

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

EVELINE BISCHOFF

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA
PARA ANÁLISE DE UNIDADES TEMÁTICAS**

Porto Alegre
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

EVELINE BISCHOFF

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA
PARA ANÁLISE DE UNIDADES TEMÁTICAS**

Trabalho de conclusão apresentado junto à atividade de ensino “Trabalho de Conclusão de Curso da Licenciatura em Química”, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciada em Química

Prof^a. Dr^a. Flávia Maria Teixeira dos Santos
Orientadora

Porto Alegre
2018

AGRADECIMENTOS

A professora Flávia Maria Teixeira dos Santos pelos ensinamentos ao longo dos estágios e durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de estágio, Guilherme Belmonte, Eric Sales e Janine Viscardi, por dividirem suas experiências, angústias e alegrias por quase um ano e meio.

Aos meus colegas da licenciatura que tornaram essa jornada mais prazerosa.

A minha orientadora na pós-graduação (Raquel Santos Mauler) e aos meus colegas do laboratório de Polímeros Avançados pelo apoio durante a realização deste curso.

Ao meu amigo Jorge que está sempre com a mão estendida para ajudar a todos e que muito me incentivou a não desistir no meio do caminho.

A minha família pelo suporte de sempre.

Ao Douglas que me incentivou durante a realização e finalização deste curso.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a concretização desse curso.

RESUMO

Este trabalho relata a aplicação e análise de uma Unidade Temática (UT) produzida durante a realização do segundo estágio obrigatório do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O estágio foi realizado na disciplina de Propriedades e Produção de Materiais do Técnico em Química do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Porto Alegre. A preparação da Unidade Temática surgiu frente à ausência de materiais didáticos adequados para este nível de ensino. Após a elaboração e aplicação do material didático, realizou-se a análise da UT a fim de categorizar a metodologia de investigação/indagação utilizada na sua construção. Esta categorização foi realizada a partir da adaptação de um instrumento já utilizado e validado na literatura. Os resultados mostraram que a UT apresenta características adequadas, com atividades voltadas para a resolução de problemas e incentivo à participação crítica por parte dos alunos. Isso foi possível porque a sua construção levou em conta o conhecimento prévio dos alunos, o que permitiu uma evolução através dos conceitos e teorias científicas estudadas. Contudo, a análise da UT também indicou a necessidade de alterações e melhorias, permitindo seu aprimoramento. Sendo assim, a metodologia aplicada neste trabalho pode servir como ferramenta de análise para outras Unidades Temáticas buscando adequação e aprimoramento metodológico de materiais didáticos orientados à abordagem investigativa/indagativa.

ABSTRACT

We report the application and analysis of the Thematic Unit (UT) produced during the Chemistry Degree at the Universidade Federal do Rio Grande do Sul. The internship was carried out in the course of Properties and Production of Materials at the technical degree in Chemistry of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Porto Alegre. The preparation of the Thematic Unit was due to the lack of adequate teaching materials for this level of education. After the preparation and application of the didactic material, UT was analyzed in order to categorize the investigation-inquiry approach used in its construction. This categorization was performed through the adaptation of an instrument already used and validated in the literature. The results showed that the UT presents adequate characteristics, with activities focused on solving problems and encouraging critical participation by the students. This was possible because its construction took into account the previous knowledge of the students, which allowed an evolution through the scientific concepts and theories studied. However, the UT analysis also indicated the need for changes and improvements, allowing their improvement. Therefore, the methodology applied in this work can serve as an analytical tool for other Thematic Units seeking adequacy and methodological improvement as teaching material oriented to the investigative/inquiry approach.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. A ORIENTAÇÃO DA LEGISLAÇÃO CURRICULAR PARA A ABORDAGEM TEMÁTICA	3
2.2. UNIDADES TEMÁTICAS	4
2.2.1. Pesquisas envolvendo a abordagem de temas.....	6
2.2.2. Dificuldades apontadas para o desenvolvimento de unidades temáticas.....	8
2.2.3. Critérios para a seleção de temas	10
2.2.4. Uso da metodologia da indagação/investigação	10
3. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
3.1. OBSERVAÇÕES DA TURMA.....	12
3.2. PLANEJAMENTO DO CURSO	13
3.3. PLANEJAMENTO DAS AULAS	13
4. METODOLOGIA	15
4.1. CATEGORIZAÇÃO DA UNIDADE TEMÁTICA	15
4.2. RUBRICA APLICADA A UNIDADE TEMÁTICA	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1. DA APLICAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO	19
5.2. DA ANÁLISE DO MATERIAL PRODUZIDO	21
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS	31
ANEXO - A	35
APÊNDICE - A	39

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos novas formas de organização dos currículos vêm sendo amplamente discutidas. Dentre as propostas relatadas na literatura (SANTOS e PORTO, 2013), a organização por temas ganhou destaque pois, consiste em uma perspectiva curricular em que são identificados temas básicos, aos quais se selecionam os conceitos científicos necessários (DELIZOICOV *et al.*, 2002). Uma das expectativas frente a esta forma de trabalho é explorar temas que envolvam contradições sociais de maneira que as situações-problemas, ao serem abordadas, despertem o interesse do aluno, levando ao desenvolvimento de competências, atitudes e valores necessários para o enfrentamento da contradição em questão (STRIEDER *et al.*, 2011).

A partir disso, torna-se uma constante a busca por uma alternativa curricular que possibilite uma ressignificação do conteúdo escolar e que proporcione uma maior articulação entre questões contextuais, a vivência do aluno e conceitos científicos, e que dialogue com o que os documentos oficiais estabelecem (SOUZA *et al.*, 2014).

O uso de uma metodologia didática baseada em temas permite o abandono das concepções fragmentadas e baseadas na memorização provenientes do excessivo enfoque dado ao livro texto, principal material didático utilizado pelo professor (TOMA *et al.*, 2017). Na literatura, diferentes vertentes para a abordagem de temas podem ser encontradas como o desenvolvimento de temas como metodologia de ensino (FRESCHI e RAMOS, 2009), da articulação entre abordagem temática freireana e o eixo Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (AULER *et al.*, 2009). Em outras situações, a elaboração de uma unidade temática surge frente à necessidade que o professor encontra quando os materiais disponíveis (livros didáticos, artigos científicos) não apresentam uma abordagem adequada ao enfoque a ser desenvolvido em sala de aula.

Independente da justificativa para a escolha da abordagem de unidades temáticas, alguns critérios devem ser levados em consideração para o seu desenvolvimento. Dentre esses, pode-se citar a escolha dos temas, aspecto fundamental para a superação da organização de programas escolares que, embora pensados a partir de uma determinada temática, acabam reforçando a organização tradicional do currículo e pouco contribuindo para uma abordagem menos linear. Talvez, o critério mais importante seja o nível de qualidade do material desenvolvido, o qual depende diretamente do conhecimento prévio do professor, uma vez que este faz uso de recursos pessoais (conhecimento, crenças, identidades, outros), da forma como

interage com o material curricular disponível, interpretando-o, criticando-o, selecionando e adaptando-o (TOMA *et al.*, 2017).

Sendo assim, torna-se necessário a formação de professores que sejam capazes de produzir e analisar materiais didáticos compatíveis com os princípios e orientações curriculares, de maneira a vincular o cotidiano do aluno com o seu entorno sócio histórico (MACENO e GUIMARÃES, 2013); atendendo à diversidade cultural do contexto escolar; atualidade das informações; estímulo à curiosidade, criatividade e a resolução de problemas (SOUSA *et al.*, 2012) e adensamento conceitual adequado ao nível de ensino e a sua articulação com o conhecimento científico.

Inserido neste contexto, o objetivo deste trabalho é aplicar uma metodologia de análise em uma unidade temática, a qual foi desenvolvida pela professora-pesquisadora, afim de avaliar o seu teor de indagação/investigação. A unidade temática foi elaborada e aplicada durante o segundo Estágio de Docência em Ensino de Química, nas aulas ministradas em um curso técnico de química pós-médio na disciplina de Propriedades e Produção de Materiais.

Neste trabalho de conclusão de curso apresenta-se inicialmente uma revisão da literatura daquilo que tratam alguns dos documentos oficiais acerca da educação básica no Brasil. Além disso, discute-se o que são unidades temáticas em conjunto com a descrição de algumas pesquisas envolvendo a abordagem de temas e finalmente, discorre-se sobre o que contempla uma metodologia de indagação/investigação. Na sequência é apresentada a contextualização de onde a unidade temática foi aplicada e a metodologia utilizada para a sua análise.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A ORIENTAÇÃO DA LEGISLAÇÃO CURRICULAR PARA A ABORDAGEM TEMÁTICA

Nos dias atuais, a dinâmica social contemporânea está progressivamente condicionada pelos avanços no campo científico-tecnológico. Sendo assim, a promoção de uma educação científica em nossas escolas torna-se cada vez mais necessária, pois somente a partir de uma formação científica, os cidadãos serão capazes de realizar uma leitura crítica sobre os eventos que os rodeiam, habilitando-os para a tomada de decisões, naquilo que envolve ou afeta diretamente a sociedade (MARCONDES *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a legislação brasileira, com relação à educação básica, evoluiu ao longo dos anos com tentativas de promover uma melhoria na qualidade do ensino. Dentre os documentos oficiais, pode-se citar a Lei de Diretrizes e Bases (BRASIL, 1996), que define no artigo 35, como finalidades do ensino médio:

I - a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II - a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III - o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Dessa forma, a LDB tem o propósito de desenvolver um ensino que promova a formação integral do aluno, preparando-o para se adaptar ao mundo do trabalho, como cidadão consciente e transformador de sua realidade. Complementar a LDB, podem-se citar outros documentos, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) (BRASIL, 2002), o qual exprime que deve haver no currículo escolar uma abordagem sobre questões sociais, discussões acerca das relações entre CTS e de problemas ambientais, de forma a levar em consideração a realidade dos alunos.

No entanto, para que tais questões, tanto as expressas pela LDB quanto pelo PCNEM, possam ser integrados ao trabalho desenvolvido pelos professores da Educação Básica, torna-

se necessário uma nova abordagem metodológica capaz de atender de forma eficiente as demandas apontadas. Uma das propostas sugeridas é que o programa escolar seja organizado a partir de Temas Estruturantes e Unidades Temáticas, no ensino médio (BRASIL, 2002) e de Temas Transversais e Eixos Temáticos, no ensino fundamental (BRASIL, 1998). Além disso, a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017), elaborada para o ensino fundamental, orienta que os currículos de Ciências Naturais sejam elaborados com base em três unidades temáticas:

- **Matéria e energia:** a qual deve contemplar o estudo dos materiais e suas transformações, fontes e tipos de energia utilizados, de uma forma geral, em nossas vidas.
- **Vida e evolução:** propõe o estudo acerca de questões relacionadas aos seres vivos, abordando suas características e necessidades, e a vida como fenômeno natural e social, além dos elementos essenciais à sua manutenção e à compreensão dos processos evolutivos que geram a diversidade de formas de vida no planeta.
- **Terra e Universo:** a qual visa a compreensão das características da Terra e de corpos celestes, como suas dimensões, composição, localizações, movimentos e forças que atuam entre eles

2.2. UNIDADES TEMÁTICAS

O desenvolvimento de um processo de ensino e aprendizagem capaz de ressignificar o conteúdo escolar através da articulação entre conhecimento cotidiano e conhecimento científico pode encontrar-se na perspectiva de unidades temáticas (HALMENSCHLAGER, 2014). A partir da abordagem de temas é possível fazer uso da contextualização e interdisciplinaridade com a inclusão de aspectos sociais, ambientais, culturais, econômicos e políticos. Dessa forma, a aprendizagem passa a ser vista como um processo muito mais complexo do que a mera transmissão e recepção de conhecimento (GOUVEIA e VALADARES, 2016).

A contextualização no ensino, a partir da abordagem temática, surge para possibilitar ao aluno uma educação para a cidadania concomitantemente orientada à aprendizagem significativa de conhecimentos científicos. Por um lado, a contextualização pode ser compreendida como uma forma pedagógica para o ensino de conceitos científicos, uma vez que, a inserção de conteúdos socialmente relevantes pode facilitar a aprendizagem e incentivar os alunos a estudar ciências. Sob outro enfoque, a contextualização pode ser visualizada como

um princípio norteador no processo de ensino no qual os contextos de estudo são objetos de conhecimento tão ou mais importantes que os conceitos científicos (MARCONDES *et al.*, 2016).

No entanto, a realidade vivenciada em nossas escolas é outra, ou seja, a contextualização ocorre como uma tentativa de escolhas de exemplos, que até podem ser adequados aos conteúdos estudados, mas que estão descontextualizados da própria realidade dos alunos, o que dificulta ou até mesmo inviabiliza a conexão com aquilo que está sendo ensinado.

Tal panorama pode decorrer do isolamento do professor em torno de suas disciplinas e dos recursos didáticos-pedagógicos que utiliza, mas principalmente, devido à lacuna existente entre as pesquisas acadêmicas e suas atividades docentes, o que tem contribuído para o ensino baseado apenas na transmissão de informações (AUTH, 2002). Para contornar esta realidade é necessário a participação ativa do professor discutindo e refletindo sobre suas concepções, experiências e ideias com pesquisadores, os quais podem auxiliá-los na elaboração de projetos e colaboração conjunta na construção de materiais didáticos (MARCONDES *et al.*, 2016).

O processo de ensino-aprendizagem com base no enfoque temático promove a necessidade da reflexão acerca da tradicional seleção prévia de conteúdo mas, sobretudo, da importância da criação de uma dialogicidade, a qual possibilite uma interlocução mais efetiva entre educador e educando e que favoreça a produção conjunta de conhecimento e a sua compreensão crítica.

Além disso, a estratégia de ensino através de unidades temáticas propõe a construção de materiais flexíveis, com uma gama de atividades e estratégias para que seja desenvolvido o conhecimento científico na sala de aula (SANTOS, 2007). Tal metodologia promove uma reorganização/modificação do tradicional modelo de ensino centrado em conhecimentos enciclopédicos.

As orientações a serem adotadas na produção de unidades temáticas devem atender aos diferentes contextos escolares de sua implementação, por exemplo, se esta se desenvolverá sob uma óptica de maior contextualização quando voltada à Educação de Jovens e Adultos (EJA); maior adensamento de conceitos químicos necessários ao ensino médio regular; ou, em conjunto com aspectos industriais ou comerciais quando o ensino se destinar à educação profissional integrada ou subsequente ao ensino médio. Somado a estes pontos, deve-se prever a proposição de atividades experimentais e demonstrações, assim como, a resolução de

exercícios e problemas contextuais através de estudos de caso ou situações-problema. Tais atividades exigem dos alunos uma atitude ativa e um esforço para buscar respostas a situações problemáticas, contribuindo para torná-los mais conscientes e críticos.

2.2.1. Pesquisas envolvendo a abordagem de temas

No Brasil há diversos grupos de educação em química (GEPEC - Grupo de Pesquisa em Educação Química – IQ/USP; PEQUIS - Projeto de Ensino de Química e Sociedade – UNB; GIPEC – Grupo de Pesquisa sobre Educação em Ciências – UNIJUI; Grupo FoCo - Formação Continuada de Professores de Química e Ciências – UFMG; entre outros.) cujas pesquisas estão voltadas para a produção de materiais didáticos alternativos àqueles fornecidos pelo mercado editorial. Esses grupos favorecem as discussões acadêmicas sobre a atividade de pesquisa e sua relação com a prática docente, utilizando o paradigma do professor/pesquisador como modelo de ação pedagógica e investigativa.

Dentre os trabalhos encontrados na literatura pode-se citar “Biocombustíveis e o ensino de Ciências: compreensões de professores que fazem pesquisa na escola” (LINDEMANN *et al.*, 2009). Nesse artigo é retratada a importância do estudo acerca da temática biocombustíveis, em virtude dos seus aspectos associados à problemática energética e ambiental. Essa pesquisa foi desenvolvida a partir da aplicação de um questionário a nove professores de ciências naturais.

Outra pesquisa relacionada a abordagem de combustíveis foi encontrada no artigo “Representações sociais dos combustíveis: reflexões para o ensino de química e ciências na abordagem CTS” (FONSECA, 2015). O autor também salientou a importância da abordagem do tema em virtude de suas diferentes problemáticas, como a produção energética mundial; a dependência histórica do petróleo; as fontes energéticas alternativas e os possíveis efeitos ao ambiente. Nesse trabalho pretendia-se compreender quais as representações sociais de estudantes do ensino médio integrado sobre o tema “combustível”. Essa pesquisa desenvolveu-se a partir do referencial teórico baseado na Teoria das Representações Sociais. A partir da análise dos resultados, os autores concluíram que um pensamento pedagógico ligado à alfabetização científica e ao modelo de ensino CTS, mostraram a possibilidade de realização de diferentes propostas em sala de aula, que aludem principalmente aos efeitos da ciência e da tecnologia sobre a sociedade e o ambiente, bem como a natureza da ciência e da tecnologia. Somado a isso, a adoção do referencial mostrou potencialidades de qualificação para o trabalho

docente e para a construção de um contexto didático-pedagógico mais favorável para estudantes de química e ciências, em diferentes níveis educacionais.

Outro trabalho desenvolvido pelo mesmo autor retratou o uso da temática “nutrição” em aulas de química para o ensino médio (FONSECA e LOGUERCIO, 2013). Os autores justificaram a relevância do tema baseado em seus aspectos científicos e sociais, os quais propiciariam debates acerca do provimento de energia; processos corporais; relações humanas; tecnologias aplicadas ao processo produtivo. A partir dos dados analisados, os autores concluíram que através de uma adoção da perspectiva teórica das representações sociais, ocorre mais facilmente a promoção de uma dinâmica pedagógica situada entre o universo consensual dos alunos e uma aprendizagem simultânea de conteúdos escolares significativos originários do universo reificado das ciências. Além disso, também se concluiu que essa dualidade pode ser mediada pela promoção de unidades de ensino de cunho temático, que sejam norteadoras das discussões e das atividades em sala de aula.

A temática “Poliuretano: De Travesseiros a Preservativos, um Polímero Versátil” (CANGEMI *et al.*, 2009) foi utilizada para introduzir diferentes discussões e conceitos em aulas de química no ensino médio. Dentre as discussões propostas estavam o histórico e a contextualização do desenvolvimento dos primeiros poliuretanos, os mecanismos de síntese das substâncias e importância na vida moderna. Além disso, também foram abordadas questões sobre o meio ambiente e biopolímeros. A partir dessas discussões tornou-se possível o tratamento do conceito de polímeros, as classificações e formas de obtenção, além da proposta de uma aula experimental que facilmente poderia ser replicada por um professor que tivesse acesso a itens mínimos de um laboratório de química.

O uso da temática meio ambiente também pode ser encontrado na literatura como no artigo “Visões de meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de química na escola média” (MARQUES *et al.*, 2007). Nesse caso, os autores ressaltam a importância da discussão em sala de aula em virtude dos danos ao meio ambiente estarem ligados diretamente ao desenvolvimento da ciência e tecnologia, a partir do qual se evidencia uma série de graves problemas como o aumento do aquecimento global, as contaminações de aquíferos, as queimadas e desertificações de inúmeras áreas do planeta, a crescente escassez energética, os desequilíbrios biológicos e físico-químicos; entre tantas outras manifestações que expressam uma ameaça para a sobrevivência da humanidade. Apesar da relevância do tema, os autores observaram que devido à falta de sintonia entre a formação continuada dos professores entrevistados e o conhecimento ou a adoção por parte deles de temas mais contemporâneos

como o da Química Verde, Ambiental e da própria Educação Ambiental, faz com que a abordagem se coloque apenas de forma conceitual, na qual o termo meio ambiente é utilizado como exemplo e não como ponto de partida para as discussões em sala de aula.

2.2.2. Dificuldades apontadas para o desenvolvimento de unidades temáticas.

A falta de compreensão, por parte dos professores, acerca da distinção entre abordagem temática e conceitual, particularmente no ensino de ciências, é um ponto dificultador para o desenvolvimento de unidades temáticas (MARQUES *et al.*, 2007). O chamado ensino do cotidiano, que se delimita a exemplificações dos conteúdos conceituais, está muito mais próximo da perspectiva curricular que seleciona e estrutura os saberes a partir dos conceitos. A subordinação dos temas aos conteúdos programáticos clássicos traz limitações à compreensão dos mesmos pelo aluno, além de estabelecer limitações pedagógicas importantes, como o baixo envolvimento do aluno através de seus conhecimentos, considerando que o domínio conceitual não é por ele previamente conhecido mas apenas pelo professor.

Um ponto a ser salientado é que apesar de estarem disponíveis na literatura pesquisas com enfoque em áreas temáticas (HALMENSCHLAGER, 2014; COUTO *et al.*, 2016; MARCONDES *et al.*, 2016), o que se percebe é que a maioria delas é produzida por grupos de pesquisas com ênfase na formação continuada de professores ou na elaboração de dissertações e teses, construídas dentro dos programas de pós-graduação. Poucos são os trabalhos encontrados, que foram desenvolvidos por alunos em formação ainda nos cursos de licenciatura (PASSOS e SANTOS, 2008). A confecção de suas próprias unidades temáticas estimula uma perspectiva crítico-reflexiva e fornece aos futuros profissionais os meios para um pensamento autônomo que facilita as dinâmicas da auto-formação (SANTOS, 2007).

Apesar dos benefícios do desenvolvimento cognitivo proporcionado pela elaboração de seu próprio material didático, raros são os casos em que alunos em formação inicial são induzidos a produzi-los. Na maioria das vezes, o aluno ao iniciar os estágios de docência encontra a necessidade de elaborar materiais que sejam mais adequados a abordagem que parece ser mais satisfatória a determinados cursos ou turmas. Nesse ponto, observa-se que toda a responsabilidade recai sobre o próprio aluno e o professor da universidade que atua como supervisor do estágio de docência. Quando, na realidade, existe um amplo número de professores, responsáveis pelas disciplinas de química pura, que deveria também se preocupar com a formação de um professor capaz de decodificar aquilo que é ensinado na universidade e conseguir, num linguajar adequado e correto adensamento de conceitos, ensinar na Educação

Básica (DA SILVA e SCHNETZLER, 2005). A adequação dos conhecimentos poderia ser realizada a partir da elaboração de unidades temáticas, as quais, à luz da literatura, deveriam ser amplamente discutidas nas aulas em universidade de maneira a se identificar suas deficiências, potencialidades, coerência e importância no trabalho do professor/pesquisador e do aluno em formação (PASSOS e SANTOS, 2008).

No entanto, o que se observa na universidade, é a constante presença de um ensino tradicional em que basicamente os professores se apropriam dos conteúdos presente em livros (BERBEL, 1995) ou ainda aqueles que fazem uso de artigos técnico científicos como ferramentas de ensino-aprendizagem. Cabe aqui ressaltar que o papel do professor, seja de nível básico ou superior, é o de encontrar meios de os alunos, na medida do possível, serem capazes de expressar as suas opiniões, de revelarem suas concepções e de refletirem sobre elas, proporcionando-lhes maneira de se desenvolverem intelectual, social e emocionalmente (GOUVEIA e VALADARES, 2016). É devido, em parte, à fragilização nesse relacionamento o enfoque que o aluno/professor em formação leva consigo quando inicia os seus primeiros planejamentos nos estágios curriculares. Após muitos debates, discussões e leituras realizadas durante as disciplinas de estágio é que o aluno torna-se melhor preparado, tornando-se capaz de desenvolver metodologias para lecionar no ensino médio.

Na literatura, inúmeros são os trabalhos publicados voltados para o aprimoramento nas metodologias de ensino destinadas ao ensino médio, seja com maior contextualização (FERREIRA e DEL PINO, 2009), aplicação de práticas experimentais (GUIMARÃES, 2009), uso de estudos de caso (REBELO *et al.*, 2008) e resolução de problemas (GOI e SANTOS, 2003; GOI e SANTOS, 2009). Essas metodologias auxiliam os alunos em formação, ou professores novatos, a elaborar aulas mais adequadas a este nível de ensino.

Contudo, quando se trata da abordagem voltada para o ensino de nível técnico, poucos são os estudos disponíveis na literatura (RUBEGA, 2000; KRUGER e MEIRELES LEITE, 2010). Nessa modalidade de ensino, assim como no ensino médio, a contextualização é algo que deve ser fortemente abordada, uma vez que, norteia uma educação voltada para a cidadania e possibilita a aprendizagem significativa de conhecimentos científicos e a intervenção consciente (LOPES e MARCONDES, 2010). Por outro lado, a mesma importância também deve ser dada aos conceitos acerca do tema trabalhado. Nesse ponto, o professor pode se encontrar em um caminho tortuoso, uma vez que os livros de ensino médio favorecem a contextualização, mas não aprofundam os conceitos, enquanto que nos livros para o ensino superior o inverso ocorre.

Em razão disso, o professor novato deve desenvolver habilidades que lhe possibilitem produzir o seu próprio material didático. Este material deve ser desenvolvido, de maneira que, a contextualização não seja apenas uma ferramenta para introduzir conteúdos teóricos com o único objetivo de despertar a curiosidade do aluno. Na realidade, deve ir além, ou seja, deve abordar a contextualização, em conformidade como apontaram Santos e Mortimer (1999), de maneira a promover o desenvolvimento de atitudes e valores para a formação de um cidadão crítico.

2.2.3. Critérios para a seleção de temas

Como surgem os critérios de seleção do tema a ser objeto de estudo? Com exceção das propostas freireanas, nas demais (ambiental, situação de estudo, unidades de aprendizagem) não há a princípio uma preocupação em realizar investigações da realidade em que vivem os alunos (STRIEDER *et al.*, 2011). A escolha por determinados temas é justificada por esses tratarem de questões contemporâneas, presentes na mídia, por permitirem uma articulação interdisciplinar ou pelo vínculo que possuem com os conceitos curriculares. Tais apontamentos corroboram com a análise feita por Muenchen e colaboradores (2007), na qual dentre os artigos baseados no movimento CTS, cerca de 30% apresentaram como justificativa da escolha (feita exclusivamente pelos professores) a sua repercussão na mídia. Além disso, em 69% dos artigos pesquisados não havia elementos que ajudassem a identificar o que levou a escolha dos temas na abordagem temática.

2.2.4. Uso da metodologia da indagação/investigação

O professor ao elaborar o seu próprio material didático além de abandonar a mera condição de consumidor e reproduzidor das metodologias disponíveis, torna-se muito mais apto a transformar tanto o rumo como o ritmo do processo de aprendizagem dos alunos. Uma das direções que podem ser seguidas pelo professor “produtor” é o uso da metodologia didática baseada na indagação/investigação. Este tipo de abordagem, como já apontado por Freire, mostra que o querer conhecer antecede o conhecer. Tal enfoque permite ir de encontro ao atual modelo de ensino que persiste em nossas escolas, o qual se preocupa em dar respostas a perguntas não feitas. A educação da resposta não ajuda em nada a curiosidade indispensável ao processo cognitivo, pelo contrário, apenas promove a memorização mecânica de conteúdos (MUENCHEN e AULER, 2007).

Dessa forma, a metodologia didática baseada em investigação, com atividades voltadas para a resolução de problemas, se apresenta como uma realidade capaz de reformular o modo

de aprender ciências. No entanto, apesar dos professores em formação mostrarem-se positivos ao uso de deste tipo de abordagem, suas percepções errôneas favorecem a dicotomia entre a prática de ensino e a sua correta aplicação. Como exemplos dessas percepções está o fato de se considerar que o debater ideias é o elemento principal da indagação e confundir o estado de interesse dos alunos, ou seja, daquele que está apenas fisicamente e não intelectualmente envolvido.

Na metodologia da indagação, o professor deve suscitar nos estudantes o espírito crítico, a curiosidade, a não aceitação do conhecimento simplesmente transferido. A aprendizagem acontece com a formulação e a reformulação dos saberes pelos estudantes ao lado dos professores, igualmente sujeitos do processo.

De acordo com Toma e colaboradores (2017), para que os professores em formação possam ser capazes de aplicar a metodologia de indagação, estes devem dispor de conhecimentos adequados. Tais conhecimentos devem propiciar a elaboração de perguntas cientificamente orientadas que permitam que seus alunos desenvolvam explicações baseadas em evidências empíricas, sendo capazes de justificá-las a partir da conexão com o conhecimento científico. No entanto, para que os professores em formação ou em exercício sejam capazes de aplicar esta metodologia de forma correta, torna-se necessário que eles próprios vivenciem esta modalidade de ensino durante os seus cursos de licenciatura. A realização de estudos e práticas investigativas permite a construção, avaliação e utilização de explicações científicas para os diferentes fenômenos observados. Dessa forma, se o professor não aprender a pensar cientificamente como será capaz de guiar os seus futuros alunos a fazê-lo?

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1. OBSERVAÇÕES DA TURMA

Com o uso de uma correta metodologia de ensino o aluno passa a ser protagonista de seu processo de aprendizagem e os professores assumem o papel de mediadores/facilitadores (WALL *et al.*, 2008). Nesse sentido, o licenciando ao atuar simultaneamente como professor e aluno, durante o estágio de docência, torna-se capaz de superar a dicotomia existente entre a teoria e a prática (MARTINS, 2009). Ao perceber isso sobre o seu próprio entendimento, o licenciando certamente será capaz de desenvolver ferramentas, as quais irão possibilitar que esta mesma luz venha aos olhos de seus futuros alunos, uma vez que ministrar aulas não é apenas fornecer informação, mas, sobretudo incentivar o desenvolvimento cognitivo do aluno, de sua independência em relação ao aprendizado e de seu autoconceito (BEJARANO e DE CARVALHO, 2003).

O primeiro momento em que é permitido o aluno de licenciatura estar em sala de aula como professor é durante a realização dos estágios curriculares. Neste período, o aluno/professor desempenha a sua docência sob a supervisão do professor responsável pela disciplina de estágios e, também, pelo professor titular da turma.

No curso de licenciatura em química da UFRGS os estágios curriculares são desenvolvidos em três Estágios de Docência (I, II e III), com carga horária total de 420 horas (FONSECA e DOS SANTOS, 2015). A unidade temática, a ser analisada neste trabalho, foi produzida durante a realização do segundo estágio, o qual se desenvolveu na disciplina de Propriedades e Produção de Materiais em uma turma do terceiro semestre do curso técnico em química, ofertado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – Campus Porto Alegre. O período de estágio ocorreu de agosto a novembro de 2016.

A turma, na qual a proposta foi desenvolvida, possuía apenas nove alunos, dentre os quais o histórico de alguns se diferenciava bastante, principalmente os dois estudantes do gênero masculino. Além de serem em menor número, eram os mais velhos da turma. Um deles já havia sido empresário no ramo de produção e venda de óleos essenciais, empresa que faliu devido a problemas de processo de produção, sendo essa uma das principais razões pela qual ele havia decidido fazer o curso. O outro aluno, já havia no passado iniciado o curso de técnico em química sem concluí-lo, pois na ocasião havia passado no vestibular para química industrial na UFRGS. Não tendo ele se adaptado ao curso, decidiu trocar para o curso de engenharia

química e após ter cursado até o quarto semestre, resolveu trancar e retomar o curso técnico, optando por refazer todas as disciplinas.

Com relação às meninas, a faixa etária era muito próxima, em torno de 20 anos em média. Apenas uma delas já estava cursando química industrial, também na UFRGS e outra que já era formada em gestão ambiental. Pelo menos duas das demais possuíam planos de cursar biologia ou engenharia ambiental na graduação, depois de concluírem o ensino técnico. Dentre todos os alunos apenas uma das meninas trabalhava e fora da área de química e outros dois realizavam ou já realizaram bolsa de iniciação científica.

Para a maioria dos alunos, a principal justificativa para estarem cursando o técnico em química era devido a sua qualidade e gratuidade, além de possibilitar uma rápida inserção no mercado de trabalho.

3.2. PLANEJAMENTO DO CURSO

Após as observações da turma e das aulas ministradas pelo professor titular, iniciou-se o planejamento do curso e das aulas. Como a disciplina era sobre propriedades e aplicações dos materiais, os conteúdos a serem abordados deveriam englobar metais, polímeros e cerâmicos. Devido ao tempo do estágio (45 horas/aula) ficou combinado que as aulas sobre polímeros e metais seriam ministradas pela professora estagiária e as de cerâmicos pelo professor titular. Esta divisão também foi feita em função das áreas de conhecimento tanto do professor titular quanto da estagiária.

3.3. PLANEJAMENTO DAS AULAS

O planejamento das aulas iniciou-se com a busca por ferramentas que auxiliassem na sua elaboração. O conteúdo acerca de metais e polímeros deveria abordar principalmente o processo de produção desses materiais. Contudo, à medida em que os planejamentos eram preparados, surgiu a necessidade de incluir os tópicos mais introdutórios acerca dos temas, pois pareceu mais adequado retomar certos conceitos e objetivos sobre a estrutura e propriedades desses materiais. O professor titular foi questionado sobre esta possibilidade, o que ele concordou imediatamente alegando que a revisão é sempre uma ferramenta importante para o aprendizado.

Além disso, à medida que as pesquisas eram realizadas, percebeu-se que não havia muita disponibilidade de acervos cuja abordagem fosse adequada ao ensino sobre estes materiais, em nível técnico subsequente ao ensino médio. Os livros, artigos, vídeos, exercícios de fixação, problemas encontrados, quando voltados ao ensino médio, eram conceitualmente superficiais com maior priorização para a contextualização e relação com o cotidiano dos alunos. Por outro lado, os livros para o ensino superior, apesar de conterem um certo nível de contextualização, o aprofundamento nos conceitos era muito superior ao necessário. Em consequência de tal panorama surgiu a necessidade da elaboração do material didático, o qual foi produzido a partir de uma abordagem temática.

Neste ponto, deve-se salientar que a abordagem temática em cursos técnicos integrados ou subsequentes ao ensino médio devem ser produzidas de forma a resguardar uma lisura contextual, assim como um aprofundamento conceitual de tal maneira que exista um diálogo entre os níveis de ensinos básico e superior. Esta noção deve ser levada em consideração uma vez que o objetivo a ser alcançado para quem cursa um ensino profissionalizante é atuar em um nicho específico do mercado de trabalho.

