporcionalmente diferentes de círculos.

Quando houver mais de um fator de risco no mesmo ambiente de trabalho, divide-se o círculo em várias partes, deixando-as em cores diferentes de acordo com o grupo a qual pertence, conforme mostrado na Tabela 1.

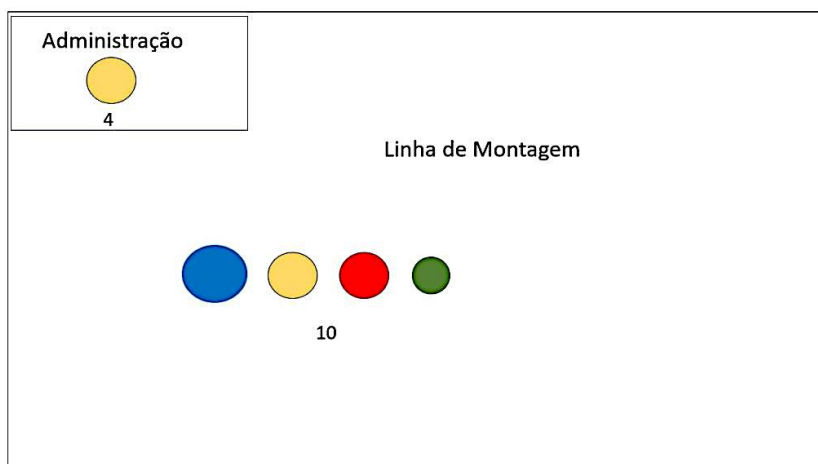
TABELA 1 - MAPA DE RISCOS.

Grupo	Cor	Riscos
1	Verde	Físicos: calor, frio, umidade, ruído.
2	Vermelho	Químicos: fumaça, gases tóxicos, substâncias nocivas.
3	Marrom	Biológicos: animais, bactérias, fungos, vírus.
4	Amarela	Ergonômicos: levantamento de pesos, LER, riscos posturais.
5	Azul	Riscos mecânicos ou de acidentes ocupacionais: iluminação deficiente, ausência de EPIs ou EPCs, equipamentos sem proteção, ferramentas inadequadas, etc.

Fonte: Adaptado de TCE (2023) e Silva e Gomes (2011).

Veja na Figura 2 uma demonstração de um mapa de risco.

Figura 2 - Exemplo de mapa de risco.



Fonte: Os autores (2024).

Evidentemente que o objetivo dos mapas é a prevenção dos riscos laborais. Para isso, a empresa deve elaborar documentos de controle tais como o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais e o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional, conforme regulamentados nas NR07 e NR09.

Além dos riscos nos locais de trabalho que podem ser mensurados pelos mapas, alguns produtos oferecem riscos aos ecossistemas e a saúde do trabalhador, ainda que ele esteja desempenhando suas funções ao ar livre, devido à toxicidade que algumas substâncias apresentam como os agrotóxicos, e que veremos a seguir.

Engenharia de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente

6.1 Agrotóxicos: Impacto Ao Meio Ambiente e a Saúde Humana

Os agrotóxicos desempenham um papel importante na proteção das plantas para aumentar o rendimento das culturas. No entanto, também representam uma ameaça significativa ao ecossistema e à saúde animal e humana (Parlakidis *et al.*, 2023).

Agrotóxico é um nome genérico para uma série de produtos que podem ser classificados de diferentes maneiras: 1) com base no padrão de uso como os desfolhantes, repelentes, dissecantes, 2) no organismo-alvo como os herbicidas, inseticidas, acaricidas, fungicidas, 3) na estrutura química como os piretróides, organofosforados, organoclorados, 4) no mecanismo tóxico de ação como anticolinesterásicos, anticoagulantes e 5) na toxicidade, classificação toxicológica que utiliza DL₅₀ oral ou dérmica de ratos como parâmetro. Esta última é recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2009). Os agrotóxicos podem alcançar os ecossistemas aquáticos por meio do escoamento agrícola (Jing *et al.*, 2021), lixiviação (Pandey *et al.*, 2020), deriva por pulverização (Chen *et al.*, 2021), erosão do solo e deposição (Vagi; Petsas, 2017).

Outra forma de contaminação indireta ocorre com a pulverização de agrotóxicos pela qual podem ser transportados pelas correntes aéreas e se depositar no solo e na água, distantes das áreas onde foram originalmente usados. Estudos destacaram que a exposição a agrotóxicos pode levar a uma ampla gama de problemas de saúde, como doença de Hodgkin (Dhankhar; Kumar, 2023), linfoma não-Hodgkin (LUO *et al.*, 2016), doença de Parkinson (Brouwer *et al.*, 2017), entre outros.

6.1.1 Impactos no meio ambiente

Os agrotóxicos causam vários impactos ambientais, incluindo contaminação da água, plantas e solo, diminuição no número de organismos vivos e pode levar ao desenvolvimento de pragas e ervas daninhas resistentes, exigindo o uso de doses cada vez maiores ou produtos químicos mais potentes, o que amplia os riscos para a saúde (Moraes, 2019).

Os agrotóxicos atingem o solo pela incorporação direta, pelas sementes tratadas no controle de plantas consideradas daninhas ou invasoras. No solo, a contaminação pode torná-lo frágil ou ainda prejudicar a vegetação que o cobre, em função da absorção desses compostos. As diversas práticas agrícolas são responsáveis pela translocação de agrotóxicos no solo ou na água e o período de sua persistência no ambiente pode ser curto ou mais longo, dependendo de fatores, que incluem mudanças climáticas, textura do solo, pH, temperatura, umidade e conteúdo de

compostos minerais e orgânicos (Gupta; Gajbhiye, 2002). No entanto, através do ciclo hidrológico, os agrotóxicos utilizados na agricultura podem evaporar, infiltrar-se no solo ou fluir para os rios e ser transportados por longas distâncias, impactando o meio ambiente em regiões distais.

Os agrotóxicos que alcançam as águas superficiais ou subterrâneas prejudicam a qualidade da água, tornando-a imprópria para o consumo humano, bem como para a flora e a fauna. Albuquerque *et al.* (2016) em sua revisão de literatura, identificaram que os herbicidas foram os agrotóxicos mais encontrados em águas doces brasileiros. O escoamento superficial e a lixiviação transportam os agrotóxicos para os corpos d'água, onde são absorvidos pelas plantas no solo, reduzidos a diferentes formas químicas e depois lixiviados para as águas subterrâneas. As chuvas intensas aumentam o risco de contaminação da água por agrotóxicos. Muitas espécies de peixes expostas a vários agrotóxicos apresentaram alterações nos parâmetros hematológicos, anormalidades histológicas no fígado, rins, brânquias, músculos, cérebro e intestino (Tahir; Anwar, 2012). Estudo com os inseticidas carbamato, carbofurano identificou hiperplasia de células epiteliais, aneurismas e alterações sanguíneas em peixes. Alterações comportamentais como na atividade das larvas de tilápia, e na velocidade de natação foram comprometidas pela exposição ao carbofurano como observado por Pessoa *et al.* (2011). Defeitos de desenvolvimento, incluindo deformidade da cabeça, hipopigmentação, diminuição do número de neurônios, defeitos estruturais ao redor do ventrículo, aumento do espaço intercelular no cérebro e concentração nuclear, foram observados em embriões de peixe-zebra após exposição ao fungicida boscalida. Indicação de estresse oxidativo e, que por sua vez interrompeu a expressão de genes envolvidos no neurodesenvolvimento e nas sinalizações de transmissão de transmissores e na diferenciação de melanócitos também foi observado. Além disso, o fungicida alterou a natação dos vertebrados aquáticos, como o dos peixes e dos anfíbios, bem como prejudicar as suas taxas de crescimento (Stehle e Schulz, 2015). A exposição aos piretróides diminuiu a função do transportador ativo da dopamina, resultando em comportamento imprevisível (Wang *et al.*, 2020).

Os agrotóxicos carbaril, clorpirifós, endosulfan e o glifosato foram tóxicos para os anfíbios, enquanto o herbicida atrazina apresentou toxicidade para as populações de peixes. O inseticida malation, mesmo em concentrações muito pequenas foi prejudicial para as populações de plâncton, o que por sua vez tem impacto no crescimento dos girinos. Mutações genéticas em anfíbios e redução no potencial reprodutivo de formas de vida aquáticas são relatadas em corpos d'água contaminados com atrazina (Hayes, 2010).

Os agrotóxicos podem causar problemas reprodutivos na truta marrom (*Salmo trutta*) e no salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (Jaensson *et al.*, 2007). Além disso, estudos adicionais observaram uma série de anomalias de desenvolvimento em peixes expostos ao herbicida (Dawar *et al.*, 2016). Vários estudos descobriram que os piretróides são prejudiciais aos peixes nos estágios reprodutivos e embrionários iniciais. Piretróides como bifentrina e permetrina podem causar atraso nas proteínas do ovo (coriogenina e vitelogenina) em peixes juvenis (Brander *et al.*, 2012). A deltametrina [insecticida neurotoxina piretróide de segunda geração (tipo II)] em concentrações de 20 e 40 g/L mostrou ser prejudicial ao desenvolvimento da bexiga natatória em embriões de peixe-zebra relatados por Wu *et al.* (2020).

Os compostos abamectina e clorfenapir (Passos *et al.*, 2017) e carbofurano (Chelinho *et al.*, 2012) também causaram danos a espécies de artrópodes, além de o número total de nematoides no solo ser significativamente reduzido na presença do carbofurano (Chelinho *et al.*, 2012). A lambda-cialotrina pode estar associada à toxicidade crônica em minhocas (Garcia *et al.*, 2011).

Os agrotóxicos neonicotinóides mostraram que afetaram as abelhas em seu comportamento e o seu sistema nervoso. Dada a importância ecológica e econômica e as evidências do declínio das populações de abelhas nativas, a utilização imprudente e inadequada de agrotóxicos coloca polinizadores sob grave estresse, provocando danos em seu sistema nervoso, comportamental, populacional e econômico.

6.1.2 Impactos Na Saúde Humana

Impactos sobre seres humanos vão desde simples náuseas, dores de cabeça e irritações na pele até problemas crônicos, como diabetes, malformações congênitas e vários tipos de cânceres. Muitos trabalhadores já foram intoxicados por agrotóxicos e relataram diversos sintomas agudos clássicos, como dores de cabeça, espirros, febre, dores de estômago, diarreia, tonturas, erupções cutâneas e irritação ocular (Marete *et al.*, 2021; Memon *et al.*, 2019). Além disso, os trabalhadores apresentaram alto risco de desenvolver efeitos adversos crônicos, como doenças degenerativas, perturbações do sistema endócrino, imunotoxicidade, defeitos congênitos e câncer devido à capacidade de alteração do material genético (Silvério *et al.*, 2017).

Os trabalhadores dos centros de produção de agrotóxicos, bem como de outras fases da cadeia de abastecimento, retalhistas e aplicadores de agrotóxicos estão diretamente expostos. As pessoas que residem ou estão presentes perto dos campos agrícolas também são impactadas. O

consumo intencional de produtos químicos como forma de suicídio também é uma exposição direta, e há casos de consumo não intencional (homicídios). A exposição indireta ocorre principalmente por meio de resíduos de agrotóxicos nos alimentos, na água e no ar.

Os tipos de intoxicações ocorrem quando há exposição a uma ou mais substâncias tóxicas (Quadro 1), e as principais vias de exposição por agrotóxicos são:

- Dérmica/Cutânea: a pele é a via mais frequente de exposição aos agrotóxicos. Muitas substâncias podem ser absorvidas pela pele íntegra, não havendo necessidade de solução de continuidade; os efeitos podem ser locais ou pode haver absorção significativa e comprometimento sistêmico.
- Inalatória: via bastante comum e muito eficiente para a absorção dos agrotóxicos na forma de gases, vapores, aerossóis, com lesões das vias aéreas e comprometimento respiratório.
- Ocular: o contato ocular com os agrotóxicos pode ocasionar graves lesões nos olhos, com sequelas permanentes.
- Aspiração: pela entrada na traqueia de substância líquida ou sólida diretamente pela via oral ou nasal, ou ainda por regurgitação de conteúdo gástrico.
- Digestiva: geralmente relacionada às intoxicações intencionais e de maior gravidade.

QUADRO 1 - TIPOS E CAUSAS DE INTOXICAÇÃO POR AGROTÓXICO.

INTOXICAÇÕES	CAUSAS
INTENCIONAL	Suicídio, homicídio
ACIDENTAL	Reutilização de embalagens, acesso fácil a produtos
OCUPACIONAL	Na atividade de trabalho, principalmente rural
AMBIENTAL	Por meio da água, solo, ar e áreas pulverizadas.

