



Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Mecânica



## PLANO DE ENSINO

Em caráter excepcional e transitório, para substituição do ensino presencial pelo ensino não presencial, enquanto durar a pandemia do novo coronavírus (COVID-19), em atenção à Portaria MEC Nº 544, de 16 de junho de 2020, e à Resolução Normativa Nº 140/2020/CUn, de 21 de julho de 2020.

### EMC5201 – Materiais de Engenharia

#### 1) Identificação

Carga horária: 72 horas-aula, das quais: Teóricas: 72 horas-aula, Práticas: não tem no programa.

Turma(s): 03203A/03214

Nome(s) do(s) professor(es):

Aloisio Nelmo Klein, E-mail: [a.n.klein@ufsc.br](mailto:a.n.klein@ufsc.br) e

Guilherme Marins de Oliveira Barra, e-mail: [g.barra@ufsc.br](mailto:g.barra@ufsc.br)

Período: 1º semestre de 2020

#### 2) Cursos

203 Engenharia Mecânica

214 Engenharia de Produção Mecânica

#### 3) Requisitos

Engenharia Mecânica (203): EQA5116

#### 4) Ementa

Materiais e Engenharia. Ligações químicas e seu efeito nas propriedades dos principais Materiais de Engenharia. Estruturas Cristalinas. Defeitos em Sólidos. Difusão em Sólidos. Propriedades Mecânicas dos Metais. Falhas em Metais. Diagramas de Equilíbrio. Análise microestrutural de Materiais, principais processamentos de materiais metálicos e sua correlação com microestrutura e propriedades resultantes no material. Transformações de fases em metais: reações perlítica, bainítica e martensítica. Tratamentos térmicos em metais: recozimento, normalização, têmpera, revenido, solubilização e precipitação. Estrutura, Propriedades e Processamento de Cerâmicas de Alto Desempenho. Estrutura, Propriedades e Processamento de Plásticos de Engenharia. Noções de Propriedades e Processamento de Materiais.

#### 5) Objetivos

Geral:

Ao final da disciplina, o aluno deverá conhecer os principais de materiais de engenharia existentes, sua estrutura e suas propriedades visando a seleção dos materiais corretos para as diversas funções na prática da engenharia.

Objetivos específicos:

- 1) Introduzir uma série de conceitos básicos relacionados à estrutura, propriedades e aplicações dos Materiais de Engenharia.
- 2) Definir as principais propriedades e como estas são medidas ou determinadas
- 3) Conhecer os principais tratamentos térmicos e termoquímicos de materiais
- 4) Proporcionar uma ideia clara sobre a importância da seleção correta de materiais para cada aplicação específica.
- 5) Proporcionar o conhecimento de uma série de exemplos de aplicações de materiais na Engenharia

## 6) Conteúdo Programático

1. Introdução geral. [2 horas-aula]
  - 1.1. Objetivos da disciplina e sistema de avaliação.
  - 1.2. Importância histórica dos materiais para o desenvolvimento e a sobrevivência da raça humano.
  - 1.3. Importância dos materiais para o desenvolvimento tecnológico mundial.
  - 1.4. Funções de engenharia e seleção de materiais
2. Classificação do Materiais - grupos básicos de materiais de engenharia. [4 horas-aula]
  - 2.1. Materiais metálicos, propriedades básicas, exemplos e aplicações.
  - 2.2. Materiais cerâmicos, propriedades básicas, exemplos e aplicações.
  - 2.3. Materiais poliméricos, propriedades básicas, exemplos e aplicações.
  - 2.4. Materiais compósitos, propriedades básicas, exemplos e aplicações
  - 2.5. Materiais semicondutores, propriedades básicas, exemplos e aplicações
3. Ligações químicas e sua correlação com as propriedades dos materiais [2 horas-aula]
  - 3.1. Ligações primárias
  - 3.2. Ligações secundárias
  - 3.3. Correlação entre tipo de ligação, energia de ligação com as propriedades básicas dos materiais
4. Estrutura, microestrutura e sua correlação com as propriedades dos materiais [8 horas-aula]
  - 4.1. Conceitos de estrutura e microestrutura
  - 4.2. Análise da estrutura e da microestrutura
  - 4.3. Estrutura cristalina e estrutura amorfa (sistemas, estruturas reais) de metais
  - 4.4. Fator de empacotamento atômico

