



Materiais de Construção

Luiz Alcides Mesquita Lara



Ouro Preto - MG
2013

Presidência da República Federativa do Brasil
Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Ouro Preto e a Universidade
Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG-Ouro Preto	Equipe de Acompanhamento e Validação Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM
Reitor Caio Mário Bueno Silva/IFMG-Ouro Preto	Coordenação Institucional Paulo Roberto Colusso/CTISM
Direção Geral Arthur Versiani Machado/IFMG-Ouro Preto	Coordenação Técnica Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM
Coordenação Institucional Reginato Fernandes dos Santos/IFMG-Ouro Preto	Coordenação de Design Erika Goellner/CTISM
Coordenação de Curso Ney Ribeiro Nolasco/IFMG-Ouro Preto	Revisão Pedagógica Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM Janaína da Silva Marinho/CTISM Marcia Migliore Freo/CTISM
Professor-autor Luiz Alcides Mesquita Lara/IFMG-Ouro Preto	Revisão Textual Fabiane Sarmento Oliveira Fruet/CTISM Tatiana Rehbein/UNOCHAPECÓ
	Revisão Técnica Joseane Dotto/CT-UFSM
	Ilustração Gabriel La Rocca Cósar/CTISM Marcel Santos Jacques/CTISM Rafael Cavalli Viapiana/CTISM Ricardo Antunes Machado/CTISM
	Diagramação Cássio Fernandes Lemos/CTISM Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM

Biblioteca Tarquínio José Barboza de Oliveira – IFMG Campus Ouro Preto

L318m LARA, Luiz Alcides Mesquita
Materiais de construção / Luiz Alcides Mesquita Lara. – Ouro
Preto : IFMG, 2013.
214 p. : il.

Caderno elaborado em parceria entre o Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais/IFMG – Campus
Ouro Preto e a Universidade Federal de Santa Maria para o
Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – Rede e-Tec Brasil.

1. Materiais de construção. 2. Construção civil. 3. Edificações.
I. Instituto Federal Minas Gerais, Campus Ouro Preto. II.
Universidade Federal de Santa Maria. III. Rede Escola Técnica
Aberta do Brasil. IV. Título.

CDU 691

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,
Bem-vindo a Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec – Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira propiciando caminho de o acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os Institutos Federais, as Secretarias de Educação dos Estados, as Universidades, as Escolas e Colégios Tecnológicos e o Sistema S.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!
Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2013

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Sumário

Palavra do professor-autor	9
Apresentação da disciplina	11
Projeto instrucional	13
Aula 1 – Materiais: o início da conversa	15
1.1 Materiais por suas grandezas	15
1.2 Os materiais e suas propriedades características	27
1.3 Materiais e suas normalizações	38
Aula 2 – Aglomerantes	45
2.1 Aglomerando novos conceitos	45
2.2 A cal hidratada	46
2.3 O cimento	50
Aula 3 – Agregados para concretos	69
3.1 Areia e pedra britada como agregados para concreto	69
3.2 Classificação	69
3.3 Propriedades dos agregados	71
Aula 4 – Concreto de cimento Portland	83
4.1 O que é e do que é feito o concreto?	83
4.2 Propriedades do concreto fresco	84
4.3 Propriedades do concreto endurecido	86
4.4 Traço de concretos	90
4.5 Dosagem não experimental (empírica)	93
4.6 Dosagem experimental (racional)	104
4.7 Tipos de concreto	106
4.8 Produção de concreto	109
Aula 5 – Materiais metálicos	117
5.1 Os metais, as ligas	117
5.2 Produtos metalúrgicos (e siderúrgicos)	120
5.3 O aço	122
5.4 Produtos em aço usados na construção civil	128
5.5 Ensaios de materiais metálicos	132

Aula 6 – Materiais argilosos	141
6.1 Composição dos materiais argilosos	141
6.2 Argila.....	141
6.3 Processo de fabricação.....	145
6.4 Tipos de fornos.....	152
6.5 Produtos argilosos para a construção.....	155
Aula 7 – Vidros	163
7.1 O que é vidro?.....	163
7.2 Como é feito o vidro?.....	165
7.3 Os vários tipos de vidros e suas aplicações.....	168
7.4 Outros produtos de vidro.....	170
Aula 8 – Materiais plásticos	175
8.1 O que é um material plástico?.....	175
8.2 Classificação dos polímeros (plásticos).....	176
8.3 Obtenção de polímeros.....	178
8.4 Processamentos dos polímeros.....	178
8.5 Principais características de alguns plásticos.....	182
Aula 9 – Tintas	187
9.1 O que é uma tinta?.....	187
9.2 Como são compostas as tintas?.....	187
9.3 Tipos de tintas.....	190
9.4 Os cuidados antes da pintura.....	192
Aula 10 – Madeiras	195
10.1 Utilização das madeiras como material de construção.....	195
10.2 Classificação das madeiras.....	197
10.3 Produção de madeiras.....	198
10.4 Propriedades das madeiras.....	202
10.5 Defeitos.....	205
10.6 Beneficiamento das madeiras.....	206
10.7 Madeiras transformadas.....	207
Referências	212
Curriculum do professor-autor	213

Palavra do professor-autor

Prezado aluno.

Para a formação profissional das pessoas é necessário o estudo das ciências e do manuseio de ferramentas com as quais elas estarão aptas ao trabalho. Por isso, um aviador estuda Mecânica, Geografia, Meteorologia, Física; um médico estuda Química, Psicologia e Farmacologia; um motorista, as leis do trânsito, peças automotivas e executa treinos de direção.