Fonte: dos autores (2024).

A gravidade de uma intoxicação por agrotóxico depende de vários fatores (Figura 3), o que pode determinar se o efeito será agudo, ou resultante da exposição a doses e /ou concentrações de um ou mais produtos capazes de causar dano efetivo aparente em um período de até 24 horas. Ou se o efeito será crônico, aqueles resultantes de uma exposição continuada a doses e/ou concentrações relativamente baixas de um ou mais produtos.

Existem vários estudos que mostram múltiplos problemas de saúde devido à exposição, tais como defeitos congênitos, câncer e distúrbios neurológicos (Avancini *et al.*, 2013; Teixeira

et al., 2014). No entanto, a extensão deste impacto é determinada pelo estado de saúde individual e pelo comportamento atenuante. A exposição a agrotóxicos também é atribuída a problemas psiquiátricos. No México, os agricultores expostos a agrotóxicos apresentaram um aumento de 25% na depressão e na ansiedade-depressão, e 24% apresentaram atividade enzimática inibida com ansiedade generalizada (Serrano-Medina *et al.*, 2019). Também foi relatada a exposição a longo prazo de agrotóxicos como agentes causais das doenças de Parkinson e Alzheimer, além de vários outros distúrbios reprodutivos e respiratórios (Sabarwal; Kumar; Singh, 2018). A exposição ocupacional a agrotóxicos também pode causar doenças cardiovasculares (Berg *et al.*, 2019). Há relatos de resíduos de agrotóxicos em amostras de leite materno humano e casos de exposição pré-natal, que levam a impactos negativos na saúde das crianças (González-Alzaga *et al.*, 2015). A exposição pós-natal pode afetar negativamente o comportamento neuropsicológico da criança (Dwivedi *et al.*, 2022).

Figura 3: Exemplo de fatores que interferem na gravidade da intoxicação por agrotóxicos.



Fonte: dos autores (2024).

Alguns agrotóxicos foram relacionados a problemas de saúde reprodutiva, como abortos espontâneos e malformações congênitas em bebês de mães expostas (Dwivedi *et al.*, 2022).

Os resíduos deixados pelos desreguladores endócrinos levam à diminuição da contagem de espermatozoides, do volume e do movimento do sêmen. No caso das mulheres, há relatos de

perda de óvulos de boa qualidade em idades mais jovens quando comparados às gerações anteriores (Srivastava; Kesavachandran et al., 2019).

Os agrotóxicos, por serem oxidantes por natureza, induzem danos ao DNA por meio do estresse oxidativo (Doganlar *et al.*, 2018). A literatura representa que idosos, mulheres e crianças são mais vulneráveis à exposição não ocupacional a agrotóxicos (Silva *et al.*, 2013). Aumento do número de micronúcleos (MN), danos oxidativos e quebras de cadeia de DNA foram observados nos linfócitos do sangue periférico de crianças que vivem em áreas pulverizadas com agrotóxicos (Kapka-Skrzypczak *et al.*, 2019).

A exposição por múltiplas fontes, como ar, água, alimentos e bebidas, é muito comum. A exposição alimentar através de produtos agroalimentares e de origem animal leva a resíduos de misturas de diferentes produtos químicos. Estas misturas de químicos em humanos podem ter efeitos sinérgicos e exibir mais toxicidade do que uma única molécula (Kós *et al.*, 2013). Foi relatado que danos renais consistentes com a incidência de doença renal crônica no Sri Lanka estão ligados aos efeitos sinérgicos da exposição ao glifosato com outros poluentes como o paraquat, sob condições estressantes de trabalho físico, como altas temperaturas em regiões tropicais de planície (Gunatilake et al., 2019).

Em síntese, é fundamental promover a agricultura sustentável e o uso responsável de produtos químicos para reduzir os impactos negativos do uso indiscriminado dos agrotóxicos. Além disso, regulamentações governamentais e boas práticas agrícolas desempenham um papel importante na proteção dos trabalhadores e do meio ambiente. Para prevenir intoxicações e mitigar os riscos, é essencial que os trabalhadores agrícolas recebam treinamento sobre o manuseio seguro de agrotóxicos, usem EPIs adequados, sigam as instruções de aplicação, armazenamento e as instruções das fichas de informações de segurança de produtos químicos que estão usando.

7 Resíduos Industriais

O gerenciamento de resíduos industriais está entre as principais atividades da engenharia ambiental e sanitária que podem causar riscos laborais aos profissionais da área.

Entende-se por resíduos industriais aqueles resíduos oriundos de processos das indústrias das mais variadas tipologias tais como sobras de insumos, rebarbas de produtos, metais pesados, efluentes líquidos e gasosos, embalagens etc. (Silva *et al.*, 2019).

Devido à sua constituição heterogênea, este tipo de resíduo geralmente é considerado perigoso por apresentar pelo menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podendo colocar em risco diretamente a saúde dos trabalhadores e do meio ambiente como um todo.

Os resíduos industriais podem apresentar **periculosidade** e **toxicidade**, podendo tornarem-se **agentes tóxicos** e causar sérios danos aos seres humanos e aos organismos aquáticos e terrestres por apresentar potencial **teratogênico**, **mutagênico**, **carcinogênico** e **ecotóxico** (Silva *et al.*, 2019).

Glossário

Vejamos como a norma técnica NBR 10004:2004 define esses conceitos (ABNT, 2004, p.2):

Periculosidade de um resíduo: característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Toxicidade: propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar, em maior ou menor grau, um efeito adverso em consequência de sua interação com o organismo.

Agente tóxico: qualquer substância ou mistura cuja inalação, ingestão ou absorção cutânea tenha sido cientificamente comprovada como tendo efeito adverso (tóxico, carcinogênico, mutagênico, teratogênico ou ecotoxicológico).

Toxicidade aguda: propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar um efeito adverso grave, ou mesmo morte, em consequência de sua interação com o organismo, após exposição a uma única dose elevada ou a repetidas doses em curto espaço de tempo.

Agente teratogênico: qualquer substância, mistura, organismo, agente físico ou estado de deficiência que, estando presente durante a vida embrionária ou fetal, produz uma alteração na estrutura ou função do indivíduo dela resultante.

Agente mutagênico: qualquer substância, mistura, agente físico ou biológico cuja inalação, ingestão ou absorção cutânea possa elevar as

taxas espontâneas de danos ao material genético e ainda provocar ou aumentar a frequência de defeitos genéticos.

Agente carcinogênico: substâncias, misturas, agentes físicos ou biológicos, cuja inalação, ingestão e absorção cutânea possam desenvolver câncer ou aumentar sua frequência. O câncer é o resultado de processo anormal, não controlado da diferenciação e proliferação celular, podendo ser iniciado por alteração mutacional.

Agente ecotóxico: substâncias ou misturas que apresentem ou possam apresentar riscos para um ou vários compartimentos ambientais.

A norma regulamentadora que trata dos resíduos industriais é a NR-25. Tal norma proíbe o lançamento no ambiente de trabalho de quaisquer contaminantes advindos desses materiais que possam comprometer a segurança e saúde dos trabalhadores.

Além disso, essa norma prevê que, continuamente, os trabalhadores envolvidos em atividades de coleta, manipulação, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e disposição de resíduos industriais devem ser capacitados pela empresa sobre os riscos ocupacionais envolvidos e as medidas de prevenção adequadas.

Ademais, os resíduos (sólidos e líquidos) produzidos devem ser coletados, acondicionados, armazenados, transportados, tratados e levado à disposição final de forma a evitar, controlar e minimizar riscos à segurança e saúde dos trabalhadores.

E o que fazer com os resíduos industriais?

Dentre as tecnologias existentes, geralmente os resíduos industriais são levados para aterros sanitários industriais, à incineração e/ou na utilização em fornos de cimento.

Para Saber Mais sobre resíduos industriais clique [aqui](#).

Uma boa dica para sua pós-graduação é cursar uma especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, você poderá ajudar o meio ambiente e as pessoas que trabalham nas corporações - pense nisso!

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: classificação de resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALBUQUERQUE, A. F.; RIBEIRO, J. S.; KUMMROW, F.; NOGUEIRA, A. J. A.; MONTAGNER, C. C.; UMBUZEIRO, G. A. Pesticides in Brazilian freshwaters: a critical review. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 16, n. 7, p. 779-787, 2016.

ANDRADE, L. Prevenção e controle de riscos em engenharia de segurança no trabalho. Rio de Janeiro: PUC Rio, 2013.

AVANCINI, R. M.; SILVA, I. S.; ROSA, A. C. S.; SARCINELLI, P. de N.; MESQUITA, S. A. de. Organochlorine compounds in bovine milk from the state of Mato Grosso do Sul - Brazil. **Chemosphere**, v. 90, n. 9, p. 2408-2413, 2013.

BERG, Z. K.; RODRIGUES, B.; DAVIS, J.; KATZ, A. R.; COONEY, R. V.; MASAKI, K. Association between occupational exposure to pesticides and cardiovascular disease incidence: the Kuakini Honolulu Heart Program. **Journal of the American Heart Associations**, v. 8, n. 19, e012569, Oct. 2019.

BRANDER, S. M.; HE, G.; SMALLING, K. L.; DENISON, M. S.; CHERR, G. N. The in vivo estrogenic and in vitro anti-estrogenic activity of permethrin and bifenthrin. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 31, n. 12, p. 2848-2855, Sept. 2012.

BRASIL. **Decreto n. 3.048, de 6 de maio de 1999**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3048compilado.htm. Acesso em: 07 de Nov 2023.

BRASIL. **Lei n. 6.514, de 22 de dezembro de 1977**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6514.htm. Acesso em: 07 de Nov 2023.

BRASIL. **Lei n. 8.213, de 24 de julho de 1991**. Disponível em: <https://www.normaslegais.com.br/legislacao/trabalhista/lei8213.htm>. Acesso em: 07 de Nov 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 04**: serviços especializados em segurança e em medicina do trabalho. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-04-atualizada-2022-2-1.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 05**: comissão interna de prevenção de acidentes e de assédio – CIPA. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-05-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 06:** equipamento de proteção individual - EPI. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-06-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 07:** programa de controle médico de saúde ocupacional - PCMSO. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-07-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 09:** avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Brasília: MTE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2021-com-anexos-vibra-e-calor.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 15:** atividades e operações insalubres. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 16:** atividades e operações perigosas. Brasília: MTE, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/nr-16-atualizada-2023.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 17:** ergonomia. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 23:** proteção contra incêndios. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-23-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 25:** resíduos industriais. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-25-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Normas Regulamentadoras: NR**. Brasília: MTE, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 7 nov. 2023.

BROUWER, M.; HUSS, A.; MARK, M. van der; NIJSSEN, P. C. G.; MULLENERS, W. M.; SAS, A. M. G.; LAAR, T. van; SNOO, G. R. de.; KROMHOUT, H.; VERMEULEN, R. C. H. Environmental exposure to pesticides and the risk of Parkinson's disease in The Netherlands. **Environmental International**, v. 107, p. 100-110, Oct. 2017.

CHELINHO S.; SAUTTER, K. D.; CACHADA, A.; ABRANTES, I.; BROWN, G.; DUARTE, A. C.; SOUSA, J. P. Carbofuran effects in soil nematode communities: Using trait and taxonomic based approaches. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, n. 7, p. 2002-2012, Oct. 2011.

CHELINHO, S.; LOPES, I.; NATAL-DA-LUZ, T.; DOMENE, X.; NUNES, M. E. T.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; RIBEIRO, R.; SOUSA, J. P. Integrated ecological risk assessment of pesticides in tropical ecosystems: a case study with carbofuran in Brazil. **Environmental Toxicology Chemistry**, v. 31, n. 2, p. 437-445, 2012.

CHEN, P.; OUYING, F.; WANG, G.; QI, H.; XU, W.; YANG, W.; ZHANG, Y.; LAN, Y. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops and Products**, v. 163, Article 113324, May 2021.

DAWAR, F. U.; ZUBERI, A.; AZIZULLAH, A.; KHATTAK, M. N. K. Effects of cypermethrin on survival, morphological and biochemical aspects of rohu (*Labeo rohita*) during early development. **Chemosphere**, v. 144, p. 697–705, Feb. 2016.

DHANKHAR, N.; KUMAR, J. Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: a review. **Materials Today: Proceedings**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.766>. No prelo.

DOĞANLAR, Z. B.; DOĞANLAR, O.; TOZKIR, H.; GÖKALP, F. D.; DOĞAN, A.; YAMAÇ, F.; ASKIN, O. O.; AKTAS, Ü. E. Nonoccupational exposure of agricultural area residents to pesticides: pesticide accumulation and evaluation of genotoxicity. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 75, n. 530–544, July 2018.