Além disso, para que as aulas não se restringissem apenas a aplicação de conteúdos puramente conceituais, para os planejamentos buscou-se sempre uma contextualização dos conceitos para que o processo de aprendizagem não ocorresse fora da trama histórico-social, cultural e política da realidade dos alunos (GONÇALVES e MARQUES, 2012), e buscando fazer do conhecimento químico da sala de aula uma ferramenta útil a formação do cidadão (FERREIRA e DEL PINO, 2009).

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na elaboração deste trabalho envolveu a produção de uma unidade temática (APÊNDICE), a qual foi desenvolvida durante a realização do segundo estágio de docência para a disciplina de Propriedades e Aplicações de Materiais, em um curso técnico em química subsequente ao ensino médio.

Para a produção deste material didático, inicialmente pesquisou-se na literatura livros didáticos utilizados no Ensino Médio e no Ensino Superior e artigos publicados em periódicos com foco na temática. Concomitantemente, realizou-se o levantamento de dados, a partir de observações e conversas, para a identificação do perfil dos alunos.

Após a elaboração da unidade temática, baseada no conhecimento prévio do ambiente escolar, realizou-se a segunda parte da aplicação da metodologia, a qual consistiu na análise da qualidade do material produzido. Para isso, utilizou-se uma metodologia quantitativa não experimental, com base na aplicação de uma categorização e uma rubrica. Os itens analisados foram adaptados da metodologia empregada por Toma e colaboradores (2017) em unidades temáticas desenvolvidas para o ensino na educação básica.

4.1. CATEGORIZAÇÃO DA UNIDADE TEMÁTICA

A categorização permitiu classificar a unidade temática de acordo com a presença ou ausência de elementos relacionados com a indagação, as quais são apresentadas a seguir:

- 1) Prática incoerente: se trata de um tipo de unidade temática cuja característica principal é a abordagem de conceitos com pouca ou nenhuma relação com o problema inicial proposto, com ênfase na aplicação de muitas atividades práticas com carência de aprofundamento nos fundamentos científicos. Os experimentos são planejados de forma descontextualizada e com pouca relação com o conhecimento científico que se pretende ensinar.
- 2) Prática coerente: a unidade temática é planejada a partir de um dado problema inicial, o qual é resolvido com uma abordagem totalmente prática, desconexa da teoria. Permite aos alunos a formulação de hipóteses sobre o problema inicial, mas as atividades têm uma sequência muito guiada, o que limita o aluno na sua execução, principalmente

acerca das reflexões teóricas. As abordagens possuem um grande potencial para se tornarem indagações, uma vez que os experimentos planejados são adequados e possibilitam gerar conhecimento e aprendizagem significativa aos alunos.

- 3) Acadêmica: ao longo da unidade temática existe um esforço para colocar uma situação problemática, embora o resultado final esteja longe de ser coerente. Os conceitos em estudo são abordados de forma teórica e tradicional, através de palestras focadas na figura do professor. Atividades experimentais podem ser propostas, mas elas são totalmente conduzidas pelo professor. Não contém atividades práticas nas quais o papel do aluno seja relevante.
- 4) Projeto: trata-se de uma unidade temática que a priori, conecta a teoria com a prática e em que os alunos tendem a ter um papel de liderança. No entanto, as atividades são direcionadas para um objetivo específico, seguindo alguns passos que o professor determina. A situação problemática não é retomada no final da unidade, uma vez que se dá muita ênfase em seguir uma “receita” para a realização das atividades.
- 5) Investigadora: são as unidades temáticas que começam a partir de um problema inicial baseado no interesse dos estudantes, o que possibilita que estes formulem hipótese com base em suas ideias anteriores, desenvolvem experimentos e os realizam. As atividades propostas conectam a teoria com a prática, além de gerar conclusões que respondem ao problema inicial apresentado. Finalmente, o problema inicial é retomado e oferece uma possível resposta. No entanto, ao contrário de um unidade temática “indagadora”, o modelo de planejamento não acompanha o aluno em uma série de dificuldades até este chegar a um trabalho independente, podendo perder-se ao longo do processo.
- 6) Indagadora: neste tipo de unidade temática, as ideias anteriores são trabalhadas para introduzir o problema que será objeto de estudo, sempre relacionando com aspectos do meio ambiente e interesse dos alunos. Experimentos chave e sequenciais são desenvolvidos com base em conceitos básicos para o desenvolvimento do problema inicial. Além disso, os resultados obtidos são discutidos e comparados, tentando gerar modelos semelhantes aos aceitos pela comunidade científica. Destaca a presença de perguntas que orientam o tema antes, durante e após a realização dos experimentos e, finalmente, eles abordam as ideias anteriores e as hipóteses propostas para demonstrar

o seu desenvolvimento e melhorar a aprendizagem significativa de novos conceitos. Ao longo do processo, o professor organiza as atividades, de forma que, os alunos adquiram progressivamente níveis mais altos de autonomia. Em última análise, é um modelo de planejamento que analisa as ideias anteriores dos alunos e o seu desenvolvimento propondo uma situação problemática de interesse dos alunos, a qual permite uma análise do ambiente que os rodeia através do levantamento de hipóteses, planejamento e a realização de experiências, discussão dos resultados obtidos e, finalmente, a redação e apresentação de um relatório.

4.2. RUBRICA APLICADA A UNIDADE TEMÁTICA

Para avaliação da UT também foi aplicado uma rubrica cujo objetivo foi identificar as principais dificuldades no desenvolvimento de planejamentos de natureza indagadora. Esta rubrica foi desenvolvida por Toma e colaboradores (2017) a partir de uma adequação do protocolo “*Reformed Teaching Observation Protocol*” desenvolvido por Piburn e Sawada (2000). A partir disso, pode-se classificar a unidade temática desenvolvida de acordo com os quatro componentes necessários a uma metodologia de indagação, de acordo com o Conselho Nacional de Pesquisa (EUA, 2012):

- (a) Os conhecimentos, eventos ou fenômenos abordados devem ter um interesse científico que conecta-se com os próprios conhecimentos dos alunos e cria um conflito cognitivo que promove o desenvolvimento de suas ideias anteriores;
- (b) Os alunos devem ser envolvidos em práticas experimentais que abordem tanto a formulação quanto o teste de hipóteses, possibilitando-os resolver problemas reais e gerar explicações do fenômeno estudado a partir da análise e interpretação de dados e da síntese de ideias próprias;
- (c) Durante o processo de indagação é necessário que os alunos construam modelos, esclareçam conceitos e ampliem seus conhecimentos e habilidades de forma a serem aplicáveis a outras situações, além disso devem aprender alguns elementos centrais sobre como fazer ciência;

(d) Deve haver uma revisão conjunta entre aluno e professor para avaliar o que e como foi aprendido.

Inserido em cada um dos quatro componentes (a-d), descritos acima, encontram-se os itens avaliados (ANEXO A), os quais foram adaptados pela autora baseado do trabalho de Toma e colaboradores (2017), e para cada um deles foi atribuído uma escala de classificação de 0 a 3, de forma a ressaltar quais deles estavam mais presentes na unidade temática desenvolvida.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DA APLICAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Para a aplicação do material didático preparado, buscou-se utilizar uma metodologia do tipo expositiva/dialogada, com a realização de discussões, questionamentos, resolução de exercícios, de uma prática experimental, estudo de caso e apresentação de seminários.

As aulas na turma de Propriedades e Produção de Materiais iniciaram com uma revisão sobre os tipos de materiais, apesar do professor titular já ter ministrado o conteúdo sobre cerâmicos. Optou-se por realizar essa revisão para que os alunos pudessem ter um primeiro contato com a didática da professora estagiária, antes da aplicação do conteúdo acordado, ou seja, materiais metálicos e poliméricos.

Após a primeira aula, na qual foi trabalhada o Capítulo 1 da unidade temática, foi desenvolvida a atividade sobre a *Coca-Cola* (Capítulo 2.5, pág.9 do APÊNDICE). Os alunos mostraram-se muito entusiasmados no decorrer da atividade, pois ao discutirem sobre um produto do conhecimento deles, encontrar argumentos contrários e a favor sobre as embalagens ocorreu sem maiores dificuldades. Durante a discussão, foram abordados aspectos dos conceitos revisados e introduzidos alguns daqueles que seriam trabalhados nas próximas aulas.

A aula sobre ligações químicas (Capítulo 3, pág.10 do APÊNDICE) transcorreu de maneira tranquila, pois os alunos dominavam os conceitos abordados. A percepção acerca do domínio do conteúdo ocorreu por meio de questionamentos feitos no decorrer da aula e com a realização da atividade (Capítulo 3.4, pág.17 do APÊNDICE), a qual relacionou as propriedades de alguns materiais com o tipo de ligação química e com a resolução da lista de exercícios proposta (Capítulo 3.5, pág.17 do APÊNDICE).

No início das aulas, era pedido que os alunos, em conjunto, fizessem uma discussão daquilo que havia sido estudado/trabalhado na aula anterior. Essa prática permitia uma melhor conexão entre os conteúdos abordados e aqueles que seriam vistos, evitando a impressão de que os conceitos eram trabalhados de forma isolada.

Na abordagem sobre a Estrutura dos Sólidos Cristalinos (Capítulo 4, pág.21 do APÊNDICE), Propriedades dos Materiais (Capítulo 5, pág.35 do APÊNDICE) e, principalmente, Ligas Metálicas (Capítulo 6, pág.47 do APÊNDICE) percebeu-se uma maior dificuldade de compreensão por parte dos alunos. A esta dificuldade foram atribuídos dois

fatores, por serem conteúdos intrinsecamente novos, exigindo maior grau de associação pelos alunos e, segundo, pela grande quantidade de conceitos abordados.

Após a finalização sobre o conteúdo de materiais metálicos, um dos alunos apresentou um seminário relacionado ao tema. A apresentação além de ter sido criativa, também abordou diversos fatos históricos que chamaram a atenção dos demais alunos. Neste ponto, percebeu-se que o foco dos alunos torna-se mais intenso quando estes aprendem algo a partir de seus próprios pares, em virtude de possuírem a mesma faixa etária e os mesmos interesses, levando a explicações e exemplos associados ao seu dia-a-dia.

As aulas sobre polímeros (Capítulos 7 e 8, do APÊNDICE), ocorreram de forma tranquila, quando comparados aos conteúdos sobre metais, em virtude de dois fatores: o principal, pelo maior domínio dos conceitos por parte da professora estagiária e pelo assunto estar mais no cotidiano dos alunos como, por exemplo, os tópicos sobre reciclagem, que são constantemente abordados pela mídia. Além disso, ao proporcionar os alunos um material de leitura como o artigo “Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações” para a realização do estudo dirigido (Capítulo 7.7, pág.77 do APÊNDICE), possibilitou um segundo contato com o conteúdo trabalhado, além de propiciar aos alunos uma visão atualizada daquilo que é pesquisado sobre o assunto.

Antes da aula sobre comportamento mecânico e caracterização dos polímeros, foi proposta a atividade de resolução do estudo de caso (Capítulo 7.10, pág.86 do APÊNDICE), pois todos os tópicos que seriam trabalhados naquela aula serviriam de apoio para a sua resolução nas duas semanas seguintes. O principal item pedido foi que os alunos elaborassem um relatório, acerca de todas as decisões tomadas e que após montassem uma apresentação que seria compartilhada com os colegas para uma discussão mais ampla sobre as diferentes possibilidades de resolução.

A última atividade desenvolvida foi a realização da prática experimental envolvendo a separação dos materiais poliméricos a partir de suas diferentes densidades (Capítulo 8.2.1, pág.89 do APÊNDICE). Os alunos a realizaram de forma satisfatória, pois sabiam manipular de forma correta as vidrarias e a balança. No entanto, durante a realização dos cálculos, para determinar a densidade das soluções, percebeu-se a dificuldade de raciocínio de alguns alunos com relação ao conceito de densidade. Eles não se deram conta de que, à medida que maiores volumes de etanol eram adicionados às soluções, menores deveriam ser os valores de densidade. Neste momento, uma consciência maior sobre a fragilidade no processo de

aprendizagem de alguns tornou-se latente, pois eles já estavam cursando o terceiro de quatro módulos do curso técnico.

Todas as observações acerca do comportamento e atitude dos alunos eram posteriormente repassados ao professor titular da disciplina e discutidos nas aulas teóricas do estágio.

5.2. DA ANÁLISE DO MATERIAL PRODUZIDO

Iniciou-se a análise do material produzido realizando-se a categorização da unidade temática. Identificou-se que esta pode estar inserida em mais de uma categorização, uma vez que apresentou aspectos que estão discriminados em mais de um dos itens descritos neste documento (Item 4.1), os quais são apresentados abaixo.

- Acadêmica: diversos conceitos foram abordados de forma teórica e tradicional, apesar da procura pelo desenvolvimento de uma aula dialogada.
- Indagação: A unidade temática está inserida nesta categoria, uma vez que, um problema real foi abordado e resolvido através da discussão, em conexão com as teorias científicas. Permitiu a proposição de hipóteses e a manipulação de variáveis, produzindo como resultados a construção de modelos, com componentes explicativos e a promoção do desenvolvimento de conceitos e habilidades nos estudantes. Ao longo de todo o processo, professora estagiária e alunos trabalharam em conjunto, à medida que as atividades foram realizadas para que os alunos adquirissem níveis progressivamente mais elevados de autonomia.

Estando classificada dentro da categorização indagação, partiu-se para a aplicação da segunda parte da metodologia, ou seja, o uso da rubrica. Nas tabelas 1 a 4 são apresentados os resultados obtidos a partir da análise dos quatro componentes necessários a uma metodologia de indagação (item 4.2). Para cada classificação (0-3) atribuída a unidade temática, com relação a todos os itens dos 4 componentes, fez-se uma marcação (x).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes aos itens do componente (a): “Os conhecimentos, eventos ou fenômenos abordados devem ter um interesse científico que se

conecta com os próprios conhecimentos dos alunos e cria um conflito cognitivo que promove o desenvolvimento de suas ideias anteriores.”

Tabela 1: Resultado da aplicação do primeiro componente da rubrica.

Componente (a): Os conhecimentos, eventos ou fenômenos abordados devem ter um interesse científico que se conecta com os próprios conhecimentos dos alunos e cria um conflito cognitivo que promove o desenvolvimento de suas ideias anteriores.				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 1	3	2	1	0
As estratégias de ensino e atividades respeitam os conhecimentos prévios e pré-conceitos dos alunos	O professor identifica e reflete sobre os conhecimentos prévios dos alunos, os compara com os modelos científicos, os retoma a fim de analisar o seu desenvolvimento	O professor desempenha 2 das 3 atividades: Identifica e reflete sobre os conhecimentos prévios dos alunos, os compara com os modelos científicos, os retoma a fim de analisar o seu desenvolvimento	O professor desempenha 1 das 3 atividades: Identifica e reflete sobre os conhecimentos prévios dos alunos, os compara com os modelos científicos, os retoma a fim de analisar o seu desenvolvimento	Ausência de tratamento dos conhecimentos prévios dos alunos
Identificação na unidade temática	X			
Item 2	3	2	1	0
A aula aborda conceitos fundamentais da matéria	O conteúdo da UT está estruturado de forma clara e coerente, com níveis progressivos de abstração	O conteúdo da UT está estruturado de forma clara e coerente, mas não apresenta níveis progressivos de abstração	O conteúdo da UT não possui uma estrutura clara e coerente, mas apresenta níveis progressivos de abstração	O conteúdo da UT não possui uma estrutura clara e coerente, nem apresenta níveis progressivos de abstração
Identificação na unidade temática	X			
Item 3	3	2	1	0
Os comentários e questionamentos levantados pelos alunos marcam o desenvolvimento da aula.	A lição formula perguntas investigativas, significativas, contextualizadas, éticas e acessíveis. As perguntas podem ser respondidas a partir das atividades propostas	A lição fórmula perguntas que atendem a vários critérios necessário para um investigação efetiva. As perguntas giram em torno de "Por quê?" e "Como?" podem ser respondidas a partir das atividades propostas	Escassa presença de questões científicas ou má preparação das mesmas. Se confunde o "Por quê?" com o "Como?" e vice-versa. As perguntas podem ser respondidas a partir das atividades propostas necessitando de informações adicionais	Nenhuma evidência de perguntas científicas
Identificação na unidade temática	X			

Com relação aos itens 1-3 do componente (a), a unidade temática ficou inserida na categoria 3. No item 1 atribuiu-se esta classificação, uma vez que, algumas estratégias de ensino e atividades desenvolvidas respeitaram os conhecimentos prévios dos alunos. Nesse sentido, pode-se citar a atividade da *Coca-Cola* (Capítulo 2.5, pág.9 do Apêndice), na qual a discussão inicial baseou-se em torno dos conhecimentos e experiência dos alunos, pois considerar as especificidades contextuais é fundamental para garantir a pré-disposição do aluno para querer aprender determinados conceitos (GOMES e GARCIA, 2016). Da mesma forma, ao longo das aulas, para a compreensão de diversas propriedades dos materiais recorreu-se a comparação com modelos científicos. Em diversas ocasiões, retomadas de vários conceitos eram realizadas, como na aula sobre densidade de polímeros (Capítulo 7.9.2, pág.84 do APÊNDICE), onde se realizou uma conexão com a atividade da *Coca-Cola*, evidenciando-se a diferença de densidade entre metais e polímeros, em função de suas diferentes naturezas de ligação química e estrutura macromolecular.

No item seguinte, os conteúdos relativos aos tipos de ligações químicas e interações presentes nos materiais (Capítulo 3, pág.10 do APÊNDICE), assim como, o estudo acerca da estrutura cristalina dos metais (Capítulo 4, pág.21 do APÊNDICE) abordaram conceitos fundamentais da matéria. Além disso, buscou-se organizar a unidade temática de maneira que os tópicos fossem introduzidos de forma a permitir uma compreensão das características microscópicas a partir das características macroscópicas. Como por exemplo, primeiro a abordagem sobre os tipos de materiais existentes e somente após, a discussão sobre os tipos de ligações químicas predominantes nesses materiais, e não o inverso, como são abordados nos livros didáticos (ROGADO, 2004). Este tipo de organização favorece a construção do conhecimento por parte do aluno, uma vez, que o conteúdo é trabalhado de forma organizada e dentro de um contexto.

A classificação 3 para o item 3 do componente (a) deu-se em virtude de dois fatores: o primeiro pelo fato das aulas terem sido desenvolvidas encorajando questionamentos por partes dos alunos, pois isso caracteriza o seu interesse, uma vez que só desenvolvemos dúvidas acerca daquilo que nos é interessante. Sanar as dúvidas dos alunos e gerar discussões em torno delas é uma ferramenta muito útil de aprendizado, pois a dúvida de um pode ser também a de muitos. O segundo fator, é que para a elaboração da unidade temática procurou-se, sempre que conveniente, levantar questões (tópico “Questione-se”, introduzido ao longo de toda a unidade temática), as quais foram contextualizadas de acordo com o planejamento e orientadas de maneira a despertar a curiosidade dos alunos sobre o tema. Esta ferramenta foi utilizada com o

objetivo de fazê-los desenvolver suas próprias ideias e induzi-los a uma discussão com os colegas com a posterior intervenção da professora estagiária. As questões levantadas tinham essa finalidade, pois a maioria delas não podia ser imediatamente e corretamente respondidas já que o conteúdo, na maioria dos casos, seria trabalhado posteriormente.

A Tabela 2 mostra os resultados referentes aos itens do componente (b): “Os alunos devem ser envolvidos em práticas experimentais que abordem tanto a formulação quanto o teste de hipóteses, possibilitando-os resolver problemas reais e gerar explicações do fenômeno estudado a partir da análise e interpretação de dados e da síntese de ideias próprias.”

A unidade temática, nos itens 4 e 5 do componente (b), foi classificada na categoria 2. Sendo assim, pelo menos 1 dos componentes descritos não foram observados. Para a realização da atividade de resolução do estudo de caso (Capítulo 7.10, pág.86 do APÊNDICE), os alunos foram divididos em duplas para que num primeiro momento, houvesse uma troca de ideias acerca do problema proposto. Além disso, também como parte da atividade, eles deveriam elaborar uma apresentação para compartilhar com os colegas a solução encontrada. Neste ponto, diversas habilidades foram desenvolvidas pelos alunos, uma vez que eles tornaram-se capazes de defender suas ideias, ao mesmo tempo em que aprenderam que outras soluções para um mesmo problema são possíveis de serem apontadas, pela perspectiva da apresentação dos outros colegas. Um ponto falho nesta atividade, é que não se procurou explorar a fundo a aplicação das soluções encontradas, bem como, transpor o conhecimento para áreas além da de materiais. Uma aprendizagem apenas torna-se significativa para o aluno, quando este entra em confronto experimental com problemas práticos relevantes transferindo aquilo que aprendeu para outras situações da vida (SANTOS, 2010).

Durante a aplicação da unidade temática, procurou-se sempre estabelecer uma conexão entre os conteúdos trabalhados com o “mundo dos alunos”. Nas aulas sobre metais mas, principalmente, acerca de suas propriedades, diversos questionamentos e exemplos foram levantados pela professora de maneira que os alunos trouxessem suas opiniões. Um dos tópicos que gerou grande discussão foi a quantidade de material metálico necessário para a construção de um avião ou navio e da resistência mecânica que ambos necessitam para funcionarem de maneira correta e segura. A abordagem sobre reciclagem de materiais poliméricos também gerou muitas discussões, evidenciando a preocupação dos alunos sobre a preservação do meio ambiente.

Tabela 2: Resultado da aplicação do segundo componente da rubrica.

Componente (b): Os alunos devem ser envolvidos em práticas experimentais que abordem tanto a formulação quanto o teste de hipóteses, possibilitando-os resolver problemas reais e gerar explicações do fenômeno estudado a partir da análise e interpretação de dados e da síntese de ideias próprias.				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 4	3	2	1	0
A lição promove a compreensão dos conceitos estudados	Na UT se retoma ao problema inicial para propor soluções alternativas, se realiza uma exposição ou apresentação daquilo que está sendo estudado pelos alunos, e explica aos alunos a aplicação dos resultados obtidos	Na UT se realizam 2 das 3 atividades: propõe soluções alternativas ao problema inicial, realiza uma exposição ou apresentação daquilo que está sendo estudado pelos alunos, e explica aos alunos a aplicação dos resultados obtidos	Na UT se realizam 1 das 3 atividades: propõe soluções alternativas ao problema inicial, realiza uma exposição ou apresentação daquilo que está sendo estudado pelos alunos, e explica aos alunos a aplicação dos resultados obtidos	Não há atividade que permita identificar o nível de compreensão dos conceitos estudados
Identificação na unidade temática		X		
Item 5	3	2	1	0
Existe conexão entre os conceitos estudados e os fenômenos do mundo real	O problema levantado tem relação com o “mundo” do aluno. Os resultados obtidos os ajudam a compreender melhor o seu entorno e os permitem aplicar em outros fenômenos ou áreas	A UT cumpre apenas 2 dos 3 itens: O problema levantado tem relação com o “mundo” do aluno. Os resultados obtidos os ajudam a compreender melhor o seu entorno e os permitem aplicar em outros fenômenos ou áreas	A UT cumpre apenas 1 dos 3 itens: O problema levantado tem relação com o “mundo” do aluno. Os resultados obtidos os ajudam a compreender melhor o seu entorno e os permitem aplicar em outros fenômenos ou áreas	Não há evidência de conexão ou aplicação dos resultados obtidos. O problema levantado é muito complexo ou ambíguo para a capacidade dos alunos
Identificação na unidade temática		X		

Os itens 6-7 e 8 da Tabela 3, referentes ao componente (c): durante o processo de indagação é necessário que os alunos construam modelos, esclareçam conceitos e ampliem seus conhecimentos e habilidades de forma a serem aplicáveis a outras situações, além disso devem aprender alguns elementos centrais sobre como fazer ciência, foram classificados em 2 e 3, respectivamente.

Tabela 3: Resultado da aplicação do terceiro componente da rubrica.

Componente (c): Durante o processo de indagação é necessário que os alunos construam modelos, esclareçam conceitos e ampliem seus conhecimentos e habilidades de forma a serem aplicáveis a outras situações, além disso, devem aprender alguns elementos centrais sobre como fazer ciência				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 6	3	2	1	0
As aulas incentivam os estudantes na busca e valorização de modos alternativos de investigação ou de resolução de problemas	Os alunos têm a oportunidade de buscar e analisar, levantar e planejar e colocar em prática experimentos alternativos para sua verificação	Os alunos têm a oportunidade de realizar 2 das 3 competências: buscar e analisar, levantar e planejar e colocar em prática experimentos alternativos	Os alunos têm a oportunidade de realizar 1 das 3 atividades: buscar e analisar, levantar e planejar e colocar em prática experimentos alternativos	Nenhuma evidência de tratamento alternativos de investigação
Identificação na unidade temática	X			
Item 7	3	2	1	0
Os estudantes são encorajados a elaborar conjecturas, estratégias de resolução alternativas e diferentes formas de interpretar os resultados obtidos	O professor encoraja o desenvolvimento de diferentes explicações, as quais mantêm relação com o problema levantado e o fenômeno objeto de estudo. As explicações elaboradas são baseadas a partir dos dados obtidos.	O professor encoraja o desenvolvimento de diferentes explicações, as quais mantêm relação com o problema levantado e o fenômeno objeto de estudo. As explicações elaboradas não são baseadas a partir dos dados obtidos	O professor encoraja o desenvolvimento de explicações que guardam pouca relação com o problema levantado e o fenômeno objeto de estudo. As explicações elaboradas não são baseadas a partir dos dados obtidos	O professor não encoraja elaboração de explicações por parte dos alunos
Identificação na unidade temática	X			
Item 8	3	2	1	0
O professor oferece recursos para apoiar e melhorar as propostas dos estudantes.	O professor oferece diferentes tipos de recursos que variam no grau de dificuldade e abstração, apresenta diferentes materiais e suportes, e sua natureza é distinta (conceitual e procedimental)	O professor oferece 2 dos 3 seguintes tipos de recursos: que variam no grau de dificuldade e abstração, apresenta diferentes materiais e suportes, e sua natureza é distinta (conceitual e procedimental)	O professor oferece 1 dos 3 seguintes tipos de recursos: que variam no grau de dificuldade e abstração, apresenta diferentes materiais e suportes, e sua natureza é distinta (conceitual e procedimental)	O professor não oferece recursos que possam guiar as tarefas dos alunos
Identificação na unidade temática	X			

Nas aulas referentes a caracterização dos polímeros (Capítulo 7.9, pág.81 do APÊNDICE) foram abordadas diversas formas de identificação dos polímeros, o que permitiu

aos alunos visualizarem que mais de uma técnica pode ser empregada para essa finalidade. Este conhecimento possibilita o planejamento prévio das análises que podem ser utilizadas e que informações podem ser coletadas. Para complementar essa discussão, em conjunto com o tópico de reciclagem, foi também proposta um experimento prático que aliasse ambos os conteúdos, ou seja, uma técnica de caracterização e um procedimento de separação, para posterior reaproveitamento, por diferentes densidades. No entanto, este foi o único procedimento experimental planejado ao longo da UT, sendo que outros se fazem necessários principalmente no capítulo referente aos metais (Capítulo 6, pág.47 do Apêndice).

Com relação ao item 7, novamente retomando a resolução do estudo de caso, esta atividade propiciou aos alunos elaborarem diferentes alternativas para a solução do problema proposto. Entretanto, as discussões foram apenas teóricas sem o envolvimento de atividades experimentais e, conseqüentemente, sem a geração de dados que poderiam ser posteriormente analisados. Outro ponto a ser frisado é que a prática de separação dos polímeros por densidade ocorreu como uma “receita de bolo”, em que os alunos apenas seguiram o roteiro e não se fez maiores discussões de que outras formas experimentais essa determinação poderia ser realizada.

A unidade temática foi planejada de maneira a variar o grau de dificuldade das atividades propostas à medida que os conteúdos iam sendo trabalhados. Para isso, fez-se uso de 2 estudos dirigidos: o primeiro sobre polímeros condutores (Capítulo 4.8.2, pág.34 do APÊNDICE) e o segundo sobre Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações (Capítulo 7.7, pág.77 do Apêndice). Nesses exercícios, os alunos necessitaram desenvolver uma leitura mais aprofundada, uma vez, que as respostas para as questões não podiam ser retiradas diretamente do texto, sendo necessária uma real compreensão daquilo que estava sendo discutido. Além disso, outras atividades propostas como o “Questione-se” encontrado ao longo de toda a UT, a tarefa do capítulo 3.4 (pág.17 do APÊNDICE), em que era necessário relacionar algumas das propriedades dos materiais de acordo com o seu tipo de ligação química e os exercícios de fixação sobre propriedades mecânicas no capítulo 5.2 (pág.45 do Apêndice), propiciaram aos alunos explorar e melhorar os níveis de abstração acerca do tema materiais.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados referentes ao último componente (d): “Há uma revisão conjunta entre aluno e professor para avaliar o que e como foi aprendido.”

Tabela 4: Resultado da aplicação do quarto componente da rubrica.

Componente (d): Há uma revisão conjunta entre aluno e professor para avaliar o quê e como foi aprendido.				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 11	3	2	1	0
Há participação ativa dos alunos nas atividades de reflexão que implicam na evolução crítica dos procedimentos utilizados.	A UT promove diálogo e debate a partir da comparação dos resultados obtidos. Se realiza uma avaliação conjunta e se estuda a viabilidade e aplicação das soluções propostas pelos alunos.	A UT promove 2 das 3 atividades: gera diálogo e debate a partir da comparação dos resultados obtidos. Se realiza uma avaliação conjunta e se estuda a viabilidade e aplicação das soluções propostas pelos alunos.	A UT promove 1 das 3 atividades: gera diálogo e debate a partir da comparação dos resultados obtidos. Se realiza uma avaliação conjunta e se estuda a viabilidade e aplicação das soluções propostas pelos alunos.	A UT concebe o estudantes como um sujeito passivo, o qual se limita a executar atividades. Não há reflexão nem atitude crítica
Identificação na unidade temática	X			
Item 12	3	2	1	0
Rigor intelectual, crítica construtiva e a valorização de ideias e modelos alternativos foram avaliadas.	O professor fez uso das seguintes atividades para determinar o grau de consistência das explicações dos estudantes e a presença de ideias alternativas: folhas de registro; exposições; atividades escritas.	O professor usou 2 das 3 atividades para determinar o grau de consistência das explicações dos estudantes e a presença de ideias alternativas: folhas de registro; exposições; atividades escritas.	O professor usou 1 das 3 atividades para determinar o grau de consistência das explicações dos estudantes e a presença de ideias alternativas: folhas de registro; exposições; atividades escritas.	Não há evidências da valorização de ideias alternativas
Identificação na unidade temática	X			

Novamente tomando como base a atividade sobre a *Coca-Cola* (Capítulo 2.5, pág.9 do APÊNDICE) e a resolução do estudo de caso (Capítulo 7.10, pág.86 do APÊNDICE), a UT foi classificada em 2 para o item 11. Através dessas atividades, a unidade temática propiciou a ampla discussão do tema materiais e processos de transformação e caracterização de polímeros, respectivamente. Em ambas, procurou-se que os alunos desenvolvessem soluções para o problema em questão e os comparassem, de maneira a ampliar suas ideias. A professora-estagiaria procurou orientá-los com relação as ideias lançadas, principalmente se estas não

estavam de acordo conceitos da matéria. Além disso, após as discussões também realizou-se uma avaliação conjunta da viabilidade das soluções. Contudo, mais uma vez, com relação ao estudo de caso, a aplicação foi um fator limitante, pois seria necessário o contato com diferentes equipamentos que estão apenas disponíveis em indústrias ou universidades.

Com relação ao último item de análise (12), classificou-se a UT em 3. A professora-estagiária elaborou um diário de campo, durante o período de estágio, com a finalidade de registrar as respostas dos alunos frente a alguma atividade, facilidade ou dificuldade em relação a algum conteúdo, assim como, os tipos de escolhas que eram feitas para o planejamento das aulas. Segundo Marcondes e colaboradores (2016), planejar com critério, atendendo as necessidades do aluno, requer do professor uma constante reflexão na sua ação e sobre a sua ação. Além disso, diversas das atividades propostas promoveram o desenvolvimento da escrita por parte dos alunos, uma vez que estes, após a elaboração das ideias necessitavam transpô-las para um relatório, seja nos estudos dirigidos ou na resolução do estudo de caso. Através destes documentos foi possível determinar o grau de consistência das explicações dos estudantes e a presença de ideias. Em conjunto, os alunos elaboraram uma apresentação em que as soluções encontradas eram expostas e compartilhadas com os colegas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi apresentada a unidade temática produzida durante o segundo estágio obrigatório do curso de Licenciatura em Química da UFRGS, bem como a sua análise, utilizando-se uma metodologia quantitativa não experimental através do relato da sua aplicação. Considera-se que o objetivo de analisar se a unidade temática enquadra-se em um planejamento voltado para uma abordagem de investigação/indagação foi realizado.

A partir da análise, pode-se concluir que a unidade temática, em muitos aspectos, está enquadrada neste tipo abordagem, uma vez que os conceitos, eventos e fenômenos trabalhados contribuíram para promover um interesse científico nos alunos. Isto incentivou os estudantes na busca pela solução dos problemas propostos e pode servir de ferramental para enfrentar desafios em suas vidas. Essa condição foi possível pois os conteúdos trabalhados estavam conectados com o dia-a-dia dos estudantes, o que permitiu trazer à tona suas experiências e gerou um conflito cognitivo de forma que eles evoluíram a partir de suas ideias iniciais. Sendo assim, a unidade temática proposta mostrou-se válida, uma vez que propiciou ao aluno ser o protagonista do seu próprio processo de aprendizagem.

Contudo, a unidade temática apresenta fragilidades em alguns pontos, com relação a aplicação das soluções apontadas e falta de orientação na proposição de atividades experimentais por parte dos alunos. Dessa forma, o material produzido é passível de revisão e aprimoramento.

A pesquisa apresentada deste trabalho além de discorrer sobre a qualidade do material produzido pela autora, também pode ser caracterizada como um instrumento de análise para outras unidades temáticas, estando elas inseridas nas áreas da ciência da natureza, independente do nível de ensino a ser aplicada.

REFERÊNCIAS

AULER, D. et al. Abordagem temática: natureza dos temas em Freire e no enfoque CTS. **Alexandria: revista de educação em ciência e tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 67-84, 2009.