Para nós, técnicos em edificações, o estudo das disciplinas técnicas vem ao encontro dessa necessidade básica de formação profissional. E a prática vem mostrando que não basta simplesmente aplicar os conceitos adquiridos na escola, é necessário aprimorá-los.

Ao nos deparamos com uma disciplina técnica pela primeira vez, é natural estranharmos o conteúdo por não estarmos habituados ao vocabulário e aos conceitos técnicos. Vivenciamos no dia a dia, situações completamente técnicas, só que não as percebemos de maneira mais sistematizada. Por exemplo: como comparar o preço de produtos iguais, mas de diferentes marcas se eles são vendidos em embalagens de diferentes quantidades? Ou então: como sabemos (em tese) que quanto maior for a velocidade do carro, mais rapidamente chegaremos?

É importante aplicar, a partir de agora, os conceitos obtidos nas aulas de Física, Química e Matemática, pois eles darão suporte ao estudo das disciplinas técnicas. A aplicação de fórmulas, a construção e a interpretação de gráficos e consulta a tabelas, possuem importância elevada para a aprendizagem e a fixação desta nova forma de conhecimento. Alertamos ainda que a utilização de um computador está ligada de forma indissolúvel às suas atividades acadêmicas e num breve futuro, às suas atividades profissionais.

Estude sempre para se tornar um profissional competente e consciente. Temos certeza de que você prestará grandes contribuições a si e à sociedade.

Que você sempre tenha sucesso são nossos permanentes votos.

Luiz Alcides



Apresentação da disciplina

Em Materiais de Construção estudaremos os principais materiais disponíveis para usar nas construções, a importância de cada um, assim como as diferenças entre eles, cujas qualidades competem entre si.

Com a evolução das ciências acirra-se essa competição, tanto em função do fator financeiro como da sustentabilidade da vida e do planeta. Daí a importância do estudo dos materiais e suas aplicações.

O estudo dos materiais de construção consiste em conhecer suas matérias-primas (obtenção e beneficiamento), sua fabricação ou o processamento (maneira de se obter o produto) e suas características (conhecimento das propriedades físicas, químicas e mecânicas, geralmente obtidas em ensaios de laboratório). Com isso, os materiais terão seus empregos indicados pelo uso das tecnologias de aplicação.

Não apresentaremos neste caderno a metodologia dos ensaios de laboratório que deverão complementar o curso em material à parte.

Esta disciplina, também lhe dará subsídios para compreensão de disciplinas futuras, principalmente Tecnologia das Construções. Você que se prepara para ser um técnico em edificações tem como particular interesse mais um motivo: a construção ou manutenção de sua própria casa.

Bons estudos!



Projeto instrucional

Disciplina: Materiais de Construção (carga horária: 75h).

Ementa: Propriedades dos materiais. Normas técnicas. Materiais argilosos. Vidros. Tintas. Plásticos. Metais. Madeiras. Aglomerantes. Agregados para concreto e argamassas. Concretos. Argamassas. Aditivos para concretos e argamassas.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Materiais: o início da conversa	Compreender a manipulação de materiais por grandezas. Identificar corretamente a unidade da grandeza no Sistema Internacional de Unidades. Identificar a propriedade de aplicação dos materiais, associando-a às respectivas grandezas. Identificar entidades normalizadoras. Distinguir os tipos de instruções técnicas.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	07
2. Aglomerantes	Definir aglomerantes. Explicar as propriedades dos aglomerantes. Compreender as funções das matérias-primas na composição dos aglomerantes. Explicar o processo de fabricação do cimento Portland pela via seca. Distinguir os diversos tipos de cimento Portland. Compreender o cimento Portland por suas características físicas e mecânicas.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	09
3. Agregados para concretos	Definir agregados. Classificar agregados. Identificar funções e características de uso dos agregados. Conhecer impurezas presentes nos agregados.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	08
4. Concreto de cimento Portland	Conceituar concretos. Identificar as propriedades do concreto fresco e do concreto endurecido. Determinar um traço de concreto através de dosagem empírica. Reconhecer o processo de dosagem racional. Conhecer os processos de produção de concreto. Reconhecer os diversos tipos de concreto.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	10

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
5. Materiais metálicos	Compreender as características dos materiais metálicos. Distinguir os vários tipos de materiais metálicos utilizados nas construções. Conceituar ligas metálicas. Compreender a fabricação do aço. Conhecer um ensaio de tração em amostra de aço.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	09
6. Materiais argilosos	Reconhecer materiais argilosos. Identificar as propriedades das argilas. Compreender o processo de fabricação dos materiais argilosos. Identificar os tipos de fornos utilizados com materiais argilosos. Distinguir materiais de argila, de louça, de revestimento e refratários.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	06
7. Vidros	Reconhecer vidro. Compreender o processo de fabricação dos vidros. Identificar os produtos de vidro utilizados na construção civil.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	06
8. Materiais plásticos	Reconhecer materiais plásticos. Identificar as vantagens e as desvantagens dos materiais plásticos. Classificar materiais plásticos. Identificar os processamentos dos materiais plásticos. Conhecer produtos plásticos aplicados na construção civil.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	06
9. Tintas	Identificar as principais funções das tintas. Conhecer as tintas por sua composição e propriedades. Identificar processos de preparo de superfícies para pinturas.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	06
10. Madeiras	Conhecer as vantagens e desvantagens do uso de madeiras nas edificações. Reconhecer os processos de obtenção da madeira. Conhecer as características que condicionam o uso das madeiras. Demonstrar os processos de beneficiamento das madeiras e os tipos de madeiras transformadas. Valorizar a madeira como material de construção e suporte da vida.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	08

Aula 1 – Materiais: o início da conversa

Objetivos

Compreender a manipulação de materiais por grandezas.

