

## **A Habilitação em Engenharia Metalúrgica**

Alguns dos cursos de Engenharia na Escola Politécnica estão caracterizados por uma escolha gradual por parte do estudante com relação às áreas, habilitações e ênfases. Assim, o ingresso no vestibular de um aluno que objetive obter o grau de Engenheiro Metalurgista se faz na carreira de número 775 do vestibular da FUVEST 2013, denominada “Engenharia na Escola Politécnica”, dentro do curso 35, “Engenharia Química, Engenharia Metalúrgica, Engenharia de Materiais e Engenharia de Minas”, com 140 vagas oferecidas. No primeiro ano, os 140 ingressantes cursam disciplinas básicas das Ciências Exatas e da Engenharia. Ao final do primeiro ano, tendo tido um contato maior com a Escola, fazem opção por um dos cursos que levarão à carreira específica. No caso de Engenharia Metalúrgica o aluno deverá optar pelo ingresso no curso “Grande Área Química – Núcleo Comum – Materiais”, para o qual são oferecidas 40 vagas. A escolha pela carreira em Engenharia Metalúrgica se dá, neste contexto, ao final do terceiro ano, sendo oferecidas 20 vagas por turma.

### **Objetivo do curso**

O curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo tem por objetivo formar Engenheiros Metalurgistas plenos, num curso de 10 semestres (5 anos), capacitados para atuarem profissionalmente nas áreas de Metalurgia Extrativa, Metalurgia de Transformação, Caracterização de Produtos Metalúrgicos, Controle da Qualidade e Otimização de Propriedades e da Vida em Serviço de Produtos Metalúrgicos. Conforme artigo 13 da Resolução nº248 de 31 de julho de 1973 do CONFEA e legislação aplicável em vigor nos diversos níveis Federal e Estadual.

### **Perfil do aluno formado**

Deseja-se que o aluno formado em Engenharia Metalúrgica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo tenha sólida formação fundamental em Matemática e Física para engenharia, tenha conhecimentos muito bons das chamadas Ciências de Engenharia tais como Físico-Química, Fenômenos de Transporte, Computação, Resistência dos Materiais, Eletrotécnica Geral, Mecânica dos Fluidos, Modelagem Matemática e Estatística, tenha conhecimentos teóricos e práticos de todas as disciplinas ditas profissionalizantes, tais como Metalurgia Física, Siderurgia, Transformações de Fases, Metalurgia Extrativa dos Metais Ferrosos e Não-Ferrosos, Preservação do Meio Ambiente, Fundição, Conformação Mecânica, Soldagem, Metalurgia do Pó, Tratamentos Térmicos, Superficiais e de Acabamento, Técnicas de Caracterização e de Análise Microestrutural dos Materiais, Mecânica da Fratura, Corrosão, Análise de Falhas e Seleção de Materiais. Além do acima exposto, deseja-se que o egresso do curso de Engenharia Metalúrgica tenha com conhecimentos das chamadas disciplinas relacionadas à gestão da produção, tais como Administração Geral e da

Produção, Custos, Análise de Empreendimentos, Matemática Financeira e Noções de Direito. Deseja-se que os alunos formados desenvolvam adicionalmente comportamento ético, noções de cidadania, espírito crítico e empreendedor, e capacidade de liderança e inovação.

### **Habilidades e competências**

Os egressos do curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo deverão ser capazes de projetar instalações metalúrgicas, delinear processos metalúrgicos, operar e gerenciar a execução da produção metalúrgica, operar e gerenciar os laboratórios de controle de qualidade metalúrgica, executar atividades de pesquisa básica e aplicada nas áreas de processos, ensaios e caracterização de produtos metalúrgicos, especificar e selecionar materiais e efetuar a análise de falhas de materiais em serviço.

### **Duração do curso**

O curso de Engenharia Metalúrgica tem duração de 10 semestres (cinco anos). O curso de insere na Grande Área de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, juntamente com o próprio curso de Engenharia Química, o Curso de Engenharia de Minas e Petróleo e o Curso de Engenharia de Materiais. O chamado Ciclo Básico é constituído pelos dois primeiros anos do Curso, quando são ministradas as disciplinas de formação básica, notadamente em Matemática e Física, porém incluindo algumas disciplinas específicas da área, notadamente “Introdução à Ciência dos Materiais para a Engenharia” no segundo semestre, comum a todos os cursos de Engenharia da Escola Politécnica, e sua continuação “Ciência dos Materiais”, no terceiro semestre, específica aos alunos da “Grande Área - Química”. O terceiro ano constitui o chamado “Núcleo Comum – Materiais” onde o aluno terá um conjunto de disciplinas de caráter mais fundamental, comuns aos cursos de Engenharia Metalúrgica e de Engenharia de Materiais. Os dois anos subsequentes constituem o chamado ciclo profissionalizante, quando são ministradas as disciplinas diretamente relacionadas ao desenvolvimento de habilidades profissionais e as disciplinas complementares de formação em engenharia e as relacionadas ao desenvolvimento de capacitação gerencial. Para concluir o curso são necessários 260 créditos equivalentes a uma carga horária de 4425 horas.

### **Metodologia de ensino**

O curso é fundamentado em aulas teóricas expositivas e expositivas dialogadas, aulas de exercícios, aulas práticas de laboratório, elaboração de trabalhos de revisão com pesquisa bibliográfica pertinente, organização e apresentação de seminários, análise de casos, visitas técnicas a empresas e estágios. O curso exige de cada aluno a redação e apresentação de um trabalho de formatura, realizado durante o primeiro e o segundo semestres do último ano letivo do curso. O curso abre 20 vagas por ano para a matrícula de novos alunos. É importante

ressaltar que boa parte dos alunos desenvolve atividades de iniciação científica, o que permite um maior contato do aluno com as atividades de pesquisa desenvolvidas no departamento. Outro aspecto recente de importância é o gradativo processo de internacionalização pelo qual o curso tem passado, reflexo de um extensivo processo pelo qual a Escola Politécnica tem passado ao longo dos últimos 10 anos. Os alunos têm a oportunidade de fazerem parte de seus cursos em instituição estrangeira conveniada (sempre dentre as melhores em seus respectivos países), para o que são submetidos a exame de seleção. Existem duas modalidades principais de estágio no exterior: o “programa de duplo-diploma” e o de “aproveitamento de estudos”. No primeiro, o aluno tipicamente cursa seu curso na EPUSP até o final do 7º semestre, após o que passa dois anos na instituição estrangeira, cursando disciplinas e participando de todas as atividades às quais um aluno regular dessa instituição tem que atender. Após esse período, o aluno retorna à EPUSP, conclui suas atividades referentes ao 10º semestre de seu curso e conclui o curso, recebendo, então, os diplomas (regulares) das duas instituições onde fez seu curso: da EPUSP e da estrangeira. Todos os seus créditos cursados na instituição conveniada no exterior são aceitos integralmente. Na outra modalidade, “aproveitamento de estudos”, o aluno tem mais flexibilidade quanto ao semestre em que cursa um ou dois semestres na instituição estrangeira. Porém, o aproveitamento de créditos como disciplinas equivalentes tem que ser solicitados ao retornar ao Brasil. Mesmo sem equivalência de disciplinas, todos os créditos cursados no exterior são lançados em seu histórico escolar. Por fim, existe ainda a possibilidade de o aluno envolver-se em estágio técnico no exterior, tipicamente por um semestre.

### **Conteúdo fundamental específico**

Os cursos de Engenharia Metalúrgica e de Engenharia de Materiais contém um bloco de disciplinas em comum, que objetiva fornecer ao aluno uma formação generalista no que comumente se designa por “Ciência dos Materiais”. Estas disciplinas, apesar de não serem propriamente “profissionalizantes”, fornecem ao aluno a base para que as disciplinas do núcleo profissionalizante venham a ser desenvolvidas. As disciplinas associadas a este conteúdo fundamental específico são: “Fundamentos de Cristalografia e Difração”; “Transformações de Fases”; “Diagramas de Fases”; “Estrutura e Propriedades dos Polímeros”; “Metalurgia Física” e “Cerâmica Física”, perfazendo um total de 21 créditos ou 315 horas/aula, o que corresponde a aproximadamente 7,1% do total do curso.

### **Conteúdo profissionalizante do curso**

O ciclo profissionalizante do curso inicia-se já no 5º semestre letivo já no “Núcleo Comum - Materiais” e termina no 10º semestre. Este ciclo compreende 111 créditos em seu total, o que corresponde aproximadamente a 40% da carga horária total do curso. Para a formação profissionalizante em Engenharia

Metalúrgica são ministradas disciplinas associadas a cada um dos setores da Engenharia Metalúrgica, a saber: Processos de Metalurgia Extrativa; Processos de Conformação, Otimização e Soldagem e Projeto de Engenharia.