AUTH, M. A. **Formação de professores de ciências naturais na perspectiva temática e unificadora**. 2002. 250 f. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BEJARANO, N. R. R.; DE CARVALHO, A. M. P. PROFESSOR DE CIÊNCIAS NOVATO, SUAS CRENÇAS E CONFLITOS (The novice science teacher, its beliefs and conflicts). **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 3, p. 257-280, 2003.

BERBEL, N. A. N. Metodologia da problematização: uma alternativa metodológica apropriada para o ensino superior. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, v. 16, n. 3, p. 09-19, 1995.

BRASIL. Ministério da Educação. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Brasília, 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais**. Brasília, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ para o Ensino de Ciências e Matemática**. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2017.

CANGEMI, J. M. et al. Poliuretano: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, p. 159-164, 2009.

COUTO, R. M. S. et al. Design of didactic material for teaching and learning situations: The case of São Tomé and Príncipe, Africa. **Problems of Education in the 21st Century**, v. 74, p. 16-30, 2016.

DA SILVA, R. M. G.; SCHNETZLER, R. P. Constituição de professores universitários de disciplinas sobre ensino de Química. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1123, 2005.

DELIZOICOV, D. et al. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2002. 368.

EUA. National Research Council. **A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas**. Washington, 2012.

FERREIRA, M.; DEL PINO, J. C. Estratégias para o ensino de química orgânica no nível médio uma proposta curricular. **Acta scientiae: revista de ensino de ciências e matemática**, v. 11, n. 1, p. 101-118, 2009.

FONSECA, C. V. Representações sociais dos combustíveis: reflexões para o ensino de Química e Ciências na abordagem CTS. # **Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 2, 2015.

FONSECA, C. V.; DOS SANTOS, F. M. T. O curso de licenciatura em química da UFRGS: estudo da estrutura curricular e de aspectos constitutivos da formação docente. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 3, p. 81-111, 2015.

FONSECA, C. V.; LOGUERCIO, R. D. Q. Conexões entre Química e Nutrição no Ensino Médio: Reflexões pelo Enfoque das Representações Sociais dos Estudantes. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 132-140, 2013.

FRESCHI, M.; RAMOS, M. G. Unidade de Aprendizagem: um processo em construção que possibilita o trânsito entre senso comum e conhecimento científico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 156-170, 2009.

GOI, M. E. J.; SANTOS, F. M. **A construção do conhecimento químico por estratégias de resolução de problemas**. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2003, p.1-12.

GOI, M. E. J.; SANTOS, F. M. T. D. Reações de combustão e impacto ambiental por meio de resolução de problemas e atividades experimentais. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, p. 203-209, 2009.

GOMES, A. T.; GARCIA, I. K. Aprendizagem significativa na EJA: uma análise da evolução conceitual a partir de uma intervenção didática com a temática energia. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 2, p. 289-321, 2016.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. A problematização das atividades experimentais na educação superior em Química: uma pesquisa com produções textuais docentes–Parte II. **Química Nova**, v. 35, n. 4, p. 837-843, 2012.

GOUVEIA, V.; VALADARES, J. A aprendizagem em ambientes construtivistas: uma pesquisa relacionada com o tema ácido-base. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 2, p. 199-200, 2016.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, p. 198-202, 2009.

HALMENSCHLAGER, K. R. **Abordagem de temas em Ciências da Natureza no Ensino Médio: implicações na prática e na formação docente**. 2014. 373 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

KRUGER, J. G.; MEIRELES LEITE, S. Q. O ensino de química no curso técnico integrado PROEJA em metalurgia e materiais (IFES campus Vitória): análise das percepções discentes. **Ciências & Cognição**, v. 15, n. 1, p. 171-186, 2010.

LINDEMANN, R. H. et al. Biocombustíveis e o ensino de ciências: Compreensões de professores que fazem pesquisa na escola **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 342-358, 2009.

LOPES, E. S.; MARCONDES, M. E. R. Visões de contextualização de professores de química na elaboração de seus próprios materiais didáticos. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 1, 2010.

MACENO, N. G.; GUIMARÃES, O. M. A inovação na área de Educação Química. **Química Nova na escola**, v. 35, n. 1, p. 48-56, 2013.

MARCONDES, M. E. R. et al. Materiais instrucionais numa perspectiva CTSA: uma análise de unidades didáticas produzidas por professores de química em formação continuada. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 281-298, 2016.

MARQUES, C. A. et al. Visões de meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de química na escola média. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2043, 2007.

MARTINS, A. F. P. Estágio supervisionado em física: o pulso ainda pulsa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 3402, 2009.

MUENCHEN, C.; AULER, D. Configurações curriculares mediante o enfoque CTS: desafios a serem enfrentados na educação de jovens e adultos. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 13, n. 3, 2007.

PASSOS, C. G.; SANTOS, F. M. T. D. **Formação Docente no Curso de Licenciatura em Química da UFRGS: estratégias e perspectivas**. In: Encontro Nacional de Ensino de Química. XIV, 2008, Curitiba.

PIBURN, M.; SAWADA, D. Reformed Teaching Observation Protocol (RTOP) Reference Manual. Technical Report. 2000.

REBELO, I. S. et al. Formação contínua de professores para uma orientação CTS do Ensino de Química: um estudo de caso. **Química nova na Escola**, v. 27, n. 2, p. 30-33, 2008.

ROGADO, J. A grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: algumas considerações sobre dificuldades de ensino e aprendizagem. **Ciência & educação**, v. 10, n. 1, p. 63-73, 2004.

RUBEGA, C. C. C. **A reforma da educação profissional de nível médio e a formação do técnico em química: retrospectiva e perspectivas de uma profissão**. 2000. 269 f. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, F. M. T. Unidades temáticas-produção de material didático por professores em formação inicial. **Experiências em ensino de Ciências**, v. 2, n. 1, p. 01-11, 2007.

SANTOS, S. C. D. O processo de ensino-aprendizagem e a relação professor-aluno: aplicação dos " sete princípios para a boa prática na educação de Ensino Superior". **REGE Revista de Gestão**, v. 8, n. 1, 2010.

SANTOS, W. D.; MORTIMER, E. F. **Concepções de professores sobre contextualização social do ensino de química e ciências**. In: Reunião anual da sociedade brasileira de química, 1999, Poços de Caldas.

SANTOS, W. L. P.; PORTO, P. A. A pesquisa em ensino de química como área estratégica para o desenvolvimento da química. **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1570-1576, 2013.

SOUSA, R. D. et al. Estudo de caso em aulas de química: percepção dos estudantes de nível médio sobre o desenvolvimento de suas habilidades. **Química Nova na Escola, São Paulo**, v. 34, n. 4, p. 220-228, 2012.

SOUZA, P. S. et al. Investigação temática no contexto do ensino de ciências: relações entre a Abordagem Temática Freireana e a práxis curricular via tema gerador. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 155-177, 2014.

STRIEDER, R. et al. **Abordagem de temas na pesquisa em educação em ciências: pressupostos teórico-metodológicos**. In: VIII Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências, 2011, Campinas.

TOMA, R. B. et al. Dificultades de maestros en formación inicial para diseñar unidades didácticas usando la metodología de indagación. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 14, n. 2, p. 441-457, 2017.

WALL, M. L. et al. A experiência de realizar um Estágio Docência aplicando metodologias ativas. **Acta Paul Enferm**, v. 21, n. 3, p. 515-9, 2008.

ANEXO - A

Tabela 5: Itens relacionados a aplicação do primeiro componente da rubrica.

Componente (a): Os conhecimentos, eventos ou fenômenos abordados devem ter um interesse científico que conecta-se com os próprios conhecimentos dos alunos e cria um conflito cognitivo que promove o desenvolvimento de suas ideias anteriores.				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 1	3	2	1	0
As estratégias de ensino e atividades respeitam os conhecimentos prévios e pré-conceitos dos alunos	O professor identifica e reflete sobre os conhecimentos prévios dos alunos, os compara com os modelos científicos, os retoma a fim de analisar o seu desenvolvimento	O professor desempenha 2 das 3 atividades: Identifica e reflete sobre os conhecimentos prévios dos alunos, os compara com os modelos científicos, os retoma a fim de analisar o seu desenvolvimento	O professor desempenha 1 das 3 atividades: Identifica e reflete sobre os conhecimentos prévios dos alunos, os compara com os modelos científicos, os retoma a fim de analisar o seu desenvolvimento	Ausência de tratamento dos conhecimentos prévios dos alunos
Identificação na unidade temática				
Item 2	3	2	1	0
A aula aborda conceitos fundamentais da matéria	O conteúdo da UT está estruturado de forma clara e coerente, com níveis progressivos de abstração	O conteúdo da UT está estruturado de forma clara e coerente, mas não apresenta níveis progressivos de abstração	O conteúdo da UT não possui uma estrutura clara e coerente, mas apresenta níveis progressivos de abstração	O conteúdo da UT não possui uma estrutura clara e coerente, nem apresenta níveis progressivos de abstração
Identificação na unidade temática				
Item 3	3	2	1	0
Os comentários e questionamentos levantados pelos alunos marcam o desenvolvimento da aula.	A lição formula perguntas investigativas, significativas, contextualizadas, éticas e acessíveis. As perguntas podem ser respondidas a partir das atividades propostas	A lição fórmula perguntas que atendem a vários critérios necessário para um investigação efetiva. As perguntas giram em torno de "Por quê?" e "Como?" podem ser respondidas a partir das atividades propostas	Escassa presença de questões científicas ou má preparação das mesmas. Se confunde o "Por quê?" com o "Como?" e vice-versa. As perguntas podem ser respondidas a partir das atividades propostas necessitando de informações adicionais	Nenhuma evidência de perguntas científicas
Identificação na unidade temática				

Tabela 2: Itens relacionados a aplicação do segundo componente da rubrica.

Componente (b): Os alunos devem ser envolvidos em práticas experimentais que abordem tanto a formulação quanto o teste de hipóteses, possibilitando-os resolver problemas reais e gerar explicações do fenômeno estudado a partir da análise e interpretação de dados e da síntese de ideias próprias.				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 4	3	2	1	0
A lição promove a compreensão dos conceitos estudados	Na UT se retoma ao problema inicial para propor soluções alternativas, se realiza uma exposição ou apresentação daquilo que está sendo estudado pelos alunos, e explica aos alunos a aplicação dos resultados obtidos	Na UT se realizam 2 das 3 atividades: propõe soluções alternativas ao problema inicial, realiza uma exposição ou apresentação daquilo que está sendo estudado pelos alunos, e explica aos alunos a aplicação dos resultados obtidos	Na UT se realizam 1 das 3 atividades: propõe soluções alternativas ao problema inicial, realiza uma exposição ou apresentação daquilo que está sendo estudado pelos alunos, e explica aos alunos a aplicação dos resultados obtidos	Não há atividade que permita identificar o nível de compreensão dos conceitos estudados
Identificação na unidade temática				
Item 5	3	2	1	0
Existe conexão entre os conceitos estudados e os fenômenos do mundo real	O problema levantado tem relação com o “mundo” do aluno. Os resultados obtidos os ajudam a compreender melhor o seu entorno e os permitem aplicar em outros fenômenos ou áreas	A UT cumpre apenas 2 dos 3 itens: O problema levantado tem relação com o “mundo” do aluno. Os resultados obtidos os ajudam a compreender melhor o seu entorno e os permitem aplicar em outros fenômenos ou áreas	A UT cumpre apenas 1 dos 3 itens: O problema levantado tem relação com o “mundo” do aluno. Os resultados obtidos os ajudam a compreender melhor o seu entorno e os permitem aplicar em outros fenômenos ou áreas	Não há nenhuma evidência de conexão ou aplicação dos resultados obtidos. O problema levantado é muito complexo ou ambíguo para a capacidade dos alunos
Identificação na unidade temática				

Tabela 3: Itens relacionados a aplicação do terceiro componente da rubrica.

Componente (c): Durante o processo de indagação é necessário que os alunos construam modelos, esclareçam conceitos e ampliem seus conhecimentos e habilidades de forma a serem aplicáveis a outras situações, além disso devem aprender alguns elementos centrais sobre como fazer ciência				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 6	3	2	1	0
As aulas incentivam os estudantes na busca e valorização de modos alternativos de investigação ou de resolução de problemas	Os alunos têm a oportunidade de buscar e analisar, levantar e planejar e colocar em prática experimentos alternativos para sua verificação	Os alunos têm a oportunidade de realizar 2 das 3 competências: buscar e analisar, levantar e planejar e colocar em prática experimentos alternativos	Os alunos têm a oportunidade de realizar 1 das 3 atividades: buscar e analisar, levantar e planejar e colocar em prática experimentos alternativos	Nenhuma evidência de tratamento alternativos de investigação
Identificação na unidade temática				
Item 7	3	2	1	0
Os estudantes são encorajados a elaborar conjecturas, estratégias de resolução alternativas e diferentes formas de interpretar os resultados obtidos	O professor encoraja o desenvolvimento de diferentes explicações, as quais mantêm relação com o problema levantado e o fenômeno objeto de estudo. As explicações elaboradas são baseadas a partir dos dados obtidos.	O professor encoraja o desenvolvimento de diferentes explicações, as quais mantêm relação com o problema levantado e o fenômeno objeto de estudo. As explicações elaboradas não são baseadas a partir dos dados obtidos	O professor encoraja o desenvolvimento de explicações que guardam pouca relação com o problema levantado e o fenômeno objeto de estudo. As explicações elaboradas não são baseadas a partir dos dados obtidos	O professor não encoraja elaboração de explicações por parte dos alunos
Identificação na unidade temática				
Item 8	3	2	1	0
O professor oferece recursos para apoiar e melhorar as propostas dos estudantes.	O professor oferece diferentes tipos de recursos que variam no grau de dificuldade e abstração, apresenta diferentes materiais e suportes, e sua natureza é distinta (conceitual e procedimental)	O professor oferece 2 dos 3 seguintes tipos de recursos: que variam no grau de dificuldade e abstração, apresenta diferentes materiais e suportes, e sua natureza é distinta (conceitual e procedimental)	O professor oferece 1 dos 3 seguintes tipos de recursos: que variam no grau de dificuldade e abstração, apresenta diferentes materiais e suportes, e sua natureza é distinta (conceitual e procedimental)	O professor não oferece recursos que possam guiar as tarefas dos alunos
Identificação na unidade temática				

Tabela 4: Itens relacionados a aplicação do quarto componente da rubrica.

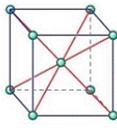
Componente (d): Há uma revisão conjunta entre aluno e professor para avaliar o quê e como foi aprendido.				
Escala de classificação da unidade temática				
Item 11	3	2	1	0
Há participação ativa dos alunos nas atividades de reflexão que implicam na evolução crítica dos procedimentos utilizados.	A UT promove diálogo e debate a partir da comparação dos resultados obtidos. Se realiza uma avaliação conjunta e se estuda a viabilidade e aplicação das soluções propostas pelos alunos.	A UT promove 2 das 3 atividades: gera diálogo e debate a partir da comparação dos resultados obtidos. Se realiza uma avaliação conjunta e se estuda a viabilidade e aplicação das soluções propostas pelos alunos.	A UT promove 1 das 3 atividades: gera diálogo e debate a partir da comparação dos resultados obtidos. Se realiza uma avaliação conjunta e se estuda a viabilidade e aplicação das soluções propostas pelos alunos.	A UT concebe o estudantes como um sujeito passivo, o qual se limita a executar atividades Não há reflexão nem atitude crítica
Identificação na unidade temática				
Item 12	3	2	1	0
Rigor intelectual, crítica construtiva e a valorização de ideias e modelos alternativos foram avaliadas.	O professor fez uso das seguintes atividades para determinar o grau de consistência das explicações dos estudantes e a presença de ideias alternativas: folhas de registro; exposições; atividades escritas.	O professor usou 2 das 3 atividades para determinar o grau de consistência das explicações dos estudantes e a presença de ideias alternativas: folhas de registro; exposições; atividades escritas.	O professor usou 1 das 3 atividades para determinar o grau de consistência das explicações dos estudantes e a presença de ideias alternativas: folhas de registro; exposições; atividades escritas.	Não há evidências da valorização de ideias alternativas
Identificação na unidade temática				

APÊNDICE - A

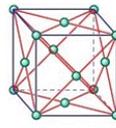
UNIDADE TEMÁTICA

CONHECENDO OS MATERIAIS

metais

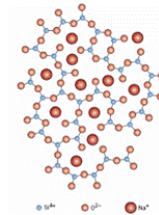


Cúbica Corpo Centrada (BCC)

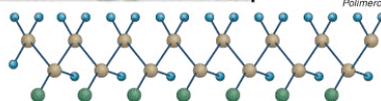


Cúbica Face Centrada (FCC)

Cerâmicos



Polímeros



Eveline Bischoff

Licencianda em Química pela UFRGS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DOS MATERIAIS.....	5
2.1. Evolução dos Materiais	5
2.2. Diferença entre Ciência e Engenharia de Materiais	5
2.3. Conceituação Sobre a Estrutura e Propriedade dos Materiais	6
2.4. Classificação dos Materiais.....	7
2.4.1. Metais	7
2.4.2. Cerâmicos	7
2.4.3. Polímeros	8
2.4.4. Compósitos	8
2.4.5. Seleção dos materiais.....	9
2.5. Atividade	9
3. ESTRUTURA ATÔMICA E LIGAÇÕES QUÍMICAS NOS SÓLIDOS	10
3.1. Energias e Forças de Ligações	12
3.2. Ligações Químicas	13
3.2.1. Ligações Iônicas	13
3.2.2. Ligações Covalentes	14
3.2.3. Ligações Iônicas x Ligações Covalentes	15
3.2.4. Ligações Metálicas	15
3.3. Interações Interatômicas	16
3.3.1. Van der Waals	16
3.4. Atividade	17
3.5. Exercícios.....	17
4. ESTRUTURA DOS SÓLIDOS CRISTALINOS.....	21
4.1. Célula Unitária	21
4.2. Estrutura Cristalina dos Metais	22
4.2.1. Cúbica de Corpo Centrado	22
4.2.2. Cúbica de Face Centrada	22
4.2.3. Hexagonal Compacta.....	22
4.3. Polimorfismo e Alotropia.....	23
4.3.1. Curiosidades	24
4.4. Sistemas Cristalinos	24
4.5. Planos Cristalográficos	25
4.5.1. Difração de raios X: Determinação de Estruturas Cristalinas	26
4.6. Imperfeições nos Sólidos	27
4.6.1. Vacâncias e Espaços Intersticiais	27
4.6.2. Impureza nos Sólidos.....	28
4.7. Importância das Imperfeições Estruturais.....	30
4.7.1. Dopagem em Semicondutores	30
4.7.2. Teoria das Bandas de Energia	31
4.8. Difusão	32
4.8.1. Mecanismos de Difusão.....	33
4.8.2. Atividade	34

5. PROPRIEDADES DOS MATERIAS	35
5.1. Propriedades Mecânicas.....	36
5.1.1. Ensaio mecânico dos materiais.....	36
5.1.2. Ductilidade.....	44
5.1.3. Tenacidade.....	44
5.1.4. Dureza.....	45
5.2. Exercícios.....	45
6. LIGAS METÁLICAS.....	47
6.1. Tipos de Ligas Metálicas	47
6.1.1. Ligas Ferrosas.....	47
6.1.2. Ligas Não-Ferrosas.....	48
6.2. Fabricação de Metais	50
6.2.1. Matéria Prima	50
6.2.2. Fundição	51
6.2.3. Moldagem por areia.....	52
6.2.4. Fundição em Matriz.....	52
6.2.5. Fundição de Revestimento ou de cera perdida	52
6.2.6. Fundição com espuma perdida	53
6.2.7. Processos de moldagem permanente	53
6.3. Técnicas de Conformação de Metais	54
6.3.1. Forjamento.....	54
6.3.2. Laminação	55
6.3.3. Trefilação.....	56
6.3.4. Extrusão	56
6.3.5. Técnicas diversas	57
6.4. Tratamento Térmico.....	58
6.4.1. Definição	58
6.4.2. Estrutura Cristalina	60
6.4.3. Estrutura dos aços resfriados lentamente.....	62
6.4.4. Têmpera do aço	63
6.4.5. Recozimento Pleno	65
6.4.6. Esferoidização	66
6.4.7. Normalização.....	66
7. POLÍMEROS.....	68
7.1. Origem dos Polímeros.....	68
7.2. Reações de Polimerização.....	69
7.2.1. Poliadição	70
7.2.2. Policondensação	71
7.3. Quantidade e disposição dos meros em uma cadeia polimérica	71
7.4. Peso Molecular.....	72
7.4.1. Polidispersão.....	74
7.5. Tipos de cadeias poliméricas: classificação a partir da estrutura química.....	74
7.6. Estrutura macromolecular	75
7.6.1. Cristalização e grau de cristalinidade	76
7.7. Atividade	77
7.8. Comportamento Mecânico dos Polímeros	77
7.8.1. Elastômeros	78

7.8.2. Fibras	79
7.8.3. Plásticos	80
7.9. Caracterização dos Polímeros	81
7.9.1. Propriedades térmicas	82
7.9.2. Densidade	84
7.9.3. Propriedades mecânicas	84
7.9.4. Resistência ao Impacto	85
7.9.5. Permeabilidade	85
7,10 Atividade.....	86
8. RECICLAGEM DE POLÍMEROS	88
8.1. Tipos de reciclagem	89
8.2. Atividade	89
8.2.1. Separação de polímeros por densidade.....	89
REFERÊNCIAS.....	94

1. INTRODUÇÃO

O presente material didático, elaborado no formato de uma Unidade Temática, foi produzido durante o segundo Estágio de Docência do Curso de Licenciatura em Química, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o qual foi realizado em uma turma do Curso Técnico de Química, na modalidade Ensino Pós-Médio. Este material foi elaborado de forma a contemplar tanto os conceitos teóricos acerca do tema materiais, assim como levantar questionamentos sobre o cotidiano dos alunos a partir da contextualização da temática. Além disso, este material foi pensado de maneira que o aluno tenha uma participação crítica e ativa durante as aulas.

Os materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos são muito utilizados na sociedade atual, tendo em vista seu emprego em diversos setores da indústria como naval, automobilística, eletrodomésticos, eletrônicos, entre outros. Em virtude disso, é extremamente importante sabermos diferenciar estes materiais em termos de suas estruturas químicas e propriedades além de pontar os fatores que são relevantes na seleção de um material, em termos de suas propriedades e desempenhos econômicos e ambientais.

2. INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DOS MATERIAIS

2.1. Evolução dos Materiais

O desenvolvimento e o avanço da sociedade estiveram diretamente ligados à habilidade em produzir e manipular materiais para satisfazer necessidades humanas. Dessa forma, as civilizações antigas foram caracterizadas de acordo com o seu nível de desenvolvimento em relação aos materiais (Figura 1).



Figura 1: Evolução dos materiais ao longo dos anos.

No início, os humanos apenas tinham acesso a poucos materiais, apenas aqueles encontrados na natureza, como pedras, peles, argilas, madeira, etc. (Figura 2). Com o decorrer do tempo foram desenvolvendo técnicas e habilidades para produzir materiais com melhores propriedades, como as cerâmicas e alguns metais (Shackelford, 2008). Além disso, também foi descoberto que as propriedades do material se alteravam através de tratamentos térmicos e adição de outras substâncias.



Figura 2: Alguns materiais disponíveis na natureza: pedras, madeiras e peles.

2.2. Diferença entre Ciência e Engenharia de Materiais

Questione-se: Você saberia diferenciar entre o que objetiva a ciência dos materiais da engenharia de materiais? Debata com seus colegas.

Síntese das Conclusões: A ciência dos materiais trata das relações entre síntese, estrutura e propriedades dos materiais, enquanto que a engenharia se preocupa na transformação dos materiais em dispositivos ou estruturas úteis.

2.3. Conceituação Sobre a Estrutura e Propriedade dos Materiais

A *estrutura* de um material se refere ao arranjo dos componentes internos. Sendo que a estrutura subatômica envolve os elétrons no interior dos átomos e a interação com o núcleo (Callister, 2000). Com relação ao nível atômico a estrutura engloba a organização dos átomos ou das moléculas uns em relação aos outros. Um exemplo de estrutura está na comparação entre o diamante e o grafite, pois ambos são constituídos do mesmo elemento: carbono. O diamante é um mineral resultante de uma ligação muito forte entre os átomos de carbono. Essa característica na constituição faz dele um mineral muito duro e, portanto, com grande capacidade de riscar. Já o grafite é um sólido com estrutura lamelar, as quais estão unidas por interações fracas do tipo van der Waals, o que permite que suas camadas possam deslizar umas sobre as outras, o que caracteriza o grafite como um material bastante frágil (Figura 3) (Padilha, 1997).

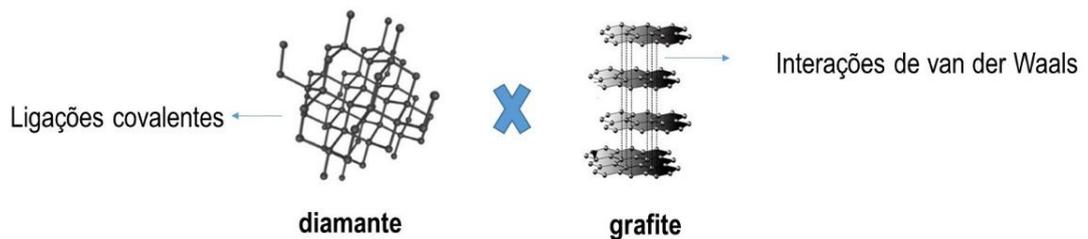


Figura 3: Diferenças na estrutura do diamante e do grafite

Já a *propriedade* é a característica que o material apresenta ao sofrer um determinado estímulo (Figura 4). Como por exemplo, uma amostra que é submetida a uma força sofrerá uma deformação (Smith e Rosa, 1998).

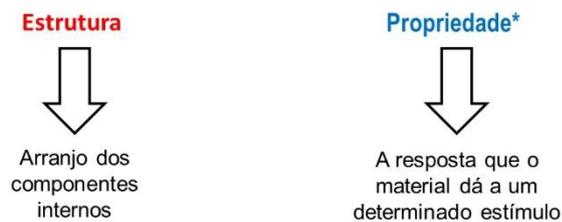


Figura 4: Definição de estrutura e propriedade

Questione-se: Você acha que as propriedades de um material podem variar com sua forma e tamanho? Pedacos grandes têm propriedades diferentes de pequenos fragmentos?

Todas as propriedades importantes dos materiais podem ser distinguidas em seis categorias diferentes: mecânica, elétrica, térmica, magnética, óptica e deteriorativa

(Ulaby, 2009). Para cada uma dessas categorias existe um estímulo que é capaz de provocar diferentes respostas. Como por exemplo, para as elétricas o estímulo é a aplicação de um campo elétrico e para as magnéticas a aplicação de um campo magnético (Vlack e Hall, 1984).

Além da estrutura e propriedade, dois outros componentes importantes também estão envolvidos na ciência e engenharia de materiais, ou seja, a estrutura de um material irá depender de como é processado (obtido) e o desempenho do material será em função de suas propriedades (Figura 5) (Doyle, 1966).



Figura 5: Processamento e desempenho: variáveis que alteram a estrutura e a propriedade dos materiais, respectivamente.

2.4. Classificação dos Materiais

Questione-se: Discuta com os seus colegas sobre características comuns que são apresentadas pelos metais, cerâmicos e polímeros. Também discuta sobre as diferentes aplicações que estes materiais podem ter e como são obtidos.

2.4.1. Metais

Os metais são compostos por um ou mais elementos metálicos (como ferro, ouro, níquel, cobre), mas também podem conter elementos não metálicos (em baixas concentrações) como carbono, nitrogênio e oxigênio. Possuem uma estrutura altamente ordenada, o que os torna elementos muito densos, são rígidos e muito resistentes. São muito utilizados em aplicações industriais. Os materiais metálicos possuem um grande número de elétrons não localizados, ou seja, não estão ligados a um átomo em específico, o que acaba lhes conferindo boa condutividade elétrica e térmica (Coutinho, 1992).

Questione-se: Os elétrons não localizados podem ter relação com a condutividade?

2.4.2. Cerâmicos

Os cerâmicos são compostos formados por elementos metálicos e não metálicos. Como óxido de alumínio (Al_2O_3 – alumina) ou óxido de silício (SiO_2 – sílica), cimento e o vidro. Em relação ao comportamento mecânico as cerâmicas são rígidas, duras e leves, mas altamente suscetíveis a fraturas. São isolantes ao calor e a eletricidade e são mais resistentes a altas temperaturas e a ambientes severos que os metais e os polímeros (Beer *et al.*, 2015).

Questione-se: Por serem isolantes, os cerâmicos possuem elétrons livres?

2.4.3. Polímeros

Os polímeros são compostos orgânicos baseados no carbono, hidrogênio e outros elementos não-metálicos como O, S e Si. Possuem estruturas moleculares grandes (longas cadeias de carbono), denominadas de macromoléculas. Suas propriedades dependem de sua composição e estrutura, e dependendo podem ter propriedades semelhantes aos metais ou aos cerâmicos. Uma das grandes vantagens em relação aos demais materiais é a sua capacidade de moldagem, razão pela qual existem inúmeros produtos à base de polímeros. No entanto, uma de suas desvantagens é a baixa temperatura de fusão que limita algumas de suas aplicações. Dentre os polímeros encontram-se os termoplásticos, os termofixos e elastômeros (Mano, 2000; Canevarolo Jr, 2002).

Questione-se: Agora que você está mais familiarizado com os materiais, você saberia dizer se é possível misturá-los e obter outros materiais com características intermediárias? Discuta com seus colegas.

2.4.4. Compósitos

Um compósito é composto por dois (ou mais) materiais individuais, os quais se enquadram dentro das categorias já discutidas: metais, polímeros e cerâmicos. A meta de projeto de um compósito consiste em se atingir uma combinação de propriedades que não é exibida pelos materiais isolados, ou seja, a obtenção de um material que apresente as melhores características de cada um dos componentes (Higgins, 1982). Um dos compósitos mais comuns é a combinação da fibra de vidro com polímeros. O material compósito apresenta a resistência da fibra de vidro associado à flexibilidade do polímero.

Questione-se: Como saber se um determinado material é adequado ou não a um determinado campo de aplicação? Para responder a esta questão é necessário compreender no que consiste o processo de seleção de um material.

2.4.5. Seleção dos materiais

Depois do conhecimento acerca dos principais tipos de materiais, torna-se importante também conhecer sobre os processos de escolha dos materiais mais adequados a uma determinada aplicação. Dentre os elementos que devem ser levados em consideração para essa tomada de decisão, destacam-se:

- Quais as propriedades que o material deve ter?
- Quanto tempo ele deve manter estas propriedades?
- Qual o custo?
- Qual o impacto ambiental e os fatores ecológicos envolvidos?
- Quais as limitações e restrições do projeto?

2.5. Atividade

Coca-Cola é uma das marcas mais conhecida mundialmente. Sendo o seu principal produto vendido em embalagens cujos materiais foram apresentados: latinhas (metal), garrafas de vidro (cerâmico) e garrafas plásticas (polímero). Os alunos devem ser divididos em 3 grupos e cada um ficará com uma das embalagens para o desenvolvimento da atividade.

Como cada uma dessas embalagens apresentam vantagens e desvantagens quando comparadas umas com as outras, os alunos deverão, baseados em sua experiência como consumidores e no conteúdo abordado sobre os materiais, fazer um relatório técnico explicando o porquê de a sua embalagem ser a melhor, apresentando suas vantagens e ao mesmo tempo devem apontar as desvantagens das outras embalagens que serão apresentadas pelos colegas.

A partir dessa atividade os alunos poderão ser capazes de compreender o quão importante é o processo de seleção de materiais no desenvolvimento de um projeto. Além disso, poderão visualizar a partir de um produto trivial que, dificilmente, um único material conterá todas as propriedades desejadas.

3. ESTRUTURA ATÔMICA E LIGAÇÕES QUÍMICAS NOS SÓLIDOS

As propriedades químicas e físicas de um material só podem ser compreendidas se conhecemos o tipo de ligações e interações existentes nesse material. No entanto, antes disso, precisamos entender como ocorrem as ligações químicas. Para isso, podemos começar pela análise do modelo atômico de Bohr (Figura 6), no qual os elétrons circundam o núcleo em orbitais discretos com a sua posição definida em termos de seus orbitais (Brown e Holme, 2010).

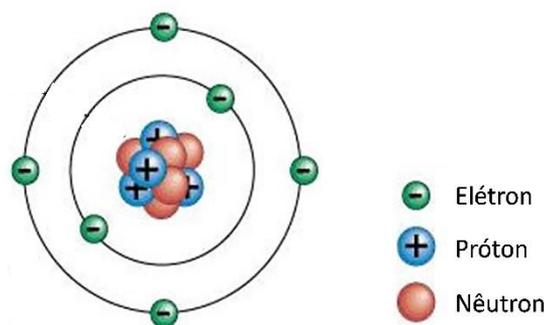


Figura 6: Modelo atômico de Bohr

A partir de maiores estudos verificou-se que o modelo atômico de Bohr tinha algumas limitações significativas, devido à sua incapacidade de explicar vários fenômenos envolvendo elétrons. A resolução dessas deficiências foi encontrada com o desenvolvimento do que se tornou conhecido como a mecânica ondulatória e um modelo do átomo mais adequado foi proposto. Nesse novo modelo considerou-se que um elétron exibe características tanto de onda quanto de partícula, o comportamento partícula-onda. Dessa forma, o elétron não é mais tratado como uma partícula que se movimenta num orbital discreto, ou seja, a posição do elétron passa a ser descrita por uma distribuição de probabilidade (Brown e Holme, 2010).

Usando a mecânica ondulatória, todo elétron num átomo é caracterizado por 4 parâmetros, denominados números quânticos. O tamanho, forma e orientação espacial da densidade de probabilidade de um elétron são especificados por 3 números quânticos. Além disso, os níveis de energia de Bohr se separam em subcamadas de elétrons, e números quânticos ditam o número de estados dentro de cada subcamada. Camadas são especificadas por um número quântico principal n , que pode tomar valores inteiros

começando com a unidade, sendo: $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$, como indicado. Relembrando que apenas este número está associado com o modelo de Bohr.