Identificar corretamente a unidade da grandeza no Sistema Internacional de Unidades.

Identificar a propriedade de aplicação dos materiais, associando-a às respectivas grandezas.

Identificar entidades normalizadoras.

Distinguir os tipos de instruções técnicas.

1.1 Materiais por suas grandezas

Grandeza?

Coisa grande?

O conhecimento das propriedades dos materiais indica o que fazer com eles. Para tratá-los, manuseá-los ou mesmo calculá-los, é necessário saber operar as grandezas e considerar os limites de aplicação dos materiais estabelecidos não só por sua natureza, mas também por regulamentações técnicas.

A compreensão e o manuseio das grandezas nos seus respectivos sistemas de unidades, bem como a utilização dos múltiplos e submúltiplos decimais, tem sido um verdadeiro obstáculo à evolução dos estudos e a penúria de um grande número de estudantes. Não inicie este estudo sem recordar (ou mesmo aprender) o que são as grandezas e seus sistemas de unidades.



Se preferir, siga conosco numa pequena viagem de revisão.

1.1.1 Conceito de grandezas

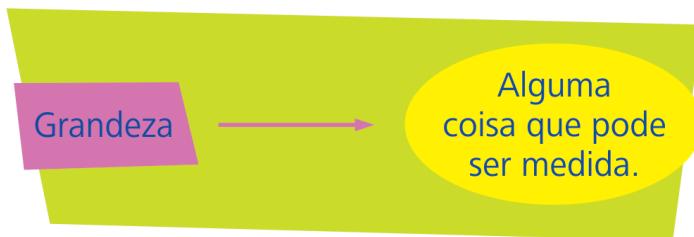
A-Z

intuitiva

O que se percebe por intuição, sem definições prévias.

Conceituar uma grandeza, na maioria das vezes, não é fácil! De muitas delas temos uma noção **intuitiva** e, por isso, de difícil definição. Outras são estabelecidas por convenções, sendo uma grande maioria definida a partir uma das outras (grandezas derivadas).

Mas, para não ficarmos sem uma “definição”, podemos dizer que:



Querer entender a definição de uma grandeza é o mesmo que querer entender o nome de uma pessoa. Alguém se chama Pedro porque seus pais assim o batizaram. Porque convencionaram chamá-lo de Pedro.

Assim, também por convenção, chamamos de velocidade a razão entre o caminho percorrido por um móvel e o intervalo de tempo gasto para percorrê-lo. E o que é velocidade? Intuitivamente, respondemos que velocidade é a medida da rapidez de um corpo. Por outro lado, muitos livros apresentam que energia é tudo aquilo que produz trabalho. Ora, “tudo aquilo” não define nada e trabalho é o mesmo que energia. (Muitos autores tratam do estudo das grandezas com elegância e discernimento, enquanto outros, nem tanto).



Se definir as grandezas é um pouco difícil, reconhecê-las é mais fácil! Elas estão presentes nos vários campos do conhecimento: na Física: velocidade, aceleração; na matemática: comprimento, área; na química: temperatura, quantidade de matéria.

Agora você pode perceber melhor o que são essas “coisas” que podem ser medidas. Não tente defini-las. Muitas serão definidas através de outras. Neste momento, basta reconhecer-las. E você, seria capaz de citar mais alguma grandeza?

Então, se as grandezas podem ser medidas é porque existem instrumentos e dispositivos que permitem essa medição.

Nós sabemos que para medir comprimento necessitamos de uma fita métrica; para medir temperatura, um termômetro; para medir o tempo, ou mais pre-

cisamente o intervalo de tempo, um relógio. E para medir corrente elétrica? E medir força? E para medir a intensidade de chuvas? E o teor de álcool no organismo humano? E para medir velocidade?

1.1.2 Sistemas de unidades

Talvez você já tenha ido à uma loja de materiais de construção comprar alguns metros de fio. Mas você sabia que o comerciante só consegue comprar os fios do representante da marca em rolos de 100 metros? Em muitos casos, o fabricante só atende o representante com embalagens de 50 rolos de 100 metros. Essas quantidades (1 metro; 100 metros; 5000 metros), aplicadas no comércio pertencem a sistemas diferentes de unidades.

Com certeza você já foi comprar açúcar (por massa) no supermercado e teve que escolher entre embalagens de 1 kg, 2 kg e 5 kg. Além desse exemplo, existem muitas outras mercadorias em diferentes embalagens e quantidades.

Bananas são vendidas em quilogramas (unidade de massa) ou a dúzias (unidades), assim como os ovos. Linguiça é vendida em quilogramas, mas poderia ser vendida a metros (unidade de comprimento). Para as construções, a areia é vendida em metros cúbicos (unidade de volume), as tintas em galões (unidade de volume) e os azulejos e pisos, em metros quadrados (unidade de área).

Os materiais são comercializados em quantidades que facilitam o uso. Essas quantidades estão relacionadas com a unidade de medida da grandeza em que são comercializadas.

De forma figurativa, podemos identificar as grandezas como se fossem pessoas e as unidades das grandezas como se fossem as roupas dessas pessoas. Isso porque as pessoas, embora parecidas fisicamente, são inconfundíveis, apesar das roupas que estão usando. As grandezas também, independente das unidades que estão apresentando!



É importante observar que cada grandeza é trabalhada na(s) sua(s) unidade(s), da mesma forma que as pessoas se vestem adequadamente com roupas próprias para os locais e ocasiões em que se encontram.