- 4.5. Estrutura cristalina de materiais cerâmicos
  - 4.6. Polimorfismo e transformações alotrópicas (alotropia)
  - 4.7. Índices de direções e de planos cristalinos.
  - 4.8. Noções elementares de raios-x
5. Defeitos cristalinos em sólidos e sua importância para as propriedades dos materiais. [2 horas-aula]
    - 5.1. Defeitos zero dimensionais, unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais
    - 5.2. Importância dos defeitos cristalinos para as propriedades dos materiais
  6. Principais propriedades dos materiais metálicos e cerâmicos e sua determinação (ensaios). [10 horas-aula].
    - 6.1. Propriedades mecânicas - conceitos e ensaios
      - 6.1.1 Ensaio de tração e curva tensão versus deformação
      - 6.1.2 Conceitos básicos (módulo de elasticidade, limite elástico, tensão de escoamento, resistência mecânica, plasticidade)
      - 6.1.3 Energia elástica e resiliência, energia absorvida por deformação plástica; Conceitos de ductilidade, tenacidade e fragilidade;
      - 6.1.4 Dureza e escalas de dureza, ensaios de dureza;
      - 6.1.5 Ensaios de impacto e comportamento mecânicos dos materiais sob impacto;
      - 6.1.6 Fadiga, ensaios de fadiga e curvas de Wöhler e limite de resistência a fadiga
      - 6.1.7 Fluência e ensaio de fluência. Materiais resistentes a fluência.
      - 6.1.8 Resistência ao calor e materiais resistentes ao calor;
    - 6.2. Propriedades Físicas dos Materiais (propriedades elétricas, magnéticas e óticas)
    - 6.3. Propriedades químicas dos Materiais (estabilidade, resistência a corrosão);
    - 6.4. Propriedades tribológicas (atrito e desgaste)
  7. Noções básicas de processamento dos materiais metálicos e cerâmicos. [6 horas-aula]
    - 7.1. Usinagem
    - 7.2. Conformação mecânica
    - 7.3. Fundição
    - 7.4. Processamento de materiais a partir de pós
    - 7.5. Soldagem e Brasagem
  8. Noções básicas de processamento de materiais poliméricos. [6 horas-aula]
    - 8.1. Noções básicas de estrutura e processamento de polímeros;
    - 8.2. Noções básicas de processamento de compósitos de matriz polimérica
  9. Difusão atômica e sua importância para o processamento térmico de materiais. [4 horas-aula]

- 9.1. Mecanismos de difusão
  - 9.2. Autodifusão e difusão química
  - 9.3. Difusão no estado estacionário e Leis de Fick
  - 9.4. Dependência da temperatura do processo difusivo.
  - 9.5. Segunda lei de Fick e tratamentos termoquímicos
- 
10. Estabilidade de fases sólidas e noções de equilíbrio químico. [4 horas-aula]
    - 10.1. Conceitos de estado termodinâmico, variáveis de estado e potenciais termodinâmicos;
    - 10.2. Potencial químico e equilíbrio químico;
    - 10.3. Conceito de pressão de vapor de sublimação e problemas associados
    - 10.4. Variação da Energia Livre de Gibbs em reações espontâneas e segunda Lei da Termodinâmica;
    - 10.5. Estabilidade relativa de substâncias (fases) - diagramas de Ellingham e Ellingham-Richardson
- 
11. Diagramas de Fases de materiais metálicos (diagramas de equilíbrio). [4 horas-aula]
    - 11.1. Diagramas unários
    - 11.2. Diagramas binários isomorfos
    - 11.3. Diagramas binários eutéticos
    - 11.4. Regra da alavanca e conversão de percentual em volume para percentual em massa e vice-versa
    - 11.5. Diagrama ferro-carbono (ou seja, diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C).
- 
12. Transformações de Fases [4 horas-aula]
    - 12.1. Transformação de fases dependentes de difusão - nucleação e crescimento
    - 12.2. Transformações martensíticas (não dependentes de difusão)
    - 12.3. Diagramas TTT
    - 12.4. Temperabilidade de aços
- 
13. Tratamentos térmicos de materiais metálicos [4 horas-aula]
    - 13.1. Austenitização e solubilização de compostos
    - 13.2. Tempera e revenido
    - 13.3. Austêmpera e Martempera
    - 13.4. Normalização e Recozimento;
    - 13.5. Tratamento térmico de recristalização
    - 13.6. Tratamento térmico de sinterização
    - 13.7. Tensões residuais em componentes mecânicos após tratamentos térmicos (e outros)
- 
14. Mecanismos de endurecimento e aumento de resistência a deformação plástica. [4 horas-aula]
    - 14.1. Endurecimento por solução sólida

- 14.2. Endurecimento por partículas precipitadas
- 14.3. Endurecimento por partículas dispersas (insolúveis)
- 14.4. Endurecimento por deformação plástica (encruamento)
- 14.5. Endurecimento por refino de grãos