O segundo número quântico, l , significa subcamada, que é denotada por uma letra minúscula: s, p, d, ou f. O número de estados de energia para cada subcamada é determinado pelo número quântico, m_l . Para uma subcamada s existe um único estado de energia, enquanto que para subcamadas p, d, e f, existem 3, 5 e 7 estados, respectivamente. Associado a cada elétron se encontra um momento de spin, que deve estar orientado para cima ou para baixo. Relacionado a este momento de spin encontra-se o quarto número quântico, m_s , para o qual são possíveis 2 valores ($+1/2$ e $-1/2$), um para cada uma das orientações de spin.

A partir da análise de um diagrama de nível de energia (Figura 7) para as várias camadas e subcamadas usando o modelo de mecânica ondulatória é possível visualizar que quanto menor for o número quântico principal, tanto menor o nível de energia; por exemplo, a energia de um estado 1s é menor do que aquela de um estado 2s, que por sua vez é menor do que aquela de um estado 3s. Segundo, dentro de cada camada a energia de uma subcamada cresce com o valor do número quântico l . Por exemplo, a energia de um estado 3d é maior do que aquela de um estado 3p, que é maior do que aquela de um estado 3s. Finalmente, pode haver superposição em energia de um estado numa camada com estados numa camada adjacente, que é especialmente verdadeiro de estados d e f; por exemplo, a energia de um estado 3d é maior do que aquela para um estado 4s.

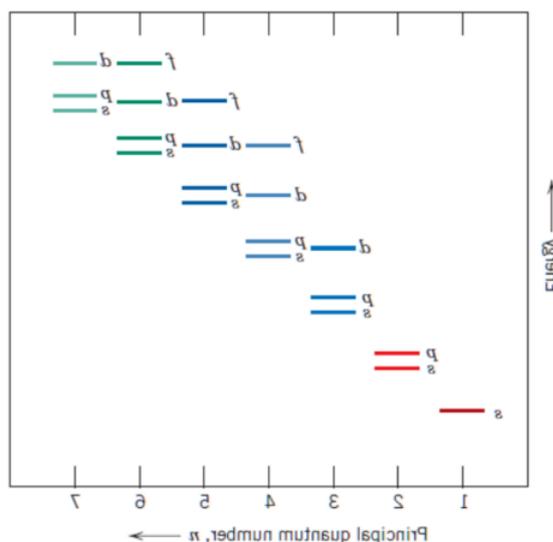


Figura 7: Diagrama de nível de energia

3.1. Energias e Forças de Ligações

Antes da abordagem sobre os tipos de ligações, torna-se necessário compreender a energia e a força de ligação entre os átomos (Figura 8). Para isso, deve-se considerar a interação entre dois átomos que estão isolados a uma distância infinita e que passam a se aproximar. Em grandes distâncias as interações são desprezíveis, mas à medida que os átomos se aproximam, cada um exerce força sobre o outro. Estas forças são de 2 tipos, atrativa e repulsiva, e a magnitude de cada é uma função da distância de separação.

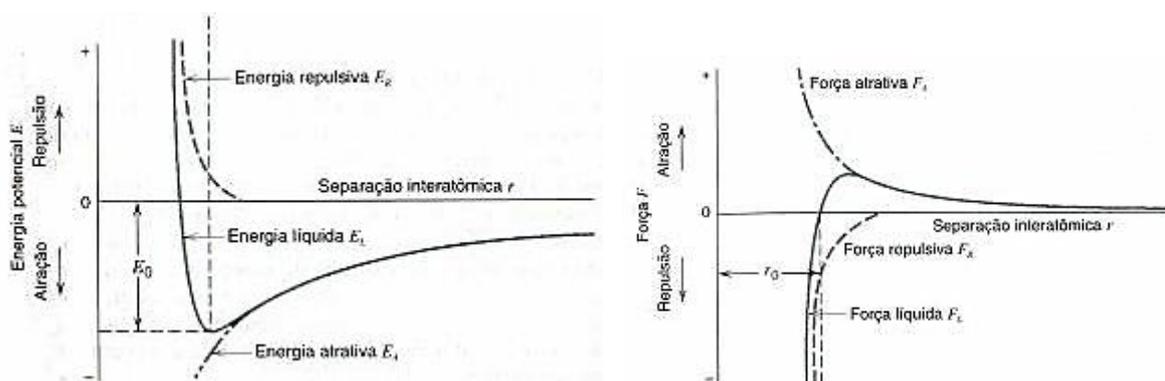


Figura 8: Diagrama de: a) Energia potencial e b) Força entre dois átomos.

As camadas eletrônicas mais externas dos dois átomos começam a se superpor e uma intensa força repulsiva começa a atuar. A força resultante, entre os dois átomos é soma das componentes de atração e repulsão. Quando a soma das forças atrativas e repulsivas é zero, os átomos estão na chamada distância de equilíbrio (r_0). Uma vez nessa posição, os dois átomos irão contrabalançar, pela ação de uma força de atração, qualquer tentativa de separá-los; ou, pela ação de uma força de repulsão, irão contrabalançar tentativas de aproximá-los.

Com relação ao gráfico de energia (Figura 8-a) é possível visualizar a energia potencial atrativa, repulsiva e a resultante entre elas em função da separação entre dois átomos. A curva resultante apresenta um poço de energia potencial ao redor do seu mínimo. Nesse gráfico, a mesma distância de equilíbrio r_0 , corresponde à distância de separação no ponto mínimo da curva da energia potencial. A energia de ligação para estes 2 átomos, E_0 , representa a energia que seria requerida para separar estes 2 átomos até uma distância de separação infinita.

Através da análise do gráfico da energia potencial é possível visualizar como a magnitude e a forma dessa energia varia de material para material (Figura 9). Sendo que

para energias menores o estado gasoso é favorecido; líquidos prevalecem quando as energias são de magnitude intermediária e as substâncias sólidas são formadas para grandes energias de ligação. Como consequência, para materiais sólidos, as temperaturas de fusão bem como propriedades coesivas refletem a magnitude da energia de ligação.

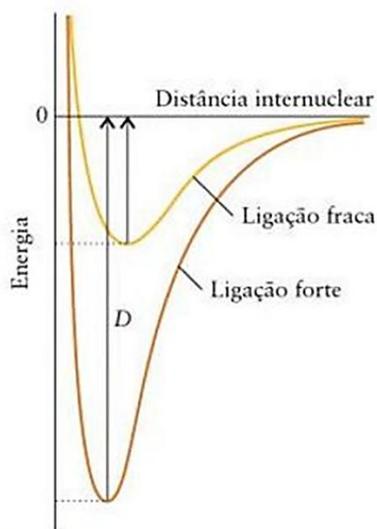


Figura 9: Variação da energia potencial para cada tipo de ligação.

Outra variável que afeta o valor mínimo da energia potencial é o tipo de ligação existente entre os átomos. As ligações químicas são divididas em três: iônica, covalente e metálica. As interações intermoleculares também influenciam a energia potencial e consequentemente as propriedades dos materiais, estas podem ser divididas em interações do tipo van der Waals e ligações de hidrogênio.

Questione-se: Porque a energia de ligação varia tanto em função da distância? A mesma coisa acontece com dois ímãs se afastando ou se aproximando?

3.2. Ligações Químicas

3.2.1. Ligações Iônicas

São compostas de elementos metálicos e não metálicos. Elementos estes encontrados nas extremidades opostas da tabela periódica. Átomos de um elemento metálico facilmente cedem elétrons de valência para um átomo não metálico adquirindo estabilidade de gás nobre. O átomo de sódio pode assumir a estrutura eletrônica do gás neônio enquanto que o cloro a do gás argônio (Figura 10).

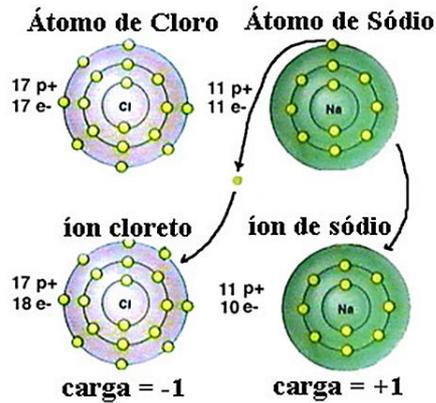


Figura 10: Ligação Iônica entre os átomos de sódio (Na) e cloro (Cl).

As ligações iônicas são não direcionais, isto é, a magnitude da ligação é igual em todas as direções em volta do íon. Assim, para o material iônico ser estável, todo o íon positivo deve ter como vizinhos mais próximos íons carregados negativamente nas três posições, e vice-versa.

As energias de ligação que variam geralmente na faixa entre 600 a 1500 kJ/mol, são relativamente altas, o que se reflete em temperaturas de fusão elevadas (Brown e Holme, 2010). A ligação predominante dos materiais cerâmicos é a iônica. Os materiais iônicos são caracteristicamente duros e quebradiços e isolantes térmicos e elétricos. Tais propriedades são consequência direta da natureza da ligação iônica.

3.2.2. Ligações Covalentes

As configurações eletrônicas estáveis de ligações covalentes são obtidas pelo compartilhamento de elétrons entre átomos adjacentes. Dois átomos ligados por covalência contribuirão com no mínimo 1 elétron cada para a ligação e os elétrons compartilhados podem ser considerados pertencentes a ambos os átomos (Figura 11).

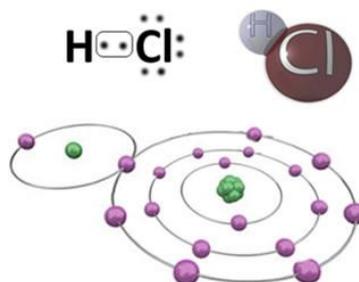


Figura 11: Ligação covalente entre os átomos de hidrogênio (H) e cloro (Cl).

A ligação covalente é direcional, isto é, ocorre entre átomos específicos e pode existir somente em uma direção entre um átomo e outro que compartilha. Muitas moléculas elementares não metálicas (H_2 , O_2 , N_2 , etc.) bem como moléculas contendo diferentes átomos tais como CH_4 , H_2O , HF são ligadas por covalência. Este tipo de ligação é encontrado também em sólidos elementares como C, Si e Ge. As ligações covalentes podem ser muito fortes, como no diamante que é muito duro e tem alto ponto de fusão ($3500\text{ }^\circ\text{C}$). Os materiais poliméricos são formados por este tipo de ligação. Sua estrutura molecular consiste em um longa cadeia de átomos de carbono que estão covalentemente ligados entre si com 2 de suas 4 ligações disponíveis por átomo. As 2 ligações remanescentes normalmente são compartilhadas com outros átomos, que estão também covalentemente ligados.

Questione-se: Se ambos, diamante e plástico, são feitos de ligações covalentes porque suas durezas são tão diferentes?

3.2.3. Ligações Iônicas x Ligações Covalentes

As ligações iônicas e covalentes são dois modelos extremos da ligação química. Quando dois elementos não metálicos se unem, eles formam uma ligação covalente, já quando um elemento não metálico se une a um metálico, têm-se a formação de uma ligação iônica. No entanto, a maior parte das ligações em compostos têm caráter duplo, ou seja, parte iônica e parte covalente. Dessa forma, o grau da ligação dependerá da eletronegatividade dos átomos constituintes.

3.2.4. Ligações Metálicas

São encontradas em metais e em ligas metálicas. Os materiais metálicos têm, em geral, 1, 2 ou 3 elétrons de valência. Estes elétrons não são ligados a nenhum átomo em particular e estão mais ou menos livres para se moverem através do metal, formando uma nuvem eletrônica (Figura 12). Os elétrons fora da camada de valência e o núcleo formam o que se chama de núcleo iônico, os quais possuem uma carga resultante positiva com magnitude equivalente a carga total dos elétrons de valência por átomo. Os elétrons livres protegem os núcleos iônicos, carregados positivamente, das forças eletrostáticas mutuamente repulsivas que eles iriam, de outra forma, exercer uns sobre os outros; consequentemente. A ligação metálica exibe uma natureza não direcional.

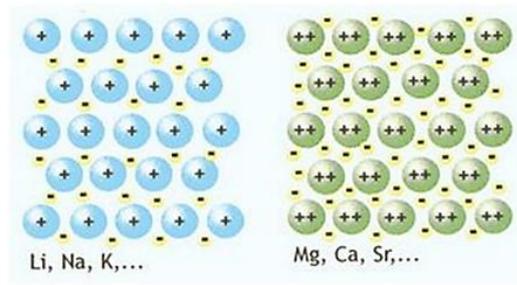


Figura 12: Representação de elétrons livres em ligações metálicas.

3.3. Interações Interatômicas

3.3.1. Van der Waals

As interações intermoleculares são fracas em comparação com as ligações químicas, sendo que suas energias encontram-se na ordem de apenas 10 kJ/mol. Este tipo de interação existe entre todos os átomos ou moléculas, mas sua presença pode ser obscurecida se qualquer uma das ligações químicas estiver presente

As interações intermoleculares surgem dos dipolos atômicos ou moleculares. Em essência, um dipolo elétrico ocorre sempre que exista alguma separação das porções positiva e negativa de um átomo ou molécula. A ligação resulta da atração Coulômbicas entre o terminal positivo de um dipolo e a região negativa de um outro dipolo adjacente. Interações de dipolo ocorrem entre dipolo-dipolo, dipolo instantâneo-dipolo induzido e dipolo-dipolo induzido (Figura 13).

Outro tipo de interação é a ligação de hidrogênio, a qual existe entre algumas moléculas que tem hidrogênio como um dos constituintes e átomos fortemente eletronegativos como flúor (F), oxigênio (O) e nitrogênio (N).

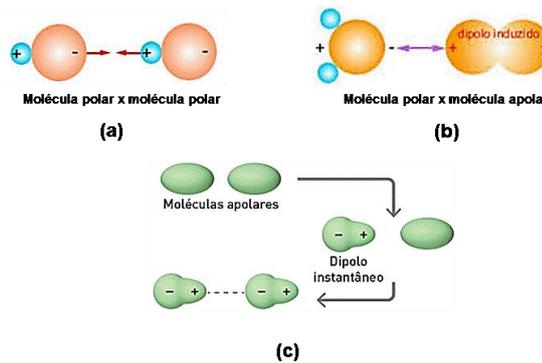


Figura 13: Interações intermoleculares: a) dipolo-dipolo, b) dipolo-dipolo induzido e c) dipolo instantâneo-dipolo induzido.

3.4. Atividade

Tendo em conta os modelos atômicos e os tipos de ligações químicas formados entre os átomos justifique as seguintes propriedades:

- Sólidos metálicos: ruptura dúctil
- Sólidos iônicos: duros e frágeis
- Sólidos covalentes: elevado ponto de ebulição
- Sólido molecular: baixo ponto de fusão

3.5. Exercícios

1. Dados os compostos: Apresentam ligações covalentes os compostos:

I - Cloreto de sódio	A) I e V
II - Brometo de hidrogênio	B) III e V
III - Gás carbônico	C) II, IV e V
IV - Metanol	D) II, III e IV
V - Fe_2O_3	E) II, III, IV e V

2. Analise as propriedades físicas na tabela abaixo:

Amostra	Ponto de fusão	Ponto de ebulição	Condutividade elétrica	
			25 °C	1000 °C
A	801	1413	isolante	condutor
B	43	182	isolante	-
C	1535	2760	condutor	condutor
D	1248	2250	isolante	isolante

Segundo os modelos de ligação química, A, B, C e D podem ser classificados, respectivamente, como:

- a) composto iônico, metal, substância molecular, metal.
- b) metal, composto iônico, composto iônico, substância molecular.
- c) composto iônico, substância molecular, metal, metal.
- d) substância molecular, composto iônico, composto iônico, metal.
- e) composto iônico, substância molecular, metal, composto iônico

3. Considere os seguintes compostos do enxofre:

I. SO_3 - um dos poluentes responsáveis pela formação da "chuva ácida".

II. Na_2SO_4 - utilizado na obtenção de papel sulfite.

III. ZnS - componentes da blenda, minério de zinco.

Em relação ao tipo de ligação química que essas substâncias apresentam, é correto afirmar que:

A) são todas moleculares. B) são todas iônicas. C) I e II são moleculares e III é iônica.

D) I é iônica e II e III são moleculares. E) I é molecular e II e III são iônicas.

4. As propriedades exibidas por um certo material podem ser explicadas pelo tipo de ligação química presente entre suas unidades formadoras. Em uma análise laboratorial, um químico identificou para um certo material as seguintes propriedades:

- Alta temperatura de fusão e ebulição
- Boa condutividade elétrica em solução aquosa
- Mau condutor de eletricidade no estado sólido

A partir das propriedades exibidas por esse material, assinale a alternativa que indica o tipo de ligação predominante no mesmo:

a) metálica b) covalente c) dipolo instantâneo - dipolo induzido d) iônica

5. O sal de cozinha (NaCl), o ácido clorídrico (HCl) e a glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) apresentam em suas estruturas, respectivamente, ligações do tipo:

a) iônica, iônica e iônica. b) covalente, covalente e covalente.

c) metálica, covalente e covalente. d) iônica, covalente e covalente.

e) iônica, metálica e covalente.

6. Um material sólido tem as seguintes características:

- não apresenta brilho metálico;
- é solúvel em água;
- não se funde quando aquecido a $500\text{ }^\circ\text{C}$;
- não conduz corrente elétrica no estado sólido;
- conduz corrente elétrica em solução aquosa.

Com base nos modelos de ligação química, pode-se concluir que, provavelmente, trata-se de um sólido:

A) Iônico. B) covalente. C) molecular. D) metálico

7. O cobre metálico é bastante utilizado na confecção de fios condutores de eletricidade.

Baseado na propriedade de condutividade elétrica dos metais, pode-se afirmar, a respeito do fio de cobre, que:

- a) é constituído de íons metálicos positivos em posições ordenadas, com os elétrons de valência movimentando-se em todo o fio.
- b) é constituído de moléculas.
- c) seus átomos estão unidos por ligações iônicas.
- d) as forças eletrostáticas que unem os átomos de cobre no fio são resultantes das interações dipolo-dipolo.
- e) as ligações nele existentes são covalentes.

8. Tendo o conhecimento de como as ligações químicas se formam, podemos entender as propriedades dos compostos e imaginar como os cientistas projetam novos materiais. Novos remédios, produtos químicos para agricultura e polímeros usados em artefatos, tais como CDs, telefones celulares e fibras sintéticas, se tornaram possíveis porque os químicos entendem como os átomos se ligam em formas específicas.

Com base nos diferentes tipos de ligações químicas, quais as ligações químicas responsáveis pela existência das substâncias: sódio metálico (Na), sal de cozinha (NaCl), ácido muriático (HCl) e gás oxigênio (O₂)?

- a) iônica, metálica, iônica, covalente
- b) metálica, iônica, iônico, covalente
- c) metálica, iônica, iônico, iônico
- d) metálica, covalente, covalente, covalente
- e) metálica, iônica, covalente, covalente

9. Quando dois ou mais metais, no estado líquido, são miscíveis, dizemos que constituem uma liga metálica, podendo ter composição porcentual, em massa, variável. Como exemplo, tem-se o bronze, liga de cobre e estanho, usado na manufatura de um sino que contém 80% de cobre e 20% de estanho e de uma fechadura contendo 90% de cobre e 10% de estanho. Com as informações acima, fazem-se as afirmações.

I. O bronze, por não ter composição fixa, não é representado por fórmula química.

II. Se o sino for de meia tonelada, a massa de cobre é de 400 kg.

III. Se, na fechadura, houver 20g de estanho, então a quantidade de bronze, nela, é de 200g. IV. Na obtenção de ligas metálicas, deve haver a evaporação dos metais que a compõem.

Estão corretas as afirmações

a) I e III, somente. b) I, II e III, somente. c) II e III, somente.

d) I, II e IV, somente. e) I, II, III e IV.

4. ESTRUTURA DOS SÓLIDOS CRISTALINOS

Estrutura cristalina é a forma com que os átomos ou moléculas estão espacialmente organizados. Dessa forma, um material cristalino é aquele em que os átomos estão situados num arranjo periódico e repetitivo sobre grandes distâncias atômicas (Figura 14-a). Todos os metais, a maioria dos materiais cerâmicos, e certos polímeros formam estruturas cristalinas sob condições normais de solidificação. Para aqueles que não se cristalizam, não existe esta ordenação atômica de longo alcance; são os materiais não-cristalinos ou amorfos (Figura 14-b) (Smith e Hashemi, 2013).

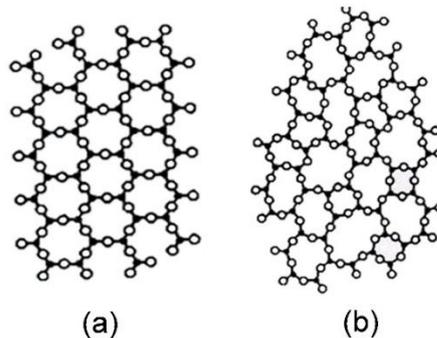


Figura 14: Estrutura dos sólidos: a) cristalino e b) amorfo.

Diversas propriedades dos materiais sólidos dependem da sua estrutura cristalina, inclusive para materiais que possuam a mesma composição. Como por exemplo, as cerâmicas e os polímeros amorfos são em geral, transparentes, os mesmos materiais na forma cristalina, são opacos.

4.1. Célula Unitária

A Célula Unitária (Figura 15) é a menor unidade que, ao ser empilhada repetidamente sem lacunas, pode representar um cristal inteiro. Sendo assim, um cristal é formado por diversas células unitárias arranjadas tridimensionalmente (esse arranjo é também chamado de rede cristalina).

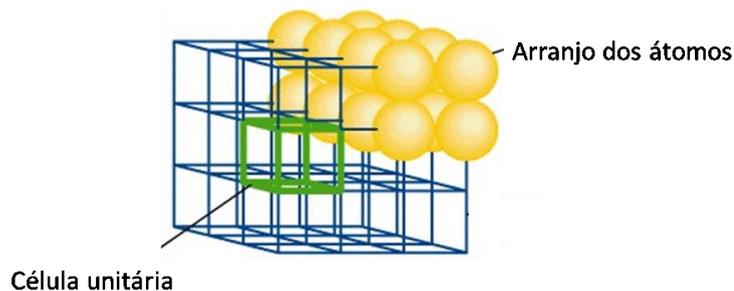


Figura 15: Representação da célula unitária em uma estrutura cristalina.

4.2. Estrutura Cristalina dos Metais

Como a ligação metálica é não-direcional não há restrições quanto ao número e posições dos vizinhos mais próximos. Então, a estrutura cristalina dos metais tem geralmente um número grande de vizinhos e alto empacotamento atômico. Três são as estruturas cristalinas mais comuns em metais: Cúbica de corpo centrado (CCC), cúbica de face centrada (CFC) e hexagonal compacta (HC) (Gomes, 2004).

4.2.1. Cúbica de Corpo Centrado

Uma das estruturas cristalinas encontrada para muitos metais tem uma célula unitária de geometria cúbica, com os átomos localizados em todos os 8 vértices e um único átomo no centro do cubo. Esta é a estrutura cristalina Cúbica de Corpo Centrado (CCC) (Figura 16). Alguns metais que possuem esta estrutura cristalina são ferro, tungstênio e cromo.

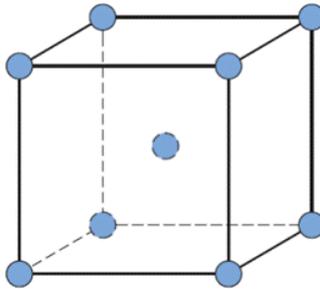


Figura 16: Representação de uma célula unitária cúbica de corpo centrado.

4.2.2. Cúbica de Face Centrada

Uma outra estrutura cristalina metálica comum também tem uma célula unitária cúbica com átomos localizados em cada um dos vértices e nos centros de todas as faces do cubo (Figura 17). Alguns exemplos de metais que possuem esta estrutura cristalina são cobre, alumínio, prata e ouro.

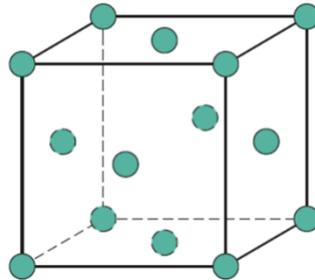


Figura 17: Representação de uma célula unitária cúbica de face centrada.

4.2.3. Hexagonal Compacta

Alguns metais apresentam célula unitária com geometria hexagonal. Nessa estrutura, as faces superior e inferior são compostas por 6 átomos que formam hexágonos regulares e que estão ao redor de um único átomo central. Outro plano que também contribui com 3 átomos adicionais para a célula unitária está localizado entre os planos superior e inferior (Figura 18).

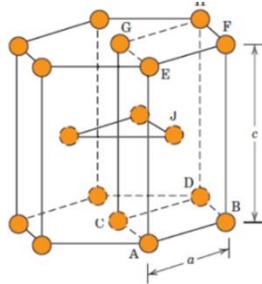


Figura 18: Representação de uma célula unitária hexagonal compacta.

4.3. Polimorfismo e Alotropia

Alguns metais, bem como não-metais, podem ter mais do que uma estrutura cristalina, um fenômeno conhecido como polimorfismo. Quando encontrado em sólidos elementares, a condição é com frequência denominada de alotropia. A estrutura cristalina predominante depende tanto da temperatura quanto da pressão externa. Um exemplo é o carbono que possui diversos alótropos (Figura 19), sendo o grafite e o diamante os mais conhecidos. O grafite é o alótropo mais estável nas condições ambientes, enquanto que o diamante é formado em pressões extremamente altas. Também, ferro puro tem uma estrutura cristalina CCC à temperatura ambiente, com mudanças para ferro CFC a 912°C (Timoshenko, 1966). Muitas vezes uma modificação da densidade e outras propriedades físicas acompanha a transformação polimórfica.

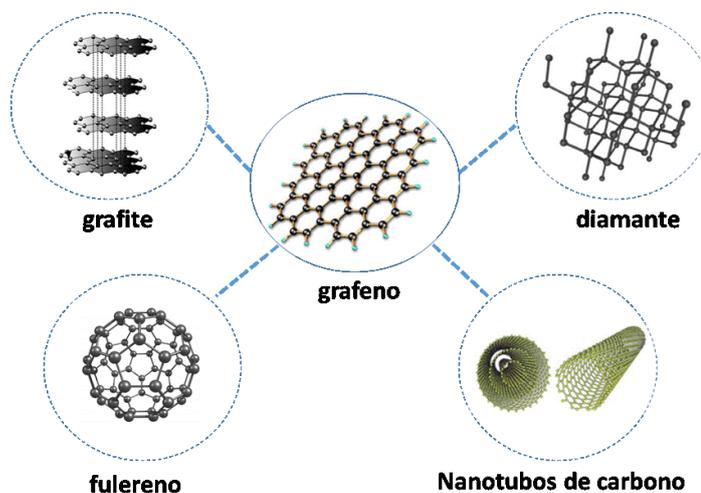


Figura 19: Formas alotrópicas do carbono.

Outro exemplo de alotropia é o do estanho (Figura 20). O estanho branco, cuja estrutura cristalina tetragonal de corpo centrado, à temperatura ambiente, se transforma, a 13,2 °C no estanho cinza, que possui estrutura cristalina cúbica semelhante a do diamante. A taxa de transformação é bastante lenta, entretanto quanto menor a temperatura (abaixo de 13,2 °C), mais rápida é a taxa de transformação. Essa transformação promove uma expansão no volume da célula unitária, o que resulta na desintegração do metal branco em um pó cinza.

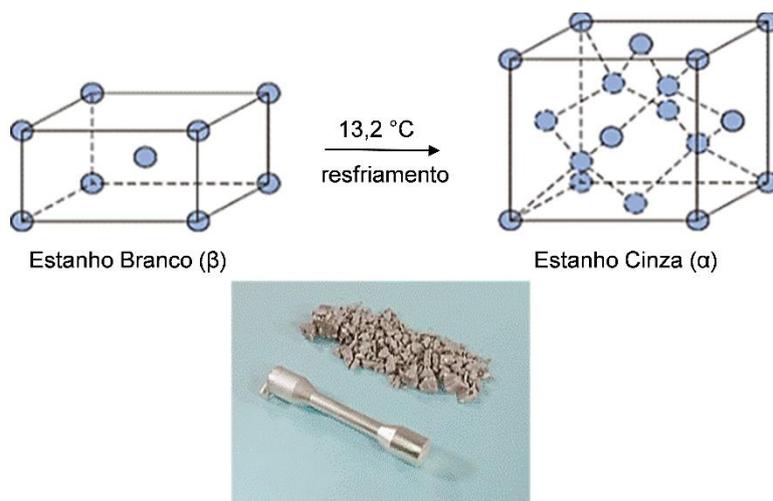


Figura 20: Formas alotrópicas do estanho.

4.3.1. Curiosidades

A química pode ter alterado rumos históricos, como relata Penny Le Couteur e Jay Burreson no livro: “Os Botões de Napoleão”.

No capítulo introdutório deste livro, os autores levantam a questão que talvez a derrota de Napoleão para os russos tenha sido causada pela “desintegração” dos botões dos uniformes dos soldados franceses. Estes botões eram feitos de estanho e como fazia um inverno muito rigoroso na Rússia, o processo de transformação era inevitável. Ficar desagasalhado, deixou o exército francês tão debilitado e gélido que teve de bater em recuada (Le Couteur e Burreson, 2006).

4.4. Sistemas Cristalinos

Uma vez que existem muitas estruturas cristalinas diferentes, torna-se conveniente dividi-las em grupos, de acordo com as configurações de suas células unitárias e/ou arranjos atômicos. Existem 7 sistemas cristalinos básicos que englobam todas as substâncias cristalinas conhecidas (Figura 21).

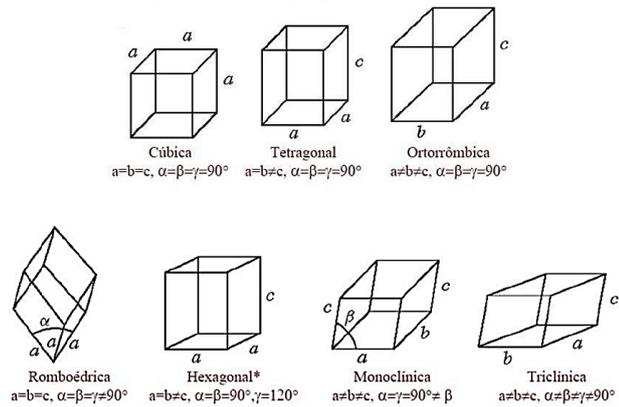


Figura 21: Os sete sistemas Cristalinos.

A geometria da célula unitária é completamente definida em termos de 6 parâmetros: os 3 comprimentos de arestas a , b e c , e os 3 ângulos α , β e γ . Esses parâmetros também são denominados parâmetros de rede de uma estrutura cristalina.

Dos 7 sistemas cristalinos pode-se identificar 14 tipos diferentes de células unitárias, conhecidas com redes de Bravais (Figura 22). Cada uma dessas células unitárias tem certas características que ajudam a diferenciá-las das outras células unitárias (Ashby *et al.*, 2013).

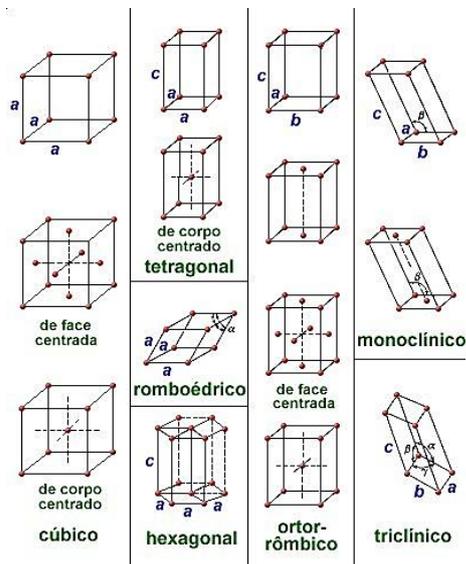


Figura 22: As catorze redes de Bravais.

4.5. Planos Cristalográficos

Dentro de cada uma dessas células unitárias podem ser visualizados planos cristalográficos, os quais são descritos em termos dos índices de Miller (Figura 23). A partir da identificação desses planos, através da técnica de difração de raio X, pode-se

identificar a estrutura cristalina típica de qualquer material sólido cristalino (Padilha, 1997).

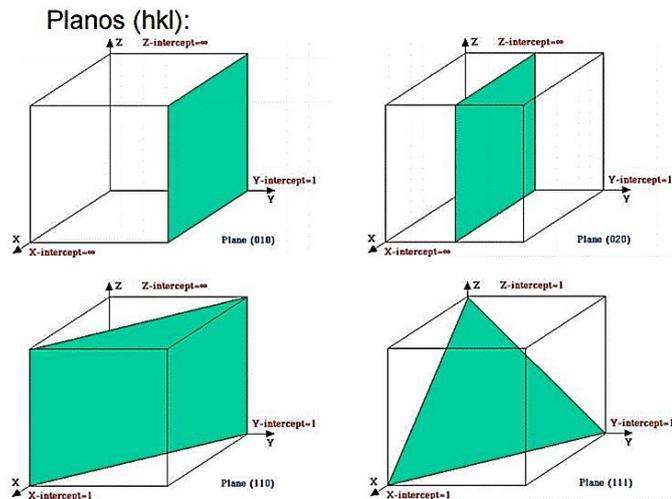


Figura 23: Planos cristalográficos.

4.5.1. Difração de raios X: Determinação de Estruturas Cristalinas

Historicamente muito do nosso conhecimento sobre os arranjos atômico e molecular em sólidos tem resultado de investigações da difração de raios X. Atualmente, está ainda é uma técnica muito importante na identificação de novos materiais.

Raios-X são uma forma de radiação eletromagnética que possui altas energias e comprimentos de onda curtos (da ordem de grandeza do espaçamento atômicos para sólidos). Quando um feixe de raios-X incide num material sólido, uma fração deste feixe será espalhado em todas as direções pelos elétrons que estão associados a cada átomo ou íon que estiver na trajetória do feixe. A Figura 24 representa dois planos cristalinos, separados por uma distância d , e sobre eles é incidido um feixe segundo um ângulo θ . Para uma análise completa de identificação de todos os planos cristalográficos contidos na célula unitária é necessário realizar a análise incidindo o feixe em diferentes ângulos.