Assim, em Processos de Metalurgia Extrativa, tem-se: Beneficiamento de Minérios, Fenômenos de Transporte em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Físico-Química para Engenharia Metalúrgica e de Materiais I (Termodinâmica), Físico-Química para Engenharia Metalúrgica e de Materiais II (Cinética química), Laboratório de Processos Metalúrgicos, Matérias-primas metalúrgicas, Siderurgia – I (Processos de redução), Siderurgia II (Aciaria) e Metalurgia extrativa dos Não ferrosos.

As disciplinas associadas ao Processo de Conformação, Otimização e Soldagem são as seguintes: Metalografia e Tratamento Térmico dos Metais, Transformação Mecânica I, Processamento de Pós Metálicos e Cerâmicos, Tecnologia e Ciência da Fundição de Metais, Transformação Mecânica II, Soldagem e Junção dos Materiais e Corrosão e proteção.

As disciplinas associadas ao Projeto de Engenharia são: Laboratório de Eletricidade Geral; Eletrotécnica Geral; Resistência dos Materiais; Laboratório de Manufatura Mecânica; Elementos de Máquinas; Modelos Matemáticos e Simulação; Mecânica dos Materiais; Mecânica dos Materiais Metálicos e Seleção de Materiais e Análise de Falhas.

Além das disciplinas relacionadas a cada um dos setores da Engenharia Metalúrgica, o ciclo profissionalizante do curso contempla algumas disciplinas de caráter geral para a formação profissional do engenheiro em Gestão na Indústria, a saber: Instituições de Direito; Introdução à Engenharia Ambiental; Estatística I; Princípios de Administração de Empresas e Princípios da Gestão de produção e logística.

### **Conteúdo profissionalizante complementar**

O curso ainda prevê algumas atividades que devem ser consideradas como complementares à formação do aluno. Duas destas atividades são responsáveis por boa parte da carga horária do curso são obrigatórias: “Estágio Supervisionado” e “Trabalho de Formatura”, sendo esta última desenvolvida nos dois semestres do quinto ano, perfazendo no total 585 horas/aula (13,5% do curso).

Além disto, o aluno deve cumprir seis créditos em disciplinas optativas de um elenco atualmente formado por: “Processamento de Materiais Poliméricos”; “Mecânica dos Materiais Metálicos”; “Reciclagem de Resíduos Industriais”; “Tecnologia de Refratários”; “Laboratório de Termodinâmica Computacional” e “Blendas e Compósitos Poliméricos”, “Modelamento e Simulação na Conformação de Metais e Materiais”, “Controle da Qualidade” e “Transformações de Fase em Aços e Ferros Fundidos”.

## **Salas de aula**

As aulas do ciclo básico são ministradas principalmente nas dependências do Prédio do Biênio da Escola Politécnica. Já no ciclo profissionalizante, as aulas são ministradas primariamente nas dependências do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, que dispõe de 4 salas de aulas com 50 lugares, um anfiteatro para 120 lugares e uma sala de aula específica para as aulas ministradas no Laboratório de Caracterização Microestrutural. Disciplinas isoladas dentro do conteúdo profissionalizante são ainda ministradas nas dependências dos seguintes departamentos da Escola Politécnica: Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, Departamento de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Departamento de Engenharia Civil - Estruturas, Departamento de Engenharia Elétrica e Departamento de Engenharia de Produção. As salas de aula contem instalações para a utilização de recursos audiovisuais.

## **Laboratórios**

Os laboratórios utilizados no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais para o curso de Engenharia Metalúrgica e de Engenharia de Materiais são os seguintes: Laboratório de Análises Térmicas, Laboratório de Caracterização de Dispersões Cerâmicas, Laboratório de Caracterização Microestrutural, Laboratório de Computação em Ciência dos Materiais, Laboratório de Processos Eletroquímicos, Laboratório de Ensaio Mecânicos, Laboratório de Fusão-Redução, Laboratório de Processos a Altas Temperaturas, Laboratório de Junção, Laboratório de Materiais Compósitos, Laboratório de Microscopia de Varredura e Microanálise, Laboratório de Processos Metalúrgicos, Laboratório de Soldagem, Laboratório de Análise de Materiais Poliméricos, Laboratório de Processamento de Materiais Poliméricos, Laboratório de Processamento de Materiais Cerâmicos, Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos e Poliméricos.

## **Infraestrutura em recursos de informática**

A infraestrutura de informática do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais que é colocada à disposição dos alunos dos cursos de Engenharia Metalúrgica e de Engenharia dos Materiais é a seguinte: uma rede local composta de 30 microcomputadores, com acesso à Internet por fibra ótica, sendo que quatro dos computadores estão ligados a impressoras e/ou scanner de alta resolução. Aproximadamente outra dezena está conectada a sistemas de aquisição de imagens de microscópios. Existem softwares específicos para microscopia ótica (aquisição e análise de imagens), microscopia eletrônica (reconstrução tridimensional de topografia); microanálise química EDS com correção ZAF, curvas de transformação de fases em aços, soldagem, cálculo de diagramas de fases, seleção de materiais e simulação física de processos. Adicionalmente,

existem duas estações de trabalho e um microcomputador para termodinâmica computacional; sala para alunos de graduação com 10 microcomputadores em rede com servidor local; diversos microcomputadores dedicados à aquisição de dados nos vários laboratórios. Deve-se ressaltar ainda que o Centro de Computação Eletrônica da USP e a Assessoria de Informática da Escola Politécnica fornecem suporte técnico de hardware e software para todos os usuários do sistema.

## **Infraestrutura – Biblioteca**

A Biblioteca da Escola Politécnica é composta de uma Biblioteca Central e de Bibliotecas Setoriais nos diversos departamentos. A Biblioteca Setorial do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, que serve aos alunos dos cursos de Engenharia Metalúrgica e de Engenharia de Materiais, ocupa uma área de 260,90 m<sup>2</sup>, possuindo 12 lugares da Sala de Leitura Externa, duas salas de estudo individual, uma sala de estudo em grupo, uma sala para pesquisa em CD\_ROM, 20 lugares junto ao acervo, quatro estações de consulta a Bases de Dados e Internet, bagageiro para guarda de materiais. O acervo é composto de 6.166 volumes de livros, 40.422 volumes de periódicos (249 títulos estrangeiros e 29 outros, nacionais), 652 volumes de teses e dissertações, 180 multimeios e 1043 outros documentos. Estão disponíveis as bases de dados CENWIN, COMPENDEX e METADEX, Normas ASTM, Portal CAPES, SIBINET, serviços de empréstimos entre Bibliotecas: EEB, visitas monitoradas, pesquisa bibliográfica, normas teóricas ABNT, periódicos eletrônicos. A localização de documentos pode se feita por catálogo local, Banco de Dados Bibliográficos da USP-DEDALUS, IBICT na Internet e catálogos de Bibliotecas na Internet (UNICAMP, UNESP, UNM, CISTI). Cópias de documentos podem ser obtidas por computação tradicional, COMUT, Consórcio INSTEC-LIGDOC e British Library. A Biblioteca Setorial de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pode ser acessada através do endereço <http://www.epbib.usp.br>.

## **ANEXOS**

A seguir, neste documento, encontram-se 3 anexos: o primeiro traz a estrutura curricular do curso de Engenharia Metalúrgica, o segundo traz as ementas das disciplinas do curso, enquanto que o terceiro traz a lista dos docentes envolvidos, com os respectivas links para acessar seus currículos Lattes-CNPq.