Portanto, assim como as pessoas se vestem para irem ao trabalho, ao clube ou ao baile, as grandezas se apresentam em seus sistemas de unidades com suas unidades distintas.

Vários sistemas de unidades têm sido utilizados na operacionalização entre as grandezas. Basicamente, são eles: Sistema Internacional (MKS), Sistema Técnico (MKfS), Sistema Di Giurge (CGS) e Sistema Inglês. No Quadro 1.1 são apresentadas algumas grandezas com suas respectivas unidades, conforme os sistemas de unidades citados anteriormente.

Quadro 1.1: Grandezas/sistemas de unidades/unidades e suas relações como pessoas/locais de presença/roupas

Grandezas	Sistema de unidades			
	SI (MKS)	MKfS	CGS	Inglês
Comprimento	m	m	cm	ft, in
Massa	kg	utm	g	lb
Força	N	kgf	dyn	lbf
Pressão	Pa	kgf/m ²	b	psi
Trabalho, energia e calor	J	kgm	erg	btu
Velocidade	m/s	m/s	cm/s	milha/h
Aceleração	m/s ²	m/s ²	cm/s ²	ft/s ²
Área	m ²	m ²	cm ²	ft ² , in ²
Volume	m ³	m ³	cm ³	ft ³ , in ³
Pessoas	Dia a dia Trabalho	Social Festas	Atividade esportiva	Dormir
			Roupas	

Fonte: Autor



Existem grandezas que não apresentam unidades e são adimensionais, representadas exclusivamente por um número. Esse número é resultado de operações entre grandezas de mesma unidade e que se cancelam. É o caso da densidade dos materiais cujo valor é sempre o mesmo para qualquer sistema de unidade em que esteja inserido. **Lembre-se: densidade não tem unidade!**



Como a adoção do SI já é de longa data, literaturas recentes não citam mais unidades que não sejam as dele. Por isso, os novos estudantes não reconhecem algumas das unidades citadas, porém, muitas unidades ainda estão presentes, embora em desuso.

Uma boa compreensão da integração entre elas pelos diversos sistemas de unidades, torna o aprendizado mais sólido e mais confiante.

Veja a tabela das unidades de medidas legais no Brasil em:

www.inmetro.gov.br/consumidor/

1.1.3 Múltiplos e submúltiplos decimais

Muitas vezes, para trabalharmos adequadamente com as grandezas, necessitamos usar múltiplos e submúltiplos decimais de forma a exibir o número que a quantifica de uma maneira mais perceptível à compreensão.

Para que você entenda melhor, responda as perguntas a seguir, lembrando de colocar a unidade logo após o número respondido:

- a) Qual é a distância da sua cidade até a cidade mais próxima?
- b) Qual é o comprimento do seu pé?
- c) Qual é a espessura de uma folha de papel?

Para responder a essas questões, você deve ter utilizado múltiplos e submúltiplos decimais aplicados à grandeza comprimento, cuja unidade no SI é o metro. Veja a seguir no Quadro 1.2.

Quadro 1.2: Alguns múltiplos e submúltiplos decimais

Nome	Símbolo	Valor
giga	G	$10^9 - (1000000000)$
mega	M	$10^6 - (1000000)$
quilo	k	$10^3 - (1000)$
hecto	h	$10^2 - (100)$
deca	da	$10^1 - (10)$
deci	d	$10^{-1} - (0,1)$
centi	c	$10^{-2} - (0,01)$
milí	m	$10^{-3} - (0,001)$
micro	μ	$10^{-6} - (0,000001)$
nano	n	$10^{-9} - (0,00000001)$

Fonte: Adaptado de www.inmetro.gov.br

Os múltiplos e submúltiplos decimais nos são úteis para trabalharmos as grandezas com maior facilidade de entendimento. É por esse motivo que você diz que a distância entre duas cidades é de 40 km e não de 40000 m ou que seu pé mede 25 cm e não 0,25 m. Entretanto, a utilização de múltiplo ou submúltiplo pode trocar a grandeza de um sistema de unidade para outro.

Se uma unidade composta por múltiplo (ou submúltiplo) decimal apresentar expoente, esse múltiplo (ou submúltiplo) também estará afetado pelo expoente. Veja nos exemplos:

$$\begin{aligned}3 \text{ cm}^3 &= 3 \times (10^{-2})^3 \text{ m}^3 = 3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 0,000003 \text{ m}^3 \\5 \text{ dam}^2 &= 5 \times (10^1)^2 \text{ m}^2 = 5 \times 10^2 \text{ m}^2 = 500 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Existem duas grandezas que estão extremamente ligadas. Se fossem pessoas seriam mais que gêmeas, seriam siamesas! Elas são: **peso** e **massa**.

1.1.4 Distinção entre massa e peso

São grandezas?

Sim!

Então podem ser medidas?

Sim!

Uma pergunta aparentemente simples é motivo de muita confusão: a balança serve para determinar massa ou peso? – Talvez seja melhor ler antes de responder.

Você já sabe que existem balanças de vários tipos, a da farmácia, de ponteiros, as digitais de fácil leitura, entre tantas outras, mas vamos prestar atenção nesta de dois pratos onde usamos “pesinhos” para conseguir o equilíbrio.



Figura 1.1: Balança de dois pratos e seus diversos pesos-padrão (pesinhos)

Fonte: Autor

Nós sabemos também que a massa de um corpo é algo que não se altera, mas que o peso deste corpo depende do lugar onde ele está, já que o peso é função da ação da gravidade. Não é mesmo?