DWIVEDI, N.; MAHDI, A. A.; DEO, S.; AHMAD, M. K.; KUMAR, D. Assessment of genotoxicity and oxidative stress in pregnant women contaminated to organochlorine pesticides and its correlation with pregnancy outcome. **Environmental Research**, v. 204, Part B, Article 112010, p. 1-11, 2022.

GARCIA, M.; SCHEFFCZYK, A.; GARCIA, T.; RÖMBKE, J. The effects of the insecticide lambda-Cyhalothrin on the earthworm *Eisenia fetida* under experimental conditions of tropical and temperate regions. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 2, p. 398-400, Feb. 2011.

GONZÁLEZ-ALZAGA, B.; HERNÁNDEZ, A. F.; RODRÍGUEZ-BARRANCO, M.; GÓMEZ, I.; AGUILAR-GARDUÑO, C.; LÓPEZ-FLORES, I.; PARRÓN, T.; LACASAÑA, M. Pre- and postnatal exposures to pesticides and neurodevelopmental effects in children living in

agricultural communities from South-Eastern Spain. **Environment International**, v. 85, p. 229-37, Dec. 2015.

GUNATILAKE, S.; SENEFF, S.; ORLANDO, L. Glyphosate's Synergistic Toxicity in Combination with Other Factors as a Cause of Chronic Kidney Disease of Unknown Origin. **International Journal Environment Research Public Health**, v. 31, n. 16, p. 2734, Jul. 2019.

GUPTA, S.; GAJBHIYE, V. T. Effect of concentration, moisture and soil type on the dissipation of flufenacet from soil. **Chemosphere**, v. 47, n. 9, p. 901-906, June 2002.

HAYES, T. B.; KHOURY, V.; NARAYAN, A.; NAZIR, M.; PARK, A.; BROWN, T. M.; ADAME, L.; CHAN, E.; BUCHHOLZ, D. R.; STUEVE, T. R.; GALLIPEAU, S. Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). **PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 10, p. 4612-4617, Mar. 2010.

JAENSSON, A.; SCOTT, A. P.; MOORE, A. D.; KYLIN, H.; OLSÉN, K. H. Effects of a pyrethroid pesticide on endocrine responses to female odours and reproductive behaviour in male parr of brown trout (*Salmo trutta* L.). **Aquatic Toxicology**, v. 81, n. 1, p. 1-9, Feb. 2007.

JING, Y.; KRAUSS, M.; ZSCHIESCHANG, S.; MILTNER, A.; BUTKOVSKYI, A.; EGGEN, T.; KÄSTNER, M.; NOWAK, K. M. Superabsorbent polymer as a supplement substrate of constructed wetland to retain pesticides from agricultural runoff. **Water Research**, v. 207, n. 1, p. 1-9, Article 117776, Dec. 2021.

KAPKA-SKRZYPCZAK, L.; CZAJKA, M.; SAWICKI, K.; MATYSIAK-KUCHAREK, M.; GABELOVA, A.; SRAMKOVA, M.; BARTYZEL-LECHFOROWICZ, H.; KRUSZEWSKI, M. Assessment of DNA damage in Polish children environmentally exposed to pesticides. **Mutation Research / Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 843, p. 52-56, July 2019.

KÓS, M. I.; HOSHINO, A. C.; ASMUS, C. I. F.; MENDONÇA, R.; MEYER, A. Efeitos da exposição a agrotóxicos sobre o sistema auditivo periférico e central: uma revisão sistemática. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 29, n. 8, p. 1491-1506, ago. 2013.

LUO, D.; ZHOU, T.; TAO, Y.; FENG, Y.; SHEN, X.; MEI, S. Exposure to organochlorine pesticides and non-Hodgkin lymphoma: a meta-analysis of observational studies. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-11, Article 25768, May 2016.

MARETE, G. M.; LALAH, J. O.; MPUTHIA, J.; WEKESA, V. W. Pesticide usage practices as sources of occupational exposure and health impacts on horticultural farmers in Meru County, Kenya. **Heliyon**, v. 7, n. 2, p. 1-13, Article e06118, 2021.

MEMON, Q. U. A.; WAGAN, S. A.; CHUNYU, D.; SHUANGXI, X.; JINGDONG, L.; DAMALAS, C. A. Health problems from pesticide exposure and personal protective measures among women cotton workers in southern Pakistan. **Science of the Total Environment**, v. 685, p. 659-666, 2019.

MORAES, R. F. de. **Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2019.

Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9371/2/td_2506_sumex.pdf.

Acesso em: 11 jun. 2024.

PANDEY, N.; RANA, D.; CHANDRAKAR, G.; GOWDA, G. B.; PATIL, N. B.; PANDI G, G. P.; ANNAMALAI, M.; POKHARE, S. S.; RATH, P. C.; ADAK, T. Role of climate change variables (standing water and rainfall) on dissipation of chlorantraniliprole from a simulated rice ecosystem. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 205, p. 1-8, Article 111324, 2020.

PARLAKIDIS, P.; GOUNARI, I.; GEORGIOU, A.; ADAMIDIS, G. A.; VRYZAS, Z.; GIKAS, G. D. Removal of two triazole fungicides from agricultural wastewater in pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. **Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 1-14, Jan. 2023.

PASSOS, L. C.; SOARES, M. A.; COSTA, M. A.; MICHAUD, J. P.; FREIRE, B. C.; CARVALHO, G. A. Physiological susceptibility of the predator *Macrolophus basicornis* (Hemiptera: Miridae) to pesticides used to control of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 27, n. 9, p. 1082-1095, 2017.

PESSOA, P.; LÜCHMANN, K. H.; RIBEIRO, A.; VERAS, M. M.; CORREA, J. R.; NOGUEIRA, A. J. A.; BAINY, A. C. D.; CARVALHO, P. S. M. de. Cholinesterase inhibition and behavioral toxicity of carbofuran on *Oreochromis niloticus* early life stages. **Aquatic Toxicology**, v. 105, n. 3-4, p. 312-320, Oct. 2011.

SABARWAL, A., KUMAR, K., SINGH, R. P. Hazardous effects of chemical pesticides on human health: cancer and other associated disorders. **Environmental Toxicology Pharmacology**, v. 63, p. 103–114, Oct. 2018.

SERRANO-MEDINA, A.; UGALDE-LIZÁRRAGA, A.; BOJORQUEZ-CUEVAS, M. S.; GARNICA-RUIZ, J.; GONZÁLES-CORRAL, M. A.; GARCÍA-LEDEZMA, A.; PINEDA-GARCÍA, G.; CORNEJO-BRAVO, J. M. Neuropsychiatric disorders in farmers associated with organophosphorus pesticide exposure in a rural village of Northwest México. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 5, p. 1-13, Mar. 2019.

SILVA, C.; GOMES, J.; MACENO, M. M. C.; PRZYBYSZ, L. C. B. **Gerenciamento de resíduos industriais**. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2019.

SILVA, C. A.; GOMES, J. **Saúde e segurança ambiental**. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2011.

SILVA, E. F. da; TORRES, I. L. da S.; LASTE, G.; PANIZ, V. M. V. Prevalência de morbidades e sintomas em idosos: um estudo comparativo entre zonas rural e urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 4; p. 1029-1040, abr. 2013.

SILVÉRIO, A. C. P.; MACHADO, S. C.; AZEVEDO, L.; NOGUEIRA, D. A.; GRACIANO, M. M. de C.; SIMÕES, J. S.; VIANA, A. L. M.; MARTINS, I. S. Assessment of exposure to pesticides in rural workers in southern of Minas Gerais, Brazil. **Environmental Toxicology Pharmacology**, v. 55, p. 99-106, Oct. 2017.

SRIVASTAVA, A. K.; KESAVACHANDRAN, C. **Health effects of pesticides**. London: CRC, 2019.

STEHLE, S.; SCHULZ, R. Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. **PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 18, p. 5750-5755, May 2015.

TAHIR, S.; ANWAR, T. Assessment of pesticide exposure in female population living in cotton growing areas of Punjab, Pakistan. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 89, n. 6, p. 1138-1141, Oct. 2012.

TEIXEIRA, J. R. B.; FERRAZ, C. E. de O.; COUTO FILHO, J. C. F.; NERY, A. A.; CASOTTI, C. A. Intoxicações por agrotóxicos de uso agrícola em estados do nordeste brasileiro, 1999-2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 3, p. 497-508, 2014.

VAGI, M.; PETSAS, A. Advanced oxidation processes for the removal of pesticides from wastewater: recent review and trends. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 15., 2017, Rhodes, Greece. **Anais [...]**. Rhodes (Greece): CEST2017, 2017.

WANG, H.; MENG, Z. LIU, F.; ZHOU, L.; SU, M.; MENG, Y.; ZHANG, S.; LIAO, X.; CAO, Z.; LU, H. Characterization of boscalid-induced oxidative stress and neurodevelopmental toxicity in zebrafish embryos. **Chemosphere**, v. 238, p. 1-10, Article 124753, Jan. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The WHO recommended classification of pesticides by hazard: and guidelines to classification**, 2019. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. **Global monitoring report: WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury, 2000-2016**. Geneva: WHO/ILO, 2021. Disponível em: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---lab_admin/documents/publication/wcms_819788.pdf. Acesso em: 07 de Nov 2023.

WU, Y.; LI, W.; YUAN, M.; LIU, X. The synthetic pyrethroid deltamethrin impairs zebrafish (Danio rerio) swim bladder development. **Science of the Total Environment**, v. 701, p. 1-8, Article 134870, 2020.

FIGURAS

Figura 1 - Disponível em: https://img.freepik.com/vetores-gratis/conjunto-de-elementos-plana-de-equipamento-de-uniformes-de-protecao_98292-2205.jpg?w=1060&t=st=1702323774~exp=1702324374~hmac=28c20a0a315ec86021968b98c06cd333563948656c0b4b2b2d452ac407b5f2c5. Acesso em: 10 Dez 2023.

Física I



VIRNEI SILVA MOREIRA

Graduado em Física licenciatura Plena (UFSM), com mestrado e doutorado em Física da Atmosfera (UFSM). Atua principalmente com Mudanças climáticas, interação solo-atmosfera e poluição atmosférica.



JULIANA ALMANSA MALAGOLI

Graduada em Engenharia Elétrica (UFU), com mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica (UFU). Atua principalmente com projetos de máquinas elétricas, técnicas de otimização, elementos finitos, energia solar, energia eólica e hidrogênio verde.

Como citar esse capítulo nas normas ABNT:

MOREIRA, Virnei Silva; MALAGOLI, Juliana Almansa. Física I: mecânica. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). Engenharia ambiental e sanitária: volume 3. Pontal do Paraná, 2024. v. 3, cap. 4, p. 93-99. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/portal/ambientalsanitaria/>. Acesso em: 25 set. 2024.

FÍSICA I

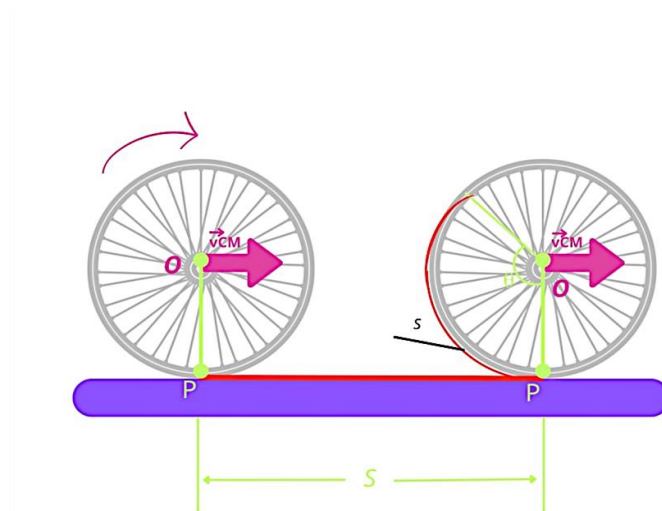
APRESENTAÇÃO

A disciplina de “Física I” proporciona aos alunos o primeiro contato com a física introdutória, geralmente estudando os princípios fundamentais da mecânica clássica, que é o estudo do movimento e das forças que o causam. Neste capítulo iremos abordar alguns conceitos sobre rolagem.

1 Rolagem Com Uma Combinação de Translação e Rotação

Para definir a funcionalidade da rolagem como uma combinação de translação e rotação, é preciso considerar objetos que rolam suavemente em uma superfície, para assim haver uma melhor compreensão do conteúdo. Partindo desta consideração, imagine um cenário hipotético em que há uma pessoa parada na calçada observando a roda da bicicleta da figura 1 passar na ciclovia. Como mostra a figura 1, O é o centro de massa, v_{cm} é a velocidade em que o centro de massa se move, e P é o ponto de contato do objeto com o solo.