# ANEXO 1

## Estrutura Curricular

### **Quinto semestre, curso: ENGENHARIA – NÚCLEO COMUM - MATERIAIS – 3091 - 200**

Disciplina	Créditos
PMT2301 Fundamentos de Cristalografia e Difração	3-0-0
PMT2303 Fenômenos de Transporte em Eng <sup>a</sup> Metalúrgica e de Materiais	4-0-0
PMT2305 Físico-química para Engenharia Metalúrgica e de Materiais I	4-0-0
PMT2309 Metalurgia Física	4-0-0
PRO2201 Estatística I	4-0-0
PEA2395 Eletrotécnica Geral	4-0-0
PMT2311 Cerâmica Física	3-0-0
PMT2403 Matéria Primas Metalúrgicas	2-1-0
<b>Total</b>	<b>28-1-0</b>

**Carga horária semestral: 450 horas/aula**

### **Sexto semestre, curso: ENGENHARIA – NÚCLEO COMUM - MATERIAIS – 3091 – 200**

Disciplina	Créditos
PMT2302 Transformações de Fases	6-0-0
PMT2304 Modelos Matemáticos e Simulação	4-0-0
PMT2306 Físico-química para Engenharia Metalúrgica e de Materiais II	4-0-0
PMT2308 Estrutura e Propriedades dos Polímeros	3-0-0
PMT2310 Introdução ao Método e à Redação Científica	1-1-0
PEA2393 Laboratório de Eletricidade Geral I	4-0-0
PEF2307 Resistência dos Materiais	4-0-0

PHD2218- Introdução à Engenharia Ambiental	2-0-0
Total	28-1-0

**Carga horária semestral: 450 horas/aula**

**Sétimo semestre, curso: ENGENHARIA METALÚRGICA – 3061**

Disciplina	Créditos
PMT2401 - Laboratório de Processos Metalúrgicos	2-0-0
PMT2405 - Mecânica dos Materiais	4-0-0
PMT2409 - Siderurgia I – Processos de Redução	4-0-0
PMI2759 - Beneficiamento de Minérios	4-0-0
PMR2203 - Laboratório de Manufatura Mecânica I	2-0-0
PMR2372 - Introdução aos Elementos de Máquinas	4-0-0
PMT2423 Físico-Química para Metalurgia e Materiais III	2-0-0
PMT2518 Hidrometalurgia	2-0-0
DFD0451- Instituições de Direito	2-0-0
Total	26-0-0

**Carga horária semestral: 390 horas/aula**

**Oitavo semestre, curso: ENGENHARIA METALÚRGICA – 3061**

Disciplina	Créditos
PMT2402 - Metalografia e Tratamentos Térmicos dos Metais	6-0-0
PMT2410 – Siderurgia II Aciaria	4-1-0
PMT2597 – Estagio Supervisionado	1-6-0
PMT2412 - Processamento de Pós Metálicos e Cerâmicos	2-0-0
PMT2421 Tecnologia e Ciência da Fundição de Metais	3-1-0
PRO2303 - Princípios de Administração de Empresas	4-0-0
Total	21-7-0

**Carga horária semestral: 525 horas/aula**

### **Nono semestre, curso: ENGENHARIA METALÚRGICA – 3061**

Disciplina	Créditos
PMT 2528 – Seleção de Materiais	2-0-0
PMT2526 – Análise de Falhas	2-2-0
PMT2507 - Corrosão e Proteção dos Materiais	2-0-0
PMT2509 - Metalurgia Extrativa dos Metais Não Ferrosos	6-0-0
PMT2512 - Laboratório de Termodinâmica Computacional <b>(Optativa)</b>	2-0-0
PMT2520 - Blendas e compósitos poliméricos <b>(Optativa)</b>	4-0-0
PMT2521 – Conformação dos Materiais Metálicos	4-1-0
PMT2595 - Trabalho de Formatura I	1-6-0
PRO2304 - Princípios de Gestão da Produção e Logística	4-0-0
PMT2504 – Reciclagem de Resíduos Industriais <b>(Optativa)</b>	4-0-0
PMT2513 – Materiais para Aplicações em Altas Temperaturas <b>(Optativas)</b>	2-0-0
PMT2523 – Tecnologia de Refratários	3-0-0
PMT2525 – Transformações de Fase em Aços e Ferros Fundidos	3-1-0
Total	39-10-0

**Carga horária semestral (excluindo optativas): 525 horas/aula**

### **Décimo semestre, curso: ENGENHARIA METALÚRGICA – 3061**

Disciplina	Créditos
PMT 2406 – Mecânica dos Materiais Metálicos <b>(Optativa)</b>	4-0-0
PMT 2514 – Modelamento e Simulação na Conformação de Metais e Materiais <b>(Optativa)</b>	3-1-0
PMT 2418 - Processamento de Materiais Poliméricos <b>(Optativa)</b>	4-0-0
PMT2712 – Controle da Qualidade <b>(Optativa)</b>	4-0-0

PMT 2596 - Trabalho de Formatura II	1-6-0
PMT2505 – Soldagem e Junção de Materiais	4-0-0
Total	20-7-0

**Carga horária semestral (excluindo optativas): 255 horas/aula**

**O aluno deve cumprir 6 créditos em disciplinas optativas nos semestres nono e/ou décimo, perfazendo um total de 90 horas/aula.**

## **ANEXO 2**

### **As Ementas das Disciplinas**

#### **PMT2301 – Fundamentos de Cristalografia e Difração**

Objetivos:

- 1) Revisar de forma resumida e esquemática a microestrutura dos materiais.
- 2) Situar as técnicas de difração no universo das técnicas de análise microestrutural.
- 3) Introduzir conceitos básicos de cristalografia.
- 4) Apresentar de forma detalhada a teoria de difração.
- 5) Apresentar várias aplicações de difração de raios x, elétrons e nêutrons .
- 6) Desenvolver habilidade na interpretação de difratogramas e figuras de difração.

Conteúdo:

As microestruturas dos materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos. As principais técnicas de análise microestrutural. Sistemas e reticulados cristalinos, grupos espaciais e simetria, tipos mais comuns de estruturas cristalinas. Projeção estereográfica e projeção gnomônica. Direção do feixe difratado e a lei de Bragg. Intensidade do feixe difratado. Métodos de difração de raios X. Difração de elétrons e difração de nêutrons. Exemplos de aplicações das técnicas de difração.

#### **PMT2302 – Transformações de Fases**

Objetivos:

Entendimento dos processos de fabricação, no que se refere a tratamentos térmicos, solidificação e sinterização. Termodinâmica e cinética das transformações de fases. Controle de microestruturas.

Conteúdo:

Difusão no estado sólido. Leis de Fick; aplicações. Mecanismos atômicos; processos termicamente ativados; viabilidade termodinâmica e evidências da existência de lacunas. Difusão em materiais não metálicos. Recuperação, recristalização e crescimento de grão. Energia livre de soluções sólidas; metaestabilidade; diagramas de fases. Solidificação; nucleação, crescimento dendrítico e redistribuição de soluto; crescimento de eutéticos; macro e microestruturas brutas de fundição. Decomposição da austenita por processos de difusão; nucleação de um sólido no interior de outro; relação entre morfologia e condições de crescimento. Curvas TTT, TRC e temperabilidade dos aços. Transformações por difusão em sistemas não-ferrosos. Precipitação a baixas temperaturas (envelhecimento). Carater martensítico; transformações martensíticas e bainíticas. Revenimento dos aços. Transformações de fases em materiais cerâmicos.

## **PMT2303 – Fenômenos de Transporte em Engenharia Metalúrgica e de Materiais**

### **Objetivos:**

Introdução de conceitos relacionados com taxa e fluxo de quantidade de movimento, calor e massa, aplicados ao processamento de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos.

### **Conteúdo:**

1. Transporte de quantidade de movimento. 1.1 Tipos de fluidos. Viscosidade e elasticidade. Tensão e escoamento em fluídos newtonianos e não-newtonianos. 1.2 Escoamentos laminar e turbulento. Leitos de enchimento e leito fluidizados. Movimento de partículas em fluídos. 1.3 Medidores de vazão. 1.4 Formação e movimentação de bolhas em líquidos. 1.5 Jatos gasosos em sistemas líquidos. 2 Transporte de calor. 2.1 Condutividade térmica de sólidos, fluídos e meios porosos. 2.2 Transporte de calor por convecção livre e forçada. 2.3 Condução de calor em sólidos. Regime estacionário e transiente. 2.4 Transporte de calor por radiação. 2.5 Transporte de calor na solidificação. 2.6 Comportamento térmico de leitos de enchimento fixos e em leitos fluidizados. 3 Transporte de Massa. 3.1 Difusividade em sólidos, líquidos, gasosos e meios porosos. 3.2 Transferência de massa em sistemas fluídos. Modelos para o coeficiente de transporte de massa. 3.3 Transporte de massa em sistemas heterogêneos. Reações sólidos/gás, sólido/líquido, líquido/líquido e líquido/gás.

## **PMT2304 – Modelos Matemáticos e Simulação**

### **Objetivos:**

Capacitar o aluno a formular modelos matemáticos de fenômenos e processos relevantes na Engenharia Metalúrgica e de Materiais com base em equações algébricas e diferenciais e fornecer ferramentas para a resolução destas equações.

### **Conteúdo:**

1.Introdução. 2.Revisão de conceitos importantes do cálculo diferencial. 3. Desenvolvimento das equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia. 4. Introdução a Linguagens Visuais de Programação. 5. Método da Transformada de Laplace. 6. Método da combinação de variáveis. 7. Método da separação de variáveis. 8. Modelos clássicos em transformação de fases. 9. Métodos numéricos para resolução de equações diferenciais ordinárias. 10. Métodos numéricos para resolução de equações diferenciais a derivadas parciais.