A comparação mais utilizada é a da força de gravidade da Terra com a força de gravidade da Lua, exemplo citado pela maioria dos autores por se tratar de uma grande diferença entre ambas!



A definição de massa dada aqui não está correta!

Quantidade de matéria de um corpo é um conceito químico, inclusive outra grandeza. Na Física, massa é a medida na inércia de um corpo. A “troca” é para simplificar o raciocínio.

Você sabia que a gravidade da Lua é cerca de seis vezes menor que a gravidade da Terra? Sim! Por isso, uma pessoa que na Terra pesa 75 kgf, na Lua pesará cerca de 12 kgf, mas a sua massa permanecerá a mesma (75 kg), aqui ou na Lua. (Preferimos estas unidades, pois as confusões surgem das estreitas relações entre elas).

O peso de um corpo é a força que atua nesse corpo em função da ação da gravidade, enquanto a massa de um corpo é a quantidade de matéria desse corpo.

Primeiramente vamos falar sobre massa:

A-Z

protótipo

Primeiro tipo ou exemplar.
Original. Modelo.

Massa é, portanto, uma grandeza cuja unidade no SI é o quilograma. Quilograma é a massa de um **protótipo** que corresponde à massa de 1 litro de água a uma temperatura de 4,4°C.

Esse protótipo está sob os cuidados do Museu de Pesos e Medidas numa cidade próxima a Paris e trata-se de uma peça cilíndrica metálica feita de platina e irídio com base e altura de 39 mm, estabelecido como tendo 1 kg. Cópias desse padrão internacional são referências para determinações das massas de outros corpos por meio de balanças. São os “pesinhos” que apresentamos juntamente com a balança na Figura 1.1.

A medida da massa dos corpos é obtida através da comparação com a medida da massa dos “pesinhos”, as quais já possuem em si marcações com os valores de suas massas (em kg ou g) constituindo-se múltiplos ou submúltiplos do padrão francês, citado anteriormente. Assim, após o equilíbrio dos pratos da balança, onde em um deles está o corpo cuja massa se quer conhecer e em outro estão os “pesinhos”, tem-se, por comparação, a massa do corpo.

Ora, se levarmos todo este conjunto para a Lua – o corpo cuja massa queremos determinar, a balança de dois pratos e os “pesinhos” – certamente tudo será influenciado pela gravidade lunar, porém o equilíbrio deles na balança se processará como na Terra, ou seja, os valores escritos nos “pesinhos” continuarão válidos, informando a mesma leitura feita na Terra e, portanto, a mesma massa para o corpo em questão.

Assim, a massa é uma grandeza que não é influenciada pela ação da gravidade e os corpos possuem a mesma massa em quaisquer gravidades a que sejam submetidos.

Veja como é fácil determinar a massa dos corpos com uma simples pesagem.

- Pesagem?! Mas a pesagem não serve para determinar peso?
- Sim! E quando entramos em uma farmácia que possui uma balança (geralmente de plataforma), não falamos: “agora vou saber quanto estou pesando?!”
- Sim, mas isso está correto? E a balança, também vai identificar o peso?



Vamos falar então sobre peso.

O peso é outra grandeza. É a grandeza força. É uma força específica, porque nem toda força é peso.



O valor da aceleração da gravidade não é o mesmo em todos os lugares da Terra, ocorrendo ligeiras alterações entre os polos e o Equador. O valor $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ é para onde ela é considerada normal, isto é, ao nível do mar. Em nossas aplicações, arredondamos esse valor para 9,81 ou, até mesmo, para 10 m/s^2 .

Força é uma grandeza mais genérica, de classificação vetorial que surge aplicada num corpo em qualquer direção. Aplicamos, por exemplo, uma força para arrastar uma cadeira para cima, para o lado ou para frente. Se quisermos determinar o valor da força aplicada, é necessário utilizarmos um aparelho chamado dinamômetro.

O peso é uma força aplicada sobre os corpos na vertical, para baixo e quem a exerce é a Terra (ou a Lua se esse corpo lá estiver).

Observe no Quadro 1.3, essas duas grandeszas (força-peso e massa) e ainda uma terceira grandeza, a aceleração (ação da gravidade), com suas respectivas unidades em dois sistemas de unidades.

Quadro 1.3: Relação das unidades de massa, peso e aceleração da gravidade nos Sistemas Internacional e Técnico

Grandeza	SI – MKS	Técnico – MKfS
Massa (M)	kg (quilograma)	utm (unidade técnica de massa)
Peso (P)	N (newton)	kgf (quilograma-força)
Aceleração da gravidade (g)	m/s^2 (metro por segundo ao quadrado)	m/s^2 (metro por segundo ao quadrado)

Fonte: Autor



A relação entre as três grandeszas (dentro do mesmo sistema de unidades) é dada pela Equação 1.1:

Equação 1.1

$$P = M \times g$$

E a pergunta agora é: se a minha massa determinada na balança for de 75 kg, qual será o meu peso?

— Fácil!

$$P = M \times g = 75 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 735,75 \text{ N}$$

— **Puxa, eu não sabia que eu pesava tanto!**

Mas se você transformar a unidade de medida da grandeza peso, do Sistema Internacional (em N) para o Sistema Técnico (em kgf), teremos: (observe no item 1.1.5, a seguir, que as unidades de força se relacionam assim: 1 kgf = 9,81 N ou 1 N = 1 / 9,81 kgf).

$$P = 735,75 \text{ N} = 735,75 \times \frac{1}{9,81} = 75 \text{ kgf}$$

— Agora meu peso é 75 kgf!