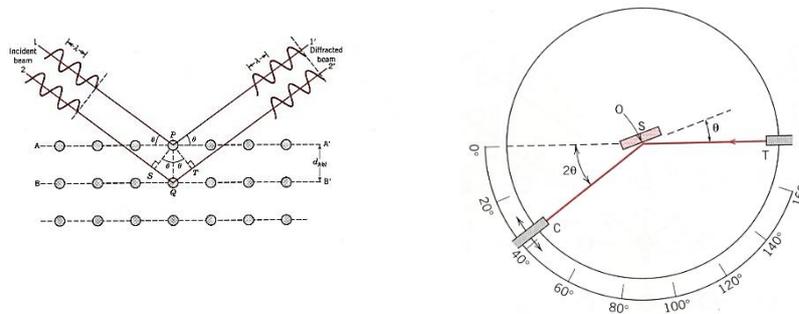


Figura 24: Difração de raios X.

Esta análise gera um gráfico de intensidade em função de 2θ (dois teta) em que os picos obtidos resultam da leitura dos diferentes planos cristalográficos presentes na célula unitária do metal. A intensidade dos picos dependem da quantidade de átomos que pertencem ao plano cristalino observado. Um ponto importante a ser destacado é que a intensidade e a posição dos picos variam de acordo com o metal que se está analisando, e cada metal possui o seu próprio difratograma.

Questione-se: Como será o difratograma de uma liga de dois metais em termos de intensidade e posição dos picos?

4.6. Imperfeições nos Sólidos

As propriedades de alguns materiais são largamente influenciadas pela presença de imperfeições. Dessa forma, faz-se necessário conhecer os tipos de imperfeições que existem e de que maneira afetam o comportamento e o desempenho dos materiais. As propriedades mecânicas dos metais puros apresentam alterações significativas quando a eles são incorporados átomos de impureza, como por exemplo o latão (70% cobre e 30% zinco), que é muito mais duro e resistente que o cobre puro (Callister, 2000).

Sendo assim, imperfeições ou defeitos nos sólidos são denominados de irregularidades ao longo da estrutura cristalina.

4.6.1. Vacâncias e Espaços Intersticiais

O mais simples dos defeitos pontuais é a vacância ou sítio vazio da rede, o qual normalmente deveria estar ocupado e que apresenta a falta de um átomo (

Figura 25). Todos os sólidos cristalinos apresentam lacunas ou vacâncias, pois de fato, é impossível criar um material que seja isento desse tipo de defeito.

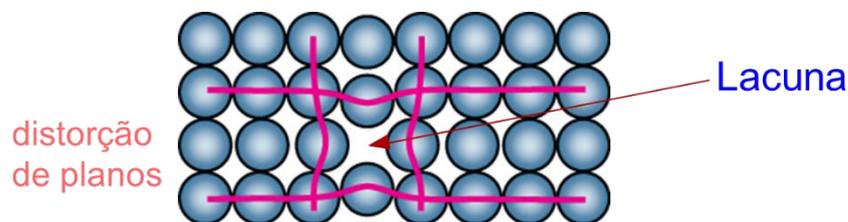


Figura 25: Defeito Pontual: Vacância.

O defeito intersticial consiste em um átomo do cristal que se encontra comprimido em um sítio intersticial, o qual é um pequeno espaço vazio que, sob circunstâncias normais, não é ocupado (Figura 26). Nos metais, este defeito introduz distorções relativamente grandes na vizinhança do sítio, pois o átomo é substancialmente maior do que a posição intersticial onde ele se posiciona. Conseqüentemente, a formação desse defeito não é muito provável e ele existe em concentrações muito reduzidas quando comparados aos defeitos por vacâncias.

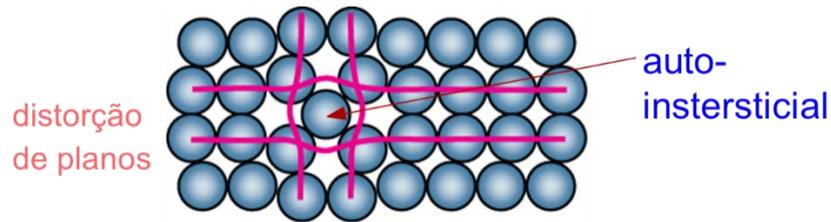


Figura 26: Defeito Pontual: Vacância.

Questione-se: Qual o efeito de um defeito pontual sobre a resistência mecânica do metal?

4.6.2. Impureza nos Sólidos

Um metal puro é algo que praticamente não ocorre, pois impurezas e átomos diferentes estão sempre presentes e alguns irão existir como defeitos pontuais no cristal. A maioria dos metais não estão na forma pura, e sim, formando ligas, nas quais átomos de impurezas foram adicionados intencionalmente para conferir características específicas aos materiais (Vlack e Hall, 1984).

Por exemplo, a prata *Sterling* é uma liga de 92,5 % de Ag e 7,5 % de Cu. A prata pura é altamente resistente à corrosão, mas muito macia. A adição de cobre enrijece significativamente a resistência mecânica, sem perda considerável da resistência à corrosão.

A adição de átomos como impurezas a um metal resultará na formação de uma solução sólida e/ou uma segunda fase, dependendo dos tipos de impurezas, suas concentrações, e a temperatura da liga. Uma solução sólida forma-se quando átomos solutos são agregados à estrutura (solvente) e a estrutura cristalina é mantida.

Questione-se: Procure informações sobre a composição do Ouro 10 quilates, 14 quilates e 18 quilates. Por que estes são usados em joias ao invés do ouro 24?

Defeitos pontuais de impurezas são encontrados nas soluções sólidas, os quais podem ser de 2 tipos:

- Substitucional: os átomos do soluto ou átomos de impurezas repõem ou substituem o átomo residente (Figura 27). O grau de dissolução depende de certas características do solvente e do soluto.

1 – Tamanho atômico: quantidades apreciáveis de soluto podem ser acomodadas quando a diferença entre os raios atômicos do soluto e do solvente for menor que 15%.

2 – Estrutura cristalina: para se ter uma solubilidade apreciável, as estruturas cristalinas do solvente e do soluto devem ser a mesma.

3 – Eletronegatividade: quanto maior a diferença entre a eletronegatividade do soluto e do solvente, maior será a possibilidade da formação de um composto iônico.

4 – Valência: quanto maior a diferença de valência entre o solvente e o soluto melhor.

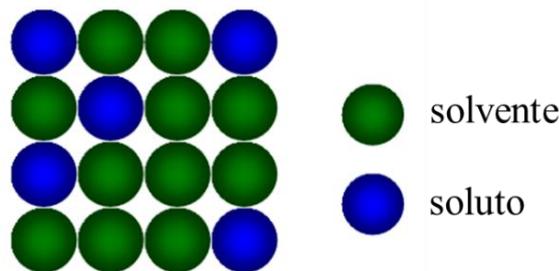


Figura 27: Defeito Substitucional.

Um exemplo da solução sólida substitucional para o Cu e o Ni: ambos são totalmente miscíveis em qualquer proporção pois seus raios atômicos são muito próximos (Ni = 0,125 nm e Cu = 0,128 nm), ambos possuem estrutura cristalina cúbica de face centrada, suas eletronegatividades são Ni = 1,8 e Cu = 1,9 e finalmente a valência mais comum para o Ni é +1 e para o Cu é +2.

- Intersticial: para soluções sólidas intersticiais os átomos impuros preenchem os espaços vazios ou interstícios que existem entre os átomos hospedeiros (Figura 28). Para materiais metálicos que têm fator de empacotamento alto, estas posições intersticiais são relativamente pequenas. Consequentemente, o diâmetro atômico de uma impureza intersticial deve ser substancialmente menor que o átomo da estrutura.

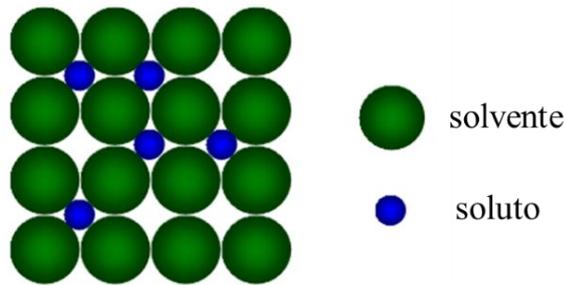


Figura 28: Defeito Intersticial.

O carbono forma uma solução sólida intersticial quando adicionado ao ferro, cuja concentração máxima é de 2%. O raio do carbono (0,071 nm) é muito menor que o do ferro (0,124 nm).

Questione-se: O aço de alto carbono é mais duro que o aço de baixo carbono. Por que a presença do carbono aumenta essa propriedade?

4.7. Importância das Imperfeições Estruturais

4.7.1. Dopagem em Semicondutores

A dopagem é definida como um processo de inserção voluntária de impurezas na estrutura do sólido, em posições específicas da estrutura cristalina, substituindo as unidades estruturais originais (Shackelford, 2008). A dopagem é um procedimento muito utilizado em materiais isolantes e semicondutores intrínsecos. A inserção do defeito dopagem, nestes casos resulta em uma diminuição no tamanho do gap destes sólidos, sendo que este efeito será tanto maior quanto maior for a carga de impurezas aplicadas ao sólido. Como a condutividade eletrônica de um sólido é uma função do tamanho do seu gap, a dopagem pode ser usada para converter materiais isolantes ou semicondutores intrínsecos em materiais que apresentam uma condutividade eletrônica relativamente maior.

A dopagem é um procedimento extremamente importante para a microeletrônica. Muitos dos componentes eletrônicos modernos circuitos integrados, células fotoelétricas, transistores, etc., são confeccionados contendo materiais semicondutores. Existem dois tipos de dopagem que geram dois tipos diferentes de semicondutores:

Semicondutor do tipo n: é obtido quando a dopagem é feita usando-se um dopante que contenha mais elétrons de valência que a unidade estrutural original. Neste caso, o excedente eletrônico que vem do dopante, cria um nível doador de elétrons mais próximo

da banda de condução, diminuindo o gap. Um exemplo deste tipo de dopagem é obtida quando se adiciona fósforo ou arsênio a uma matriz de silício.

Semicondutor do tipo P: é obtido quando a dopagem é feita usando-se um dopante que contenha menos elétrons de valência que a unidade estrutural original. Neste caso, a ausência de elétrons gera um nível acceptor acima da banda de valência, resultando também em diminuição do gap entre as duas bandas. A inserção de Alumínio ou boro em uma matriz de silício são exemplos de dopagem do tipo P.

4.7.2. Teoria das Bandas de Energia

Em um sólido cristalino, os átomos se apresentam em grande quantidade e próximos uns dos outros. Ocorre que os níveis de energia possíveis para um elétron são aumentados devido a interação com átomos adjacentes. O que se observa experimentalmente, é que os níveis de energia possíveis estão agrupados em faixas ou bandas (Figura 29).

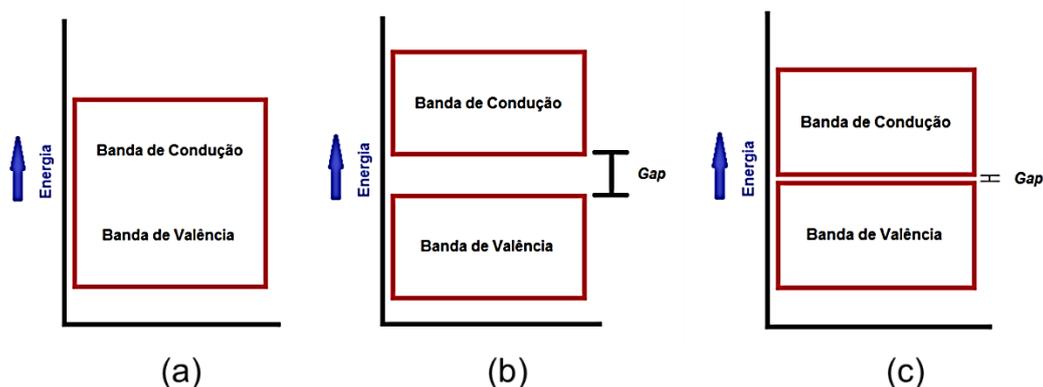


Figura 29: Teoria das bandas de energia: a) material condutor, b) material isolante e c) material semicondutor.

As bandas são denominadas de: banda de valência, banda de condução e a banda proibida também denominada de gap. A banda proibida não consiste exatamente em uma faixa de níveis possíveis para os elétrons ocuparem e sim em uma separação entre as bandas de condução e valência. Essa separação (*gap*) não é mensurada como uma unidade de comprimento e sim como uma unidade de energia.

Os valores de energia do gap, associado aos materiais, estão intimamente relacionados com a temperatura do ambiente em que a substância está exposta. Deste modo, as definições denominadas condutor, isolante e semicondutor estão referenciadas à temperatura ambiente.

4.7.2.1. Condutores

O fenômeno de condução de corrente elétrica em um material condutor está relacionado com a maior ou menor quantidade de elétrons na camada de condução, bem como com a maior ou menor energia associada ao gap. Os materiais condutores são assim denominados devido a boa capacidade de condução de corrente elétrica, são substâncias que possuem uma grande quantidade de elétrons livres na camada de condução. Também apresentam as camadas de valência e condução sobrepostas, de modo que o gap não existe. Os principais representantes desta classe são os metais.

4.7.2.2. Isolantes

Convencionou-se chamar de isolante materiais cuja resistividade é muito alta. Do ponto de vista da Teoria das Bandas de Energia, são substâncias cujo gap é acentuado, com valores da ordem de 7 eV (Callister, 2000). Rompimento de isolamento é a denominação recebida quando este tipo de material passa a conduzir corrente elétrica. Na engenharia eletrônica, materiais cerâmicos e poliméricos se destacam como isolantes.

4.7.2.3. Semicondutores

Através da definição de condutores e de isolante do ponto de vista da Teoria das Bandas de Energia, observa-se uma condição intermediária, a condição em que o gap está presente porém de forma atenuada.

4.8. Difusão

Muitas reações e processos importantes no tratamento dos materiais dependem da transferência de massa, seja dentro de um sólido específico ou de um líquido ou gás no sólido. Isto é necessariamente acompanhado pela difusão, que é o fenômeno de transporte da matéria pelo movimento atômico (Coutinho, 1992).

O fenômeno da difusão pode ser demonstrado com o uso de um *par de difusão*, que é formado pela união de duas barras de dois metais diferentes (níquel e cobre) juntas de maneira que exista contato íntimo entre as duas faces. Os dois metais são aquecidos a altas temperaturas, porém abaixo da temperatura de fusão para ambos os metais, por um longo período e depois são resfriados à temperatura ambiente. O resultado é que os átomos de cobre migram ou difundem no níquel e vice-versa, sendo este fenômeno chamado de interdifusão ou difusão de impurezas (Figura 30).

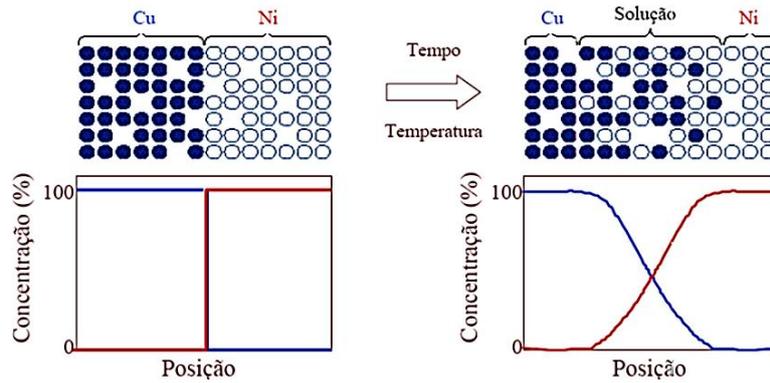


Figura 30: Representação do processo de difusão entre dois metais (cobre e níquel).

4.8.1. Mecanismos de Difusão

Sob a perspectiva atômica a difusão é a migração passo a passo dos átomos de um sítio para outro dentro da estrutura cristalina. Os átomos, nos materiais sólidos, estão em constante movimento, mudando rapidamente de posição. No entanto, para que isso ocorra, duas condições devem ser obedecidas (dependentes/relativas à temperatura):

1 – deve haver um sítio adjacente vazio;

2 – o átomo deve ter energia suficiente para quebrar as ligações com seus átomos vizinhos e então causar alguma distorção na estrutura durante o seu deslocamento. Esta energia é vibracional por natureza e em condições normais existe difusão de uma pequena fração de átomos que se acentua com a temperatura.

Dois principais modelos são propostos para explicar esse movimento: difusão por vacâncias e difusão intersticial.

Difusão por vacâncias: este mecanismo envolve a troca de um átomo de uma posição normal na estrutura para um sítio adjacente vacante ou livre. Para que esse mecanismo ocorra existe a necessidade da presença de lacunas e quanto mais elevada for a temperatura maior é o número de lacunas (Figura 31).

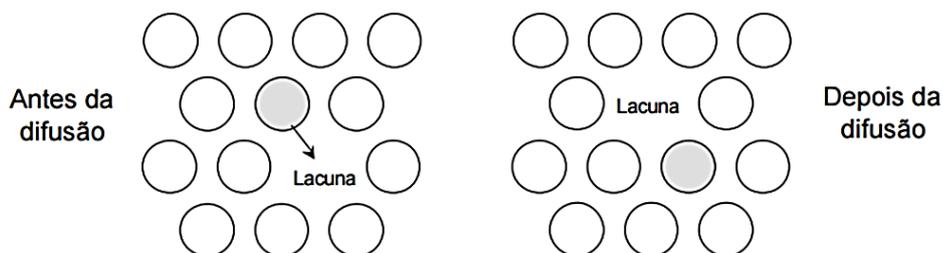


Figura 31: Difusão por vacâncias

Difusão intersticial: este tipo de difusão envolve átomos que migram de uma posição intersticial para outra que esteja vazia. Esse mecanismo é encontrado pela difusão de impurezas, tais como H_2 , C, N_2 , O_2 , que são átomos pequenos o suficiente para se encaixar nas posições intersticiais (Figura 32).

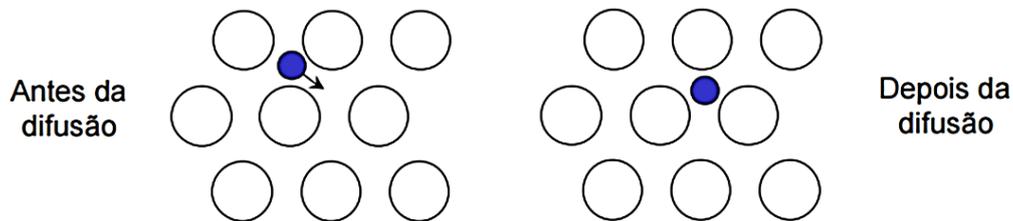


Figura 32: Difusão intersticial.

4.8.2. Atividade

Estudo Dirigido: Nobel 2000 - Polímeros condutores: Descoberta e Aplicações (Rocha-Filho, 2000)

Leia o artigo e responda as seguintes questões:

1. Quais as características que um polímero deve apresentar para ser considerado um condutor elétrico?
2. O que são os OLEDs? Explique como funcionam.
3. Comente sobre as vantagens dos OLEDs sobre os cristais líquidos.
4. Comente sobre as futuras aplicações de polímeros condutores na área biomédica.

5. PROPRIEDADES DOS MATERIAS

Questione-se: Dentre a infinidade de áreas em que os metais podem ser aplicados, reflita sobre as propriedades que estes devem apresentar para serem utilizados, por exemplo, nas áreas: industrial civil, naval, eletrônica, automobilística, etc. Dentre a infinidade de áreas em que os metais podem ser aplicados, reflita sobre as propriedades que estes devem apresentar, como por exemplo: industrial civil, naval, eletrônica, automobilística, etc.

Cada material possui características próprias: o ferro fundido é duro e frágil, o aço é bastante resistente, o vidro é transparente e frágil, o plástico é impermeável, a borracha é elástica, o tecido é bom isolante térmico, etc. Dureza, fragilidade, resistência, impermeabilidade, elasticidade, condução de calor, são exemplos de propriedades que os materiais podem ter. Como já visto anteriormente, as propriedades dos materiais estão relacionadas à natureza das ligações que existem entre os átomos, seja ele metálico ou não-metálico.

Dentre as propriedades que os materiais apresentam, são as físicas que determinam o comportamento do material em todas as circunstâncias do processo de fabricação e de utilização, e são divididas em propriedades térmicas, elétricas e mecânicas.

As propriedades térmicas determinam o comportamento dos materiais quando são submetidos a variações de temperatura. Isso acontece tanto no processamento do material quanto na sua utilização. É um dado muito importante, por exemplo, na fabricação de ferramentas de corte. O ponto de fusão é uma propriedade térmica do material que se refere à temperatura em que o material passa do estado sólido para o estado líquido. Dentre os materiais metálicos, o ponto de fusão é uma propriedade importante para determinar sua utilização. O alumínio, por exemplo, funde a 660°C, enquanto que o cobre funde a 1.084°C (Coutinho, 1992).

A dilatação térmica é a propriedade que faz com que os materiais, em geral, aumentem de tamanho quando submetido a um aumento da temperatura. Por causa dessa propriedade, as grandes estruturas de concreto como prédios, pontes e viadutos, por exemplo, são construídas com pequenos vãos ou folgas entre as lajes, para que elas possam se acomodar nos dias de muito calor. A condutividade térmica é a capacidade que determinados materiais têm de conduzir calor.

As propriedades elétricas determinam o comportamento dos materiais quando são submetidos à passagem de uma corrente elétrica. A condutividade elétrica é uma propriedade dos metais que está relacionada com a capacidade de conduzir a corrente elétrica. A resistividade, por sua vez, é a resistência que o material oferece à passagem da corrente elétrica.

As propriedades mecânicas aparecem quando o material está sujeito a esforços de natureza mecânica. Isso quer dizer que essas propriedades determinam a maior ou menor capacidade que o material tem para transmitir ou resistir aos esforços que lhe são aplicados. Essa capacidade é necessária não só durante o processo de fabricação, mas também durante sua utilização. Do ponto de vista da indústria mecânica, esse conjunto de propriedades é considerado o mais importante para a escolha de uma matéria-prima.

5.1. Propriedades Mecânicas

Dentre as propriedades mecânicas, a mais importante é a resistência mecânica. Essa propriedade permite que o material seja capaz de resistir à ação de determinados tipos de esforços, como a tração e a compressão (resistência à tração e resistência à compressão), por exemplo. A resistência mecânica relaciona-se às forças internas de atração existentes entre as partículas que compõem o material (Gomes, 2004).

5.1.1. Ensaio mecânicos dos materiais

A compreensão das propriedades mecânicas é fator indispensável para a escolha do material mais adequado para uma determinada aplicação. Tais propriedades, são medidas pela execução de ensaios cuidadosamente programados, que reproduzem o mais fielmente possível as condições de serviço. Dentre os fatores a serem considerados nos ensaios incluem-se a natureza da carga aplicada, a duração de aplicação dessa carga e as condições ambientais. A carga pode ser de tração, compressão ou cisalhamento, e a sua magnitude pode ser constante ao longo do tempo ou então flutuar continuamente. O tempo de aplicação pode ser de apenas uma fração de segundo ou pode se estender por um período de muitos anos. Dentro das condições ambientais destaca-se a temperatura como fator de grande importância (Higgins, 1982).

Questione-se: Por que a temperatura tem influência nos testes (ensaios mecânicos) e precisa ser controlada?

A Figura 33 apresenta os diferentes tipos de carga de tensão sobre um material, os quais podem produzir deformações nas geometrias dos objetos. As linhas pontilhadas representam a forma antes da deformação; linhas cheias, após a deformação.

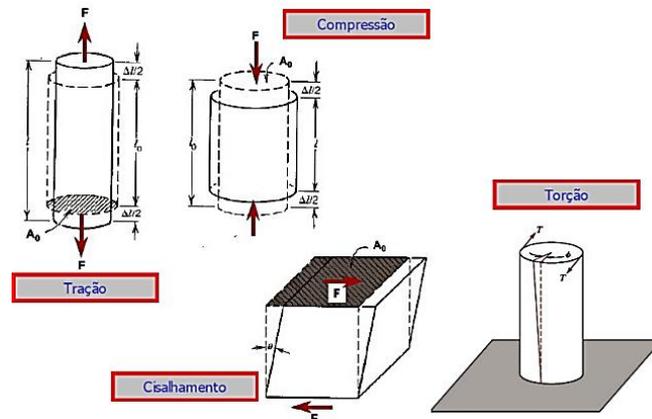


Figura 33: Possíveis deformações geradas em um material pela aplicação de uma tensão.

As propriedades mecânicas e seu comportamento sob determinadas condições de esforços são os objetivos de várias pessoas e grupos. Tais grupos possuem interesses diferentes, tais como: produtores e consumidores de materiais, instituições de pesquisa, agências governamentais, dentre outros. Sendo assim, é imprescindível que exista alguma consistência na maneira de conduzir os ensaios e na interpretação de seus resultados, à qual é obtida por meio do uso de técnicas de ensaio padronizadas. Essa normalização é fundamental, por exemplo, para que se estabeleça uma linguagem comum entre fornecedores e usuários dos materiais, pois é prática normal a realização de ensaios de recebimento dos materiais, a partir de uma amostragem estatística representativa do volume recebido.

O estabelecimento e a publicação dessas normas padrões são frequentemente coordenados por sociedades profissionais tais como:

- ASTM (*American Society for Testing and Materials*)
- ABNT (*Associação Brasileira de Normas Técnicas*)

Questione-se: Qual a importância de se seguir uma norma nacional ou internacional para a realização de um ensaio para medir uma propriedade de material?

Os ensaios dos materiais podem ser classificados quanto à integridade geométrica e dimensional da peça ou componente ou quanto à velocidade de aplicação da carga.

a) Quanto à integridade geométrica e dimensional da peça ou componente os ensaios podem ser de dois tipos:

- Destrutivos: quando após executados provocam a inutilização parcial ou total da peças (tração, dureza, fadiga, etc.);
- Não-destrutivos: quando após executados não comprometem a integridade da peça (difração de raios X, ultrassom, etc.).

Questione-se: Como podemos replicar um teste destrutivo, para confirmar um resultado?

b) Quanto à velocidade de aplicação da carga, os ensaios podem ser:

- Estáticos: quando a carga é aplicada de maneira suficientemente lenta, induzindo a uma sucessão de estados de equilíbrio, caracterizando um processo quase-estático. Nessa categoria têm-se os ensaios tração, compressão, flexão, torção e dureza.
- Dinâmicos: quando a carga é aplicada rapidamente ou ciclicamente. Nesse têm-se os ensaios de fadiga e de impacto.

Questione-se: Para avaliar o desgaste do calçado, que tipo de teste deve ser aplicado?

5.1.1.1. Ensaio de Tração

Um dos ensaios mecânicos de tensão-deformação mais usados é o de tração. Este ensaio consiste na aplicação gradativa de carga de tração uniaxial nas extremidades de um corpo de prova especificado, o qual é preso pelas suas extremidades, por garras de fixação do equipamento. Imediatamente após a iniciação do teste, a garra superior começa a subir, promovendo a alongação do corpo-de-prova até a sua ruptura. A célula de carga mede a tensão aplicada continuamente enquanto o extensômetro mede o alongamento da amostra.

Para uma melhor compreensão do teste, sugere-se a visualização do vídeo sobre o ensaio de tração Disponível em: www.youtube.com/watch?v=sKBOdB0x4gk, acessado em 06 de dezembro de 2017.

Os resultados de cada teste são registrados em um gráfico de Tensão x Deformação (Figura 34).

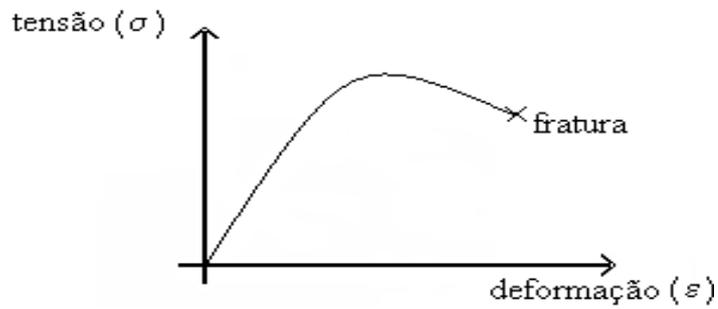


Figura 34: Curva tensão x deformação.

A Figura 35 mostra um corpo de prova antes e depois do ensaio de tração. Inicialmente o corpo de prova possui área A_0 e comprimento l_0 , após a aplicação da força, o corpo de prova é alongado e o seu comprimento aumenta evidenciando a deformação do material.

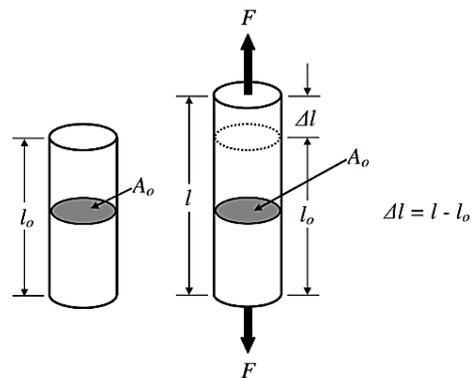


Figura 35: Deformação da amostra durante o ensaio

O cálculo da deformação é mostrado abaixo:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

onde: $\varepsilon \rightarrow$ deformação
 $l_f \rightarrow$ comp. Final
 $l_0 \rightarrow$ comp. inicial

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

onde: $\sigma \rightarrow$ tensão
 $F \rightarrow$ força aplicada
 $A_0 \rightarrow$ área inicial

Como a deformação é unidimensional (metro por metro), normalmente é expressa em porcentagem (valor da deformação multiplicada por 100).

Além da deformação, o ensaio de tração pode ser utilizado para avaliar outras propriedades mecânicas, tais como módulo de elasticidade (E), limite de resistência à tração (σ_u) e limite de escoamento. Além disso, também é bastante utilizado como teste para o controle das especificações da matéria-prima fornecida.

Questione-se: Procure descobrir o que significa módulo de elasticidade, limite de resistência à tração e limite de escoamento.

5.1.1.2. Deformação Elástica

A elasticidade é a capacidade que o material deve ter de se deformar quando submetido a um esforço, e de voltar à forma original quando o esforço termina. Quando se fala em elasticidade, o primeiro material a ser lembrado é a borracha, embora todos os tipos de materiais tenham essa propriedade. Por exemplo, é preciso lembrar que o aço para a fabricação das molas possui grande elasticidade.

Questione-se: Existe elasticidade no vidro?

5.1.1.3. Comportamento σ X E

Na deformação elástica, a tensão aplicada e a deformação gerada são proporcionais. Neste caso, o gráfico da tensão em função da deformação resulta em uma relação linear, que pode ser melhor compreendido pela equação abaixo.

Lei de Hooke:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

σ → módulo da tensão
 E → módulo de elasticidade
 ε → módulo de Young

A inclinação (coeficiente angular) do segmento linear no gráfico tensão-deformação (Figura 36) corresponde ao módulo de elasticidade (E) ou módulo de Young, o qual fornece uma indicação da rigidez do material (resistência do material à deformação elástica) e depende fundamentalmente das forças de ligação atômica.

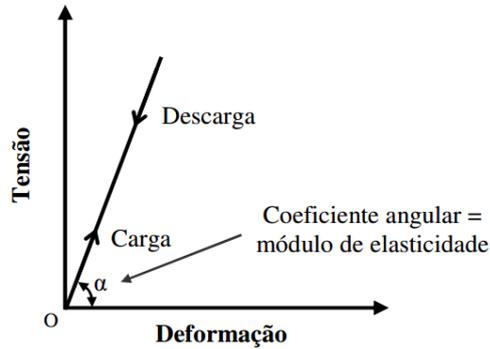


Figura 36: Representação da deformação elástica na curva tensão x deformação.

A deformação elástica é normalmente pequena e não-permanente, pois nesse caso os átomos se afastam das posições originais quando submetidos à carga, mas não ocupam novas posições. Assim, quando cessada a carga aplicada a um material metálico deformado elasticamente, os átomos voltam às posições originais e o material tem as suas dimensões originais restabelecidas (Figura 37). Em uma escala atômica, portanto, a deformação elástica macroscópica é manifestada como pequenas alterações no espaçamento interatômico e na extensão de ligações interatômicas; como consequência, a magnitude do módulo de elasticidade representa uma medida da resistência à separação de átomos adjacentes.

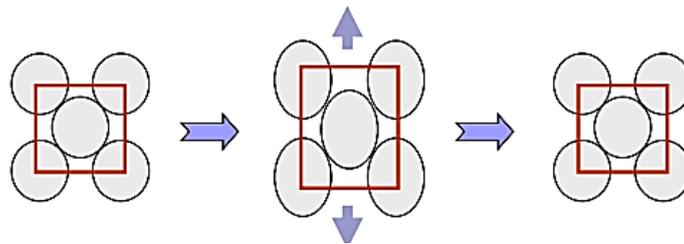


Figura 37: Representação da deformação elástica: os átomos retornam as suas posições originais quando a tensão é retirada.

No Sistema Internacional (SI), os valores de E são normalmente expressos em gigapascal (GPa), por serem valores muito elevados. Para a maioria dos metais típicos, a magnitude do módulo de elasticidade varia entre 14 GPa para o magnésio e 407 GPa para o tungstênio. Os valores dos módulos de elasticidade para os materiais cerâmicos são muito elevados. Para os materiais poliméricos, os valores dos módulos de elasticidade são menores em relação aos metais, variando entre 0,007 a 4 GPa (Beer *et al.*, 2015).

Questione-se: A força de ligação afeta tanto o módulo elástico quanto outras propriedades. Procure qual o ponto do fusão do magnésio e do tungstênio.

5.1.1.4. Deformação Plástica

A plasticidade é a capacidade que o material deve ter de se deformar quando submetido a um esforço, e de manter essa forma quando o esforço desaparece. Essa propriedade é importante para os processos de fabricação que exigem conformação mecânica como, por exemplo: na prensagem, para a fabricação de partes da carroceria de veículos, na laminação, para a fabricação de chapas, e na extrusão, para a fabricação de tubos. A Figura 38 mostra o gráfico esquemático do comportamento tensão X deformação de um metal típico. A transição elástica para plástica é gradual. Da perspectiva atômica, a deformação plástica corresponde à ruptura das ligações dos átomos vizinhos originais e a reforma dessas ligações com novos átomos vizinhos. Quando a tensão é retirada, os átomos não retornam para as posições originais.