## **PMT2305 – Físico-química para Engenharia Metalúrgica e de Materiais-I**

### **Objetivos:**

Aprendizado e treinamento da aplicação das Leis da Termodinâmica às transformações (reações químicas e transformações de fase) de interesse nas Engenharias Metalúrgica e de Materiais. Desenvolver habilidade de cálculo e de interpretação do equilíbrio de sistemas unitários, binários e multicomponentes.

### **Conteúdo:**

Introdução e Definições. Princípio Zero e Primeiro Princípio. Aplicações das funções Energia Interna, Entalpia, Calor, Trabalho e Capacidade Térmica. Definição de Calor de Transformação, de Calor de Formação e de Calor de Reação. Balanço Térmico. Segundo Princípio. Aplicações da função Entropia. Potenciais Termodinâmicos. Equação de Clausius-Clapeyron. Equação de Gibbs-Helmholtz. Diagrama de Equilíbrio para Sistemas Unitários. Introdução à Termodinâmica Estatística. Sistemas abertos / heterogêneos: Potencial Químico. Grandezas Molares. Equação de Gibbs-Duhem. Equilíbrio das fases gasosas - sistemas simples e complexos. Equilíbrio das fases condensadas: Atividade Raoultiana. Desvios da idealidade. Lei de Henry. Soluções Regulares. Generalização da constante de equilíbrio. Diagrama de Richardson-Ellingham. Atividade Henryana. Sistemas multicomponentes: parâmetros de interação. Diagrama de Equilíbrio - sistemas binários: Curvas de Energia Livre em função da composição e temperatura, Transformação espinodal, Metaestabilidade.

## **PMT2306- Físico-química para a Engenharia Metalúrgica e de Materiais-II**

### **Objetivos:**

Aprendizado sobre a Cinética das Reações presentes nas principais aplicações da Engenharia Metalúrgica e de Materiais: mecanismos para reações homogêneas e heterogêneas (reações sólido/fluido - com e sem transferência de cargas elétricas - reações líquido/líquido e líquido/gás).

### **Conteúdo:**

Introdução geral. Classificação das reações. Definição de velocidade de reação. Cinética de Reações Homogêneas: Ordem e Molecularidade; Pesquisa de Mecanismo; Métodos de determinação da Ordem das Reações; Efeito da Temperatura (Equação de Arrhenius). Introdução à Cinética das Reações Heterogêneas: Difusão em meio estacionário; Leis de Fick; Integração da Segunda Lei de Fick; Modelo da Camada Limite de Nernst; Adsorção. Reações Sólido/Gás: Sólido Denso; Controle por Difusão Gasosa, por Difusão na Camada de Cinza e por Reação Química; Reações Sólido Poroso/Gás. Reações Sólido/Líquido com Transferência de Cargas Elétricas: Equilíbrio Eletroquímico - Equação de Nernst; Cinética - Equação de Butler-Volmer; Curvas de Polarização: Controle eletroquímico e por transporte de massa - densidade de corrente limite; Passivação. Cinética do Eletrodo Misto: velocidade de reação do eletrodo misto (exemplos de corrosão e eletrodeposição). Reações Líquido/Líquido: Processos

controlados por Difusão e Reação na Interface; Teoria das Velocidades Virtuais Máximas de Wagner; Aplicações para Fases Metálicas e Escórias Metalúrgicas; Reações Metal/Escória controladas por Mecanismo Eletroquímico (Cinética do Eletrodo Misto). Reações Líquido/Gás: Vaporização Livre; Cinética de Reações envolvendo fases Metálicas.

### **PMT2307 – Diagramas de Fases**

Objetivos:

Ensinar ao aluno de Engenharia Metalúrgica e Engenharia de Materiais os princípios, leitura e aplicação de Diagramas de Fases.

Conteúdo:

Sistemas binários: reações, solidificação e aspectos microestruturais. -Sistemas ternários: métodos de representação, reações. Sistemas ternários aplicados a materiais cerâmicos refratários. Sistemas ternários aplicados a metais. - Sistemas pseudo-binários. Técnicas experimentais de obtenção de diagramas.

### **PMT2308 - Estrutura e Propriedades dos Polímeros**

Objetivos:

Introduzir conceitos básicos sobre a influência da estrutura química dos materiais poliméricos na morfologia e nas propriedades mecânicas, óticas, elétricas e químicas.

Conteúdo:

Introdução: nomenclatura, arquitetura molecular e estrutura configuracional. Estado sólido: amorfo, cristalino e elastomérico. Estrutura e propriedades: propriedades mecânicas, óticas, elétricas e químicas. Plásticos, fibras e elastômeros. Polímeros líquido-cristalinos. Blendas poliméricas: conceito, comportamento físico-mecânico, interfaces. Compósitos poliméricos: conceito, comportamento físico-mecânico, interfaces.

### **PMT2309 – Metalurgia Física**

Objetivos:

Entendimento dos processos de deformação plástica e de endurecimento dos materiais metálicos.

Conteúdo:

Escorregamento e sua relação com a estrutura cristalina. Tensão de cisalhamento projetada crítica. A necessidade de discordâncias. Discordâncias em cristais; discordâncias em hélice e em cunha. Movimentação de discordâncias. Propriedades elásticas. Discordâncias em cristais cfc. Discordâncias em outras estruturas. Evidências experimentais de discordâncias. Deformação plástica:

movilidade e multiplicação de discordâncias. Encruamento de monocristais. Influência de contornos de grão sobre plasticidade; encruamento de policristais. Estruturas de discordâncias em metais deformados plasticamente. Endurecimento por solução sólida; solutos substitucionais e intersticiais. Endurecimento por segunda fase.

### **PMT2311 – Cerâmica Física**

#### **Objetivos:**

Apresentação dos principais materiais cerâmicos abordando desde a estrutura cristalina, passando pelos defeitos puntiformes e os processos de transporte de carga elétrica e concluindo com a sinterização dos materiais cerâmicos e sua microestrutura.

#### **Conteúdo:**

Estrutura de Materiais Cerâmicos. Tipos de Estruturas em Materiais Cerâmico, Estabilidade de Cristais Iônicos, Silicatos Cristalinos, Estrutura do Vidro, Defeitos em Materiais Cerâmicos, Defeitos Puntiformes, Equilíbrio Simultâneo de Defeitos, Precipitação e Associação de Defeitos, Interação entre Defeitos Puntiformes e Interfaces, Defeitos Lineares e Planos, Transporte Elétrico e de Carga em Materiais Cerâmicos, Processo de Difusão, Condutividade Elétrica, Potencial Eletroquímico, Microestrutura de Materiais Cerâmicos, Capilaridade, Crescimento de Grão e Coalescimento, Sinterização, Sinterização sob Pressão, Vidros e Vitro-Cerâmicos, Propriedades de Compósitos Cerâmicos.

### **PMT2401 - Laboratório de Processos Metalúrgicos**

#### **Objetivos:**

Introduzir ao aluno de Engenharia Metalúrgica noções práticas sobre o processamento de materiais metálicos

#### **Conteúdo:**

Ensaio granulométrico. Sintonização e minério de ferro. Redução aluminotérmica de minérios oxidados. Briquetagem redução carbotérmica de óxido de cobre preto. Preparo de cadinho refratário monolítico. Moldagem e fundição de peça de Al-Si. Fluidez Herty de escórias. Refino eletrolítico de cobre. Efeito da umidade do molde na fundação de alumínio.

### **PMT2402 - Metalografia e Tratamentos Térmicos dos Metais**

#### **Objetivos:**

Estudar as principais famílias de ligas metálicas, estabelecendo relações entre microestrutura, propriedades e processamento. Preparação de amostras metalográficas e identificação dos componentes microestruturais de materiais

metálicos durante caracterização microestrutural. Otimização e projeto de microestruturas através do controle das variáveis de processo, usando os conceitos de teoria de transformações de fases. Redação de relatórios técnicos de caracterização microestrutural

Conteúdo:

História da metalografia; Uso do laboratório; Aços: diagrama Fe-C, austenitização, crescimento de grão, decomposição da austenita, curvas TTT, efeito dos elementos de liga, transformações em aços resfriados lentamente e rapidamente, transformação bainítica, transformação martensítica e revenimento. Propriedades, relação entre a microestrutura, processo de fabricação e propriedades; aplicações: aços inoxidáveis, aços ferramenta, ferros fundidos brancos de alta resistência ao desgaste, ferros fundidos cinzentos e nodulares, ligas de alumínio, ligas de cobre, ligas de titânio e superligas de níquel. Aulas práticas de laboratório e produção de relatórios técnicos

### **PMT2403 - Matérias Primas Metalúrgicas**

Objetivos:

Dar uma visão geral e orgânica das principais matérias primas e seu processamento nas indústrias metalúrgicas primárias e secundárias. Aplicar fundamentos da termodinâmica para instrumentalizar os alunos na realização de cálculos de combustão, dimensionamento de fornos, etc. Fornecer idéias básicas para especificação de revestimento refratários de fornos.