É importante atentar para dois detalhes altamente significativos e já expressos anteriormente: lidamos com duas grandezas (peso e massa) em dois sistemas de unidades diferentes (Sistema Internacional e Sistema Técnico). E ainda, as referidas unidades dessas duas grandezas, nos distintos sistemas de unidades, têm nomes e simbologias muito parecidas (kg – quilograma, e kgf – quilograma-força).



E o que é importante você entender é que: no local onde a aceleração da gravidade é normal, o número que expressa a massa de um corpo no Sistema Internacional é o mesmo número que expressa o peso desse corpo no Sistema Técnico.

Então, quando você vai à uma balança, na farmácia por exemplo, e constata o número 75, seja no ponteiro, seja no mostrador, você saberá (estando no local onde a aceleração da gravidade é normal – e sempre estará a despeito de pequenas alterações) que:

- Seu peso – 75 kgf (Sistema Técnico)
- Sua massa – 75 kg (Sistema Internacional)



A balança determina, praticamente, tanto massa como peso.

Agora você já sabe o valor do seu peso expresso tanto no SI como no ST e sabe também o valor de sua massa no SI. Mas qual será a sua massa no Sistema Técnico?

Sua massa expressa no ST será:

$$M = \frac{P}{g} = \frac{75 \text{ kgf}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 7,65 \text{ utm}$$

Essa unidade não é usual.

Sempre se verificará a relação entre peso e massa pela expressão ($P = M \times g$) dentro do mesmo sistema de unidades.

Confira neste pequeno exercício:

Se você tem 75 kg (massa) e encontrar-se num local onde a aceleração da gravidade não é normal, $g = 1,64 \text{ m/s}^2$ (na Lua, por exemplo), qual será seu peso kgf?

Solução

$$M = 75 \text{ kg}; \quad g = 1,64 \text{ m/s}^2; \quad P = ?$$

$$\text{Se: } P = M \times g$$

Temos, observando as unidades no SI:

$$P = 75 \times 1,64 = 123,00 \text{ N}$$

$$\text{Se: } 1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N} \Rightarrow 1 \text{ N} = 1/9,81 \text{ kgf}$$

$$P = 123,00 \times (1/9,81) = 12,54$$

Portanto: **P = 12,54 kgf**



Isso quer dizer que: onde a aceleração da gravidade não é normal o valor da massa em kg não corresponde ao valor do peso em kgf. Aconteceria se você estivesse na Lua. Lá você não pesaria cerca de seis vezes menos?

1.1.5 Correlações entre algumas unidades

Enquanto algumas unidades, praticamente, já se extinguiram, outras que não pertencem ao Sistema Internacional serão também abolidas. Porém, muitas delas ainda serão utilizadas por bastante tempo devido ao forte enraizamento no meio técnico.

Veja a seguir a correlação entre algumas unidades da mesma grandeza que ainda podem ser encontradas:

Unidades de área

$$1 \text{ a (are)} = 100 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ ha (hectare)} = 10000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ ac (acre)} = 0,4 \text{ ha}$$

Unidades de comprimento

1 ft (*foot* – pé) = 12 in (*inch* – polegada) = 12" = 30,48 cm

1 yd (*yard* – jarda) = 3 ft = 36" = 91,44 cm

1 milha (marítima/aérea) = 1852 m

1 milha (terrestre) = 1609 m

Unidades de pressão

1 kgf/cm² = 10 m.c.a. (metro de coluna de água) \cong 1 atm (atmosfera) = 760 mm

Hg = 101396 Pa \cong 10⁵ Pa

1 psi (*pound per square inch*) = $6,9 \times 10^3$ Pa = $7,03 \times 10^{-2}$ kgf/cm²

1 MPa = 10 kgf/cm² = 1 N/mm²

Unidades de força (peso)

1 kgf = 9,80665 N \cong 9,81 N (muitas vezes arredondado para 10)

Unidades de trabalho, calor, energia

1 cal (caloria) = 4,19 J \cong 4×10^3 BTU

1 BTU (*british thermal unit*) = 1055 J

1 Wh (watt hora) = $3,6 \times 10^3$ J = 860 cal

Você sabia que o instrumento que mede a velocidade do automóvel é o velocímetro? E sabia também que junto do velocímetro, no painel do automóvel, está outro instrumento útil de medida, o odômetro, que registra a distância (comprimento) que o automóvel já percorreu?

Você sabia que o aparelho que mede corrente elétrica é o amperímetro? É interessante que você também saiba que os eletricistas usam um aparelho composto por vários outros aparelhos embutidos, chamado multímetro, capaz de medir, além da corrente elétrica, outras grandezas como a voltagem e a resistência elétrica.

E para medir força, há o dinamômetro (Figura 1.2), cujo nome é derivado do nome da unidade da grandeza no Sistema CGS: dina.



Figura 1.2: Dinamômetro e seu detalhe

Fonte: Autor

A intensidade de chuva é medida por um pluviômetro. Para medir a espessura da folha de papel e determinar outras medidas de pequenos comprimentos, utilizamos o paquímetro. Para medir a concentração de bebida alcóolica no organismo humano, a polícia utiliza o etilômetro, popularmente conhecido por bafômetro, o qual espera-se que o seu uso seja reduzido no futuro e que os motoristas conscientizem-se de que álcool e direção não combinam.