## 7) Metodologia

O conteúdo da disciplina será abordado ao longo do semestre em aulas expositivas síncronas incluindo vídeos ilustrativos dos processos de fabricação e dos ensaios, os quais são apresentados ao longo das aulas síncronas e também disponibilizadas no MOODLE para quem quiser rever fora dos horários normais da aula. Além disso serão disponibilizadas listas de exercícios por capítulo, sendo que boa parte dos exercícios serão apresentados discutidos durante as aulas síncronas e os demais exercícios deverão ser resolvidos pelos alunos fora do horário de aulas, como atividade assíncrona. As listas de exercícios serão disponibilizadas no MOODLE, e também enviadas via lista de e-mails aos alunos matriculados. Com relação à combinação dessas duas atividades, gostaria de esclarecer o seguinte:

- Embora algumas aulas já haviam sido dadas presencialmente antes do início da pandemia, o programa será reiniciado desde o seu início, para evitar problemas.
- As atividades assíncronas serão disponibilizadas através do MOODLE, com o suporte de material de apoio em meio digital.
- As aulas síncronas ocorrerão no horário oficial da disciplina (terças feiras das 16:20h as 18:00h e quintas feiras da 8:20 as 10:00horas)
- O link para as aulas síncronas será fornecido no MOODLE e via lista de e-mails aos alunos.
- O atendimento individual para sanar dúvidas ocorrerá em encontros síncronos, nas datas e formas descritas no MOODLE e no cronograma detalhado abaixo.

## 8) Avaliação

A avaliação ocorrerá através de 3 (três) avaliações, a saber: 3 provas (P1, P2 e P3). A média final (MF) será calculada pela média aritmética destas avaliações:  $MF = (P1 + P2 + P3) / 3$

Conforme parágrafo 2º do artigo 70 da Resolução 17/CUn/97, o aluno com frequência suficiente (FS) e média final no período (MF) entre 3,0 e 5,5 terá direito a uma nova avaliação ao final do semestre (REC), sendo a nota final (NF) calculada conforme parágrafo 3º do artigo 71 desta resolução, ou seja:  $NF = (MF + REC) / 2$ .

Caso o aluno não compareça a uma das avaliações, será realizada uma prova de reposição no final do semestre, entre a P3 e a REC. Esta prova cobrirá todo o conteúdo da matéria e sua nota substituirá a nota da prova a que o aluno faltou.

Com relação à aplicação das avaliações e à frequência, esclarece-se o seguinte:

- As avaliações ocorrerão *online*, atendendo a Resolução Normativa 140/2020/CUn.
- As avaliações constarão do Cronograma, e serão detalhadas, registradas e divulgadas no MOODLE.

- A frequência suficiente ao curso é obrigatória. A frequência será registrada pelo docente, ou pelo próprio aluno, em cada acesso às aulas síncronas, utilizando o registro de frequência do MOODLE. O aluno também poderá ser requisitado a registrar frequência no acesso às aulas assíncronas. Para ter direito a fazer a prova REC, o aluno deverá ter atingido 75% de frequência nas aulas síncronas.

## 9) Cronograma

1. As aulas síncronas serão realizadas às terças-feiras, entre 16:20 e 18:00 horas, e nas quintas feiras, entre 8:20 horas e 12:00 horas, via plataforma MOODLE.
2. As avaliações *online* serão realizadas nos dias 06/10 (P1), 10/11 (P2) e 08/12 (P3), com início às 16:00horas e término às 18:30 horas. A REC será realizada em 15/12 também de 10h00min às 12h30min. A Prova de Reposição será realizada em 09/12, de 16h00min às 18h30min. Todas as avaliações serão realizadas via MOODLE.
3. As avaliações serão individuais, com consulta livre ao material disponibilizado no MOODLE.

O cronograma detalhado da disciplina é apresentado abaixo, em conformidade com a Resolução Normativa 140/2020/CUn.