Conteúdo:

1) Introdução: fluxograma geral da metalurgia extrativa. Processos e operações unitárias; processamento e engenharia industrial. Minérios e minerais; tipos de minérios metálicos e não metálicos e suas características físicas, químicas e estrutura. Noções básicas de sustentabilidade e aproveitamento de resíduos industriais. 2) Processos de condicionamento dos minérios e concentrados. Secagem e calcinação. Aglomeração: sinterização, pelletização e briquetagem: processos, fenômenos unitários e equipamentos. Ustulação. 3) Combustíveis e combustão: estudo da combustão do carbono, gaseificação e reforma do gás natural; carvão mineral, tipos e qualidade, coqueificação e gaseificação. Combustíveis líquidos e gasosos, tecnologia de combustão e cálculos de temperatura adiabática de chama, volume de comburente e de fumos e composição dos fumos; cinética e eficiência da combustão. 4) Refratários: tipos, e utilizações específicas; estudo dos óxidos e diagramas de fase; características estruturais e propriedades: ponto de amolecimento, resistência ao choque térmico, etc. 5) Estudo de caso de alguns reatores e fornos metalúrgicos.

## **PMT2405 - Mecânica dos Materiais**

### **Objetivos:**

Discutir e comparar o comportamento mecânico das diversas classes de materiais (cerâmicos, metálicos, poliméricos e compósitos) e sua relação com a estrutura e a microestrutura. Apresentar e discutir os fundamentos da mecânica da fratura. Compreender os conceitos de resistência mecânica, tenacidade, resistência à fadiga e à fluência. Discutir noções de filosofia de projeto mecânico em solicitações de fadiga e fluência, assim como de projetos regidos pela mecânica da fratura. Compreender os fundamentos dos ensaios mecânicos e sua aplicabilidade. Aprender como localizar dados relevantes sobre o comportamento mecânico de materiais específicos.

### **Conteúdo:**

Revisão de resistência dos materiais: tensores de tensão e de deformação, círculos de Mohr em duas e três dimensões, estados planos de tensão e de deformação. Elasticidade linear: módulos elásticos, coeficiente de Poisson, elasticidade em monocristais. Mecânica da fratura linear elástica (MFLE): trincas e concentradores de tensão, critério de Griffith, tenacidade à fratura e outros parâmetros da MFLE, propagação de trinca acompanhadas de plasticidade limitada. Plasticidade: tensão e deformação reais, parâmetros da curva tensão deformação, noções da teoria matemática da plasticidade, instabilidades plásticas, deformação plástica em estados de tensão triaxiais, critérios de escoamento e de falha, estampabilidade de chapas metálicas, ensaios de estampabilidade, curva-limite de conformação (CLC) e análise de grade de círculos. Noções da Mecânica da Fratura Elasto-plástica (MFEP): Crítica à MFLE, parâmetros da MFEP - deslocamento de abertura de trinca (COD) e deslocamento de abertura de ponta de trinca (CTOD), Integral J, curva R. Mecanismos de deformação plástica e de fratura: Geometria da deformação plástica em monocristais, lei de Schmid, deformação por escorregamento de discordâncias em monocristais, teorias do encruamento, mecanismos de fratura dúctil em metais, fratura taça-cone, bandas de cisalhamento, deformação plástica em materiais amorfos, deformação plástica em materiais cerâmicos e granulares, deformação plástica em materiais poliméricos (microfibrilamento), mecanismos de fratura em polímeros semi-cristalinos, maclação mecânica, fratura frágil em materiais cristalinos (clivagem e fratura intergranular), aspectos morfológicos da fratura frágil em materiais amorfos. Ensaio de impacto e a transição dúctil frágil: ensaios de pêndulo (Charpy e Izod), transição dúctil-frágil, ensaio de queda de peso, temperatura de transição para ductilidade nula (NDT), Análise de Weibull. Viscoelasticidade e Fluência: comportamento viscoso, ensaios de fluência e de relaxação de tensão, viscosidade, viscoelasticidade linear, modelos de Maxwell e de Voigt, modelos mais complexos, fluência em polímeros - curva mestre, módulos complexos, fluência em materiais cristalinos, relações fenomenológicas na fluência de materiais metálicos e cerâmicos, métodos de extrapolação, fluência em estados triaxiais de tensão, relaxação de tensão, mecanismos de fluência em materiais cristalinos, equação de Mukherjee-Bird-Dorn, superplasticidade, mecanismos de

fratura em fluência. Fadiga dos materiais: fenomenologia da fadiga, curva S-N e o limite de fadiga, fadiga em alto e baixo ciclo, análise de Coffin-Manson, diagramas de vida constante, aspectos morfológicos e microestruturais da fadiga, nucleação da trinca de fadiga, propagação da trinca de fadiga, fractografia, teorias da acumulação de danos, aplicação da MFLE à fadiga, curva de Paris, efeitos da razão de fadiga (R), desvios do comportamento de Paris, trincas curtas, efeitos de sobrecargas e subcargas, comparação entre modelos de fechamento prematuro de trinca e a teoria de dois parâmetros de Vasudevan e Sadananda, fadiga operacional, fadiga em modo misto, critérios de projeto mecânico orientado à fadiga. Efeitos do ambiente sobre o comportamento mecânico dos materiais: fragilização por hidrogênio e corrosão-sob-tensão (CST) em materiais metálicos, fadiga estática de materiais cerâmicos, degradação de polímeros. Mecânica dos materiais compósitos: definições e nomenclaturas, estimativa de propriedades dos compósitos, modelos de Reuss e de Voigt, plasticidade em compósitos, fratura em compósitos.

### **PMT2406 - Mecânica dos Materiais Metálicos**

#### **Objetivos:**

Aprofundar os conhecimentos adquiridos em PMT2405, Mecânica dos Materiais, com ênfase no comportamento mecânico dos materiais metálicos. Discutir os mecanismos que levam ao aparecimento de textura cristalográfica durante a conformação mecânica dos materiais metálicos. Discutir o efeito da textura cristalográfica sobre o comportamento mecânico dos materiais. Discutir os fundamentos dos processos de tratamento termo-mecânicos aplicados a materiais metálicos.

#### **Conteúdo:**

Heterogeneidades de deformação plástica, Comportamento mecânico a quente de materiais metálicos, Textura cristalográfica, Fadiga de baixo ciclo e microestruturas de deformação em fadiga em metais e ligas.

### **PMT2409 - Siderurgia I – Processos de Redução**

#### **Objetivos:**

Apresentar tanto os fundamentos científicos como os processos tecnológicos de redução dos minérios de ferro, obtendo-se como produtos: o gusa e o ferro esponja. Mostrar os contextos mundial e brasileiro do mercado dos produtos siderúrgicos. Analisar os aspectos termodinâmicos e cinéticos das reações metalúrgicas envolvidas nesses processos. Avaliação do Alto – Forno e de reatores que usam reações de redução direta, tais como: HyL; Midrex; Purofer, etc.

Conteúdo:

1. Introdução: histórico do desenvolvimento da siderurgia no Brasil e no mundo. 2. Reações metalúrgicas típicas que ocorrem na redução de minérios de ferro: aspectos termodinâmicos e cinéticos. 3. O Alto – forno: equipamentos auxiliares. 4. Alto – forno: divisão em zonas. 5. Alto – forno: reações de redução no seu interior. 6. Alto – forno: balanço de massa e térmico. 7. Processos alternativos de redução de minérios de ferro. 8. Noções sobre fabricação de Fe – ligas.

## **PMT2410 - Siderurgia II – Aciaria**

Objetivos:

Apresentar os processos tecnológicos de produção, refino e solidificação dos aços em usinas integradas e semi-integradas, aplicando diversas ferramentas para o cálculo, otimização e simulação dos processos metalúrgicos.

Conteúdo:

Formar uma visão sistêmica da siderurgia dentro da Metalurgia Extrativa, conceituando usinas integradas e semi-integradas e apresentando a organização do parque siderúrgico brasileiro. Instrumentar o aluno para analisar quantitativamente, com base na físico-química aplicada, os processos unitários de refino do aço e fornecer alguns fundamentos para o controle da qualidade dos lingotes de aço com base na teoria da solidificação e na metalurgia física do fundido resultante. Contribuir para formar uma visão moderna da siderurgia do início do século XXI, no plano mundial, pela leitura de artigos selecionados, em inglês, e de notícias dos meios de comunicação correntes, incluindo recursos da Internet. Apontar a direção dos principais desenvolvimentos esperados para as próximas décadas e a identificação das principais áreas de pesquisa operacional e teórica requeridas para sua otimização..