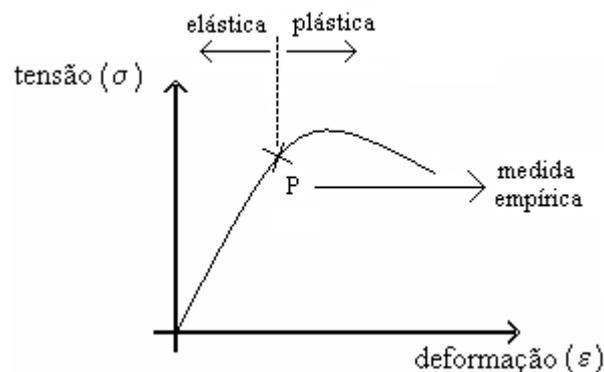


Figura 38: Curva tensão x deformação para os metais.

- Propriedades tensionais: a maioria das estruturas são projetadas para assegurar que somente a deformação elástica resulte quando uma tensão for aplicada. É desejável, portanto, saber o nível de tensão na qual a deformação plástica inicia. Para os metais, nos quais esta experiência é gradual, o ponto de escoamento pode ser determinado quando inicia a mudança de linearidade da curva. Isto é chamado de limite proporcional (ponto P na Figura 38).

- a tensão no ponto σ_y (

Figura 39) é conhecida como tensão de escoamento (ponto convencionalmente conhecido como início da deformação plástica).

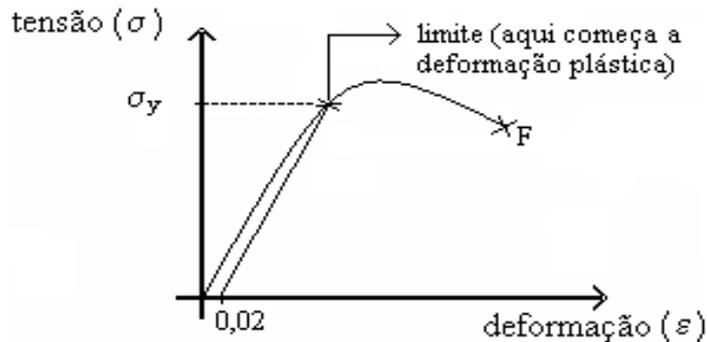


Figura 39: Representação do limite entre a deformação elástica e plástica.

- Resistência tensional: após o escoamento a tensão necessária para continuar a deformação plástica chega a um ponto máximo M e então decresce para eventual fratura no ponto F. A Resistência Tensional (TS) é a tensão máxima na curva (ponto M) que corresponde àquela que o material pode sustentar e se esta tensão for mantida haverá fratura (Figura 40). Toda deformação acima deste ponto ocorrerá na região estreita da peça tensionada formando um pescoço e a fratura ali ocorrerá. À tensão aplicada quando da ocorrência da fratura denomina-se resistência à fratura do material (σ_r).

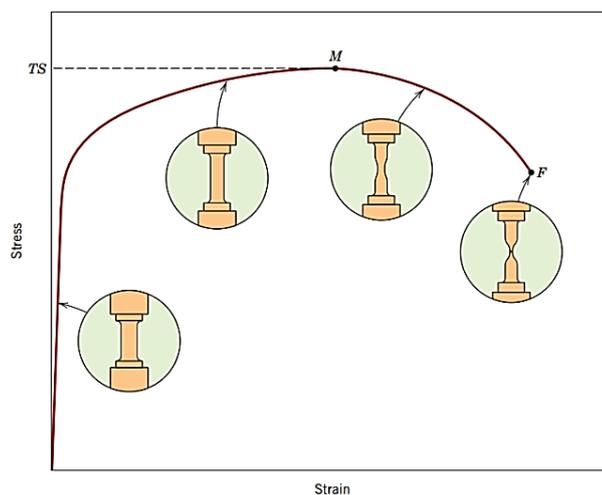


Figura 40: Representação da resistência tensional na curva tensão x deformação

Os limites de resistência à tração podem variar desde 50 MPa para um alumínio, até um valor de 3000 MPa para aços de elevada resistência (Coutinho, 1992).

5.1.2. Ductilidade

A ductilidade (AL) é a medida do grau de deformação plástica que o material suportou até a fratura, sendo expressa em porcentagem, conforme a equação abaixo.

$$\%AL = \frac{(l_f - l_0)}{l_0} \times 100 \quad \text{onde: } \begin{array}{l} l_f \rightarrow \text{comp. Final} \\ l_0 \rightarrow \text{comp. inicial} \end{array}$$

Um material que experimenta uma deformação plástica muito pequena, ou mesmo nenhuma, quando da sua fratura é chamado de *frágil*. Os comportamentos tensão-deformação em tração para materiais dúcteis e frágeis são exemplificados na Figura 41.

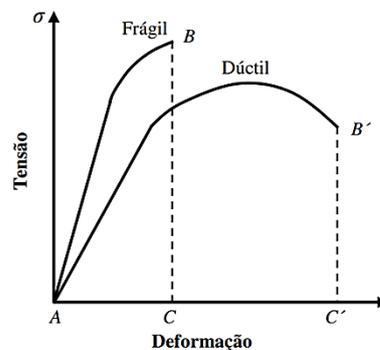


Figura 41: Representação de materiais frágeis e dúcteis na curva tensão x deformação.

A maioria dos metais possui um grau moderado de ductilidade à temperatura ambiente; contudo, alguns se tornam frágeis à medida que a temperatura é reduzida.

Um conhecimento da ductilidade dos materiais é importante, pois dá uma indicação do grau segundo o qual uma estrutura irá se deformar plasticamente antes de fraturar, bem como especifica o grau de deformação permitido durante operações de fabricação.

5.1.3. Tenacidade

A tenacidade, em termos mecânicos, é uma medida da habilidade de um material de absorver energia até a fratura (ruptura). A sua medida é feita a partir da integral da área abaixo da curva gerada por uma tensão em resposta a uma deformação (Figura 42).

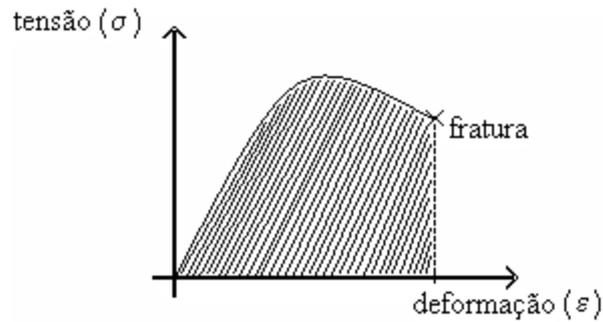


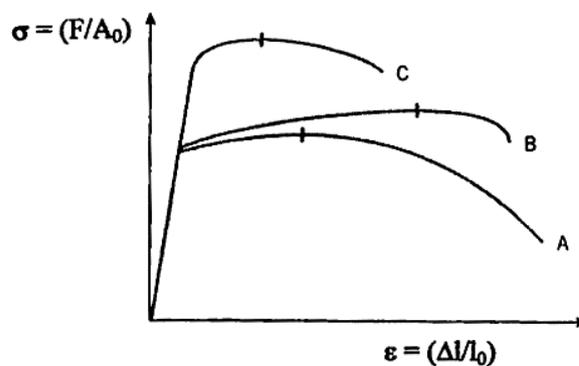
Figura 42: Representação da tenacidade na curva tensão x deformação.

5.1.4. Dureza

Outra propriedade importante a ser considerada é a dureza, que consiste em uma medida da resistência de um material a deformação plástica localizada como uma penetração ou um risco. Os primeiros testes de dureza foram baseados em minerais naturais, com uma escala construída somente com base na capacidade de um material riscar um outro mais macio. Ao longo dos anos foram desenvolvidas técnicas de medição quantitativas, nas quais um pequeno penetrador (agulha) é forçado contra a superfície de um material a ser testado, sob condições controladas de carga e de taxa de aplicação. Em geral os materiais duros são também frágeis. A fragilidade é também uma propriedade mecânica, na qual o material apresenta baixa resistência aos choques. O vidro, por exemplo, é duro e bastante frágil.

5.2. Exercícios

1. Considere as curvas tensão *versus* deformação para os três materiais (A, B e C) e responda as afirmativas com falso (F) ou verdadeiro (V).



- a) Os três materiais têm módulos de elasticidade idênticos. ()
- b) O material **C** apresenta maior limite de escoamento do que **A** ou **B**. ()
- c) O material **C** apresenta maior limite de resistência do que **A** ou **B**. ()
- d) O material **A** apresenta maior alongamento total (ductilidade) do que **B**.
- e) O material **C** tem provavelmente maior tenacidade do que **B**. ()
- f) O material **C** é provavelmente mais duro do que **A**. ()

2. Para uma liga de latão, a tensão na qual a deformação plástica se inicia é 345 MPa e o Módulo de Elasticidade é 103 GPa.

- (a) Qual a carga máxima que pode ser aplicada em uma amostra com área de seção transversal de 130 mm² sem causar deformação plástica?
- (b) Se o comprimento original da amostra é 76 mm, qual o alongamento máximo possível sem causar deformação plástica?

3. Um pedaço de arame recozido de aço baixo carbono tem 2 mm de diâmetro, limite de escoamento 210 MPa, limite de resistência 380 MPa e módulo de elasticidade 207 GPa. Pergunta-se:

- a) Se uma garota de 54 kg se dependura neste arame, ocorrerá deformação plástica no arame?
- b) Se for possível, calcule o alongamento porcentual do arame com a garota dependurada.
- c) O que aconteceria se o arame fosse de cobre (limite de escoamento = 70 MPa; limite de resistência = 220 MPa e módulo de elasticidade = 115 GPa)?

6. LIGAS METÁLICAS

Os metais puros geralmente não apresentam todas as características necessárias para serem aplicados na fabricação de produtos utilizados na sociedade. Por isso, surgiram as ligas metálicas, que são misturas de dois ou mais metais ou de um metal com outra substância simples que são unidas por meio de aquecimento.

As propriedades resultantes que serão úteis para cada aplicação específica serão determinadas pelo tipo e quantidade dos metais que serão usados, assim como pela estrutura do arranjo cristalino das ligas e pelos tratamentos adicionais que podem ser realizar.

6.1. Tipos de Ligas Metálicas

As ligas metálicas, em virtude de sua composição, são agrupadas em duas classes: ferrosas e não-ferrosas. As ligas ferrosas são aquelas em que o ferro é o principal constituinte e as não ferrosas são consideradas todas as outras.

6.1.1. Ligas Ferrosas

São aquelas cujo ferro é o principal constituinte. São produzidas em grandes quantidades (mais que outros metais) e são especialmente importantes por 3 fatores:

- 1 – compostos contendo ferro são abundantes na crosta terrestre;
- 2 – processos de extração e fabricação são relativamente econômicos;
- 3 – as ligas ferrosas são extremamente versáteis, podendo ser projetadas para possuírem uma ampla gama de propriedades físicas e mecânicas.

- Aços: são ligas ferro-carbono, nas quais as concentrações de carbono podem ser alteradas dependendo das propriedades desejadas. Abaixo são descritas os tipos de aços:

a) Aço de baixo carbono ($C < 0,25\%$): são suaves e fracos; facilmente trabalháveis, soldáveis e baratos. É o aço estrutural, também usado em automóveis.

b) Aço de médio carbono ($0,25\% < C < 0,6\%$): são mais fortes que os anteriores. Com adição de cromo (Cr), níquel (Ni) e molibdênio (Mo), tornam-se mais resistentes e dúcteis. São usados em rodas de trem, eixos e componentes de alta resistência.

c) Aço de alto carbono ($0,6\% < C < 1,4\%$): são mais duros, mais fortes e menos dúcteis (menos elasticidade e menos flexibilidade). Adicionam-se cromo (Cr), vanádio

(V), tungstênio (W) e molibdênio (Mo). É utilizado em ferramentas, garfos e molas em geral.

d) Aço inoxidável: é obtido com adição de até 11,0 % de cromo (Cr), adquirindo alta resistência a corrosão, a qual também pode ser aumentada pela adição de níquel e molibdênio.

- Ferros Fundidos (3,0 % < C < 4,5 %)

Conforme ele é feito, pode ser: cinzento, nodular (por causa de sua microestrutura) ou maleável. Os ferros fundidos são utilizados para a construção de blocos cilíndricos, pistões, cabeças de cilindro, corpos de bombas e válvulas e serviços gerais de engenharia.

6.1.2. Ligas Não-Ferrosas

As ligas ferrosas possuem algumas limitações: uma densidade relativamente alta, condutividade elétrica comparativamente baixa e susceptibilidade à corrosão. Elas podem, portanto, ser substituídas por ligas não-ferrosas, tais como:

a) Cobre: o cobre puro possui baixa resistência sendo muito dúctil, o que torna difícil a sua usinagem. As propriedades mecânicas e resistência à corrosão do cobre são melhoradas quando ligado a outros metais.

As ligas de cobre mais comuns são os latões, onde o zinco, na forma de uma impureza substitucional, é o elemento de liga predominante. Alguns dos latões mais comuns são: amarelo (utilizado em barcos antigos), naval e cápsulas para cartuchos de munição, produção de joias, radiadores de automóvel, instrumentos musicais, moedas e condutores elétricos.

Já o bronze é uma liga de cobre com vários outros elementos, incluindo o estanho (Sn), alumínio (Al), silício (Si) e níquel (Ni). Essas ligas são relativamente mais resistentes a corrosão do que os latões.

A adição de berílio (Be) confere alta resistência mecânica, excelentes propriedades elétricas e de resistência a corrosão, sendo muito utilizados na confecção de instrumentos cirúrgicos e dentais.

b) Alumínio: o alumínio e suas ligas têm densidades relativamente baixas (2,7 g.cm⁻³, em comparação com 7,9 g.cm⁻³ para o aço), além de alta condutividade térmica e elétrica. Muitas dessas ligas podem ser conformadas com facilidade, em virtude de suas elevadas ductilidade; isso fica evidenciado nas finas folhas de papel alumínio nas quais o material relativamente puro pode ser laminado. Como o alumínio possui uma estrutura

cristalina cúbica de face centrada (CFC), a sua ductilidade é mantida mesmo em temperaturas muito baixas. A principal limitação do alumínio é o seu baixo ponto de fusão (600 °C), o que restringe a temperatura máxima na qual o alumínio pode ser utilizado.

Os principais elementos de liga que podem ser adicionados ao alumínio são o cobre (Cu), magnésio (Mg), silício (Si), manganês (Mn) e zinco (Zn). Essas ligas são usadas em painéis, vasos, trocadores de calor, refletores de luz, linhas para óleo em aviões, carros e trens, armários etc. Uma nova geração são as ligas de alumínio e lítio, utilizados na indústria aeroespacial.

c) Magnésio: sua principal característica é a baixíssima densidade (1,7 – a mais baixa dos metais). É muito usado em componentes de aviação.

d) Titânio: são relativamente novos como materiais de engenharia e possuem combinações extraordinárias de propriedades: são altamente dúcteis, de baixa densidade (2,7), alto ponto de fusão (1668 °C) e extremamente fortes (muito resistentes). São usados na indústria aeroespacial e indústrias químicas.

e) Metais refratários: são metais que possuem altíssimos pontos de fusão. Nióbio (Nb), molibdênio (Mo), tungstênio (W), tântalo (Ta), fundem entre 2468 °C e 3410 °C. Tântalo e molibdênio são ligados com aço inoxidável, melhorando a resistência à corrosão. Ligas de molibdênio são usadas em partes estruturais de espaçonaves e o tungstênio em filamentos de luz incandescente e tubos de raios X. O tântalo é imune ao ataque químico em temperaturas abaixo de 150 °C.

f) Superligas: têm combinações superlativas de propriedades e são classificadas de acordo com o metal predominante na liga, os quais podem ser: cobalto (Co), níquel ou ferro, metais refratários, cromo e titânio. A maioria é usada em componentes de avião, reatores nucleares e equipamentos petroquímicos (fornos de pirólise – 800 °C), reatores para produção de polímeros (200 kg de pressão). São utilizados em condições muito severas (alta temperatura e pressão).

g) Metais nobres: os metais nobres ou preciosos formam um grupo de 8 elementos que possuem algumas características comuns. São caros (raros) e são notáveis em propriedades, como: suavidade, ductilidade e resistência ao calor. São eles: ouro (Au), prata (Ag), platina (Pt), paládio (Pd), ródio (Rh), rutênio (Ru), irídio (Ir) e ósmio (Os). Os 3 primeiros são os mais comuns e utilizados em joias. Ligas de ouro e prata são usadas em restaurações dentárias; o ouro é usado em contatos de circuitos elétricos. A platina é usada em equipamentos de laboratório e como catalisador (especialmente na fabricação de gasolina) e em termopares utilizados para a medição de temperaturas elevadas.

h) Outras ligas não-ferrosas: níquel e suas ligas são altamente resistentes à corrosão. O monel (Ni – 65 %, Cu – 25 %, Fe – 10 %) é usado em bombas e válvulas. Chumbo (Pb), estanho (Sn) e suas ligas são usados em soldas, baterias e proteção de raios-x. Zinco é usado para galvanizar aços (proteção contra corrosão).

6.2. Fabricação de Metais

Questione-se: Você sabe como joias ou espadas e fios elétricos são fabricados? Discuta com seus colegas e com o professor.

Ao longo dos anos, para suprir as necessidades da sociedade, surgiram as técnicas de fabricação e houve um acentuado aperfeiçoamento das mesmas, de modo que existe hoje uma grande variedade de materiais e processos de fabricação, os quais são utilizados para produzir desde esferas de aço de 0,25 mm de diâmetros até produtos sofisticados como jatos supersônicos (Doyle, 1966).

Ocasionalmente, quem determina se um material é adequado para uma aplicação é a facilidade de produção de uma desejada forma, suas propriedades finais e o custo envolvido. Técnicas de fabricação de metais são os métodos pelos quais metais e ligas são conformados ou manufaturados para gerarem produtos úteis. Elas são precedidas por refino, por adição de elementos de liga e às vezes por processos de tratamento térmico que produzem ligas com as características desejadas.

6.2.1. Matéria Prima

A fabricação dos materiais metálicos, usualmente segue-se este procedimento: primeiramente, mistura-se o metal (minério de ferro) extraído das fontes minerais, com elementos (carvão dentre outros) capazes de melhorar as propriedades do conjunto final. A seguir, a mistura é colocada dentro de um forno (com temperatura acima do ponto de fusão do material) para fundir, misturar e homogeneizar adequadamente a composição química final do material. O metal fundido é então colocado dentro de um recipiente (lingoteira) para, após a solidificação, produzir blocos (lingotes) destinados à fabricação de peças, com diferentes formas e dimensões.

Na sequência, o lingote é destinado para a etapa de fabricação da peça desejada. As técnicas de fabricação podem ser divididas em três classificações: fundição, operações de conformação e técnicas diversas. Na maioria dos casos, duas ou mais dessas técnicas

são utilizadas para a obtenção de uma peça final. Os métodos escolhidos dependem de vários fatores; os mais importantes são as propriedades do metal, o tamanho e a forma da peça terminada.

6.2.2. Fundição

A fundição é um dos processos mais antigos no campo de trabalho dos materiais e data de aproximadamente 4000 a.C. Basicamente, o processo consiste da obtenção de objetos, na forma final, vazando o metal líquido em um molde preparado. O molde é o recipiente que tem cavidade (ou cavidades) com a forma a ser fundida. Desta forma, a peça fundida é o produto obtido quando o metal se solidifica (Figura 43).



Figura 43: Processo de fundição: derramamento do metal fundido em um molde.

A fundição é capaz de produzir formas complexas (interna ou externamente) em um único componente. Peças de materiais ferrosos e não ferrosos, volumosos (podem variar de poucos milímetros com peso da ordem de gramas como um dente de zíper até dimensões elevadas com peso da ordem de toneladas), maciças ou ocas, que apresentam custo elevado ou de difícil fabricação por outros processos, podem ser produzidas economicamente em série usando técnicas adequadas de fundição.

Na maioria dos casos, a fundição é o processo inicial, primário, porque além de permitir a obtenção de peças com formas praticamente definitivas (normalmente são requeridas poucas operações posteriores de usinagem ou de outros processos de fabricação) é através desse processo que são fabricados os lingotes, os quais serão posteriormente submetidos a outros processos de fabricação ou conformação. Desse modo, a fundição permite a fabricação de peças praticamente de qualquer forma, com pequenas limitações de dimensões e complexidade.

6.2.3. Moldagem por areia

Neste processo, um molde em duas partes é produzido pela compactação de areia ao redor de um modelo que possui a forma da peça que se deseja obter. Adicionalmente, um sistema de canais de alimentação é geralmente incorporado ao molde para acelerar o escoamento do metal fundido para a cavidade e para minimizar defeitos internos de fundição.

A areia de fundição deve apresentar certas características que permitem uma moldagem fácil e segura. Entre elas, as mais importantes são: plasticidade e consistência, moldabilidade, dureza e resistência. Uma das vantagens desse processo é que a areia pode ser reutilizada em vários ciclos, podendo chegar a um índice de 98% de reaproveitamento.

Para uma melhor compreensão sugere-se a visualização do vídeo disponível em: www.youtube.com/watch?v=tzQrHk8onHw, acessado em 06 de dezembro de 2017.

6.2.4. Fundição em Matriz

Na fundição em matriz, o metal líquido é forçado para dentro de um molde sob pressão a uma velocidade relativamente alta e a solidificação ocorre enquanto a pressão é mantida. Quando solidificação total é alcançada, a matriz é aberta e a peça fundida ejetada. Este é considerado um método barato de conformação de metais, pois um único conjunto de matrizes pode ser usado para realizar milhares de fundições. Entretanto, esta técnica pode ser empregada apenas para peças relativamente pequenas e a ligas que possuam baixas temperaturas de fusão de: zinco, alumínio e magnésio.

6.2.5. Fundição de Revestimento ou de cera perdida

Para fundição de revestimento (às vezes chamada fundição de cera perdida), o modelo é feito de uma cera ou de um plástico que tem um baixo ponto de fusão. Ao redor do modelo é vazado uma lama fluida, que endurece para formar um molde ou revestimento sólido; usualmente se usa gesso. O molde é então aquecido, de tal maneira que o modelo se funde e é queimado, deixando para trás uma cavidade de molde tendo a forma desejada. Esta técnica é empregada quando alta precisão dimensional é necessária, reprodução de pequenos detalhes e um excelente acabamento são requeridos, como, por exemplo, na fabricação de joias e obturações dentárias.

Para uma melhor compreensão sugere-se a visualização do vídeo disponível em www.youtube.com/watch?v=mK8P5EyeXyc, acessado em 06 de dezembro de 2017.

6.2.6. Fundição com espuma perdida

Neste processo são empregados modelos de espuma de poliestireno. Este material pode ser cortado facilmente em diversas formas e como seu peso é pequeno, possibilita a confecção de modelos de grandes dimensões. A areia é então compactada a volta do modelo para formar o molde.

Quando o metal líquido é derramado no interior do molde, ele vaporiza o poliestireno e preenche os espaços vazios. A areia compactada permanece no seu lugar, e com a solidificação o metal assume a forma do molde.

Na fundição com espuma perdida, geometrias complexas e tolerâncias rigorosas podem ser obtidas. Adicionalmente, em comparação à fundição em molde de areia, a fundição com a espuma perdida é mais simples, mais rápida e mais barata, e são gerados menos resíduos ambientais. As ligas metálicas que mais comumente utilizam essa técnica são os ferros fundidos e as ligas de alumínio.

6.2.7. Processos de moldagem permanente

Fundição sob pressão: Consiste em forçar o metal líquido, sob pressão, a penetrar na cavidade do molde. Devido à pressão e, conseqüentemente, à alta velocidade de preenchimento da cavidade do molde, o processo possibilita a fabricação de peças de formas bastante complexas e de paredes mais finas. As máquinas para fundição sob pressão utilizam dois tipos de câmaras, a quente e a fria, as quais são descritas a seguir:

Câmara quente: o cilindro com o pistão de pressão são colocados diretamente no banho de metal fundido. É utilizada para metais cuja temperatura de fusão é baixa e que não atacam o material do cilindro e o pistão de injeção. Um esquema geral do processo em câmara quente é ilustrado na Figura 44.

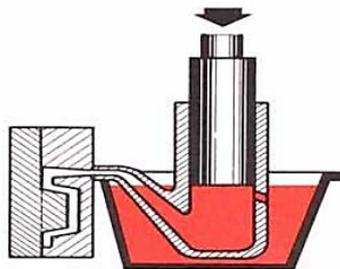


Figura 44: Representação do processo de fundição por câmara quente.

Câmara fria: o pistão e o cilindro não entram em contato com o banho de metal líquido no forno. É utilizada para metais com temperaturas de fusão mais elevadas e que podem atacar o sistema de bombeamento (pistão-cilindro) (Figura 45).

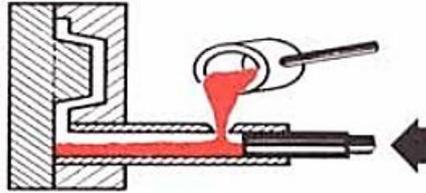


Figura 45: Representação do processo de fundição por câmara fria.

6.3. Técnicas de Conformação de Metais

Dentre o grupo de processos mecânicos, os processos de conformação plástica merecem destaque especial, pois os mesmos participam atualmente da confecção de mais de 80% de todos os produtos metálicos (são submetidos em um ou mais estágios a esses processos de conformação). Como exemplos destes processos, pode-se citar o forjamento a trefilação, a extrusão e a laminação.

6.3.1. Forjamento

O forjamento é um dos processos de conformação plástica mais antigo no campo de trabalho de metais e data de aproximadamente de 5000 a.C. Neste processo, obtém-se a forma desejada da peça por martelamento ou aplicação gradativa de uma pressão. Podem ser produzidas peças de diferentes tamanhos e formas, constituído de materiais variados (ferrosos e não ferrosos).

Através da deformação plástica produzida pelo forjamento, pode-se conseguir dois efeitos: dar a forma desejada à peça e melhorar as propriedades mecânicas do metal (refinando o grão e modificando e distribuindo os seus constituintes). O processo de forjamento pode ser dividido em forjamento livre (matriz aberta) e forjamento em matriz (matriz fechada).

6.3.1.1. Matriz Aberta

No forjamento livre o material é deformado entre ferramentas planas ou de formato simples. O processo de deformação é efetuado por compressão direta e o material escoia perpendicularmente à direção de aplicação da força. Este processo é usado

geralmente para grandes peças ou quando o número a ser produzido é pequeno, não compensando a confecção de matrizes caras.

6.3.1.2. Matriz fechada

No forjamento em matriz fechada, o material é deformado entre duas metades de matrizes que fornecem a forma desejada a peça. A deformação ocorre sob alta pressão em uma cavidade fechada e assim, pode-se obter peças forjadas com tolerâncias dimensionais mais estreitas. Este processo possui custo mais elevado, conseqüentemente, é aplicado para a produção em maior escala.

Como exemplo, na Tabela 1 são apresentadas as faixas de temperaturas de aquecimento para forjamento de alguns materiais.

Tabela 1: Faixa de temperatura de forjamento para alguns metais (Timoshenko, 1966).

Material	Faixa de Temperatura (°C)
Ligas de alumínio	320 – 520
Ligas de cobre (latões)	650 – 850
Aços de baixo teor de carbono	900 – 1150
Aços de médio teor de carbono	850 – 1100
Aços de alto teor de carbono	800 – 1050

Peças que normalmente são produzidas por forjamento são: eixos, manivelas, bielas, discos de turbinas, engrenagens, rodas, cabeças de parafusos, esferas, ferramentas manuais e uma grande variedade de componentes estruturais para máquinas operatrizes e equipamentos de transporte.

6.3.2. Laminação

A laminação, em comparação ao forjamento (5000 a.C.) é um processo recente de conformação plástica (1500 a.C), porém na atualidade é um dos mais utilizados, pois apresenta uma alta produtividade e um bom controle dimensional do produto acabado. Os produtos da laminação são empregados em diversas áreas, tais como: barras e lâminas para construção civil, trilhos para transportes, tubos, roscas de parafusos e chapas metálicas para indústria.

O processo de laminação consiste na passagem de um corpo sólido (peça) entre dois cilindros, com a mesma velocidade, mas em sentidos contrários (Figura 46). Como

a distância entre as superfícies laterais é inferior à espessura da peça, a mesma sofre uma deformação plástica durante a passagem entre os cilindros. O resultado desta passagem é a diminuição da seção transversal e aumento da largura (normalmente pequeno) e do comprimento (mais acentuado).

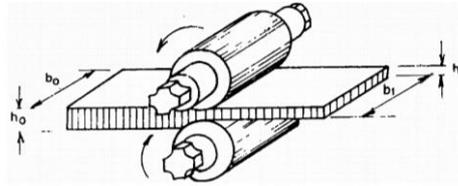


Figura 46: Conformação de metais pelo processo de laminação.

O processo de laminação pode ser conduzido a frio ou a quente, o que irá depender das dimensões e da estrutura do material da peça especificada para o início e final de processamento.

6.3.2.1. Aplicações

A laminação é utilizada para fabricar produtos acabados e semiacabados. Os produtos semiacabados são os blocos, as placas e os tarugos. Exemplos de produtos acabados são perfis estruturais e os trilhos.

6.3.3. Trefilação

A trefilação consiste em se puxar uma peça metálica através de uma matriz que possui um orifício cônico mediante uma força de tração aplicada pelo lado de saída do material. Tem-se como resultado uma redução na área de seção transversal (espessura), com um aumento correspondente no comprimento da peça. A operação completa de trefilação pode consistir na passagem através de várias matrizes posicionadas em série. Barras, arames e tubos podem ser fabricados por este processo assim como filamentos de lâmpadas e hastes de óculos.

6.3.4. Extrusão

No processo de extrusão, uma barra metálica é forçada através de um orifício em uma matriz pela ação de uma força de compressão aplicada sobre um êmbolo; a peça extrudada que emerge possui a forma desejada e uma área de seção transversal reduzida.

6.3.5. Técnicas diversas

6.3.5.1. Metalurgia do pó

Esta técnica envolve a compactação de um metal em pó seguido de aquecimento para produzir peças densas com baixas tolerância de dimensões, tais como: buchas e engrenagens.

Este método é especialmente adequado para os metais que possuem temperaturas de fusão elevadas e que são difíceis de serem fundidos, além de possuírem baixas ductilidades, uma vez que há necessidade de apenas uma pequena deformação plástica das partículas pulverizadas.

6.3.5.2. Soldagem

A soldagem pode ser definida como o processo de união ou revestimento de materiais (fabricação ou manutenção), através da aplicação do calor, assistida ou não de pressão, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas. A solda é o produto de soldagem, enquanto o termo empregado para o material que se deseja soldar é metal base.

Na atualidade, a soldagem é amplamente empregada em componentes de estruturas metálicas e de equipamentos para as mais diversas finalidades. As grandes vantagens da soldagem sobre os demais processos de união consistem na sua eficiência, em sua simplicidade e economia, uma vez que as juntas soldadas requerem quantidades relativamente pequenas de material.

Os processos de soldagem têm um amplo campo de aplicação, incluindo a construção naval, estruturas civis, vasos de pressão, tubulações, usinas hidrelétricas, materiais ferroviário, componentes nucleares e equipamentos diversos. Além da fabricação, a soldagem encontra grande aplicação em serviços de reparo e manutenção. Destaca-se o fato de que a grande maioria dos materiais de construção mecânica pode ser soldada, e muitas vezes, a soldabilidade é uma característica exigida para que o material possa ser lançado no mercado.

Tanto metais similares quanto diferentes podem ser soldados. A ligação da união é metalúrgica (envolvendo alguma difusão), em vez de ser somente mecânica, como acontece com peças que são rebitadas ou parafusadas. Existe uma variedade de métodos de soldagem, incluindo a soldagem a arco e a maçarico.

Durante este tipo de soldagem, as peças a serem unidas e o material de enchimento (o eletrodo de solda) são aquecidos até uma temperatura suficientemente elevada para

fazer com que ambos se fundam e, com a solidificação, o material de enchimento forma uma junção fundida entre as peças de trabalho. Dessa forma, existe uma região adjacente à solda que pode sofrer alterações microestruturais e conseqüentemente, nas suas propriedades. Essa região é denominada de zona termicamente afetada.

Uma técnica de junção relativamente moderna é a soldagem com raios laser, onde um feixe de raios laser intenso e altamente focado é usado como fonte de calor. O raio laser derrete o metal original, e na solidificação é produzida uma junção fundida; com frequência, não há a necessidade de se utilizar um material de enchimento. Este tipo de soldagem é largamente utilizada nas indústrias automotiva e eletrônica, onde são necessárias soldas de alta qualidade e taxas de soldagem elevada.

6.4. Tratamento Térmico

A preocupação do homem em obter metais resistentes e de qualidade é bastante antiga. O imperador romano Júlio César já afirmava, no ano 55 a.C., que os guerreiros bretões se defrontavam com o problema de suas armas entortarem após certo tempo de uso. Isso os obrigava a interromper as lutas para consertar suas armas de ferro.

Além disso, os romanos já haviam descoberto que o ferro se tornava mais duro quando aquecido durante longo tempo num leito de carvão vegetal e na sequência, resfriado em salmoura. Esse procedimento pode ser considerado a primeira forma de tratamento térmico, pois permitia a fabricação de armas mais duras e mais resistentes.

Entretanto, foram necessários muitos anos para o homem aprender a lidar de modo mais eficiente com o calor e com os processos de resfriamento, para fazer tratamentos térmicos mais adequados.

6.4.1. Definição

Tratamento térmico pode ser definido com o aquecimento ou resfriamento controlado dos metais feito com a finalidade de alterar suas propriedades físicas e mecânicas, sem alterar a forma do produto final. Como exemplo, da importância de um tratamento térmico, pode-se citar uma mola metálica da suspensão de um carro. Ao ser comprimida, na passagem do veículo por um quebra-molas, a mola acumula energia amortecendo o movimento da roda. Após a passagem pelo quebra-molas, a mola se estende devolvendo a energia acumulada e fazendo a roda do veículo retornar à sua posição inicial. O tratamento térmico permite que a mola sofra deformação elástica sem perder sua forma e a geometria original. Para resistir a esses esforços é preciso que a mola

tenha dureza elevada, elasticidade e resistência mecânica para não sofrer deformação plástica permanente.