Figura 1 – Rolagem.



Fonte: Os autores (2024).

O e P são observados enquanto se deslocam de uma distância s durante um período t . É observado que o movimento em torno de O , forma um ângulo θ e um arco com comprimento s , e disso, obtemos a seguinte equação:

$$s = \theta R \quad (1)$$

Onde R é o raio do objeto, e a velocidade linear de O é definida como:

$$v_{cm} = \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

E a velocidade angular é dada por:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

Logo, temos a seguinte relação:

$$v_{cm} = \frac{ds}{dt} = \frac{d\theta}{dt} R = \omega R \quad (4)$$

Simplificando obtemos;

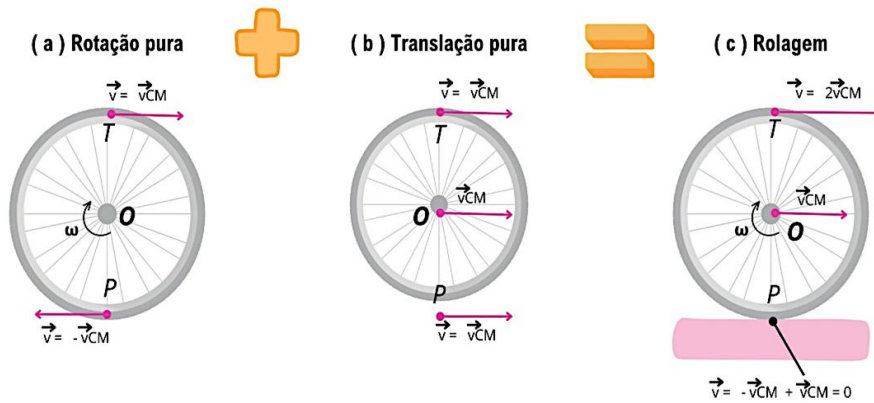
$$v_{cm} = \omega R \quad (5)$$

1.1 Uma Combinação de Movimentos

A Figura 2 exibe que o movimento de rolagem de uma roda é definido pela combinação de um movimento puro de translação e um movimento puro de rotação.

A figura 2-a mostra o movimento puro de rotação (como se o eixo de rotação estivesse parado). Todos os pontos da roda giram em torno do centro com velocidade angular ω . Todos os pontos da periferia da roda têm uma velocidade linear escalar v_{cm} dada pela equação (5) $v_{cm} = \omega R$. A figura 2-b mostra o movimento puro de translação (como se a roda não estivesse rodando). Todos os pontos da roda se movem para a direita com velocidade escalar v_{cm} . A combinação dos movimentos representados nas Figuras 2-a e 2-b é a rolagem da roda, que está representada na figura 2-c.

Figura 2 – Uma combinação de movimentos.



Fonte: Os autores (2024).

É notório que nessa combinação de movimentos, a velocidade escalar da extremidade inferior da roda (ponto P) é zero e a velocidade escalar da extremidade superior (ponto T) é $2v_{cm}$, maior que em qualquer outro ponto da roda.

2 As Forças e a Energia Cinética de Rolagem

Agora, falando de energia cinética de rolagem, obtemos a seguinte equação: $K = \frac{1}{2}I_p\omega^2$ (6), onde K é a energia cinética do rolamento, I_p é o movimento de inércia da roda em relação a um eixo passando por P e ω é a velocidade angular da roda.

Podemos definir I_p através da equação: $I_p = I_{cm} + MR^2$ (7), onde I_{cm} o momento de inércia da roda em relação a um eixo que passa pelo centro de massa, M é a massa da roda e R é o raio da roda.

Substituindo, obtemos a seguinte equação: $K = \frac{1}{2}I_{cm}\omega^2 + \frac{1}{2}MR^2\omega^2$ (8)

E por fim, usamos a relação $v_{cm} = \omega R$ e obtemos:

$$K = \frac{1}{2}I_{cm}\omega^2 + \frac{1}{2}Mv_{cm}^2 \quad (9)$$

Observando as equações acima, podemos concluir que um objeto possui dois tipos de energia cinética, uma de rotação ($\frac{1}{2}I_{cm}\omega^2$) e uma de translação ($\frac{1}{2}Mv_{cm}^2$), ambas associadas ao centro de massa.

3 O Ioiô

O funcionamento de um ioiô envolve princípios físicos interessantes, principalmente relacionados à rotação, gravidade, atrito e momento angular.

3.1 O Princípio Básico

Um ioiô é composto por dois discos conectados por um eixo, com uma corda enrolada ao redor deste eixo.

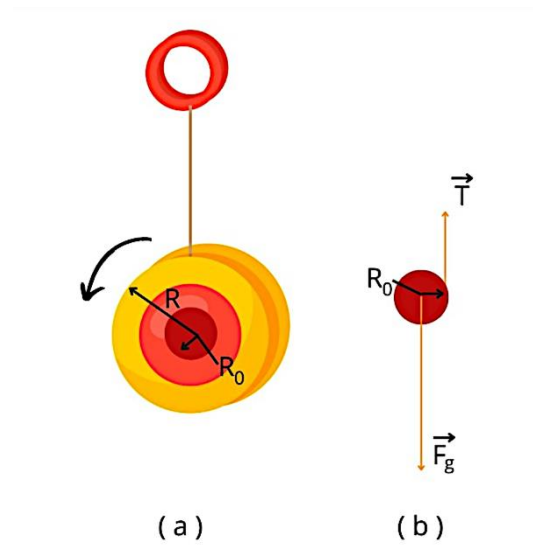
O princípio básico do ioiô utiliza muitos conceitos da física, quando a extremidade da corda é lançada para baixo, a gravidade puxa o ioiô para baixo enquanto a força centrífuga cria tensão na corda, nesse momento o ioiô atinge o ponto mais baixo do seu movimento, a corda estica-se completamente e começa a desenrolar-se, fazendo com que o ioiô desça. Quando o ioiô atinge o final da corda e não há mais tensão para mantê-lo em movimento, a força da gravidade começa a puxá-lo para cima. Nesse momento, o ioiô já ganhou velocidade angular suficiente para superar a força da gravidade. Assim, a corda então começa a se enrolar novamente no eixo, enquanto o ioiô inicia sua ascensão. Durante a ascensão, a corda enrola-se no eixo, o que aumenta o raio do movimento e diminui a velocidade angular do ioiô. Esse processo continua até que a corda esteja totalmente enrolada e o ioiô pare no topo.

Durante todo esse processo, a energia mecânica do ioiô é conservada, embora seja transformada entre energia cinética e energia potencial, conforme mostra o ioiô na figura 3.

Embora o ioiô possa ser considerado uma roda, ele apresenta algumas características que o diferenciam de uma roda comum.

- a) Em vez de descer rolando em uma rampa que faz um ângulo θ com a horizontal, o ioiô desce por uma corda que faz um ângulo $\theta = 90^\circ$ com a horizontal.
- b) Em vez de rolar na superfície externa de raio R , o ioiô rola em torno de um eixo de raio R_0 (Figura 3-a).
- c) Em vez de ser freado pela força de atrito, o ioiô é freado pela força de tração T que a corda exerce sobre ele (Figura 3-b).

Figura 3 – Ioiô.



Fonte: Os autores (2024).

Recomendação de problemas do HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** mecânica, volume 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Capítulo 11: 2, 3, 5, 17.

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** mecânica, volume 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

Física II



VIRNEI SILVA MOREIRA

Graduado em Física licenciatura Plena (UFSM), com mestrado e doutorado em Física da Atmosfera (UFSM). Atua principalmente com Mudanças climáticas, interação solo-atmosfera e poluição atmosférica.

Colaboração:



ISABELLE DA SILVA

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária (Campus Pontal do Paraná – CPP - CEM/UFPR).

Como citar esse capítulo nas normas ABNT:

MOREIRA, Virnei Silva. Física II: fluídos. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). Engenharia ambiental e sanitária: volume 3. Pontal do Paraná, 2024. v. 3, cap. 5, p. 100-106. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/portal/ambientalsanitaria/>. Acesso em: 25 set. 2024.

FÍSICA II

APRESENTAÇÃO

A disciplina de Física II é uma continuação essencial da Física I, ampliando o conhecimento em áreas cruciais como oscilações, gravitação, ondas e fluidos. A interdisciplinaridade promovida por esta disciplina é de extrema importância, pois por meio dela vários conceitos são integrados nas áreas da engenharia. Portanto, o curso prepara os alunos para disciplinas mais avançadas e especializadas, capacitando-os para enfrentar desafios acadêmicos e profissionais com uma base sólida em princípios físicos. Por fim, este material tem caráter introdutório e complementar à disciplina a que se refere, focando na abordagem dos fluidos.

1 Introdução

Você sabe o que é um fluido?

Um fluido, diferentemente de um sólido, é caracterizado por ser uma substância capaz de escoar. Outra diferença fundamental entre sólidos e fluidos está na forma de responder as tensões tangenciais, já que os sólidos ao serem submetidos a esta tensão tendem a se deformar até certo ponto, porém, mantém uma forma definida. A deformação é proporcional à tensão aplicada, e uma vez que a tensão é removida, o sólido tende a retornar à sua forma original, dependendo da elasticidade do material.

Ao contrário do sólido, o fluido quando uma tensão tangencial é aplicada, ele continua a deformar continuamente enquanto a tensão estiver presente. Fluidos não possuem forma fixa e assumem a forma do recipiente que os contém.

Ademais, é importante ressaltar que os gases são categorizados como fluidos, pois suas partículas se movem livremente, e não apresentam forma ou volume definidos, permitindo que fluam e se adaptem aos recipientes que são colocados.

2 Pressão

A pressão em um fluido se refere à força exercida pelo fluido em todas as direções em um determinado ponto dentro do fluido. Ela é causada pelas colisões das moléculas do fluido entre si e contra as paredes do recipiente que o comporta. A pressão no fluido é distribuída de maneira uniforme em todas as direções, e considerando esta afirmação, se a força é uniforme e

está atuando em uma superfície plana de área ‘A’, a Eq. (1) pode descrever esta situação da seguinte maneira:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Considere uma seringa médica quando pressionado o êmbolo.

Nessa situação, está sendo aplicada uma força F sobre uma área A do êmbolo. De acordo com a Eq. (1), a pressão P exercida pelo dedo sobre o líquido na seringa é diretamente proporcional à força que é aplicada pela pessoa e inversamente proporcional à área do êmbolo que está sendo pressionada.

Portanto, se é aplicada uma força maior sobre o êmbolo (aumentando F), a pressão dentro da seringa aumentará. Da mesma forma, se pressionar o êmbolo em uma área menor (diminuindo A), a pressão aumentará.

Figura 1 – Uma seringa com uma força F sendo aplicada a uma área do êmbolo.



Fonte: Os autores (2024)

3 Princípio de Pascal

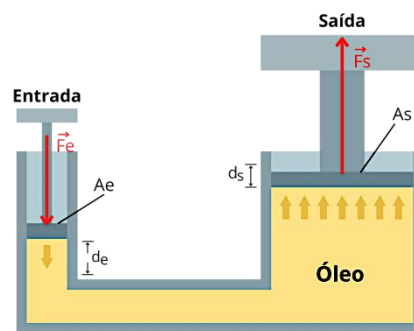
No século XVII, o cientista, físico, filósofo e matemático francês Blaise Pascal, formulou e enunciou com clareza o que seria o princípio de pascal. Em resumo, este princípio estabelece que quando uma pressão é aplicada a um fluido incompressível e confinado, essa pressão é transmitida com igual intensidade em todas as direções e em todos os pontos do fluido.

“Uma variação da pressão aplicada a um fluido incompressível contido em um recipiente é transmitida integralmente a todas as partes do fluido e às paredes do recipiente.” (Halliday; Resnick; Walker, 2016, p. 67).

Alguns exemplos de onde ocorre este princípio estão presentes no nosso dia a dia, e até mesmo pode ser utilizado para salvar vidas, como é o caso da manobra de Heimlich, que consiste em aplicar compressões rápidas e firmes na parte superior do abdômen, para expelir o objeto ou algum pedaço de comida que ficou retido na garganta, já no que se refere ao nosso cotidiano, está presente ao utilizar a pasta de dente, em que se pressiona uma extremidade do tubo da pasta, para que o creme dental possa ser expelido pela outra extremidade.

Por fim, outro exemplo que está diretamente relacionado ao princípio de pascal é o macaco hidráulico, o qual demonstra como uma pequena força (F_e) aplicada em uma área menor (A_e) pode ser transformada em uma força maior (F_s) em uma área maior (A_s), facilitando o levantamento de cargas pesadas com menos esforço (Figura 2).