## **PMT2412 - Processamento de Pós Metálicos e Cerâmicos**

Objetivos:

Mostrar fundamentos técnico-científicos dos processos de produção de peças elaboradas por metalurgia de pós-metálicos e cerâmicos. Apresentar a dependência entre propriedades, processamento e desempenho. Desenvolver a análise crítica para melhoria e inovação de processos e propriedades de produtos obtidos por essa tecnologia.

Conteúdo:

Introdução: peças sinterizadas, propriedades especiais, limitações e custos comparativos. Processos de produção de pós metálicos e cerâmicos. Consolidação de materiais particulados. Fundamentos teóricos e mecanismos de consolidação. Teoria da sinterização: estágios, pré – ligadas e mistura de pós. Sinterização com fase líquida; sinterização ativada. Controle de porosidade na sinterização. Fornos

de sinterização: controle de atmosfera. Processos de infiltração e de tratamento superficial. Processos especiais de consolidação. Materiais compósitos.

### **PMT2421 – Tecnologia e Ciência da Fundição de Metais**

Objetivos:

Capacitar o aluno a atuar nos processos de fundição industriais e no projeto de peças fundidas.

Conteúdo:

Conceitos Básicos dos Processos de Fundição; Sistemas de Canais em Moldes de Fundição; Sistemas de Alimentação em Moldes de Fundição; Tensões Residuais, Distorções e Trincas; Fundição em Areia Verde; Sistemas de Resinas para a Moldagem e Macharia; Moldagem em Casca (Processo “Shell”); Fundição de Precisão; Fundição em Moldes Permanentes; Processamento de Ligas Eutéticas; Gases, Inclusões e Filmes de óxido.

### **PMT2502 - Controle da Poluição na Indústria Metalúrgica**

Objetivos:

Apresentar os problemas e conceituação relacionados ao tratamento de resíduos sólidos, seu gerenciamento, as principais tecnologias disponíveis e estudos de casos.

Conteúdo:

Técnicas de controle de poluição atmosférica. 2- Técnicas de tratamento de efluentes líquidos. 3- Introdução aos resíduos sólidos: conceituação, legislação brasileira e internacional, ciclo de vida, gerenciamento integrado de resíduos sólidos. 4- Estudos de casos: controle de poluição em usinas siderúrgicas, controle de poluição em indústria de alumínio, polímeros, cerâmica. 5 – Técnicas de reciclagem de materiais: metais, cerâmicas e polímeros.

### **PMT2504 - Reciclagem de Resíduos Industriais**

Objetivos:

Dar aos alunos conhecimento específico sob estratégias para campanhas de reciclagem dentro de uma determinada colividade ou empresa. Mostrar os principais processos para a reciclagem de diversos materiais.

Conteúdo:

1- Reciclagem: filosofia da reciclagem, programas educacionais, definição de objetivos e estratégias, 3 “Rs”, estatísticas e experiências nacionais e internacionais. 2- Equipamentos e técnicas de segregação, separação e compactação ou prensagem de materiais. 3- Sistemas e estratégias para

reciclagem de resíduos sólidos urbanos. 4- Reciclagem de baterias: chumbo ácido, pilhas secas, alcalinas, baterias de Ni-Cd. 5- Reciclagem de plásticos: separação por densidade, flotação, separação eletrostática, processos industriais. 6- Reciclagem de papel. 7- Tratamento de rejeitos e entulho de construção civil. 8- Reciclagem de sucata eletrônica: tipos de sucata, recuperação de metais preciosos, técnicas de separação de componentes. 9- Reciclagem de alumínio: mercado, tipos de ligas, tipos de equipamentos, tratamento de drosses. 10- Reciclagem de vidros: segregação de espécies, processos de tratamento. 11- Tratamento de efluentes de galvanização: precipitação de lodos, troca iônica, membrana, técnicas eletroquímicas. 12- Reciclagem de automóveis. 13- reciclagem de pneus.

## **PMT2505 - Soldagem e Junção de Materiais**

### **Objetivos:**

Conhecer os processos de união de materiais e a sua influência no desempenho das uniões.

### **Conteúdo:**

1) Processos, equipamentos e consumíveis para soldagem : Introdução; Terminologia correlata; Processos, equipamentos e consumíveis para soldagem: classificação dos processos de soldagem; exemplos de aplicação dos processos de soldagem. Processos de soldagem de materiais metálicos: Soldagem oxigás.; Brasagem e soldagem branda; Soldagem a arco: Física do arco elétrico; Equipamentos de soldagem.; Processos de soldagem com proteção gasosa: Processo de soldagem TIG (Gas Tungsten Arc Welding GTAW; Processo de soldagem MIG/MAG (Gas Metal Arc Welding GMAW); Processo de soldagem com eletrodo tubular.(Flux Cored Arc Welding FCAW); Processos de soldagem com proteção de escória: Processo de soldagem com eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding SMAW), Processo de soldagem ao arco submerso (Submerged Arc Welding SAW); Processos de corte (à frio: corte com jato de água; à quente: oxicorte, corte com eletrodo de carbono, corte a plasma e corte a laser); Custos na soldagem. Processos de junção de materiais cerâmicos: brasagem metal/cerâmica; TLP; laser. Processos de soldagem de materiais poliméricos: Processos envolvendo movimento relativo entre partes: Processo de soldagem por ultra-som., Processo de soldagem por atrito, Processo de soldagem por vibração linear; Processos envolvendo aquecimento externo: Processo de soldagem por placa quente, Processo de soldagem por gás quente, Processo de soldagem por implante resistivo ou indutivo. Escolha do processo de soldagem ou junção. 2) Fundamentos de junção de materiais: Soldabilidade de materiais; Materiais de base; Fundamentos de soldagem de materiais metálicos: Transferência de calor na soldagem. Solidificação da poça de fusão. Defeitos na junta soldada. Aplicação em alguns materiais metálicos : Soldabilidade dos aços carbono e baixa liga, Soldabilidade dos aços inoxidáveis e Soldabilidade do alumínio e suas ligas. Fundamentos da junção de materiais cerâmicos. Fundamentos da junção de materiais poliméricos. 3) Qualidade e produtividade na soldagem: Ensaio não-

destrutivos. Simbologia de soldagem e ensaios não-destrutivos. Qualificação de procedimentos de soldagem e de soldadores/operadores. Automação em soldagem.

### **PMT2507 - Corrosão e Proteção dos Materiais**

#### **Objetivos:**

Oferecer aos alunos noções sobre a durabilidade dos materiais do ponto de vista corrosivo, isto é, da sua deterioração através da interação química e eletroquímica com o meio ambiente em que operam, ilustrando os principais tipos de corrosão com exemplos de falhas em serviço. Além disso, discutir os métodos de preservação dos materiais através do exame dos principais métodos de proteção anticorrosiva.

#### **Conteúdo:**

Corrosão e sua importância econômica e social. Corrosão de metais. Bases eletroquímicas da corrosão: equilíbrio e cinética. Corrosão eletroquímica. Passivação e diagramas de Pourbaix. Métodos experimentais em corrosão. Principais tipos de corrosão dos metais: generalizada, galvânica, por pite e em frestas, intergranular, seletiva, microbiológica, por correntes de fuga, filiforme. Corrosão atmosférica. Corrosão associada e tensões mecânicas. Oxidação e corrosão quente. Corrosão de polímeros e cerâmicos. Proteção contra a corrosão: seleção de materiais, revestimentos, proteção catódica, inibidores, projeto.

### **PMT2509 - Metalurgia Extrativa dos Metais Não Ferrosos**

#### **Objetivos:**

Apresentar os fundamentos científicos e a tecnologia de produção dos principais metais não – ferrosos. Mostrar a fundamentação termodinâmica e cinética dos processos de obtenção de metais não – ferrosos (Al; Cu; Pb; Sn; Zn; Au; U e Th). Introduzir os processos comerciais de obtenção e refino dos metais não ferrosos.