Dessa forma, pode-se dizer que os tratamentos térmicos são uma das etapas em um processo de fabricação dos metais, os quais aumentam o desempenho dos produtos através do aumento da resistência mecânica ou de outras propriedades.

O benefício trazido pelos tratamentos térmicos aos aços é muito grande pois esses materiais respondem muito bem aos diferentes ciclos de tratamento utilizados. Num mesmo aço, dependendo do tratamento térmico, pode-se obter níveis de resistência mecânica, dureza, ductilidade e tenacidade muito variadas, permitindo, por exemplo, amolecer o material para usinagem e posteriormente endurecê-lo para se obter alta resistência. Essa é uma das razões pelas quais a utilização comercial do aço é muito maior que a de outros materiais.

Uma grande variedade de tratamentos térmicos e termoquímicos podem ser utilizados em aços, podendo-se dividi-los em dois grupos:

1. Tratamentos de amolecimento
2. Tratamentos de endurecimento

O amolecimento é feito para reduzir a dureza, remover tensões residuais, melhorar a tenacidade ou quando se deseja refinar o grão do material em decorrência dos processos de fabricação como laminação ou trefilação. Já o endurecimento dos aços é feito para aumentar a resistência mecânica e a resistência ao desgaste. O termo “resistência mecânica” pode ser empregado para:

- (a) Resistência estática - capacidade de resistir a cargas de curta duração na temperatura ambiente,
- (b) Resistência à fadiga - capacidade de resistir a cargas cíclicas ou flutuantes no tempo,
- (c) Resistência à fluência - capacidade de resistir a cargas em temperaturas capazes de produzir alteração progressiva das dimensões, durante o período de aplicação da carga.

O pré-requisito para endurecer um aço é que haja carbono suficiente para se conseguir o endurecimento. Havendo carbono suficiente na peça pode-se temperá-la para obter endurecimento superficial. Entretanto, para que haja penetração de dureza no

interior da peça é necessária uma certa quantidade de elementos de liga, que são introduzidos no aço com a finalidade de aumentar a sua temperabilidade (profundidade de penetração de dureza por têmpera.)

As propriedades mecânicas dos aços são dependentes de sua microestrutura e um bom entendimento das etapas de formação dos microconstituintes durante e após tratamentos térmicos permite selecionar com maior conhecimento e propriedade materiais e tratamentos térmicos para se obter os níveis de resistência mecânica desejados.

6.4.2. Estrutura Cristalina

Os aços são ligas de ferro-carbono e para entender como os átomos de ferro e carbono formam a estrutura cristalina é preciso antes visualizar os aglomerados de átomos de ferro (raio atômico 140 pm) e as formas cristalinas que esse elemento pode assumir. Em temperaturas elevadas o aço apresenta uma estrutura cúbica de face centrada (CFC), já em temperaturas mais baixas os átomos de ferro se organizam de outra maneira formando uma estrutura cúbica de corpo centrado (CCC).

A estrutura CFC, denominada de austenita ou fase γ , é estável desde temperaturas muito altas, logo após a solidificação do aço, passando pelas temperaturas de laminação ou forjamento (1000 a 1200 °C), até a temperatura de 912 °C. A 912 °C ocorre a transformação do ferro CFC para a estrutura CCC, denominada ferrita ou fase α - estável, até a temperatura ambiente.

A austenita, nos aços de baixa liga, não é uma fase estável na temperatura ambiente. Já a ferrita é estável e apresenta propriedades mecânicas de dureza e resistência muito baixas. Em compensação é uma fase que apresenta alta ductilidade e alta conformabilidade.

Praticamente todos os tratamentos térmicos realizados em aços se baseiam na transformação: $Fe\alpha_{CCC} \Leftrightarrow Fe\gamma_{CFC}$

Se essa transformação não existisse não haveria a possibilidade de endurecer os aços e obter materiais tão duros e tão resistentes ao desgaste e à fadiga.

O carbono, por sua vez é um átomo muito pequeno (raio atômico 70 pm), quando comparado com o átomo de ferro, que ocupa as posições vazias existentes no reticulado cristalino do ferro, chamadas posições intersticiais, com o mostrado na Figura 47.

6.4.3. Estrutura dos aços resfriados lentamente

Quando o teor de carbono é menor que 0,1%, o aço contém somente ferrita sendo muito mole e dúctil. Se o teor de carbono dos aços for maior, entre 0,1 e 0,8%, haverá um aumento da quantidade de perlita e uma diminuição da quantidade de ferrita. Assim, um aço com 0,4% de carbono tem aproximadamente 50% de ferrita e 50% de perlita. Por outro lado, os aços com 0,8% de carbono apresentam na microestrutura 100 % de perlita.

Quando um aço contendo 0,4% de carbono é aquecido acima de 727 °C, dentro da zona crítica, a perlita existente na microestrutura se transforma em austenita e a ferrita continua estável. Se, entretanto, o aquecimento continuar, acima de aproximadamente 830 °C todo o material se transforma em austenita.

Se após, o material for resfriado lentamente, a austenita começa a se transformar em ferrita, dentro da zona crítica e finalmente a 727 °C toda austenita se transforma em perlita.

A cementita endurece o aço e a ferrita o mantém tenaz. A dureza da perlita é intermediária entre a dureza da ferrita e da cementita, como pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2: Dureza das diferentes fases presentes no aço (Callister, 2000).

Microconstituente	Dureza (HV)
Ferrita (fe- α)	90
Cementita (Fe ₃ C)	1050
Perlita (α + Fe ₃ C)	230

As propriedades mecânicas dos aços carbono resfriados lentamente variam com o teor de carbono. Quanto maior é o teor de carbono maiores são os limites de escoamento e de resistência, a dureza e a ductilidade são menores.

Essa variação grande de propriedades gera famílias de diferentes de materiais. Um material muito bom para uma certa aplicação pode ser totalmente inadequado para outra. Se, por exemplo, compararmos as vigas metálicas utilizadas na construção de uma ponte, com os trilhos de trem que serão fixados aos dormentes de madeira, assentados sobre a plataforma desta ponte, veremos que as vigas devem ter resistência mecânica suficiente para aguentar as cargas aplicadas (trem de carga passando sobre a ponte). O projetista sabe, entretanto, que o material selecionado deve ter tenacidade à fratura e resistir à formação e propagação de trincas.

Já o aço do trilho deve apresentar além de elevada resistência mecânica, elevada resistência ao desgaste, pois as rodas do trem trabalham diretamente, sobre o trilho, e o contato metal-metal não lubrificado constitui a solitação crítica. Os aços para trilho utilizados hoje em dia são 100% perlíticos e para tanto devem conter aproximadamente 0,8 % C.

6.4.4. Têmpera do aço

O artefato temperado mais antigo, datado de 1.100 a.C., foi encontrado em ruínas arqueológicas, na ilha de Chipre. Entretanto, a têmpera do aço parece ter sido desenvolvida mais amplamente pelos romanos, para endurecer e aumentar a resistência ao desgaste de ferramentas. O processo foi descoberto casualmente. Os ferreiros após martelarem suas ferramentas a quente esfriavam-nas em água para que não ficassem quentes dentro da oficina. Após a têmpera a ferramenta se tornava muito dura. Os povos antigos passaram a usar a têmpera para endurecer armas brancas, tais com o espadas, facas, sabres, etc.

A têmpera consiste em aquecer o aço até uma temperatura acima da zona crítica (austenitização), mantê-lo nesta temperatura por um certo tempo e em seguida resfriá-lo bruscamente.

Abaixo de uma temperatura M_i de início de formação ferrita, forma-se uma estrutura muito dura e frágil denominada martensita, com reticulado cristalino tetragonal compacto (TC), como mostra o diagrama na Figura 48.

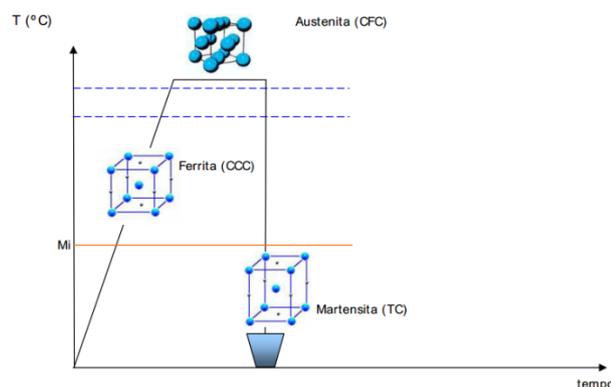


Figura 49: Diagrama da transformação de fases do aço em função da temperatura x tempo.

A estrutura martensítica é formada por agulhas ou placas muito finas, como pode ser visualizada na Figura 50.

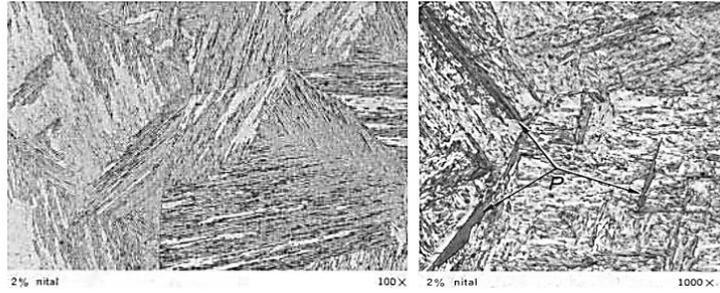


Figura 50: Imagens de micrografia de varredura da estrutura martensítica.

Somente na metade do século passado começou-se a entender porque o aço endurece quando resfriado bruscamente. O reticulado TC é um reticulado CCC distorcido, devido ao excesso de carbono contido na célula unitária. A ferrita tem capacidade muito pequena de dissolver carbono no reticulado, enquanto que a austenita pode dissolver, em alta temperatura, todo o carbono contido no aço. Durante o resfriamento, não há tempo suficiente para a austenita se transformar novamente em ferrita ou cementita e o carbono em excesso fica retido na estrutura martensítica promovendo forte distorção e introduzindo tensões elevadas no reticulado. As tensões internas são tanto maiores quanto maior o teor de carbono em excesso, sendo responsáveis pelo aumento de dureza do aço.

A Figura 51 Figura 50 apresenta a variação da dureza dos aços temperados com o teor de carbono. Dependendo, do teor de carbono do aço, é possível obter durezas que vão de 20 HRC até aproximadamente 67 HRC. Nos aços com alto teor de carbono não se obtém durezas mais elevadas devido à retenção de austenita (nem toda austenita se transforma em martensita).

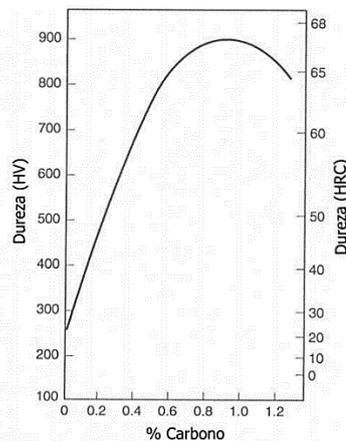


Figura 51: Variação da dureza do aço com o teor de carbono.

6.4.5. Recozimento Pleno

Em consequência dos processos de fabricação, as barras e tarugos de aço podem acumular tensões e apresentar microestruturas heterogêneas com exagerado tamanho de grão e dureza elevada.

O recozimento pleno é feito com o objetivo de reduzir ao máximo a dureza do aço. Por meio do recozimento pleno é possível aumentar a ductilidade e a usinabilidade do aço além de controlar seu tamanho de grão. Utiliza-se este tratamento quando, na sequência de fabricação, o aço deve sofrer elevado grau de deformação ou a peça deve ser usinada. O recozimento pleno garante ductilidade a peças que em outras circunstâncias apresentariam comportamento frágil.

O recozimento pleno consiste em elevar lentamente a temperatura do aço até aproximadamente 50 °C acima da zona crítica (austenização total), no caso dos aços com teor de carbono menor que 0,8%. A formação de austenita em alta temperatura destrói todas as estruturas existentes anteriormente ao aquecimento. No resfriamento formam-se a ferrita e a perlita grossa que garantem amolecimento do material. Para os aços com teor de carbono maior que 0,8% o recozimento é feito em temperatura 50 °C acima do limite inferior da zona crítica (Figura 52).

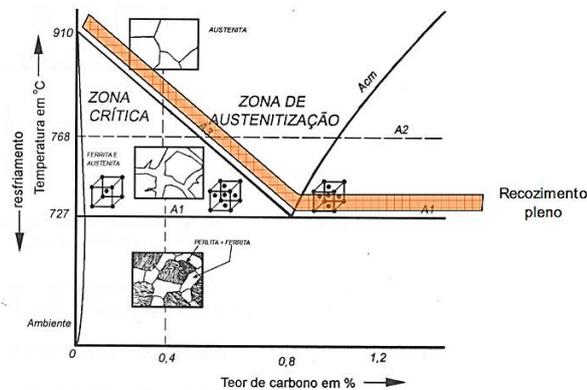


Figura 52: Diagrama referente ao processo de recozimento pleno do aço.

O aço é mantido na temperatura por um tempo suficiente para que a estrutura se torne austenítica ou de austenita + cementita e em seguida é resfriado dentro do forno com uma velocidade de aproximadamente 25 °C/h até aproximadamente 50 °C abaixo da zona crítica, a partir desta temperatura o aço pode ser resfriado ao ar.

6.4.6. Esferoidização

Os aços de alto carbono % C > 0,8% (aços para rolamento) apresentam uma rede frágil de cementita ao redor da perlita. Esta quantidade maior de cementita presente nestes aços torna-os difíceis de serem usinados. Para melhorar a usinabilidade destes aços faz-se um tratamento de esferoidização. O tratamento é assim chamado porque as partículas de cementita tornam-se esféricas após tempos prolongados de exposição a temperaturas ligeiramente subcríticas. O tratamento produz cementita esferoidal em uma matriz de ferrita, eliminando a presença de perlita e a rede de carbonetos frágeis anteriormente existentes na microestrutura.

O tratamento consiste em aquecimento do aço até uma faixa de temperaturas 50° C abaixo da zona crítica, manutenção prolongada (várias horas) nesta temperatura e resfriamento lento dentro do forno.

6.4.7. Normalização

A normalização do aço é feita quando se deseja refinar o grão do material. O aço com grãos grandes tende a apresentar maior heterogeneidade de propriedades e maior fragilidade. O refino de grão garante maior homogeneidade de propriedades, e maior tenacidade. O tratamento térmico de normalização consiste no aquecimento do aço até 60 °C acima do limite superior da zona crítica (A3), sempre garantindo austenitização total do material. Em seguida é retirado do forno e deixado resfriar ao ar natural. A estrutura resultante é de pequenos grãos de ferrita e perlita fina (Figura 53). Esse tratamento é bem mais barato que o de recozimento pleno pois o forno pode ser desligado logo após o fim do período de austenitização.

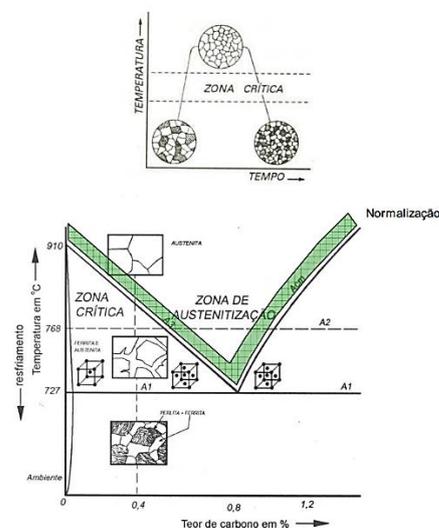


Figura 53: Processo de normalização do aço.

A principal diferença entre os tratamentos de recozimento pleno e de normalização é que as peças tratadas em recozimento pleno apresentam ductilidade e usinabilidade homogêneas em todas as regiões, já que a peça toda fica exposta ao ciclo de resfriamento. Já no caso da peça normalizada a velocidade de resfriamento não é uniforme. Seções mais espessas resfriam mais lentamente do que seções mais finas. Como a velocidade de resfriamento é heterogênea, a microestrutura e as propriedades (usinabilidade e conformabilidade) também o são. Caso se deseje usinar a peça nas etapas subsequentes de fabricação é o ideal é realizar o processo de recozimento pleno.

7. POLÍMEROS

Polímeros são macromoléculas obtidas pela combinação de moléculas pequenas, os monômeros. Para uma melhor compreensão podemos fazer uma analogia, utilizando clips de papel. Neste caso, um clip representa um monômero e a união de vários clips (monômeros) representam a cadeia polimérica (Figura 54).

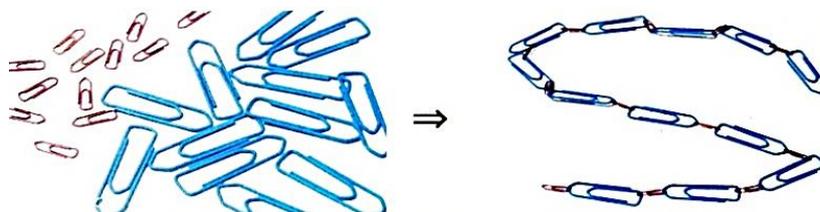


Figura 54: Representação de uma cadeia polimérica utilizando clips de papel.

O polímero com estrutura química mais simples é o polietileno, o qual é obtido a partir da polimerização do eteno ou etileno (Figura 55).

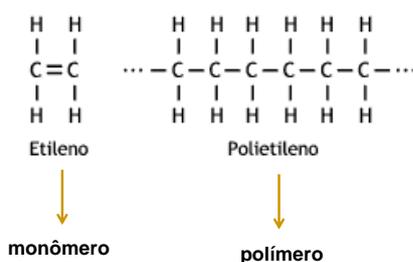


Figura 55: Estrutura do polietileno a partir do monômero etileno

7.1. Origem dos Polímeros

Os polímeros podem ser obtidos de forma natural ou sintética. Dentre os polímeros de fonte natural, os mais conhecidos são a borracha natural (Figura 56) e a celulose (Figura 57).

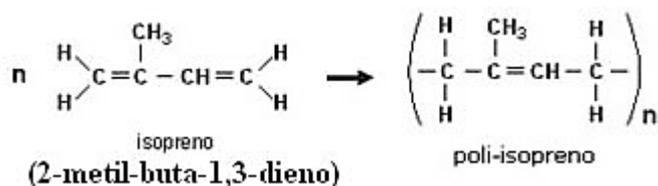


Figura 56: Estrutura química da borracha natural.

A celulose é um polímero de cadeia longa de peso molecular variável, com fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, com um valor mínimo de $n=200$. Possui uma estrutura linear, fibrosa e úmida, na qual se estabelecem múltiplas ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das distintas cadeias justapostas de glicose, fazendo-as impenetráveis a água e, portanto, insolúveis, originando fibras compactas que constituem a parede celular dos vegetais.

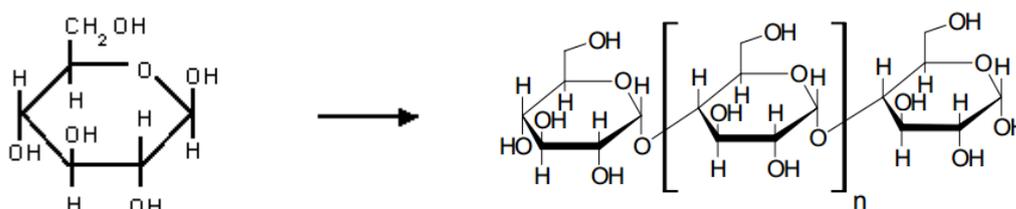


Figura 57: Estrutura química da celulose.

Para os polímeros sintéticos, a principal fonte de obtenção é a partir do petróleo que é uma matéria-prima rica em carbono. Através do refino do petróleo, faz-se a sua separação em diferentes frações, como gasolina, diesel e a nafta.

A nafta é então destinada para uma central petroquímica (indústria de primeira geração), onde também sofrerá um processo de destilação fracionada a fim de se obter os monômeros, os quais, devido ao baixo peso molecular encontram-se na fase gasosa. Na sequência, estes monômeros são enviados para as indústrias de segunda geração, as quais são responsáveis pelo processo de polimerização e por fim, o polímero depois de pronto é enviado para as empresas de terceira geração onde serão moldados de acordo com a aplicação desejada (Figura 58) (Canevarolo Jr, 2002).



Figura 58: Processo de produção do plástico

7.2. Reações de Polimerização

As reações de polimerização podem ser classificadas em dois tipos: poliadição e policondensação. A reação de polimerização dependerá do tipo de reatividade presente no monômero.

7.2.1. Poliadição

Os polímeros obtidos por poliadição são formados a partir de um ou mais monômeros, os quais reagem entre si por um mecanismo de reação em cadeia. Para que este tipo de reação aconteça é necessário a presença de uma ligação dupla entre os carbonos de cada monômero. A partir do rompimento da dupla ligação, devido à presença de um iniciador no meio reacional, ocorre a formação de radicais livres no monômero. Estes, para se estabilizarem, reagem com outros monômeros dando origem a longas cadeias carbônicas. Abaixo está a reação de poliadição para a obtenção do polipropileno (Figura 59).

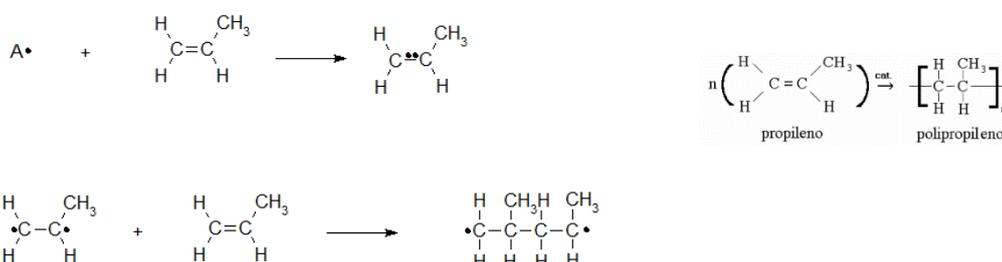


Figura 59: Obtenção do polipropileno via reação de poliadição.

Deve-se enfatizar que no processo de polimerização parte-se de uma molécula de baixo peso molecular (gás) e ao final é obtido um polímero de maior massa molecular (sólido), dependendo do número de unidades repetitivas (n), conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Efeito da massa molar sobre a temperatura de amolecimento (Canevarolo Jr, 2002)

n	Massa Molar	$T_{AMOLEC.}$ (°C)	Estado Físico a 25°C
1	28	-169 (liquef,)	Gás
6	168	-12	Líquido
35	1000	37	Graxa
140	4000	93	Cera
250	7000	98	Cera dura
430	12000	104	Resina dura
750	21000	110	Resina dura
1350	38000	112	Resina dura

7.2.2. Policondensação

Na policondensação, os polímeros formados são oriundos da reação entre dois monômeros diferentes, os quais não necessitam da presença de ligações duplas entre os carbonos, mas deve haver a presença de dois tipos de grupos funcionais distintos. É característico dessas reações a eliminação de moléculas pequenas como por exemplo água, álcool ou um ácido. Como exemplo de uma policondensação têm-se a reação para a obtenção do náilon 6,6 (Figura 60).

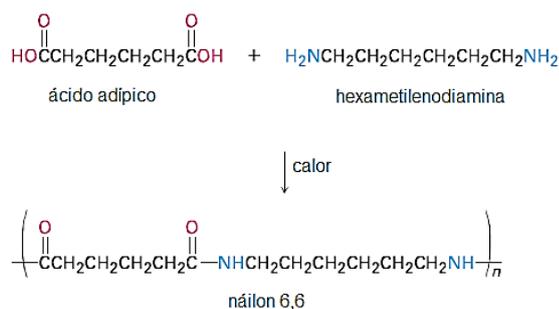


Figura 60: Obtenção do náilon n 6,6 via reação de policondensação.

Questione-se: O poliestireno (PS) é obtido por qual tipo de reação de polimerização? E politereftalato de etileno (PET)?

7.3. Quantidade e disposição dos meros em uma cadeia polimérica

Quando os polímeros possuem somente um tipo de mero ao longo da cadeia, eles são chamados de homopolímeros. Quando existem dois e três tipos diferentes de meros na composição do polímero, estes são chamados de copolímero e terpolímero, respectivamente (Figura 61).

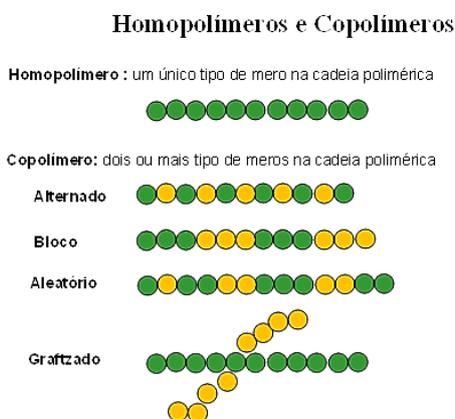


Figura 61: Classificação dos polímeros de acordo com a disposição dos meros na cadeia polimérica.

Quando na cadeia do copolímero houver alternância de segmentos formados pela repetição de cada um dos meros, tem-se um copolímero alternado. Quando os segmentos são formados pela sequência de meros, são denominados de copolímeros em bloco. Quando a distribuição dos monômeros ao longo da cadeia não segue uma lógica, são denominados de copolímeros aleatórios. E por último, quando blocos de monômeros ramificações poliméricas introduzidas em um polímero anteriormente linear, tem-se um copolímero graftizado (Figura 61).

7.4. Peso Molecular

A determinação da massa molar para moléculas pequenas é feita a partir do somatório da massa molar de cada um de seus átomos constituintes. No entanto, para os polímeros, o mesmo raciocínio não pode ser utilizado, pois polímeros são produtos heterogêneos, constituídos de uma mistura de moléculas de diferentes massas moleculares. Isso é mais facilmente compreendido ao se analisar as curvas de distribuição de peso molecular característica para polímeros (Figura 62).

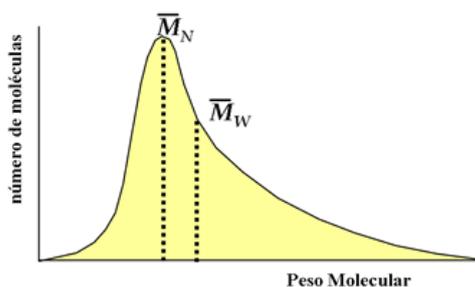


Figura 62: Diagrama de distribuição de peso molecular para polímeros.

Um polímero pode ter cadeias com diferentes tamanhos e, conseqüentemente, com diferentes pesos moleculares, podendo, algumas delas, serem muito pequenas e outras médias ou grandes. Em razão disso, o usual é a caracterização do peso molecular médio para polímeros. Diferentes técnicas de medição podem ser empregadas para a determinação do peso molecular médio, tais como: pressão osmótica, crioscopia, espalhamento de luz, viscosidade das soluções, ultracentrifugação, permeação, etc.

No entanto, a técnica mais empregada industrialmente é a Cromatografia de Permeação Gel (GPC). Nesta técnica, o polímero é primeiramente diluído em um solvente, após a solução é injetada na coluna cromatográfica constituída de diversos poros, com diferentes tamanhos. Estes poros dificultam a passagem das cadeias poliméricas, sendo que quanto menor o tamanho da cadeia maior é a dificuldade. Já as

cadeias maiores, pelo fato de passarem por fora dos poros, adquirem maior velocidade, chegando ao final da coluna antes. As moléculas são separadas, portanto, por tamanho e seus pesos moleculares calculados através do conhecimento dos tempos relativos de eluição e das concentrações das porções eluídas.

Para os polímeros pode-se determinar o peso molecular numérico médio e o peso molecular ponderal médio. Em todos os casos, a sua determinação exige que o polímero seja solúvel em um determinado solvente. Em geral, um travessão horizontal sobreposto ao símbolo do peso molecular indica que se trata de um valor médio.

Abaixo é apresentado um exemplo de como calcular o valor numérico médio (M_n) e o valor ponderal médio (M_w) do peso molecular do polietileno que contém 7 cadeias, mas com diferentes quantidades de unidades repetitivas.

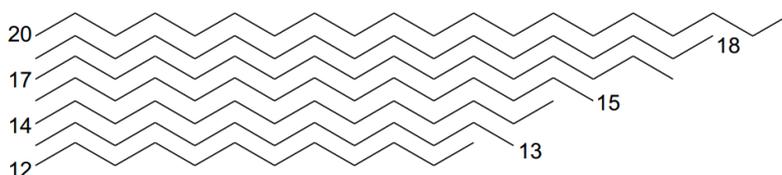
$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} = \frac{\text{massa total de sistema polimérico}}{\text{número total de moléculas no sistema}}$$

M_i - Peso molecular numérico médio

M_i - Peso molecular de moléculas de classe i

n_i - Número de moléculas de classe i

Ex: 7 cadeias com 12, 13, 14, 15, 17, 18 e 20 UR, cada UR com MM = 28 (PE)



Resultará em:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} = \frac{3052}{7} = 436 \text{ g/mol}$$

Peso molecular ponderal médio

$$\bar{M}_w = \frac{\sum N_i (M_i)^2}{\sum N_i M_i} = \frac{N_1 M_1^2 + N_2 M_2^2 + \dots + N_n M_n^2}{N_1 M_1 + N_2 M_2 + \dots + N_n M_n}$$

Ex: 7 cadeias com 12, 13, 14, 15, 17, 18 e 20 UR, cada UR com MM = 28 (PE)

$$\bar{M}_w = \frac{\sum N_i (M_i)^2}{\sum N_i M_i} =$$

$$= \frac{(1 \times 313600) + (1 \times 254016) + (1 \times 226576) + (1 \times 176400) + (1 \times 153664) + (1 \times 132496) + (1 \times 112896)}{(1 \times 560) + (1 \times 504) + (1 \times 476) + (1 \times 420) + (1 \times 392) + (1 \times 364) + (1 \times 336)} =$$

$$\bar{M}_w = \frac{1.367.848}{3052} = 448 \text{ g/mol}$$

Para o mesmo sistema havia resultado em 436 g/mol, ou seja, verifica-se que o valor ponderal médio é mais elevado que o valor numérico médio. A partir desses resultados verifica-se que o peso molecular é uma característica expressiva para os polímeros.

7.4.1. Polidispersão

É uma medida da largura da distribuição de massa molar. Também chamada de polidispersividade, é definida pela relação M_w/M_n , e tem valores entre 1 e 2.

Quando o valor de M_w for igual a M_n , têm-se um polímero monodisperso o que significa que todas as cadeias têm o mesmo número de UR, ou seja, a mesma massa molar. Já, se a polidispersão for maior que 1, mais disperso é o peso molecular do polímero. A polidispersividade é decorrente das condições reacionais durante a polimerização, tais como: concentração dos monômeros e iniciadores, temperatura, tempo, pressão e tipo de catalisador (Figura 63).

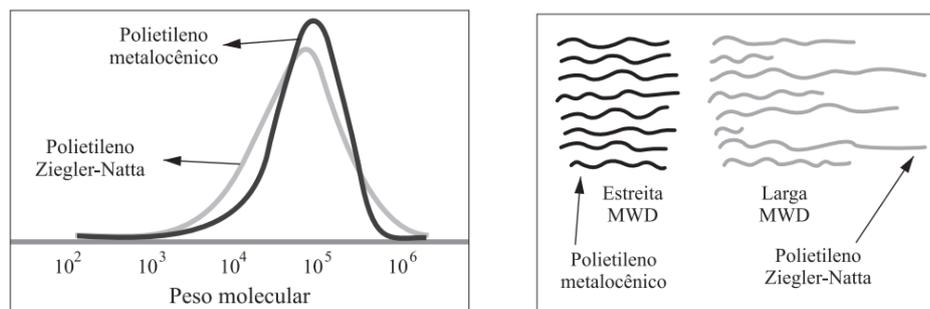


Figura 63: Variação na distribuição do peso molecular do polímero dependendo do tipo de catalisador utilizado. Retirado de (Coutinho *et al.*, 2003).

7.5. Tipos de cadeias poliméricas: classificação a partir da estrutura química

Os polímeros podem apresentar várias formas de cadeias moleculares, devido ao modo como os monômeros se ligam uns aos outros. Os polímeros podem ter suas cadeias sem ramificações (polímeros lineares) ou podem apresentar ramificações, cujo grau de

complexidade pode ir até o extremo da formação de retículos, resultando então o que se denomina de polímeros com ligações cruzadas ou polímero tridimensional (Figura 64).

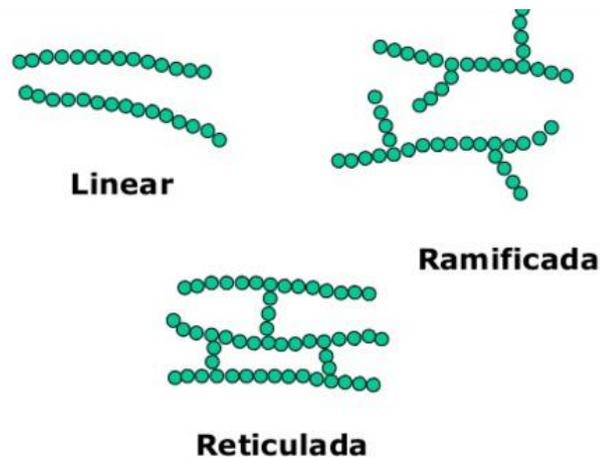


Figura 64: Tipos de cadeias poliméricas

Questione-se: Como o tipo de cadeia de um polímero pode influenciar em suas propriedades?

7.6. Estrutura macromolecular

Os polímeros podem existir em estado amorfo ou em estado cristalino e, na grande maioria dos casos, a estrutura do polímero se apresenta parcialmente amorfa ou cristalina. No primeiro caso, ocorre uma disposição desordenada das moléculas e, no segundo, há uma ordenação tridimensional, isto é, existe cristalinidade. A Figura 65 ilustra a estrutura cristalina de polímeros (Mano, 1987).



Figura 65: Estrutura cristalina dos polímeros.