Entender as grandezas, suas unidades e seus sistemas de unidades torna-se agora imperativo. Não misturá-los proporcionará um caminhar correto rumo a um aprendizado sólido e bem fundamentado. Estude, discuta com os colegas, leve a dúvida ao professor. Não fique sem entender! Ter domínio desses conhecimentos é fundamental, pois somente através das grandezas que podemos perceber, avaliar e manipular a matéria (os materiais), bem como os efeitos a que estão, e estamos, expostos.

Certamente você conhece os seguintes materiais: água, chumbo e cortiça. Mas você sabe por que a cortiça flutua na água e o chumbo não?

Os três materiais possuem uma propriedade, identificada por uma grandeza que os diferencia plenamente nesse aspecto. Mas qual é essa propriedade (grandeza)?

Embora eu tenha certeza que a resposta já esteja na “ponta da sua língua”, acredito que você não percebeu que essa grandeza tem duas outras irmãs. Vale a pena identificá-las!

1.2 Os materiais e suas propriedades características

As propriedades que caracterizam os materiais são as respostas que eles oferecem quando são estimulados por um fenômeno físico (ação mecânica, ação térmica, ação elétrica), fenômeno químico (ataque por ácido, radiação, solubilização) ou outros. Também são propriedades características e próprias dos materiais, outras respostas ou aspectos, independentemente de haver estímulo, como por exemplo, o seu peso, o seu volume, a sua durabilidade, entre outros.

As propriedades características dos materiais dependem muito da sua **microestrutura** e do processo de fabricação com que são feitos os objetos desse material.

1.2.1 Ligações químicas

Os átomos se combinam por meio de ligações químicas a fim de formar os materiais adotando uma configuração eletrônica estável compartilhando seus elétrons entre si. A maioria das propriedades dos materiais depende da geometria dos arranjos atômicos e das interações existentes entre átomos e moléculas.

As ligações químicas podem ser primárias ou secundárias.

Ligações primárias – são ligações fortes somente rompidas em temperaturas acima de 750°C. São elas: iônica, covalente e metálica.

Ligações secundárias – mais fracas, são também chamadas de ligações de Van der Waals, estando sujeitas ao rompimento abaixo da temperatura de 0°C.

As ligações primárias são encontradas nos materiais sólidos. As ligações secundárias, embora muito mais fracas, também são encontradas em muitos materiais sólidos, exercendo grande influência no comportamento desses materiais devido à sua grande quantidade. Para exemplificar, podemos fazer uma analogia ao fio de cabelo: sozinho é muito fraco, mas em conjunto, na mecha, tem muita resistência.

1.2.2 Classificação dos materiais

Segundo Callister (2002), os materiais sólidos têm sido agrupados em três classificações básicas mais notadamente: cerâmicos, poliméricos e metálicos. Essa classificação ocorre em função da composição química e do comportamento geral apresentado, embora existam alguns materiais de comportamento intermediário. Outros três grupos de materiais também podem se apresentar na engenharia: os compósitos, os semicondutores e os biomateriais. Desse último grupo, descartaremos os compósitos.

A-Z

microestrutura

Maneira como os átomos dos elementos químicos se agrupam e se organizam para formar o material.





Os materiais, na grande maioria, são compostos por uma mistura de ligações primárias. Poucos materiais apresentam ligações genuinamente puras, como o cloreto de sódio. Ressalta-se, porém, que os materiais metálicos apresentam ligações metálicas em maior proporção e que os polímeros e vidros, são predominados por ligações covalentes.

1.2.2.1 Cerâmicos

Grupo de materiais formados, em sua maioria por ligações iônicas e covalentes. Apresentam como características dominantes: alto ponto de fusão e ebulição, elevada dureza, alta fragilidade, alta densidade e, em geral, são isolantes térmicos e elétricos. São exemplos: as pedras (rochas), as areias, o cimento, o vidro, o gesso e os materiais argilosos (telhas, manilhas, tijolos de barro, azulejos e peças sanitárias).

1.2.2.2 Poliméricos

São materiais orgânicos formados por ligações mistas onde predominam as covalentes entre as moléculas e as ligações secundárias de Van der Waals intermoleculares. São materiais em geral dúteis, de baixa temperatura de fusão, baixa dureza, baixa densidade e fraca resistência mecânica, sendo isolantes térmicos e elétricos. São exemplos de poliméricos: os materiais plásticos, as tintas, as fórmicas, o isopor, a borracha, o asfalto e os adesivos.

1.2.2.3 Metálicos

Materiais formados por ligações predominantemente metálicas. São sólidos à temperatura ambiente (exceto o mercúrio que é líquido) e conduzem a corrente elétrica e o calor. São dúteis, maleáveis e geralmente de baixa dureza (exceto o aço e o titânio). Muitos se fundem em altíssimas temperaturas e outros, em temperaturas relativamente baixas, porém mais altas que a dos materiais poliméricos. São exemplos: o cobre, o alumínio, o chumbo e as ligas metálicas: aço, bronze, latão, duralumínio, etc.

1.2.2.4 Compósitos

Os materiais compósitos constituem um grupo de materiais de composição diversificada e de recentes estudos para as novas tecnologias de aplicação. Eles resultam da combinação de dois ou mais materiais, cada qual com suas propriedades características, mas cuja combinação resultará em um material de características superiores as de cada componente. Basicamente, as propriedades notáveis dos compósitos são alcançadas embutindo inclusões (fibras ou partículas) de uma substância em uma matriz hospedeira de outra substância, de modo a obter-se uma **combinação sinérgica**. São exemplos: o concreto, a argamassa, o cimento amianto, o papel, os plásticos misturados com fibra de vidro e fibra de carbono, a madeira natural e as transformadas (compensado, aglomerado) entre muitos outros que possuem aplicações em indústrias aeronáuticas, automobilísticas e de embalagens. Uma embalagem muito usual para leite e sucos é um compósito formado pela justaposição de um papelão revestido internamente por uma fina lâmina de alumínio e, externamente, por um filme plástico.