#### **Conteúdo:**

1. Introdução: importância do tratamento de minérios nos processos de redução e refino dos principais Não – Ferrosos. 2. Produção de Alumínio: Processos Bayer e Deville – Pechiney; processo Hall – Heroult. Refino de alumínio. 3. Produção de Cobre: Processos de produção de matte de Cu; Conversão de matte de cobre; Refino piro e eletrolítico do “cobre Blister”. 4. Produção de Chumbo: Redução carbotérmica de óxido de Pb; refino piro – metalúrgico de chumbo de obra; tratamento das crostas Parkes; obtenção de Au e Ag como sub – produtos. 5. Fundamentação termodinâmica e cinética das principais fases de obtenção dos metais, sejam piro, hidro e eletrometalúrgicos. 6. Produção de Zinco: Processos pirometalúrgicos de redução carbotérmica de óxidos de Zn; processos hidrometalúrgicos (Ingá – Radino) de produção de Zn. 7. Metais reativos: resumo dos principais processos de produção.

## **PMT2512 - Laboratório de Termodinâmica Computacional**

### **Objetivos:**

Introduzir o conceito do uso de cálculos termodinâmicos e de cinética de difusão como ferramentas para o controle de processos industriais. Discutir diagramas de fases e outras propriedades termodinâmicas em sistemas multicomponentes.

### **Conteúdo:**

O Protocolo CALPHAD: modelos termodinâmicos e bancos de dados. Cálculo de diagramas de fases binários e ternários: isotermas e isopletras. Solidificação em equilíbrio de um material tecnológico. Segregação durante a solidificação: o modelo de Scheill. Atividade em escórias. Estabilidade térmica de cerâmicas refratárias. Cálculo do potencial eletroquímico (diagramas de Pourbaix). Pares de difusão. Cinética de precipitação da ferrita próeutetoide.

## **PMT2513 - Materiais para Aplicações em Altas Temperaturas**

### **Objetivos:**

Os principais objetivos do curso são: Discutir os fenômenos que ocorrem em altas temperaturas nos materiais; Apresentar as principais classes de materiais utilizados em altas temperaturas e Discutir aplicações e alguns casos de falhas de componentes em altas temperaturas.

### **Conteúdo:**

1. Breve revisão dos mecanismos de deformação plástica e de endurecimento. 2. Os ensaios de fluência (creep test), de ruptura por fluência (stress-rupture test) e de relaxação de tensão. 3. O fenômeno de fluência. 3.1 A curva de fluência. 3.2 Os principais mecanismos e equações envolvidos em cada estágio da curva de fluência. 3.3 Fratura em fluência. 4. Outros fenômenos importantes em altas temperaturas. 4.1 Estabilidade microestrutural. 4.1.1 Engrossamento da microestrutura (Ostwald ripening). 4.1.2 Precipitação de fases intermetálicas. 4.2 Oxidação. 4.3 Carbonetação. 4.4 Corrosão a quente (hot corrosion). 4.6 Fadiga térmica. 4.7 Resistência ao choque térmico. 5. Principais classes de materiais utilizados em altas temperaturas. 5.1 Aços inoxidáveis. 5.2 Superligas à base de níquel, cobalto ou ferro. 5.3 Metais e ligas refratários. 5.4 Cerâmicas avançadas. 5.5 Recobrimentos (coatings). 6. Alguns exemplos de falhas de componentes em altas temperaturas.

## **PMT2514 - Modelamento e Simulação na Conformação de Metais e Materiais**

### **Objetivos:**

Levar o aluno a ter os conhecimentos básicos relativos ao modelamento matemático e simulação de processos na área de Conformação Mecânica de ligas metálicas : aços, ligas de alumínio e de cobre e de materiais: plásticos, elastômeros e cerâmicas. Capacitar o aluno a conhecer o efeito de

variáveis de processo sobre as propriedades( distribuição de tensões/deformações/temperaturas/microestrutura,etc). A simulação visa capacitar o aluno possibilitar a análise de variáveis estocásticas, típicas da conformação mecânica, visando entender estatisticamente a razão das “janelas operacionais” do processo analisado. O emprego do método de elementos finitos, complementado pelas redes neurais adaptativas e pelo método de resposta de superfície, visa dar as ferramentas básicas para a análise de problemas em condições realistas.

Conteúdo:

1)Revisão de conformação mecânica dos metais e respectivas variáveis de process para ligas metálicas e materiais,2) Aplicação do método de elementos finitos, Redes Neurais Adaptativas e do Método de Superfícies de Respostana area de Conformação Mecânica de metais e materiais ,3)Interdependencia entre processo e propriedades de produtos, processos , ferramental e condições de contorno.

### **PMT2520 – Blendas e compósitos poliméricos**

Objetivos:

O curso visa a dar fundamentação teórica, correlações básicas e princípios que possam ser aplicados para composição dos materiais poliméricos.

Conteúdo:

Blendas poliméricas: introdução; termodinâmica de blendas; compatibilização de blendas poliméricas; reologia de blendas poliméricas; caracterização; processamento; e propriedades barreiras. Compósitos e nanocompósitos: introdução; tipos de carga; regra das misturas; caracterização e propriedades; e processamento; modificação das cargas para serem incorporadas; e obtenção dos nanocompositos por síntese, solução e processamento.

### **PMT2521 - Conformação dos Materiais Metálicos**

Objetivos:

Levar o aluno a compreender os princípios metalúrgicos dos processos de conformação mecânica. Apresentar ao aluno os principais processo de conformação aplicados a materiais metálicos, a saber: laminação, forjamento, extrusão, trefilação e estampagem. Capacitar o aluno a executar atividades tecnológicas simples voltadas aos processos de conformação (como por exemplo, o cálculo de carga de laminação, a especificação de uma prensa de forjamento ou mesmo a especificação de matrizes simples), com ou sem o auxílio do computador.

Conteúdo:

1. Revisão de mecânica dos materiais ,2. Laminação, 3. Forjamento, 4. Trefilação 5. Extrusão, 6. Estampagem, 7. Cálculo numérico aplicado à conformação de Metais

## **PMT2523 - Tecnologia de Refratários**

### **Objetivos:**

Relacionar a composição química, a microestrutura e o processamento com as propriedades dos materiais refratários e seu desempenho em elevadas temperaturas. Conhecer as principais classes de materiais refratários utilizados em metalurgia, siderurgia, química, indústria de cimento & cal e petroquímica. Entender os processos de beneficiamentos das principais matérias-primas refratárias e o processamento/manufatura dos materiais refratários, suas normas de aplicação e utilização, métodos de caracterização, bem como os principais modos a análises de falha destes materiais. Utilizar estudos de casos para fixar e aprofundar os conceitos relacionados com a composição química, microestrutura, processamento, reciclagem, desempenho e aplicação.

### **Conteúdo:**

Definição de materiais refratários, caracterização e aplicações (refratários de sílica, alumina, silico-aluminosos, de magnésia e cromita, espinelizados, de carbetos de silício, nitreto de silício, carbetos de boro, etc.). Propriedades relevantes ao comportamento refratário em temperatura ambiente e em elevadas temperaturas (resistência mecânica, densidade, porosidade, módulo de elasticidade, condutividade térmica, expansão térmica, etc.). Ensaio, análise de desempenho e estudos “post-mortem”. Seleção e estratégias de aplicação industrial (concretos, massas de projeção, massas plásticas, tijolos e peças especiais). Cálculos práticos sobre isolamento térmico. Refratários estruturais tradicionais: matérias-primas, processamento, diagramas de equilíbrio, propriedades e aplicações. Refratários estruturais avançados: matérias-primas, processamento, diagramas de equilíbrio, propriedades e aplicações. Corrosão e interação entre refratários e escórias metalúrgicas. Processos de reciclagem de materiais refratários.

## **PMT2525 - Transformações de Fase em Aços e Ferros Fundidos**

### **Objetivos:**

Fornecer aos alunos que já aprovados previamente em PMT2402 os conhecimentos de transformações de fase nos aços e ferros fundidos necessários para iniciar uma pesquisa em metalurgia física dos materiais ferrosos. Discutir a história das idéias em transformações de fase dos aços e ferros fundidos através de uma leitura crítica de artigos clássicos sobre o assunto, de forma a situar o aluno em formação face às polemicas de área e prepara-los para chegar autonomamente até o estado da arte de problemas específicos.

### **Conteúdo:**

A estrutura das soluções sólidas CFC e CCC das ligas ferrosas. Decomposição da austenita próxima ao equilíbrio. Efeito dos elementos de liga; orto e paraequilíbrio,

equilíbrio local com partição, equilíbrio local com partição negligível e não-partição. Decomposição da austenita longe do equilíbrio: transformação martensítica. Reações de envelhecimento e revenimento, efeito dos elementos de liga, fragilidade da martensita revenida e fragilidade do revenido. Austenita retida, austenita de reversão, austenita expandidas supersaturadas em C e em N (solubilidade colossal), transformação da austenita em martensita. Transformações bainíticas; definições da bainita, morfologia dos agregados eutetóides não lamelares, a transformação interrompida ou "stasis", bainita inversa, bainita isenta de carbonetos. Estrutura dos ferros fundidos nodulares austemperados, aços TRIP, supermartensíticos, maraging e dos aços nitretados e carburados.