Semana - Dia	Atividade síncrona	Conteúdo	Atividade Assíncrona	Conteúdo
1 – 31/8	2 horas-aula	1.1 a 1.4 e 2.1 a 2.2	Sim	1.1 a 1.4 e 2.1 a 2.2
1 – 1/9	2 horas-aula	2.3 a 2.5	Sim	2.3 a 2.5
2 – 7/9	Feriado		Feriado	
2 – 8/9	2 horas-aula	3.1 a 3.3	Sim	3.1 a 3.3
3 – 14/9	2 horas-aula	4.1 a 4.4	Sim	4.1 a 4.4
3 – 15/9	2 horas-aula	4.4 a 4.6	Sim	4.4 a 4.6
4 – 21/9	2 horas-aula	4.5 a 4.6	Sim	4.5 a 4.6
4 – 22/9	2 horas-aula	4.7 a 4.8	Sim	4.7 a 4.8
5 – 28/9	2 horas-aula	5,1 a 5.2	Sim	5,1 a 5.2
5 – 29/9	2 horas-aula	6.1.1 a 6.1.3	Sim	6.1.1 a 6.1.3
6 – 5/10	2h (revisão e exercícios)	Revisão P1	Sim	Cap 1 a 5
6 – 6/10	Não - (Prova 1)	-	Prova 1	Cap 1 a 5
7 – 12/10	Feriado	-	Feriado	
7 – 13/10	2 horas-aula	6.1.4 a 6.1.6	Sim	6.1.4 a 6.1.6
8 – 19/10	2 horas-aula	6.1.6 a 6.1.8	Sim	6.1.6 a 6.1.8
8 – 20/10	2 horas-aula	6.2 a 6.4	Sim	6.2 a 6.4
9 – 26/10	2 horas-aula	7.1 a 7.2	Sim	7.1 a 7.2
9 – 27/10	2 horas-aula	7.3 a 7.5	Sim	7.3 a 7.5
10 – 2/11	Feriado		Feriado	
10 – 3/11	2 horas-aula	8.1	Sim	8.1
11 – 9/11	2 horas-aula	8.2	Sim	8.2
11 – 10/11	Não (prova 2)		Prova 2	Cap 6 e 7
12 – 16/11	2 horas-aula	9.1 a 9.3	Sim	9.1 a 9.3

12 – 17/11	2 horas-aula	9.4 a 9.5	Sim	9.4 a 9.5
13 – 23/11	2 horas-aula	10.1 a 10.5	Sim	10.1 a 10.5
13 – 24/11	2 horas-aula	11.1 a 11.4	Sim	11.1 a 11.4
14 – 30/11	2 horas-aula	11.5	Sim	11.5
14 – 1/12	2 horas-aula	12.1 a 12.4	Sim	12.1 a 12.4
15 – 7/12	2 horas-aula	13.1 a 13.7	Sim	13.1 a 13.7
15 – 8/12	Não (prova 3)		Prova 3	Cap 9 a 13
16 – 14/12	2horas-aula	14.1 a 14.5	sim	14.1 a 14.5
16 – 15/12	Prova de recuperação	-	Prova de REC	Tudo

### 10) Bibliografia Básica (para o curso não presencial)

- 1) William Callister, Jr. -Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. Editora: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A -5ª Edição. **Será disponibilizada aos alunos a versão eletrônica do livro do William Callister disponível em PDF.** Disponibilizado no MOODLE, com acesso aos alunos.
- 2) James F. Shackelford - Introduction to Materials Science for Engineers -4th edition. Princeton-Hall Inc., New Jersey, USA. Disponível na Biblioteca da UFSC
- 3) Sebastião V. Canevarolo Jr. - Ciência dos polímeros, Editora Artliber, Rua Diógenes Ribeiro de Lima, 3.294, 05083-010 -São Paulo -SP-Brasil. Disponível na Biblioteca
- 4) Todas as aulas em powerpoint (total de 1200 slides) serão disponibilizadas para o aluno via MOODLE.
- 5) Filmes sobre processamento de materiais serão disponibilizados via MOODLE (acesso via link disponibilizado no Moodle).
- 6) Listas de exercícios sobre o conteúdo das aulas serão disponibilizadas aos alunos. Serão enviados via a lista de e-mails da turma de alunos e eles deverão retornar depois de resolvidos, também anexo a e-mail.

### 11) Bibliografia Complementar

- 1) Donald R. Askeland e Pradeep P. Phulé – Ciência e Engenharia de Materiais. Cengage learning. Brasil, Austrália, Estados Unidos.
- 2) James F. Shackelford - Introduction to Materials Science for Engineers -4th edition. Princeton-Hall Inc., New Jersey, USA Disponível na Biblioteca da UFSC
- 3) Schaffere; Saxena; Antolovich; Sander and Warner. The Science and Design of Engineering Materials;
- 4) Angelo Fernando Padilha - Materiais de Engenharia. Editora Hemus, São Paulo;
- 5) Grupo Setorial de Metalurgia do pó (Fernando Iorvolino, Lucio Salgado, Aloisio N. Klein et al.) – A Metalurgia do pó-alternativa econômica com menor impacto ambiental –1 a edição –São Paulo, Metallum Eventos Técnicos
- 6) Narattam P. Bansal and Aldo R. Boccacci - Ceramics and Composites Processing Methods – 2012, The American Ceramic Society, Published by John Willey and Sons Inc., Hoboken, New Jersey

- 7) Sebastião V. Canevarolo Jr. - Ciência dos polímeros, Editora Artliber, Rua Diógenes Ribeiro de Lima, 3.294, 05083-010 -São Paulo -SP-Brasil