Figura 2 – Relação entre o princípio de Pascal e o macaco hidráulico.



Fonte: Os autores (2024).

Nesta figura temos as seguintes definições:

D_e : Deslocamento de entrada;

D_s : Deslocamento de saída;

F_e : Força de entrada;

F_s : Força de saída;

A_e : Área de entrada;

A_s : Área de saída.

Com isso, através da equação a seguir é possível determinar quaisquer das possíveis variáveis presentes na figura acima.

$$\frac{F_e}{A_e} = \frac{F_s}{A_s} \quad (2)$$

A equação (2) pode ser aplicada em diversos contextos, um deles, por exemplo, é quando houver uma situação em que um macaco hidráulico com a área do êmbolo menor (A_e) igual a 1cm^2 e a do maior (A_s) igual a 100cm^2 , com uma força de 10N aplicada ao êmbolo menor (F_e). Considerando estas informações, qual seria o valor da força no êmbolo maior?

Aplicando a equação (2) e substituindo os valores conhecidos, temos a seguinte resolução:

$$\begin{aligned} \frac{10\text{N}}{1\text{cm}^2} &= \frac{F_s}{100\text{cm}^2} \\ F_s &= \frac{10\text{N} \cdot 100\text{cm}^2}{1\text{cm}^2} \\ F_s &= 1000\text{N} \end{aligned}$$

A aplicação da equação de Pascal no macaco hidráulico ilustra como pequenas forças podem ser amplificadas para realizar tarefas que, de outra forma, seriam muito difíceis. Esse princípio é bastante utilizado em muitas máquinas e dispositivos hidráulicos, facilitando o trabalho pesado em diversas indústrias e aplicações cotidianas.

4 Princípio de Arquimedes

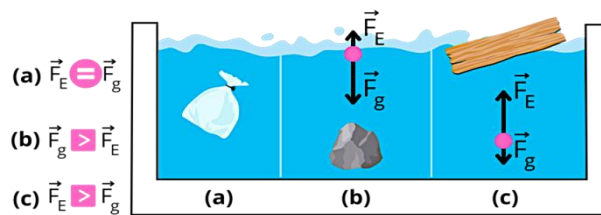
Formulado pelo matemático e físico, Arquimedes, o Princípio de Arquimedes enuncia que “Quando um corpo está total ou parcialmente submerso em um fluido, uma força de empuxo F_E exercida pelo fluido age sobre o corpo. A força é dirigida para cima e tem um módulo igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo” (Halliday; Resnick; Walker, 2016, p. 70).

A força de empuxo (F_E) é basicamente uma consequência da pressão da água e possui o sentido voltado para cima, isto é, oposto ao sentido do peso ou da força gravitacional (F_g).

Na figura 3-a pode-se observar um saco plástico fechado cheio de água, dentro de uma piscina, nesta situação o módulo da força de empuxo é o mesmo da força gravitacional, já que o saco de água está em equilíbrio estático. Diferentemente do que ocorre na Fig. 3-b, em que o objeto dentro da piscina é uma pedra e ela não está em equilíbrio estático, sendo assim a força gravitacional F_g possui um módulo maior do que a força de empuxo F_E , o que faz com que a pedra afunde até o fundo da piscina. Já na Fig. 3-c ocorre o oposto do que está esquematizado

na Fig. 3-b, já que o objeto em questão agora é um pedaço de madeira e assim como a pedra ele não está em equilíbrio estático, porém o módulo da sua força gravitacional F_g é menor se comparado ao módulo da sua força de empuxo F_E , o que faz com que o pedaço de madeira sofra uma aceleração voltada para cima e suba até a superfície e boie.

Figura 3 – Diferentes objetos em uma piscina e seus comportamentos.



Fonte: Os autores (2024).

Portanto, através do Princípio de Arquimedes o módulo da força de empuxo é definido pela seguinte equação:

$$F_E = m_f \cdot g$$

Onde:

m_f = Massa do fluido conduzido pelo corpo.

A importância do Princípio de Arquimedes é eminente tanto em contextos científicos quanto práticos. Na ciência, ele é fundamental para a compreensão de conceitos como flutuação, densidade e pressão. Na engenharia e no cotidiano, ele permite a construção de navios e a realização de atividades subaquáticas com segurança e eficiência. Além disso, esse princípio ilustra de maneira clara e intuitiva a interação entre objetos e fluidos, reforçando a importância do método experimental e da observação empírica no desenvolvimento do conhecimento científico.

Recomendação de problemas do HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** gravitação, ondas e termodinâmica, volume 2. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Capítulo 14: 3, 28, 31, 33.

REFERÊNCIAS

INSTITUTO BLAISE PASCAL. **Blaise Pascal**. [Brasília]: Instituto Blaise Pascal, 2009. Disponível em: <http://www.institutopascal.org.br/visao/institucional/blaise-pascal.php>. Acesso em: 23 de maio. 2024.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**, volume 2. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica, volume 2: fluidos, oscilações e ondas, calor**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

Física III

JULIANA ALMANSA MALAGOLI



Graduada em Engenharia Elétrica, com mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atua principalmente com projetos de máquinas elétricas, técnicas de otimização, elementos finitos, energia solar, energia eólica e hidrogênio verde.

DANYELLE SCHUMANSKI



Graduada em Engenharia Civil e mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atua principalmente com projetos de motores de indução monofásico aplicado às construções civis.

VIRNEI SILVA MOREIRA



Graduado em Física Licenciatura Plena, com mestrado e doutorado em Física da Atmosfera pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Atua principalmente com mudanças climáticas, interação solo-atmosfera e poluição atmosférica.

Como citar esse capítulo nas normas ABNT:

MALAGOLI, Juliana Almansa; SCHUMANSKI, Danyelle; MOREIRA, Virnei Silva. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). Engenharia ambiental e sanitária: volume 3. Pontal do Paraná, 2024. v. 3, cap. 6, p. 107-131. Disponível em:

<http://www.cem.ufpr.br/portal/ambientalsanitaria/>. Acesso em: 25 set. 2024.

FÍSICA III

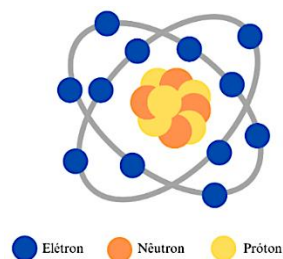
APRESENTAÇÃO

Você está constantemente exposto a diversos fenômenos estudados pela física, como a luz, o atrito ao caminhar e a água fluindo em uma mangueira. Além disso, há propriedades invisíveis aos olhos, como a eletricidade e seus efeitos. A disciplina de Física 3 abrange desde os princípios das cargas elétricas e campos eletromagnéticos até circuitos e resistências, conceitos que são úteis em diversas áreas do conhecimento.

1 Cargas Elétricas e Lei de Coulomb

Lembra daquela brincadeira de friccionar os pés no tapete para gerar descargas elétricas? É exatamente isso, mas agora vamos diminuir a escala. Imagine partículas em nível elementar. Nos átomos, há prótons com cargas positivas, nêutrons com cargas neutras e elétrons com cargas negativas. A interação desses átomos com o meio pode gerar um fluxo de elétrons, onde um átomo pode perder ou ganhar cargas negativas (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Quando isso acontece, diz-se que o elemento está eletrizado positivamente, se possui mais prótons do que elétrons, ou negativamente, se o número de elétrons é superior. Na FIGURA 1, temos um exemplo de átomo eletrizado negativamente.

Figura 1 - Estrutura atômica de um átomo qualquer.



Fonte: Os autores (2024).

Para entender o que ocorre na FIGURA 1, é importante conhecer os três métodos fundamentais de eletrização. O primeiro é por atrito, como no caso do tapete, onde um corpo perde elétrons para outro, resultando em cargas de mesmo módulo, mas de sinais opostos. O segundo método é por contato, onde dois corpos, um neutro e outro eletrizado, entram em contato

e equilibram suas cargas, ficando com o mesmo módulo e sinal. O terceiro método é por indução, onde os objetos não se tocam, mas se aproximam o suficiente para que o corpo eletrizado atraia as cargas opostas no outro corpo, eletrizando ambos sem contato direto.

Assim, as principais interações de eletrização ocorrem entre corpos neutros ou quando apenas um é eletrizado. Se ambos fossem neutros e não interagissem, nada aconteceria (Hayt Jr.; Buck, 2023). Se ambos fossem eletrizados, suas cargas se atrairiam (cargas de sinais opostos) ou se repeliriam (cargas de sinais iguais). Essas interações podem ser quantificadas, permitindo determinar a quantidade de carga em um corpo, medida em Coulombs (C), conforme o valor da carga fundamental:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$

Onde: e é a carga fundamental ou elementar (C). Dessa forma, a quantidade de carga em um corpo será determinada pela quantidade de elétrons que a partícula perdeu ou recebeu, conforme o seguinte:

$$Q = n \cdot e$$

Onde: Q é a quantidade de carga (C); n é o número de elétrons perdidos ou recebidos (*elétrons*).

Partindo desse princípio, pode ser interessante considerar a condução de cargas elétricas, que ocorre de acordo com as propriedades dos materiais, classificados em duas categorias: isolantes e condutores. Os materiais isolantes têm baixa capacidade de conduzir elétrons em uma corrente, enquanto os condutores têm alta capacidade de condução. Isso é evidente em cabos de energia, onde a parte interna é feita de cobre, um metal com alta condutividade, e é revestida com materiais plásticos que isolam e protegem contra perdas e efeitos da eletricidade (Souza; Oliveira; Luiz, 2024).

As propriedades dos materiais variam porque a organização dos átomos difere, influenciando a resistência à passagem de corrente (Halliday; Resnick; Walker, 2023). A condutividade elétrica pode ser calculada como o inverso da resistividade, conforme a seguinte relação:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Onde: σ é a condutividade (S/m); ρ é a resistividade ($\Omega \cdot m$).

Dessa maneira, a Lei de Coulomb descreve a força eletrostática entre duas partículas com cargas elétricas. Ela é similar à Lei da Gravitação Universal, que descreve a força entre massas,

com a principal diferença sendo que a Lei de Coulomb se relaciona com cargas elétricas enquanto a gravitação relaciona-se com massas (Ramos, 2016). A Lei de Coulomb é expressa pela fórmula:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

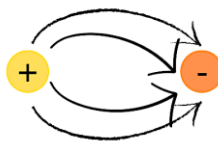
Onde: F é a força eletrostática (N); ϵ_0 é a permissividade do vácuo, vale $8,85 \times 10^{-12}$ (F/m); r é a distância entre as partículas (m); q_1 e q_2 são partículas de cargas elétricas (C). Dessa forma, é possível determinar se a força exercida entre as partículas é de atração ou repulsão, dependendo dos sinais das cargas envolvidas.

2 Campos Elétricos e Lei de Gauss

A Física do século XIX era composta por duas grandes áreas: a física do contínuo, que abrangia hidráulica, acústica, termodinâmica, ótica e eletricidade, e a física do atomismo, que incluía a Lei da Gravitação de Newton e a Lei de Coulomb. O foco principal era a dinâmica dos corpos em movimento (Rego, 2010). No entanto, foi somente em 1831 que Faraday introduziu os conceitos de campo elétrico, juntamente com as linhas de força elétrica, conceitos inspirados na hidrodinâmica e suas linhas de fluxo. Mas afinal, o que é um campo elétrico?

Por um lado, o campo elétrico pode ser compreendido como a influência de uma carga em sua vizinhança. Por outro lado, pode ser visto como a força elétrica exercida sobre uma carga, conforme ilustrado na FIGURA 2.

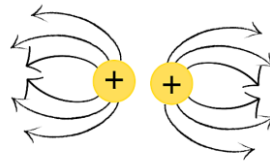
Figura 2 - Atração de cargas opostas.



Fonte: Os autores (2024).

Essas linhas entre os elementos positivo e negativo representam as linhas de campo, que descrevem a interação entre os materiais. No exemplo anterior, abordamos uma situação de atração entre cargas opostas. No entanto, quando as cargas são iguais, o comportamento é ilustrado pela FIGURA 3.

Figura 3 - Repulsão de cargas iguais.



Fonte: Os autores (2024).