### **PMT2526 - Análise de Falhas**

Objetivos:

Entendimento da metodologia de análise de falhas de componentes de engenharia, assim como os diversos mecanismos concorrentes que atuam durante a falha (fratura frágil, fratura dúctil, fadiga, fluência, corrosão e fragilização por hidrogênio e instabilidade microestrutural).

Conteúdo:

Histórico da análise de falha; Aspectos gerais da análise de falha; Técnicas usadas na análise de falha; Aspectos mecânicos e macrográficos; Mecanismos de falha e aspectos microfractográficos; Mecanismos de falha: sobrecarga – fratura dúctil; Mecanismos de falha: sobrecarga – fratura frágil; Mecanismos de falha: fadiga; Mecanismos de falha: desgaste; Mecanismos de falha: fluência; Fragilização por hidrogênio; Corrosão sob tensão.

### **PMT2528 - Seleção de Materiais**

**Objetivos**

Entendimento das fases de projeto de produtos, principalmente as fases de concepção de projeto, definição de objetivos e restrições dos projetos, e da seleção de materiais e processos, estes últimos baseados no método de Ashby (University of Cambridge), através do uso do software (Cambridge Engineering Selector).

Conteúdo:

Introdução à seleção dos materiais: O mundo dos materiais. Processo de design; Mapas de propriedades e seleção dos materiais; Processos de fabricação e seleção de processos; Restrições e objetivos múltiplos na seleção de materiais; Seleção de material e geometria; Projetos sustentáveis.

## **PMT2595 - Trabalho de Formatura I**

### **Objetivos:**

Oferecer ao aluno do 5º ano a oportunidade de executar uma tarefa de engenharia. Com os conhecimentos adquiridos durante o curso, sob a orientação de um professor e utilizando os recursos dos laboratórios do Departamento ou da instituição ou empresa em que estiver estagiando, o graduando deverá produzir um trabalho de nível profissional.

### **Conteúdo:**

O tema do trabalho é escolhido pelo aluno, juntamente com o seu orientador, docente do Departamento, e é aprovado pelo coordenador da disciplina até 31 de março.

O tema poderá ser, entre outros, um projeto de engenharia (delineamento de processo, projeto de uma instalação, ...), um trabalho de desenvolvimento (de um processo, de um material para uma nova aplicação, de um ensaio, ...), um trabalho de caracterização de materiais (relação entre estrutura e propriedades, diagrama de fases, ...).

Espera-se do aluno, nesta primeira fase do trabalho de formatura, a elaboração do plano de trabalho, o levantamento bibliográfico, a montagem do dispositivo experimental (se necessário), preparação dos corpos-de-prova (se necessária), levantamento de informações para o projeto (se for o caso), e elaboração de um *Relatório de Andamento*.

## **PMT2596 - Trabalho de Formatura II**

### **Objetivos:**

São os mesmos da disciplina PMT2595, da qual ela é uma continuação.

### **Conteúdo:**

Continuação do trabalho iniciado no primeiro semestre na disciplina PMT-595. Espera-se do aluno, nesta segunda fase do trabalho de formatura, entre outros a condução dos ensaios, a análise dos resultados, a elaboração final do projeto, e a elaboração do *Relatório Final*. As etapas que irão compor o trabalho dependerão do tema escolhido e, além das acima indicadas, outras poderão ser incluídas.

## **PMT2597 - Estágio Supervisionado**

### **Objetivos:**

Fornecer ao aluno a oportunidade de realizar um treinamento profissional de engenharia numa empresa ou instituição, sob a orientação de um docente do Departamento.

### **Conteúdo:**

Após o acerto do estágio, o aluno deverá identificar entre os docentes do

Departamento, um orientador cuja área de atuação seja a mais próxima do assunto tratado no estágio. O coordenador da disciplina deverá ser informado pelo aluno, até o último dia do primeiro mês de aulas do semestre, do local do estágio, do trabalho a ser desenvolvido no estágio, do nome do supervisor no estágio e do nome do professor orientador. Durante o semestre o aluno deverá cumprir um mínimo de 120 horas de estágio. Ao final do estágio o aluno deverá submeter ao orientador um *Relatório Final de Estágio*, contendo duas partes. Na primeira parte o aluno deverá fornecer todos os dados do estágio, com datas, locais, nomes de pessoas envolvidas e número de horas estagiadas. Na segunda parte o aluno deverá relatar o conteúdo técnico do estágio.

## ANEXO 3

### O CORPO DOCENTE

O corpo docente do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais é constituído por 25 professores que lecionam para os alunos de graduação dos cursos de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Todos os 25 docentes têm título de doutor, sendo que dentre eles, 18 já defenderam teses de livre-docência. Dentro deste último grupo, 7 lograram ascensão para o cargo máximo da universidade, o de professor titular.

Assim, em resumo, em termos de posição na carreira universitária, o departamento conta com 7 professores doutores, 11 professores associados e 7 professores titulares:

Docente	Cargo	Link Currículo Lattes
André Paulo Tschiptschin	Titular	<a href="http://lattes.cnpq.br/2163698776105146">http://lattes.cnpq.br/2163698776105146</a>
Angelo Fernando Padilha	Titular	<a href="http://lattes.cnpq.br/2985086752327431">http://lattes.cnpq.br/2985086752327431</a>
Antonio Carlos Vieira Coelho	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/4881121674066200">http://lattes.cnpq.br/4881121674066200</a>
Cláudio Geraldo Schon	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/2631107236461952">http://lattes.cnpq.br/2631107236461952</a>
Cesar Roberto de Farias Azevedo	Prof. Dr.	<a href="http://lattes.cnpq.br/5328433871836511">http://lattes.cnpq.br/5328433871836511</a>
Cyro Takano	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/5778408055019241">http://lattes.cnpq.br/5778408055019241</a>
Denise Romano Croce Espinosa	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/5363949257736410">http://lattes.cnpq.br/5363949257736410</a>
Douglas Gouvêa	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/2698229628494630">http://lattes.cnpq.br/2698229628494630</a>
Fernando José Gomes Landgraf	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/4577368078511565">http://lattes.cnpq.br/4577368078511565</a>
Francisco Rolando Valenzuela Diaz	Prof. Dr.	<a href="http://lattes.cnpq.br/3539158603053300">http://lattes.cnpq.br/3539158603053300</a>
Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva	Prof. Dr.	<a href="http://lattes.cnpq.br/3059638279617376">http://lattes.cnpq.br/3059638279617376</a>
Helio Goldenstein	Titular	<a href="http://lattes.cnpq.br/7081512949222824">http://lattes.cnpq.br/7081512949222824</a>
Helio Wiebeck	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/7345295932741797">http://lattes.cnpq.br/7345295932741797</a>
Ivan Gilberto Sandoval Falleiros	Titular	<a href="http://lattes.cnpq.br/1390870899723772">http://lattes.cnpq.br/1390870899723772</a>
Ivette Frida Cymbaum Oppenheim	Prof. Dr.	<a href="http://lattes.cnpq.br/0844638168763671">http://lattes.cnpq.br/0844638168763671</a>
Jorge Alberto Soares Tenório	Titular	<a href="http://lattes.cnpq.br/2812138285118897">http://lattes.cnpq.br/2812138285118897</a>
Marcelo Breda Mourão	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/1599148636050115">http://lattes.cnpq.br/1599148636050115</a>
Marcelo de Aquino Martorano	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/4997162516495710">http://lattes.cnpq.br/4997162516495710</a>
Neusa Allonso-Falleiros	Prof. Dr.	<a href="http://lattes.cnpq.br/0840431617633648">http://lattes.cnpq.br/0840431617633648</a>
Nicole Raymonde Demarquette	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/5646835909398399">http://lattes.cnpq.br/5646835909398399</a>
Samuel Marcio Toffoli	Prof. Dr.	<a href="http://lattes.cnpq.br/5435032272754548">http://lattes.cnpq.br/5435032272754548</a>
Sergio Duarte Brandi	Titular	<a href="http://lattes.cnpq.br/6420235767836216">http://lattes.cnpq.br/6420235767836216</a>
Stephan Wolynech	Titular	<a href="http://lattes.cnpq.br/7111504508400705">http://lattes.cnpq.br/7111504508400705</a>
Ticiane Sanches Valera	Prof. Dr.	<a href="http://lattes.cnpq.br/9850742143026768">http://lattes.cnpq.br/9850742143026768</a>
Wang Shu Hui	Associado	<a href="http://lattes.cnpq.br/7984507949644750">http://lattes.cnpq.br/7984507949644750</a>