Os polímeros no estado amorfo são caracterizados por uma disposição desordenada das moléculas, de formato irregular, não possuindo ordem estrutural em suas cadeias. Esse comportamento lembra visualmente uma “porção de espaguete cozido”, em

razão das ondulações e da irregularidade. Para os polímeros amorfos ou semicristalinos têm-se associado à temperatura de transição vítrea (T_g). Onde “vítrea” significa rigidez e quebradiço, podendo-se fazer uma analogia ao vidro. A T_g é a temperatura, na qual as cadeias poliméricas perdem sua mobilidade, isto é, as macromoléculas não têm energia interna suficiente para deslocarem-se umas em relação às outras.

Polímeros semicristalinos apresentam uma ordenação tridimensional das moléculas, ou seja, um arranjo ordenado com repetições regulares das estruturas moleculares. Para estes polímeros associa-se a temperatura de fusão cristalina. Quando a temperatura de fusão é atingida os cristais se desagregam e fundem.

7.6.1. Cristalização e grau de cristalinidade

Cada molécula tem uma forma e capacidade de se ordenar em relação a si mesma e aos vizinhos. Um cristal, que pode estar presente na massa polimérica no estado sólido ou em solidificação, pode ser formado por moléculas que se dobram sobre si mesmas e se empilham sobre outras moléculas igualmente dobradas.

A disposição das cadeias poliméricas interfere no teor de cristalinidade do polímero o que, conseqüentemente, altera diversas de suas propriedades, tais como: densidade, temperatura de fusão, dureza e solubilidade.

Abaixo, a Tabela 4 mostra tais propriedades para o polietileno com diferentes teores de cristalinidade.

Tabela 4: Propriedades do Polietileno em função da cristalinidade (Mano, 2000)

Propriedades	Teor de Cristalinidade (%)				
	55	62	70	77	85
Temperatura de fusão (°C)	109	116	125	130	133
Densidade (g.cm ³)	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
Rigidez (MPa x 10 ⁻³)	17.2	32.4	51.7	82.7	111.4
Resistencia (MPa)	11.72	17.24	22.75	28.96	35.16

Para compreender como estas propriedades variam de acordo com o teor de cristalinidade do polietileno, torna-se necessário recordar o capítulo sobre ligações químicas e interações moleculares. Como as cadeias poliméricas são unidas por interações fracas do tipo van der Waals, quanto maior a presença de ramificações, menor são estas interações, pois menos efetivo é a aproximação das cadeias. Quanto menos as

cadeias estão próximas, menor é o seu empacotamento e conseqüentemente menor é o teor de cristalinidade.

7.7. Atividade

Como a estrutura macromolecular de um polímero pode influenciar em suas propriedades e aplicações?

Estudo Dirigido: Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações (Coutinho *et al.*, 2003)

Leia o artigo e responda as seguintes questões:

- 1- Mostre através de desenhos a diferença entre os polietilenos: PEAD, PEBD e PELBD.
- 2- Quais as conseqüências dessas diferenças em termos de densidade, teor de cristalinidade, temperatura de fusão e transparência desses polímeros?
- 3- Quais os parâmetros reacionais que interferem na quantidade de ramificações produzidas em uma reação de polimerização?
- 4- Por que o polietileno é pouco solúvel em solventes como álcoois e acetona?

7.8. Comportamento Mecânico dos Polímeros

Os polímeros podem ser classificados quanto ao comportamento mecânico, o que é importante do ponto de vista tecnológico, uma vez que esta classificação determina a aplicação do material. Eles podem ser divididos em três grupos: borrachas ou elastômeros, fibras e plásticos (Figura 66) (Mano, 2001).

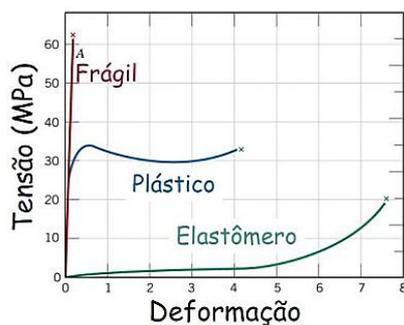


Figura 66: Representação gráfica do comportamento mecânicos dos polímeros através da curva tensão x deformação.

As borrachas são aplicadas na fabricação de pneus, nas solas de sapatos e em terminais e junções de peças que sofrem grande esforço mecânico.

7.8.2. Fibras

As fibras são materiais constituídos geralmente por macromoléculas lineares, estirados em filamento, por isso possuem elevada razão entre comprimento e diâmetro de pelo menos 100:1. Sua grande aplicabilidade é na indústria têxtil, sendo que estas fibras podem ser subdivididas em três grupos:

- Fibras naturais (algodão, lã);
- Fibras naturais modificadas (viscose, rayon);
- Fibras sintéticas (poliéster, náilon).

Para ser útil como um material têxtil, uma fibra polimérica deve ter uma ampla gama de propriedades físico-químicas, pois quando em uso, as fibras podem ser submetidas a variações de temperaturas e inúmeras deformações mecânicas: estiramento, torção, cisalhamento e abrasão (Canevarolo Jr, 2002).

Além disso, as fibras poliméricas devem exibir estabilidade química a uma variedade considerável de ambientes, incluindo ácidos, bases, alvejantes, solventes de lavagem a seco e a luz do sol.

Uma das fibras mais utilizadas comercialmente são as poliaramidas e como exemplo apresentarei o *Kevlar* cuja estrutura é apresentada abaixo.

O *Kevlar* destaca-se por apresentar interessantes propriedades como resistência à corrosão e ao calor, baixo peso, manutenção de suas propriedades mesmo quando utilizado a baixas temperaturas, elevado módulo de elasticidade, grande resistência ao impacto e elevada resistência mecânica – o *Kevlar* é cerca de sete vezes mais resistente do que o aço por unidade de peso.

A aplicação mais famosa desse polímero é a fabricação de coletes à prova de balas (Figura 69). O princípio de funcionamento de um colete à prova de balas é semelhante ao funcionamento de uma cama elástica. Quando o projétil entra em contato com o colete, as fibras de *Kevlar* absorvem parte da energia proveniente da colisão e a dissipam, o que normalmente é capaz de proteger o indivíduo atingido. A absorção de energia é proveniente da forma como as fibras são organizadas, tornando extremamente difícil

separá-las. No entanto, algumas vezes a energia restante, destinada à pessoa atingida, ainda é capaz de feri-la fatalmente.

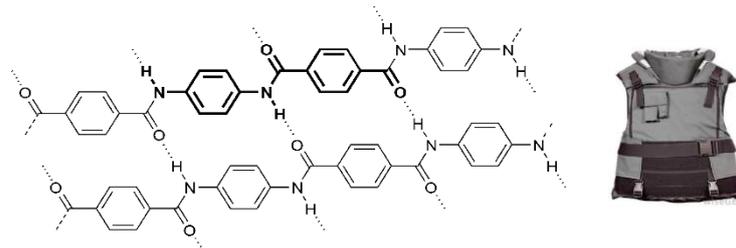


Figura 69: Estrutura química de uma poliaramida.

7.8.3. Plásticos

Possivelmente o maior número de materiais poliméricos estão inseridos dentro da classificação de plásticos dentre eles estão: polietileno, polipropileno, cloreto de polivinila, poliestireno e os fluorcarbonos, resinas epóxi, fenólicos e poliésteres. Eles têm uma larga variedade de combinações de propriedades. Alguns plásticos são muito rígidos e frágeis; outros são flexíveis, exibindo deformações tanto elásticas quanto plásticas quando tensionados e às vezes experimentando considerável deformação antes da fratura.

Dentro da classificação de plásticos, há uma subdivisão empregada: termoplásticos e termorrígidos cujas diferenças estão concentradas nas suas diferenças de solubilidade e fusibilidade, as quais são importantes do ponto de vista tecnológico.

7.8.3.1. Termoplásticos

Os polímeros que podem ser fundidos sob aquecimento e solidificados por resfriamento, sem que ocorra degradação generalizada, são chamados termoplásticos. Neste grupo, estão inseridos também os polímeros solúveis em solventes adequados. Do ponto de vista estrutural, isso ocorre porque os polímeros deste grupo podem possuir cadeias lineares ou ramificadas que estão interligadas, por forças de van der Waals. Durante o processamento estas ligações fracas são destruídas por aquecimento, passando o plástico ao estado fundido. Estas interações são restabelecidas quando o polímero é resfriado. Como não há quebra de ligações covalentes, mas apenas de interações entre as cadeias, estes polímeros podem sofrer vários ciclos térmicos sem perda significativa das propriedades, o que torna estes materiais recicláveis.

7.8.3.2. Termorrígidos

Esses polímeros assumem a sua forma definitiva quando sujeitos a um único ciclo térmico. São formados por cadeias poliméricas muito ramificadas em que a coesão intermolecular é garantida por ligações covalentes fortes, as reticulações. Devido à presença dessas reticulações, os termofixos ao serem novamente aquecidos não são deformáveis como os termoplásticos, mas decompõem-se ou carbonizam e, por esta razão, não são recicláveis. Suas principais características são a rigidez e durabilidade podendo ser aplicados na indústria automobilística e aeronáutica. Alguns exemplos são: poliuretano, poliéster, resinas epóxi e de fenol.

Como pode ser visto na Figura 70, o tipo de cadeia do polímero influencia na sua mobilidade, ou seja, no deslocamento de uma cadeia em relação a outra. Dessa forma, polímeros lineares ou ramificados são, em princípio, solúveis em solventes adequados e passíveis de sofrer escoamento sob a ação de calor e pressão, enquanto que os polímeros com estrutura molecular tridimensional são insolúveis e quando aquecidos a altas temperaturas degradam.

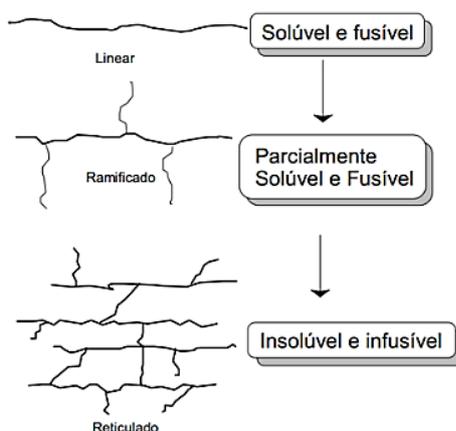


Figura 70: Tipos de cadeias apresentadas por polímeros lineares, ramificados e reticulados.

7.9. Caracterização dos Polímeros

Diversas são as técnicas que podem ser empregadas na caracterização de materiais poliméricos. No entanto, aqui serão apresentadas apenas as mais utilizadas com ênfase nas informações que podem ser coletadas de forma a se identificar o polímero ou como técnica de controle de qualidade.

7.9.1. Propriedades térmicas

Para explicar como os polímeros podem ser caracterizados a partir de suas propriedades térmicas, torna-se importante lembrar alguns conceitos sobre a estrutura cristalina desses materiais.

Os polímeros podem existir em estado amorfo ou em estado cristalino; na grande maioria dos casos, os polímeros quase nunca se cristalizam completamente, por possuírem altos pesos moleculares ou cadeias muito compridas. Pode-se, portanto, definir, a partir do estado físico, duas grandezas de vital importância para os polímeros: temperatura de fusão cristalina (T_m) e temperatura de transição vítrea (T_g), que podem ser visualizadas na Figura 71.

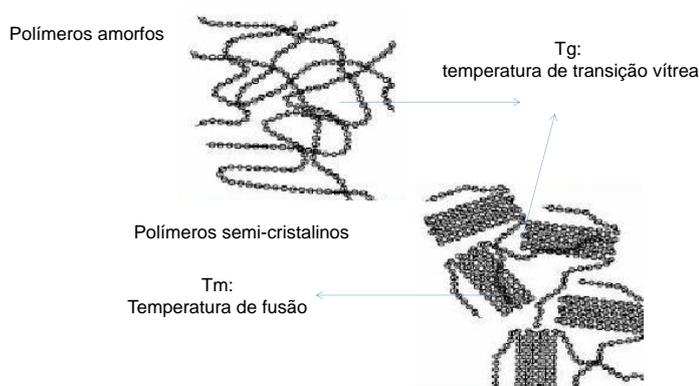


Figura 71: Estrutura cristalina apresentada por polímeros amorfos e semicristalinos.

Todos os polímeros possuem T_g , mas os polímeros essencialmente amorfos não possuem T_m , devido à ausência de cristais. Contudo, polímeros amorfos passam do estado vítreo para um estado “borrachoso” quando abaixo ou acima da T_g , respectivamente.

Em outras palavras, as moléculas abaixo desta temperatura apresentam-se praticamente imóveis, em estado vítreo, sem movimento browniano. Acima desta temperatura, as moléculas começam a vibrar mais e mais, entrando no estado “borrachoso”, sendo mais facilmente deformáveis por cisalhamento, e bem mais acima de T_g , fluem com facilidade, pois sua viscosidade diminui.

Já para um polímero semicristalino, como há presença de domínios amorfos e cristalinos, conseqüentemente há a presença dessas duas temperaturas, conforme mostra o termograma abaixo (Figura 72). Para este tipo de polímero, ao ser submetido a um aquecimento, após a passagem pela temperatura de transição vítrea somente as regiões cristalinas vão continuar sem movimento até a temperatura de fusão.

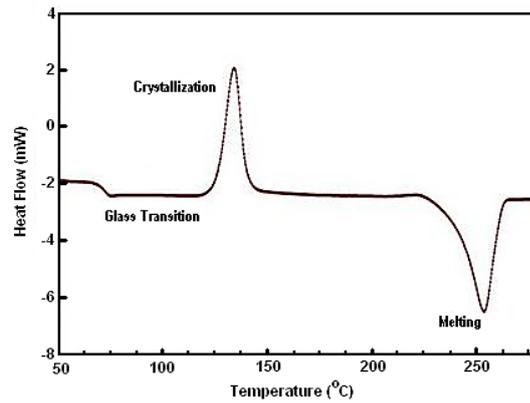


Figura 72: Termograma de um polímero semicristalino.

Cada polímero amorfo possui uma temperatura de transição vítrea característica, assim como, polímeros semicristalinos possuem uma temperatura de transição vítrea e uma temperatura de fusão também característica. A técnica que pode ser empregada para determinar estas temperaturas é a calorimetria exploratória diferencial (DSC). Abaixo, a Tabela 5 apresenta as temperaturas características para alguns polímeros.

Tabela 5: Temperaturas características apresentadas por alguns polímeros (Mano, 2001).

Polímero	T _g	T _m	Polímero	T _g	T _m
PEAD	-110	137	PP	-20	175
PEBD	-90	110	PS	100	
PVC	105	212	PET	73	265

Analisando os polímeros com base em suas temperaturas de transição vítrea e de fusão características, pode-se relacionar o comportamento dos polímeros frente ao aquecimento (Figura 72).

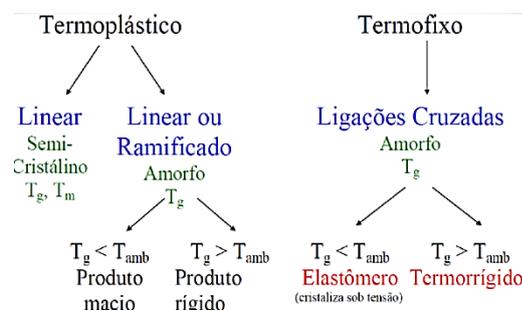


Figura 73: Classificação dos polímeros de acordo com suas temperaturas de transições características.

7.9.2. Densidade

Os polímeros apresentam uma densidade relativamente baixa se comparados a outros materiais. A faixa de variação de densidade estende-se de aproximadamente 0,9 até 2,3 g.cm⁻³, sendo mais leves que metais ou cerâmicos.

Exemplo: o PE é 3 vezes mais leve que o alumínio e 8 vezes mais leve que o aço, razão principal para o seu uso na indústria de transportes, embalagens, equipamentos esportivos, etc.

7.9.3. Propriedades mecânicas

A determinação do comportamento mecânico dos materiais poliméricos é uma ferramenta útil tanto no controle de qualidade como um comparativo de suas propriedades.

Para os polímeros termoplásticos a curva tensão-deformação obtida é muito semelhante àquela apresentada para os metais, com deformação elástica e plástica antes da ruptura. Da mesma, forma, os conceitos estudados para a determinação do módulo elástico, tensão no escoamento e ruptura são os mesmos.

7.9.3.1. Ensaio de Tração

A curva tensão x deformação para polímeros segue as mesmas premissas básicas daquela apresentada para os metais, com a presença de deformação elástica, plástica e ruptura do material. O comportamento da curva é que varia, em virtude dos diferentes tipos de ligações e interações existentes entre polímeros e metais. A Figura 74 apresenta uma curva de tensão x deformação característica para um termoplástico.

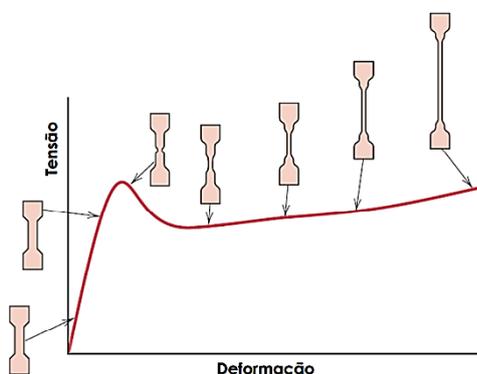


Figura 74: Curva tensão x deformação característica de um termoplástico semicristalino.

Abaixo está enumerado os processos sequenciais que ocorrem com as cadeias poliméricas quando submetidas a uma tensão. Este processo pode ser visualizado na Figura 75.

1. Polímero semicristalino antes do início da deformação
2. Início da deformação: as cadeias da parte amorfa deslizam umas sobre as outras se alinhando na direção da força aplicada
3. Somente depois começa o alinhamento das cadeias dos segmentos cristalinos (final da deformação elástica)
4. Separação dos blocos cristalinos e alinhamento na direção da força aplicada
5. Orientação dos segmento cristalinos e das cadeias de ligação na fase final da deformação plástica

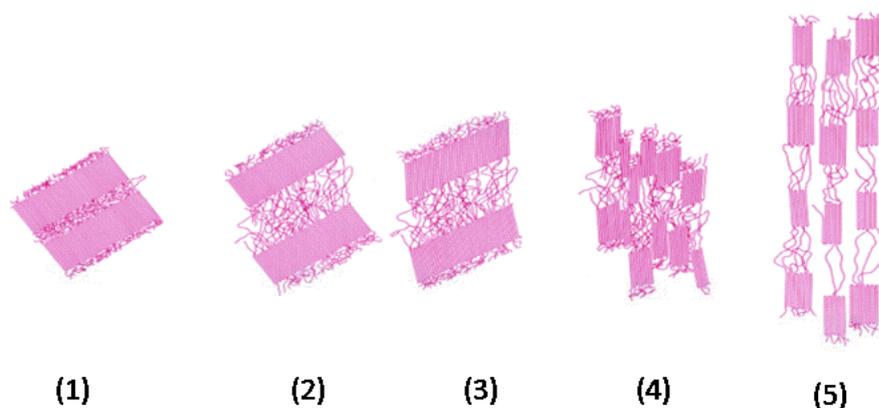


Figura 75: Processo de deformação de um polímero semicristalino quando submetido a uma tensão.

7.9.4. Resistência ao Impacto

Outro ensaio mecânico muito aplicado para polímeros é o teste de impacto, o qual consiste em submeter um corpo de prova entalhado, padronizado, a uma flexão provocada por impacto por um martelo pendular; este tipo de ensaio permite determinar a energia utilizada na ruptura do corpo de prova. Quanto menor for a energia absorvida, mais frágil será o comportamento do material àquela solitação mecânica.

7.9.5. Permeabilidade

Como exemplo de uma técnica não mecânica para controle de qualidade pode-se citar o teste de permeabilidade a gases e ao vapor d'água.

O espaço entre as macromoléculas do polímero é relativamente grande. Isso confere baixa densidade ao polímero, o que é uma vantagem em certos aspectos. Mas

também uma desvantagem em outros, como a maior facilidade de difusão de gases. Em outras palavras: esses materiais apresentam alta permeabilidade a gases, que varia conforme o tipo de plástico. A Figura 76 apresenta as regiões onde há maior permeabilidade em um polímero semicristalino.

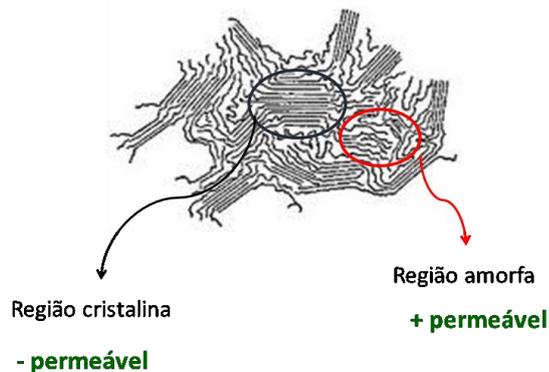


Figura 76: Regiões de um polímero semicristalino que apresentam maior ou menor permeabilidade a gases.

A principal consequência deste fato é a limitação dos plásticos como material para embalagens, pois promove um prazo de validade mais curto de bebidas carbonatadas, por exemplo, quando comparada a embalagens metálicas e de vidro.

7.10. Atividade

Estudo de caso: “Ideias para salvar seu emprego”

Cada vez mais se reconhece que a competitividade está relacionada ao posicionamento estratégico das empresas, o qual condiciona suas ações a constantes revisões. Isso torna-se ainda mais evidente em tempos de crise, nos quais as empresas devem buscar alternativas para manterem-se na disputa de mercado.

A indústria de pigmentos químicos que você trabalha está enfrentando alguns problemas. Você e seus colegas de laboratório sabem que talvez seja apenas uma questão de tempo até serem demitidos. No entanto, como uma última alternativa, o seu chefe e dono da empresa resolveu expandir as atividades e entrou para a indústria de terceira geração, ou seja, a transformação de materiais poliméricos em seu produto final.

Na reunião com o seu grupo de trabalho, as estratégias e passos a serem adotados foram esclarecidas por seu chefe:

-Vocês sabem da atual situação de nossa empresa, agora está em nossas mãos conseguirmos contorná-la. Conto com o conhecimento de vocês para lançarmos no mercado um produto com preço menor que nossos concorrentes e com maior qualidade.

Após a reunião ficou claro que seu chefe é empreendedor e inovador, mas não entende nada sobre polímeros e a indústria de transformação. Dessa forma, ficou a cargo de você e um outro colega tomarem as decisões, como: que tipos de técnicas e equipamentos de caracterização poderiam ser comprados, quais as máquinas de transformação deveriam ser adquiridas, como extrusora, injetoras, sopradoras, fiadoras, etc. Além, da definição de pelo menos dois tipos de técnicas de controle de qualidade no produto final.

A única condição imposta por seu chefe é que o trabalho de investigação deveria começar por dois polímeros que ele havia conseguido com um amigo.

A sua tarefa inicia em propor formas de identificar esses dois polímeros justificando as razões de tais escolhas, tais como o tipo de informação retirada por cada análise. Leve em consideração que, inicialmente, sua empresa possui convênios com instituições de pesquisa e universidades e que você poderia dispor das mais diversas técnicas de caracterização. Lembre-se, no entanto, que cada análise custa dinheiro, então seja criterioso em termos financeiros.

Depois de caracterizados e identificados quais os polímeros que vocês irão trabalhar, deve-se decidir em qual produto final eles serão transformados. Vocês devem elaborar uma apresentação de no máximo 10 minutos e um relatório de até 5 páginas Lembrem-se de justificar todas as suas decisões, de forma mais detalhada possível, para que seu chefe compreenda todas as etapas e para que seus empregos sejam garantidos.

8. RECICLAGEM DE POLÍMEROS

Questione-se: Qual a importância da reciclagem dos materiais para um desenvolvimento sustentável?

Devido a sua utilidade, leveza, praticidade, durabilidade e baixo custo, os plásticos constituem quase totalmente os utensílios que utilizamos no dia a dia. No entanto, o seu uso em demasia acaba gerando problemas ambientais, devido ao seu descarte inadequado, como obstrução de galerias de água e esgoto, o que pode ocasionar enchentes, além de ser uma grande ameaça para os animais marinhos, pois muitos plásticos acabam no mar e podem ser ingeridos por esses animais.

Com o decorrer do tempo e do aumento da conscientização passou-se a adotar não apenas a cultura da reciclagem, mas também a política de redução e de reutilização. No entanto, mesmo com todas as campanhas de conscientização o plástico é e ainda será muito presente em nossas vidas, de forma que deve haver uma preocupação a nível global.

A reciclagem de polímeros é uma alternativa sustentável para minimizar o impacto ambiental negativo destes materiais quando, após utilização, se transformam em resíduos. A palavra reciclagem tem origem em *re-* (repetir) e *ciclo*. De uma forma simples, é a transformação de materiais que são considerados resíduos em matérias-primas para novos materiais (Mano *et al.*, 2005). Para facilitar o processo de reciclagem uma simbologia foi desenvolvida para diferenciar os vários tipos de plásticos utilizados, os quais estão listados abaixo:

- 1 – **PET** – Poli(tereftalato de etileno) – garrafas de refrigerantes, água, vinagre, detergentes.
- 2 – **PEAD** – Polietileno de alta densidade – recipientes de xampus, condicionadores.
- 3 – **PVC** – Poli(cloreto de vinila) – forros, badejas de refeições, assoalhos.
- 4 – **PEBD** – Polietileno de baixa densidade – filmes, sacolas de supermercados.
- 5 – **PP – Polipropileno** – embalagens para iogurtes, sorvetes e água mineral.
- 6 – **PS – Poliestireno** – copos de água e de café, isopor.
- 7 – **Outros:** PC, PU, ABS

8.1. Tipos de reciclagem

Atualmente existem três maneiras de utilizar os resíduos de plástico: deposição em aterro, incineração, com ou sem recuperação de energia e reciclagem. A maior parte dos resíduos de plástico é eliminada por deposição em aterro (65 a 70 %) e incineração (20 a 25 %) e a reciclagem representa apenas cerca de 10%. O problema de resíduos não pode ser resolvido por aterros e incineração, porque depósitos adequados e seguros são caros, e provocam um aumento da emissão de gases com efeito de estufa.

A partir de pesquisa, processos tecnológicos economicamente e ambientalmente viáveis no tratamento dos resíduos de plásticos sólidos vêm sendo desenvolvidos. Para que o processo da reciclagem ocorra tem que haver degradação. A qual pode ser de vários tipos: térmica; termo-oxidativa; mecânica; ultrassônica; hidrolítica; química; biológica; fotoquímica; foto-oxidativa. Esta degradação provoca alterações na composição química, nas propriedades mecânicas e no aspeto dos materiais.

Os processos de tratamento e reciclagem dos resíduos de plásticos sólidos podem ser distinguidos em quatro grandes categorias: primária ou pré-consumo; secundária ou mecânica; terciária ou química e quaternária ou de recuperação de energia.

Atualmente, a reciclagem mecânica é a mais utilizada, pois a reciclagem química ainda não permite a produção de novos polímeros de forma rentável, embora permita a produção industrial de metanol e de outros produtos com valor comercial.

Questione-se: Você realiza a separação do lixo em sua casa?

8.2. Atividade

8.2.1. Separação de polímeros por densidade

O processo de reciclagem mecânica dos materiais poliméricos implica na separação por tipo de polímero. Os plásticos mais usuais são o PEAD, PEBD, PP, PVC, PS e o PET. Estes seis materiais perfazem 85% dos plásticos utilizados em todo o mundo. Sendo assim, estes plásticos são identificados, por convenção mundial, através de um símbolo: um triângulo que tem em seu interior um número que identifica o tipo do plástico (Figura 77).



Figura 77: Simbologia para identificação dos produtos fabricados com polímeros.

No entanto, apenas este processo de separação não é suficiente e nem representa a solução do problema da triagem, uma vez que, a maioria dos produtos produzidos com resinas poliméricas atualmente são misturas de diferentes tipos de polímeros. Além disso, nem todos os produtos existentes no mercado apresentam estes símbolos. Dessa forma, a questão que se coloca é como pode-se obter a separação e como diferenciar os vários plásticos para que possam ser reciclados.

A densidade é uma propriedade que permite distinguir diferentes polímeros. Pode-se recorrer à técnica de flutuação para fazer uma determinação aproximada da densidade dos materiais. Esta técnica permite, de forma simples, comparar a densidade de materiais diferentes (sem ser necessário a sua determinação). Por exemplo, para distinguir entre PEAD e PEBD, basta colocar duas pequenas amostras numa proveta com uma solução de densidade $0,93 \text{ g cm}^{-3}$ e observar que o material mais denso (PEAD) se deposita no fundo da proveta, enquanto que o menos denso (PEBD) flutua. Na Tabela 6 se encontram os valores de densidade para os polímeros mais utilizados pela indústria.

Tabela 6: Densidade dos principais polímeros utilizados pelas indústrias (Canevarolo Jr, 2002).

Polímeros	Densidade aproximada (g.cm^{-3})
PET	1,39
PVC	1,19-1,35
PC	1,20
Náilon	1,13
PS	1,05-1,07
ABS	1,02-1,05
PEAD	0,95-0,97
PEBD	0,92-0,94
PP	0,90-0,91

Procedimento experimental

Para a realização da atividade serão utilizados os seguintes materiais:

Tabela 7: Materiais e reagentes necessários para a realização da prática de separação dos polímeros por densidade.

Materiais de laboratório	Reagentes
Tubos de ensaio	Água destilada
Balões volumétricos	Etanol
Bécker de 100 e 200 mL	NaCl PA
Balança analítica	CaCl ₂
Espátulas	-
Pipetas Pasteur	-
Bastão de vidro	-
Papel filtro	-
Amostras de Polímeros	-

Preparação das soluções

Com o uso de uma balança analítica preparar soluções de etanol/água, NaCl/água e CaCl₂. Conforme as tabelas 8, 9 e 10 abaixo:

Tabela 8: Densidades das soluções de etanol e água

Solução	Água (g)	Etanol (g)	Densidade
A	100	0	
B	70	40	
C	60	40	
D	50	60	
E	40	60	

Tabela 9: Densidades das soluções de NaCl e água.

Solução	Água (g)	NaCl (g)	Densidade
F	90	30	
G	90	24	
H	90	18	
I	90	12	
J	90	6	

K	90	4,2
L	90	3

Tabela 10: Densidades das soluções de CaCl₂ e água.

Solução	Água (g)	CaCl ₂ (g)	Densidade
M	60	45	
N	60	43	
O	60	40	
P	70	40	

Determinação da densidade das soluções

Determine a densidade das soluções e preencha nas respectivas tabelas.

1. Pese um balão volumétrico seco;
2. Tarar a balança com o balão volumétrico;
3. Preencher o balão volumétrico com a solução preparada;
4. Com o auxílio de um papel absorvente seque bem a parte superior interna do balão volumétrico;
5. Coloque o mesmo sobre a balança tarada e anote a massa obtida;
6. Divida o valor da massa obtida pelo volume do balão;
7. Anote os valores das densidades das soluções nas tabelas
8. Repita o procedimento para todas soluções;

Técnica de separação por densidade

1. Separe uma pequena amostra de cada material polimérico a ser testada
2. Coloque, separadamente, cerca de 10 mL das soluções preparadas em um tubo de ensaio
3. Introduza as amostras, uma de cada vez, nos tubos de ensaio e agite bem - Deixe repousar e observe se as amostras introduzidas flutuam ou se se depositam no fundo do tubo de ensaio.
4. Registre na tabela abaixo:

Solução	Nº Amostra (afunda)	Nº Amostra (flutua)
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		
J		
K		
L		
M		
N		
O		
P		

Identifique, baseados nas densidade obtidas, os polímeros referentes a cada amostra

REFERÊNCIAS

ASHBY, M.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D. **Materiais: engenharia, ciência, processamento e projeto**. Elsevier Brasil, 2013. ISBN 8535249095.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R.; MAZUREK, D. F. **Mecânica dos Materiais-7ª Edição**. AMGH Editora, 2015. ISBN 8580554993.

BROWN, L. S.; HOLME, T. A. **QUÍMICA GERAL APLICADA À ENGENHARIA**. Cengage Learning Edições Ltda., 2010. ISBN 8522109168.

CALLISTER, W. **Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Grupo Gen-LTC, 2000. ISBN 8521618212.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos polímeros**. Artiliber editora, São Paulo, 2002.

COUTINHO, C. B. **Materiais metálicos para engenharia**. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 1992. ISBN 8585447028.

COUTINHO, F.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. D. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 13, n. 1, 2003. ISSN 0104-1428.

DOYLE, L. E. **Processos de fabricação e materiais para engenheiros**. USAID, 1966.

GOMES, J. S. **Mecânica dos sólidos e Resistência dos materiais**. 2004. ISSN 9728826060.

HIGGINS, R. A. Propriedades e estruturas dos materiais em engenharia. In: (Ed.). **Propriedades e estruturas dos materiais em engenharia**: Difel, 1982.

LE COUTEUR, P.; BURRESON, J. Os botões de Napoleão. **Tradução de Maria Luiza X. de**, 2006.

MANO, E. B. **Práticas de química orgânica**. Edgard Blucher, 1987.

_____. **Polímeros como materiais de engenharia**. Edgard Blücher, 2000. ISBN 8521200609.

_____. **Introdução a polímeros**. Edgar Blücher, 2001. ISBN 8521202474.

MANO, E. B.; PACHECO, É. B. A. V.; BONELLI, C. M. C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. Edgard Blücher, 2005. ISBN 8521203527.

PADILHA, A. F. **Materiais de engenharia**. Hemus, 1997. ISBN 8528904423.

ROCHA-FILHO, R. Nobel 2000. Polímeros condutores: Descoberta e Aplicações. **Química Nova na escola**, v. 12, p. 11-14, 2000.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais.** Pearson Prentice Hall, 2008. ISBN 8576051605.

SMITH, W. F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais.** AMGH Editora, 2013. ISBN 8580551153.

SMITH, W. F.; ROSA, M. E. **Princípios de ciência e engenharia de materiais.** 1998. ISBN 9728298684.

TIMOSHENKO, S. **Resistência dos materiais.** Ao livro técnico, 1966.

ULABY, F. T. **Eletromagnetismo para engenheiros.** Bookman Editora, 2009. ISBN 8577800857.

VLACK, L. H. V.; HALL, L. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais.** Rio de Janeiro: Editora Campos Ltda, 1984.