Dessa forma, podemos compreender a interação entre diferentes tipos de cargas. Essa compreensão foi o que levou Gauss a buscar entender a intensidade desse campo elétrico (Oliveira, 2019). Para cargas pontuais, percebe-se que a Lei de Coulomb está relacionada à Lei de Gauss.

$$\phi_E = EA\left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\right)(4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0}$$

então,

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Onde: Φ_E é o fluxo elétrico (Wb); ϵ_0 é a permissividade do vácuo, vale $8,85 \times 10^{-12} (F/m)$; r é a distância (m); q é a carga elétrica (C), E é o campo elétrico (N/C); A é a área da superfície gaussiana (m^2). Já para uma casca ou esfera sólida, pode ser de interesse calcular o campo elétrico em um ponto específico. Isso pode ser obtido resolvendo a equação:

$$\phi = \oint_A E \cdot dA = \oint_A E \cdot dA \cdot \cos 0 = E \cdot \oint_A dA$$

Sendo assim, o campo dentro de uma esfera carregada é dado por:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^3} r$$

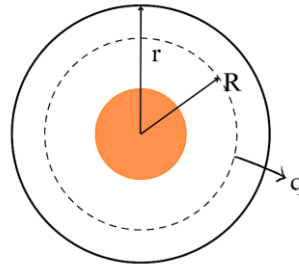
Onde: q é a carga elétrica da esfera (C); R é o raio da esfera (m); r é a distância entre o ponto e o centro da esfera (m). Dessa maneira, para o interior de uma casca:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

A FIGURA 4 ilustra a representação das grandezas em uma casca. Quando $r < R$, $E = 0$, e quando for uma esfera com $r \leq R$, teremos:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q'}{r^2}$$

Figura 4 – Representação das grandezas em uma casca.



Fonte: Os autores (2024).

3 Potencial Elétrico

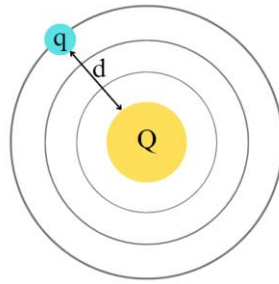
O potencial elétrico é uma propriedade amplamente presente na vida cotidiana, embora possa ser conhecida por outro termo: voltagem. Essa propriedade representa a quantidade de energia necessária para mover uma carga elétrica entre dois pontos em uma região onde há um campo elétrico presente (Pereira; Santos, 2023). Assim, como qualquer forma de energia potencial, o potencial elétrico é determinado pela quantidade de Joules por unidade de carga elétrica, ou seja:

$$U = \frac{E_{PEL}}{q}$$

Onde: U é o potencial elétrico (V); E_{PEL} é a energia potencial elétrica (J); q é a carga elétrica (C).

Em um cenário onde uma carga (q) está a uma distância (d) de uma carga geradora (Q), pode-se considerar um espaço onde o potencial elétrico não sofre alterações radiais, exceto quando a distância é modificada (Hayt Jr.; Buck, 2023). Nesse contexto, são estabelecidas as linhas equipotenciais, como ilustrado na FIGURA 5.

Figura 5 – Representação de linhas equipotenciais e cargas a uma distância.



Fonte: Os autores (2024).

Dessa forma, o potencial elétrico (U) deve ser calculado através de,

$$U = \frac{k_0 Q}{d}$$

Onde: U é o potencial elétrico (V); k_0 é a constante eletrostática, com valor de 9×10^9 ($N.m^2/C^2$); Q é a carga elétrica (C); d é a distância (m). Já tendo em vista as questões de trabalho, a formulação é:

$$\tau = q.E.d$$

Onde: τ é o trabalho (J); E é o campo elétrico (V/m); q é a carga elétrica (C); d é a distância (m). Sendo que,

$$U = E.d$$

Onde: U é o potencial elétrico (V); E é o campo elétrico (V/m); d é a distância (m). Então,

$$U = \frac{\tau}{q}$$

Onde: τ é o trabalho (J); U é o potencial elétrico (V); q é a carga elétrica (C).

4 Capacitância

Os capacitores, em sua maioria, consistem em dispositivos compostos por placas paralelas. Sua função principal é armazenar energia elétrica. Os capacitores podem ser carregados rapidamente, mas também descarregam a energia armazenada de forma igualmente rápida. Eles são amplamente utilizados em estabilizadores e filtros de linha, desempenhando um papel crucial na proteção de equipamentos elétricos contra descargas e outras oscilações na rede elétrica (Hayt Jr.; Buck, 2023).

As placas dos capacitores formam superfícies equipotenciais. Para avaliar sua carga, é necessário compreender que as cargas são proporcionais à diferença de potencial entre essas placas (Oliveira, 2019).

$$Q = C \cdot V$$

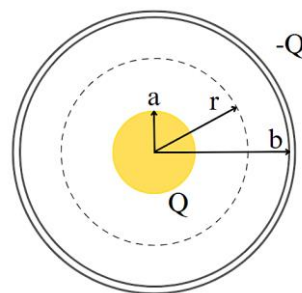
Onde: Q é a carga elétrica (C); V é a diferença de potencial (V); C é a capacitância (F).

Uma simplificação aceita ao considerar as placas colocadas paralelamente é tratá-las como placas infinitas (Hayt Jr.; Buck, 2023). Utilizando a Lei de Gauss para cargas pontuais, podemos descrever o comportamento elétrico nesse cenário,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Onde: C é a capacitância (F); A é a área (m^2); d é a distância (m); ϵ_0 é a permissividade do vácuo, vale $8,85 \times 10^{-12}$ (F/m). Para o caso de um capacitor cilíndrico, é importante verificar a FIGURA 6:

Figura 6 – Visão superior de um capacitor cilíndrico.



Fonte: Os autores (2024).

Sendo assim,

$$C = 2\pi\epsilon_0 \frac{L}{\ln(\frac{b}{a})}$$

Onde: C é a capacitância (F); L é o comprimento do cilindro (m); ϵ_0 é a permissividade do vácuo, vale $8,85 \times 10^{-12}$ (F/m); a e b são os raios (m). E para o capacitor esférico,

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b - a}$$

Onde: C é a capacitância (F); ϵ_0 é a permissividade do vácuo, vale $8,85 \times 10^{-12}$ (F/m); a e b são os raios (m).

A partir de agora, será comum a associação de capacitores. Existem duas formas de ligar esses aparelhos: em série, onde dois ou mais capacitores são conectados em um mesmo ramo,

ou em paralelo, onde as capacitâncias são ligadas em ramos diferentes do mesmo circuito (Halliday; Resnick; Walker, 2023).

Para capacitores em paralelo, é importante notar que todos os capacitores estão submetidos à mesma tensão. A capacitância equivalente é:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_n$$

Enquanto, para os capacitores em série, a carga elétrica é a mesma para todos os capacitores, então:

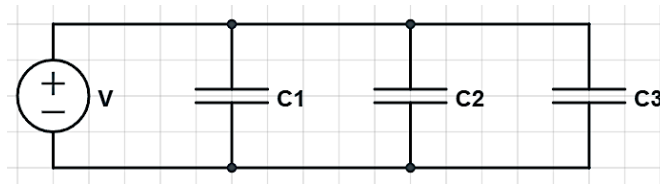
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_n}$$

Entre dois capacitores, podemos calcular da seguinte maneira:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

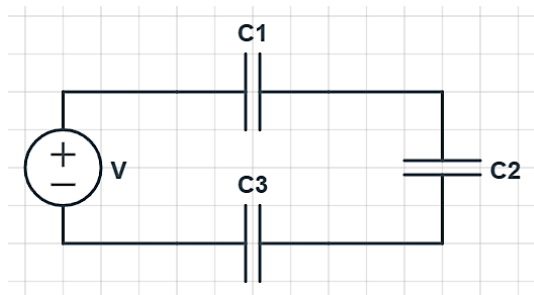
Já a representação para os circuitos é feita conforme FIGURAS 7 e 8:

Figura 7 – Circuito com capacitores em paralelo.



Fonte: Os autores (2024).

Figura 8 – Circuito com capacitores em série.



Fonte: Os autores (2024).

A compreensão da energia do campo elétrico sobre um capacitor também é de interesse. Para isso, considera-se que as placas do capacitor estão inicialmente descarregadas. Quando são ativadas, começam a transferir cargas uma para a outra, de modo que uma placa se carrega positivamente e a outra, negativamente (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Assim, quando a carga é (q), o trabalho (W) para mover essa carga é:

$$dW = Vdq = \frac{q}{C}dq$$

Igualando o trabalho à energia potencial:

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2$$

Além disso, discutiremos as superfícies equipotenciais. Como mencionado no início deste capítulo, as linhas equipotenciais representam as superfícies de um campo elétrico com o mesmo potencial elétrico (Ramos, 2016). Considerando um condutor com distribuição uniforme de potencial elétrico, podemos afirmar que:

$$\tau = q(V_b - V_a)$$

Se uma superfície é equipotencial, o trabalho realizado é nulo, pois não há variação de potencial elétrico entre os pontos a e b .

Existem materiais que, embora sejam isolantes, podem ser polarizados quando expostos a um campo elétrico. Sob a influência desse campo, as cargas positivas e negativas dentro do material se separam e se alinham, formando um dipolo elétrico. Esse efeito é útil para impedir a passagem da corrente elétrica, acumular cargas, proteger materiais de alta tensão contra rupturas e isolar materiais elétricos. Exemplos de materiais dielétricos incluem ar, cerâmica, plástico, porcelana, borracha e vidro (Souza; Oliveira; Luiz, 2024).

É importante notar que os dielétricos afetam o funcionamento dos capacitores, influenciando o acúmulo de cargas no dispositivo. Para qualquer material que não seja o vácuo, temos:

$$\kappa = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

Onde: ε é a constante dielétrica do meio (F/m); ε_0 é a constante dielétrica do vácuo (F/m); κ é a constante dielétrica relativa.

5 Corrente Elétrica e Resistência

Quando uma diferença de potencial é aplicada, ocorre a movimentação de elétrons, o que chamamos de corrente elétrica. Existem dois tipos principais de corrente elétrica: contínua e alternada. A corrente contínua é amplamente utilizada em transportes ferroviários e na eletrônica automotiva. Já a corrente alternada é utilizada em redes de distribuição de energia, pois permite o transporte eficiente de energia a longas distâncias (Hayt Jr.; Buck, 2023). A corrente elétrica está relacionada a diversas relações de potência, como pode ser observado na seguinte relação:

$$P = U \cdot i$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = R \cdot i^2$$

Onde: P é a potência elétrica (W); U é a diferença de potencial (V); i é a corrente elétrica (A); R é a resistência elétrica (Ω). Tendo em vista que a corrente ocorre em um fluxo de movimentação de elétrons, então, a densidade de corrente pode ser vista como:

$$J = \frac{i}{A}$$

Onde: J é a densidade da corrente (A/m^2), i é a corrente elétrica (A); A é a área do condutor (m^2). A variação de carga em um comprimento de condutor é:

$$\Delta q = JAL$$

Onde: L é o comprimento (m). Por fim, é necessário discutir as resistências. Em uma rede elétrica, o objetivo é alimentar os equipamentos. A corrente encontra resistência ao avançar pelo circuito, tornando o equipamento alimentado um tipo de resistência. Como mencionado anteriormente, a resistência interage com a corrente e a diferença de potencial, conforme a Lei de Ohm, e com a potência (Hayt Jr.; Buck, 2023).

6 Circuitos Elétricos em Corrente Contínua

Os circuitos elétricos de corrente contínua (CC) são sistemas onde a corrente elétrica flui em uma única direção. Esse tipo de circuito é fundamental em muitas aplicações práticas, especialmente em dispositivos eletrônicos e sistemas de energia que requerem um fornecimento constante e ininterrupto de energia elétrica (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Os componentes básicos são:

- **Fonte de Alimentação:** em um circuito de corrente contínua é tipicamente uma bateria ou um gerador de corrente contínua. Essa fonte fornece a diferença de potencial necessária para a movimentação dos elétrons através do circuito.
- **Resistores:** são componentes que limitam a quantidade de corrente que pode fluir através do circuito. Eles são usados para controlar a corrente e distribuir a tensão de forma adequada entre os diferentes componentes.
- **Condutores:** conectam todos os componentes do circuito, proporcionando um caminho para o fluxo de corrente. Esses condutores são geralmente feitos de materiais de baixa resistência, como cobre ou alumínio.

6.1 Leis Fundamentais

- **Lei de Ohm:** é uma das principais leis que governam os circuitos de corrente contínua (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Ela estabelece que a corrente que passa por um condutor entre dois pontos é diretamente proporcional à tensão entre esses pontos e inversamente proporcional à resistência do condutor:

$$V = R \cdot I$$

Onde: V é a tensão elétrica (V); I é a corrente elétrica (A); R é a resistência elétrica (Ω).

- **Leis de Kirchhoff:** são essenciais para a análise de circuitos complexos (Halliday; Resnick; Walker, 2023).
 - *Lei das Correntes de Kirchhoff:* afirma que a soma das correntes que entram em um ponto (nó) é igual à soma das correntes que saem desse ponto. Isso reflete a conservação da carga elétrica.

$$\sum I_{entram} = \sum I_{saem}$$

- *Lei das Tensões de Kirchhoff:* estabelece que a soma das tensões em torno de qualquer malha fechada do circuito é igual a zero. Isso é consequência da conservação de energia.

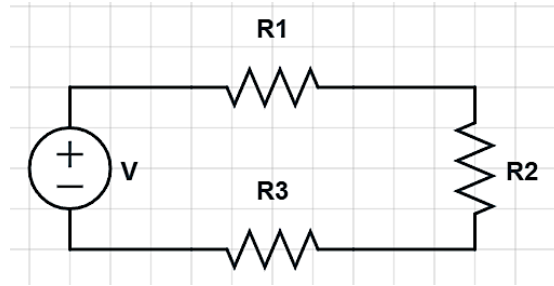
$$\sum V = 0$$

6.2 Associação de resistências

A associação de resistores é uma técnica fundamental na construção e análise de circuitos elétricos, permitindo controlar e distribuir a corrente e a tensão de acordo com as necessidades do circuito. Existem duas formas principais de associar resistores: em série e em paralelo. Cada tipo de associação tem características distintas e aplicações específicas (Halliday; Resnick; Walker, 2023).

Na associação em **série**, os resistores são conectados de ponta a ponta, formando uma única linha contínua de componentes (FIGURA 9).

Figura 9 – Circuito com resistores em série.



Fonte: Os autores (2024).

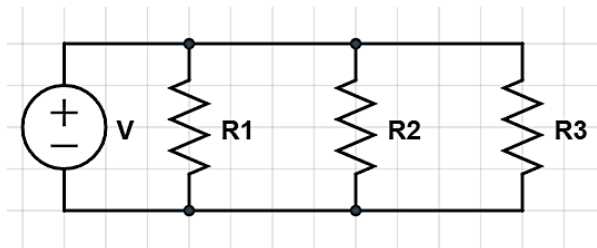
As principais características dessa configuração são:

- *Corrente Constante*: a corrente que passa através de cada resistor é a mesma, pois há um único caminho para o fluxo de corrente.
- *Soma das Tensões*: a tensão total aplicada ao circuito é a soma das tensões em cada resistor individual.
- *Resistência Equivalente*: a resistência total ou equivalente (R_{eq}) de resistores em série é a soma das resistências individuais:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Na associação em **paralelo**, os resistores são conectados lado a lado, de forma que as extremidades de cada resistor estão ligadas aos mesmos pontos (FIGURA 10).

Figura 10 – Circuito com resistores em paralelo.



Fonte: Os autores (2024).

As principais características dessa configuração são:

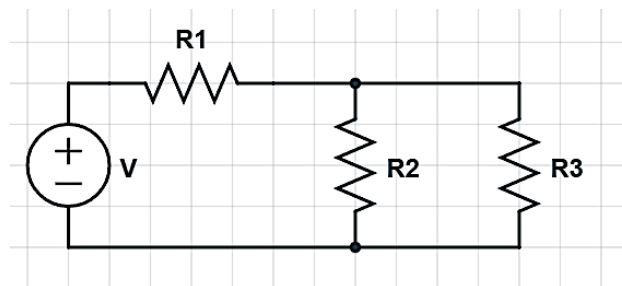
- *Tensão Constante*: a tensão aplicada a cada resistor é a mesma, pois todos estão conectados aos mesmos pontos de potencial.
- *Soma das Correntes*: a corrente total que entra no circuito é a soma das correntes que passam por cada resistor.

- *Resistência Equivalente:* A resistência total ou equivalente (R_{eq}) de resistores em paralelo é dada pela soma dos inversos das resistências individuais:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\dots} + \frac{1}{R_n}$$

Por último, na associação **mista**, os circuitos práticos utilizam uma combinação de associações em série e paralelo, conhecida como associação mista. Para analisar tais circuitos, é comum simplificar passo a passo, reduzindo o circuito complexo a uma série de associações puramente em série ou paralelo (FIGURA 11).

Figura 11 – Circuito com resistores misto.



Fonte: Os autores (2024).

6.3 Aplicações

- *Eletrônica Automotiva:* em automóveis, os circuitos de corrente contínua são usados para alimentar diversos sistemas, como iluminação, rádio, sensores e unidades de controle.
- *Sistemas de Energia Solar:* os painéis solares geram corrente contínua, que é usada para carregar baterias e alimentar dispositivos diretamente ou convertida em corrente alternada para uso doméstico.
- *Equipamentos Portáteis:* dispositivos como laptops, celulares e lanternas utilizam circuitos de corrente contínua fornecidos por baterias recarregáveis.

Os circuitos elétricos de corrente contínua são importantes para muitas tecnologias modernas. A compreensão de seus componentes, leis fundamentais e métodos de análise é necessário para o desenvolvimento e manutenção de sistemas eletrônicos eficientes e confiáveis (Souza; Oliveira; Luiz, 2024; Pereira; Santos, 2023).

7 Campo Magnético

Um campo é uma região do espaço que é afetada pela presença de uma carga ou elemento com carga polarizada. Os campos magnéticos, por exemplo, são áreas onde a carga de um elemento, como um eletroímã ou ímã permanente, influencia o ambiente ao seu redor (Ramos, 2016). Para determinar um campo elétrico, é necessário calcular.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q}$$

Onde: E é o campo elétrico (N/m); F_E é a força elétrica que age sobre a partícula (N); q é a carga elétrica (C).

Quando uma partícula carregada está em movimento, a força (F_B) é determinada no ponto onde o campo magnético (B) é medido. É relevante destacar que quando a velocidade da partícula, v , é zero, a força (F_B) também é zero, indicando que $B = 0$ (Ramos, 2016). Isso pode ser comprovado em,

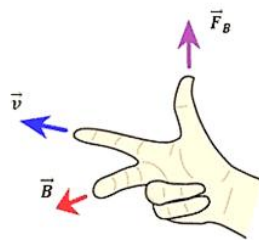
$$B = \frac{\vec{F}_B}{q \cdot v}$$

Que também pode ser escrito como,

$$F_B = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\Phi$$

Onde: Φ é o ângulo entre o vetor velocidade e vetor campo magnético. Para determinar a direção da força magnética, podemos usar a regra da mão direita. Nessa regra, ao mover a mão do vetor velocidade (v) para o vetor campo magnético (B), o polegar indica a direção da força, conforme ilustrado na FIGURA 12, (Ramos, 2016).

Figura 12 – Regra da mão direita.



Fonte: Os autores (2024).

O campo magnético é representado por linhas de campo, que servem como uma maneira visual de entender sua distribuição. É importante observar que essas linhas sempre se movem do

polo positivo para o polo negativo, formando linhas fechadas (Oliveira, 2019). Portanto, para avaliar o fluxo magnético, representado por Φ , é essencial considerar o produto vetorial entre o vetor velocidade (v) e o vetor campo magnético (B), levando em conta o ângulo entre eles.

$$\Phi = \vec{v} \times \vec{B} \cdot \cos\theta$$

Faraday observou que quando há uma variação no fluxo magnético ao longo do tempo, uma força eletromotriz é induzida (Oliveira, 2019). Isso é expresso pela lei de Faraday:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Essa equação mostra que a força eletromotriz (ε) é igual à variação do fluxo magnético (Φ) em relação ao tempo (t). Essencialmente, a variação do fluxo magnético ao longo do tempo é o que determina a força eletromotriz induzida.

Esses fenômenos elétricos não se limitam a meios que já possuem uma predisposição, mas também podem ser induzidos, como é o caso dos motores de indução. Nesses motores, uma perturbação é criada no meio para gerar um campo magnético rotativo (Oliveira, 2019; Ramos, 2016). Além disso, nos motores, que dependem de enrolamentos e bobinas, Ampère estabeleceu um método de cálculo para campos eletromagnéticos. Esse método analisa um condutor elétrico e a corrente que flui por ele para determinar a intensidade do campo magnético:

$$B = \frac{\mu_o i}{2\pi r}$$

Onde: μ_o é a constante de permeabilidade magnética no vácuo ($T.m/A$); r é a distância do campo magnético ao fio.

7.1 Solenoides e Toroides

O campo elétrico pode ser induzido pela condução de energia através de um condutor, sendo este princípio bastante atrativo para diversas aplicações, como em motores. Um exemplo famoso que ilustra isso é a Bobina de Tesla (Hayt Jr.; Buck, 2023).

Nikola Tesla (1856-1943), um renomado cientista croata, foi responsável por avanços significativos nas tecnologias de transmissão de energia. Seu trabalho também contribuiu para o desenvolvimento da transmissão de informações e energia sem fio. Um de seus experimentos mais notáveis envolveu o uso de bobinas conectadas a uma torre, onde o campo elétrico gerado induzia correntes visíveis entre as torres dentro de seu laboratório (Pereira; Santos, 2023; Souza; Oliveira; Luiz, 2024).

Para calcular o campo elétrico produzido por um fio infinito, considerando uma circunferência completa, pode ser encontrado por:

$$B = \frac{\mu_o i}{2\pi R}$$

Se o fio estiver em forma de um arco de comprimento específico, o campo magnético (B) no centro desse arco pode ser calculado pela fórmula:

$$B = \frac{\mu_o i \Phi}{4\pi R}$$

Essa equação fornece a medida do campo magnético para o centro do arco considerado. Quando esses arcos são colocados lado a lado, o campo magnético é influenciado pela justaposição desses materiais (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Assim, o campo resultante é:

$$B_1 = \frac{\mu_o i_a}{2\pi d}$$

Onde: i_a é a corrente que percorre um dos fios (A); d é a distância entre os fios (m). E a parcela para um elemento de fio, é:

$$F_{ba} = \frac{\mu_o L_{ia} i_b}{2\pi d}$$

Onde: L_{ia} é o fragmento do condutor a (m); i_b é a corrente no condutor b (A). Para obter informações sobre o campo gerado em uma determinada parte do diâmetro, recorreremos à relação amperiana, que é definida pela Lei de Ampère.

$$B = \frac{\mu_o i r}{2\pi R^2}$$

Onde: r é o raio parcial (m); R é o raio total (m); i é a corrente na origem (A).

Nos experimentos de Tesla em seu laboratório, foram construídas grandes bobinas em forma de torres, que consistiam em condutores com espiras justapostas, ou seja, sem espaçamento significativo entre elas, com uma ou mais colunas de fios (Pereira; Santos, 2023; Souza; Oliveira; Luiz, 2024). Para esse tipo de material, é importante compreender:

- A corrente: $i_{env} = i(nh)$;
- O campo magnético: $B_h = \mu_o i m h$, para uma porção h ;
- O campo magnético total: $B = \mu_o \cdot i \cdot n$

Agora, vamos entender o que é um toroide. Os toroides podem ser considerados um caso especial do solenoide, onde há uma curvatura formando um anel. Para um toroide, o campo magnético é dado por:

$$B = \frac{\mu_o \cdot i \cdot N}{2\pi r}$$

Onde: r é o raio (m); N é o número de espiras (*espiras*); i é a corrente na origem (A).

7.2 Dipolo

Um dipolo pode ser caracterizado por duas cargas de sinais opostos separadas por uma certa distância. Quando falamos de dipolo magnético, isso ocorre no caso das espiras, devido à disposição dos condutores (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Para o campo magnético de uma espira ao longo do eixo (z), as equações são:

$$B(z) = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + Z^2)^{3/2}}$$

Quando z é muito maior que R :

$$B(z) = \frac{\mu_0 N i A}{2\pi Z^3}$$

E para uma bobina de N espiras:

$$B(z) = \frac{\mu_0 N i A}{2\pi Z^3}$$

Além disso,

$$B(z) = \frac{\mu_0 \vec{\mu}}{2\pi Z^3}$$

Sendo que,

$$\mu = N i a$$

Onde: $B(z)$ é o campo magnético ao longo do eixo (z); μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo (H/m); i é a corrente elétrica na espira (A); R é o raio da espira (m); Z é a distância ao longo do eixo (z); N é o número de espiras na bobina; A é a área da espira (m^2); μ é o momento dipolar magnético ($A \cdot m^2$); $\vec{\mu}$ é o vetor momento dipolar magnético ($A \cdot m^2$).

A partir dessas equações, podemos concluir que o campo magnético gerado por uma espira ou uma bobina de espiras se comporta de maneira semelhante a um dipolo magnético. Quando estamos longe da espira ou da bobina (z) é muito maior que (R), o campo magnético diminui com o cubo da distância (Z). Isso é característico de um dipolo, onde o campo magnético segue um padrão inverso do cubo da distância (Halliday; Resnick; Walker, 2023).

Essa analogia com um dipolo magnético é útil para entender o comportamento do campo magnético gerado por sistemas de bobinas em diferentes distâncias e orientações.

8 Indução e Indutância

Anteriormente, a Lei de Faraday estabeleceu que um fluxo de campo magnético gera uma corrente elétrica. No entanto, a variação desse fluxo através de materiais condutores também induz uma corrente, conforme verificado pela Lei de Lenz (Oliveira, 2019). De acordo com esta lei da física, a aproximação do polo norte de um ímã a uma espira aumenta o fluxo magnético que a atravessa, produzindo uma corrente em sentido anti-horário na espira. Essa corrente anti-horária gera um campo magnético ao redor do ímã. Essa relação ocorre por meio de:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Sendo que,

$$\Phi_B = \int B \cdot dA$$

Essas relações de campos induzidos geram outras avaliações como do trabalho sobre uma partícula q_o :

$$\Delta W = q_o \varepsilon$$

E a indutância,

$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Então, o campo magnético em um solenoide:

$$B = \mu_o \cdot n \cdot i$$

Onde: n é o número de espiras. Um material pode estar sujeito à autoindutância, que ocorre quando a corrente varia em um indutor. Um exemplo disso é um chuveiro com resistência variável, onde a variação da corrente gera uma componente de força eletromotriz, resultando na autoindutância no indutor (Hayt Jr.; Buck, 2023). Portanto,

$$L_i = N\Phi_B$$

$$\varepsilon_1 = \frac{-d(N\Phi_B)}{dt}$$

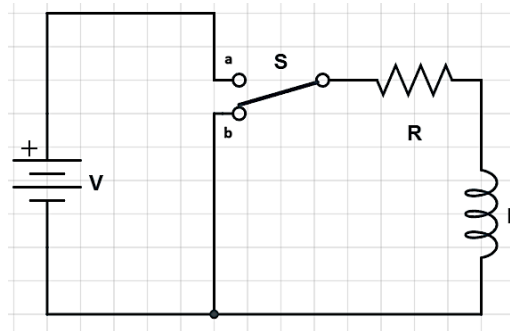
Em resumo, a indutância e os indutores desempenham papéis importantes em diversos circuitos elétricos e eletrônicos. A indutância é a propriedade que permite a um indutor armazenar energia em um campo magnético quando uma corrente elétrica passa por ele. Este fenômeno é fundamental para o funcionamento de dispositivos como transformadores, motores

elétricos e diversos tipos de equipamentos eletrônicos. A compreensão das características dos indutores e da indutância é essencial para o projeto e a otimização de sistemas elétricos eficientes e confiáveis, evidenciando a importância contínua desses conceitos na tecnologia moderna (Souza; Oliveira; Luiz, 2024).

8.1 Circuito RL

Um circuito RL é composto por um resistor e um indutor. Para esses componentes, uma das principais propriedades a serem avaliadas é a corrente elétrica e a influência do sistema sobre ela. O circuito também inclui uma fonte. Quando esta não está em operação, o indutor apresenta oposição às variações de corrente que o atravessam (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Com o passar do tempo, o indutor começa a se comportar como um condutor. Isso pode ser observado na FIGURA 13.

Figura 13 – Circuito RL.



Fonte: Os autores (2024).

Por esse modelo, se a chave estiver ligada em a (caso do indutor com fonte ligada):

$$iR + L \frac{di}{dt} = \varepsilon$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_L}})$$

$$\tau_L = \frac{L}{R}$$

Mas se estiver ligada em b (caso do indutor com fonte desligada):

$$iR + L \frac{di}{dt} = 0$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/\tau_L}$$

Dessa maneira, a avaliação das propriedades dos circuitos depende dos pressupostos das leis de Kirchhoff, podendo a lei das malhas ser resumida da seguinte forma:

$$\varepsilon_i = i^2 R + Li \frac{di}{dt} = 0$$

$$\varepsilon = iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

E a energia potencial magnética em relação ao indutor:

$$U_B = \frac{L_i^2}{2}$$

Com a aplicação de equipamentos na rede, a densidade da energia é afetada, conforme:

$$\mu_b = \frac{U_b}{V}$$

Para uma bobina:

$$\mu_b = \frac{B^2}{2\mu_o}$$

Em relação ao campo:

$$\mu_e = \frac{\varepsilon_o E^2}{2}$$

Os circuitos RL, que combinam resistores e indutores, são fundamentais na análise de sistemas elétricos devido à sua capacidade de modelar e controlar a resposta dinâmica da corrente elétrica. A compreensão do comportamento transitório e do estado estacionário em circuitos RL permite prever como a corrente varia ao longo do tempo em resposta a mudanças na tensão aplicada. Essa análise é importante para o projeto de filtros, reguladores de tensão e outros dispositivos eletrônicos. A aplicação das leis de Kirchhoff e a consideração da indutância permitem uma compreensão mais profunda e precisa do funcionamento desses circuitos, destacando sua importância na engenharia elétrica e eletrônica (Halliday; Resnick; Walker, 2023).

8.2 Indutância Mútua e Equações de Maxwell

Como discutido anteriormente, a presença de elementos energizados pode influenciar outros elementos da mesma categoria. No caso específico dos solenoides, observamos que uma espira pode gerar um dipolo na espira adjacente (Hayt Jr.; Buck, 2023). Mas e se forem duas

bobinas em proximidade? Nesse caso, também há efeitos sobre a bobina próxima, fenômeno conhecido como indutância mútua.

A indutância mútua ocorre quando o campo magnético gerado pela corrente na bobina 1 atravessa as espiras da bobina 2, causando variações na corrente e na força eletromotriz induzida na bobina 2. O inverso também é verdadeiro (Rego, 2010). Os efeitos sobre a bobina 2 podem ser calculados através de:

$$M_{21} = N_2 \frac{\Phi_{21}}{i_1}$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt} = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt}$$

$$M_{12} \frac{di_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt}$$

$$\varepsilon_1 = -M_{12} \frac{di_2}{dt} = -N_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt}$$

Portanto,

$$M_{21} = M_{12} = M$$

Onde: M_{21} é a indutância mútua entre o circuito 1 e o circuito 2 (H); N_2 é o número de espiras no circuito 2; Φ_{21} é o fluxo magnético causado pela corrente 1 no circuito 1 (Wb); ε_2 é a força eletromotriz induzida no circuito 2 devido à indutância mútua (V); M_{12} é a indutância mútua entre o circuito 2 e o circuito 1 (H); ε_1 é a força eletromotriz induzida no circuito 1 devido à indutância mútua (V).

Além dos efeitos mútuos mencionados, outro princípio fundamental para a avaliação de campos magnéticos é:

$$\Phi_E = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

No entanto, quando se trata de um campo magnético induzido, gerado por uma corrente variável, a Lei de Maxwell descreve o comportamento:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_o \varepsilon_o \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Nesta equação, a integral de linha representa a variação do fluxo associada a uma curva. A relação entre a corrente e o fluxo elétrico variando no tempo é uma propriedade descrita por Maxwell, conhecida como corrente de deslocamento (Halliday; Resnick; Walker, 2023). Para estabelecer essa relação, o cálculo é realizado através de:

$$i_d = \varepsilon_o \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Essa relação também pode ser expressa através da Lei de Ampère-Maxwell:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{d,env} + \mu_0 i_{env}$$

Aqui, “env” denota o envolvimento das correntes pela superfície amperiana. Para diferentes casos de correntes de deslocamento, são aplicadas as seguintes equações de Maxwell (Hayt Jr.; Buck, 2023), (Halliday; Resnick; Walker, 2023):

- Lei de Gauss para eletricidade:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{env}}{\epsilon_0}$$

- Lei de Gauss para magnetismo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

- Lei de Faraday:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Onde: $\vec{B}$ é o campo magnético (T); $d\vec{s}$ é o elemento diferencial de comprimento ao longo da linha fechada da trajetória de integração; $\vec{E}$ é o campo elétrico (V/m); $d\vec{A}$ é o elemento diferencial da área de uma superfície fechada; q_{env} é a carga elétrica contida dentro da superfície gaussiana de integração.

A indutância mútua é um conceito essencial na teoria dos circuitos elétricos e tem um papel fundamental na interação entre circuitos acoplados magneticamente. Essa propriedade demonstra como a corrente em um circuito pode gerar um campo magnético que, por sua vez, induz uma força eletromotriz no segundo circuito, evidenciando uma interdependência entre eles. Essa interação é crucial em dispositivos como transformadores e bobinas acopladas, onde a eficiência na transferência de energia depende da quantidade de indutância mútua presente. Além disso, a compreensão da indutância mútua é essencial para o desenvolvimento de tecnologias modernas, desde comunicações sem fio até sistemas de energia renovável, onde o comportamento dinâmico dos circuitos em resposta a variações de corrente é de suma importância para sua operação adequada (Souza; Oliveira; Luiz, 2024; Pereira; Santos, 2023).

9 Magnetismo da Matéria

O magnetismo dos elétrons é influenciado pelo seu spin e momento angular orbital. O momento magnético do spin ($\vec{\mu}_s$) é dado pela equação $\vec{\mu}_s = -\vec{S} \cdot \frac{e}{m}$, onde ($\vec{S}$) é o vetor spin. A componente do spin ao longo do eixo (Z) é $S_z = m_s \cdot \frac{h}{2\pi}$, relacionada ao magnetismo de Bohr

($\mu_{s,z} = \pm\mu_B$). A energia associada ao momento magnético em um campo magnético externo é ($U = -\mu_{s,z}B_{ext}$). O momento magnético orbital ($\vec{\mu}_{orb}$) é relacionado ao momento angular orbital ($\vec{L}_{orb}$), com ($\mu_{orb} = -M_1\mu_B$), onde (M_1) é um número quântico (Halliday; Resnick; Walker, 2023).

Os materiais magnéticos desempenham um papel essencial em diversas aplicações tecnológicas. O diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo são três fenômenos magnéticos principais observados em materiais.

- **Diamagnetismo:** se manifesta quando materiais são expostos a um campo magnético externo, formando dipolos magnéticos. Em campos não uniformes, surge uma força que os afasta das regiões com maior intensidade de campo.
- **Paramagnetismo:** ocorre quando átomos possuem momentos dipolares magnéticos e exibem comportamento magnético quando seus dipolos se alinham ao campo externo. A magnetização (M), calculada como:

$$M = \frac{\mu_{ef}}{V}$$

Onde, μ_{ef} é o momento dipolar efetivo; V é o volume do material, representa o grau de alinhamento.

- **Ferromagnetismo:** são dipolos magnéticos que se alinham localmente em regiões chamadas de domínios. A magnetização total, dependente do campo aplicado, persiste até uma temperatura crítica. Em campos não uniformes, materiais ferromagnéticos são atraídos para as regiões com maior intensidade de campo.

As vantagens de usar esses materiais são diversas. O diamagnetismo pode ser explorado em aplicações como levitação magnética de materiais supercondutores, onde a repulsão magnética permite suporte sem contato físico. O paramagnetismo é útil em dispositivos como ímãs permanentes e em técnicas de ressonância magnética, onde a resposta magnética dos átomos é explorada. Já o ferromagnetismo é importante em tecnologias como armazenamento de dados em discos rígidos e na produção de ímãs permanentes de alta intensidade. Esses materiais desempenham papéis fundamentais em uma variedade de aplicações tecnológicas, desde eletrônicos até medicina, devido às suas propriedades magnéticas únicas (Halliday; Resnick; Walker, 2023; Hayt Jr.; Buck, 2023).

REFERÊNCIAS

- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: eletromagnetismo**, volume 3. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.
- HAYT JR., William H.; BUCK, John A. **Eletromagnetismo**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- OLIVEIRA, Nilson Antunes de. **Eletromagnetismo: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- PEREIRA, Émerson dos Reis; SANTOS, Carlos Alberto Moreira dos. Simulações virtuais de eletromagnetismo no ensino de ciências para favorecer o processo de alfabetização científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. 520-552, dez. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2023.e91247>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/91247/55000>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- RAMOS, Airton. **Eletromagnetismo**. São Paulo: Blucher, 2016.
- REGO, Ricardo Affonso do. **Eletromagnetismo básico**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- SOUZA, Marco P. M. de; OLIVEIRA, Sidnei P.; LUIZ, Valdenice L. Motor elétrico – SimuFísica: um aplicativo para o ensino de eletromagnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. 1-7, e20230219, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0219>. Disponível em: scielo.br/j/rbef/a/WVSp54Fmcc9rLw6cgxsfN5B/?format=pdf&lang=pt . Acesso em: 26 jun. 2024.



Material didático EAD exclusivo do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária

Centro de Estudos do Mar – Campus Pontal do Paraná

Universidade Federal do Paraná

Ministério da Educação

Governo Federal

coordeas.cem@ufpr.br