A-Z

combinação sinérgica
Esforço coordenado de vários órgãos na realização de uma função. Ação simultânea em comum.

1.2.3 Propriedades físicas

Apresentaremos agora, algumas grandezas que caracterizam numericamente as propriedades dos materiais, porém, é preciso observar que existem propriedades características de materiais e propriedades características de peças ou corpos produzidos com esses materiais.

As primeiras são características que não dependem da massa (características intensivas), como a densidade, e as segundas são características que dependem da massa de material (características extensivas), assim como o volume depende da extensão ou do tamanho da peça.

Para uma melhor compreensão, imagine duas peças cúbicas de uma mesma madeira, uma pequena e outra grande. Cada uma das peças terá volume próprio (porque volume é característica extensiva), mas a densidade será a mesma para ambas, pois a densidade é característica da madeira e não da forma ou do tamanho com que são produzidas as peças com essa madeira.

Quer outro exemplo? Imagine dois fios de cobre: um grosso e outro fino. O fio fino conduz corrente elétrica menor, porque tem maior resistência elétrica. Entretanto, ambos possuem a mesma resistividade elétrica já que essa é uma característica do cobre. Enquanto a capacidade de condução de corrente elétrica e resistência elétrica são características extensivas, resistividade elétrica é característica intensiva.

1.2.3.1 Massa unitária (d) e peso unitário (p)

A massa unitária de um material é definida como a relação entre a massa (M) de uma determinada quantidade desse material e o **volume aparente** (V_{ap}) ocupado por essa massa, relacionados segundo a Equação 1.2. Sua unidade é a razão entre uma unidade de massa e uma unidade de volume: g/cm³; kg/m³; kg/l, entre outras.

Equação 1.2

$$d = \frac{M}{V_{ap}}$$

A-Z

volume aparente

É o volume de material considerando os vazios internos existentes no mesmo e os vazios entre os grãos existentes nele. O volume aparente é o volume do recipiente que o contém.

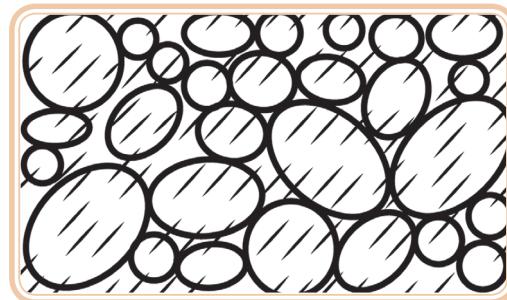


Figura 1.3: Volume aparente de um material granular (volume dos grãos + vazios intergranulares)

Fonte: CTISM, adaptado do autor

O peso unitário de um material é definido como a relação entre o seu peso (P) e o volume aparente (V_{ap}) ocupado por ele, relacionados conforme a Equação 1.3. Sua unidade é a unidade de um peso (força) por uma unidade de volume: kgf/dm³; tf/m³; gf/cm³; N/m³, entre outras.

Equação 1.3

$$p = \frac{P}{V_{ap}}$$



O peso unitário, assim como a massa unitária, só existe para material granular, sendo influenciado pelo tamanho do grão. Para um mesmo material, quanto menor for o tamanho dos grãos (material mais fino), maior será o peso unitário.

A-Z

volume real

É o volume ocupado apenas pelos grãos do material. Não são considerados os vazios existentes entre os grãos.

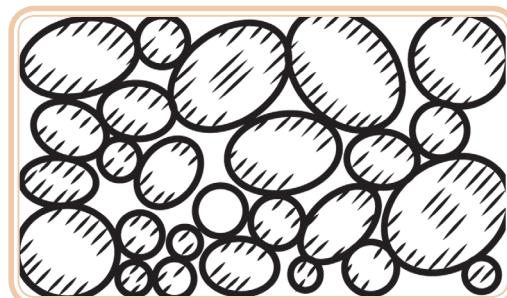


Figura 1.4: Volume real de um material granular (volume dos grãos)

Fonte: CTISM, adaptado do autor

O peso específico de um material é definido como a relação entre o peso (P) de uma determinada quantidade desse material e o volume real (V_r) ocupado por ele (Equação 1.5). Sua unidade é a unidade de um peso (força) por uma unidade de volume: kgf/dm³; tf/m³; gf/cm³; N/m³, entre outras.

Equação 1.5

$$\gamma = \frac{P}{V_r}$$

A densidade (δ) de um material é a relação entre a massa (M) de uma determinada quantidade desse material e a massa de igual volume de água (M_{ag}). Sendo uma relação entre duas massas é, portanto, adimensional e tem o mesmo valor em qualquer sistema de unidades (Equação 1.6).

Equação 1.6

$$\delta = \frac{M}{M_{ag}}$$

O Quadro 1.4 mostra valores de massas específicas e unitárias de alguns materiais.

Quadro 1.4: Massas específicas e unitárias de alguns materiais

Material	Massa específica – μ (kg/dm ³) Peso específico – γ (kgf/dm ³) Densidade – δ	Massa unitária – d (kg/dm ³) Peso unitário – p (kgf/dm ³)
Aço	7,65 a 7,85	--
Areia	2,60 a 2,70	1,45 a 1,55
Brita	2,60 a 2,70	1,35 a 1,45
Cal hidratada	2,30 a 2,90	0,40 a 0,64
Cal virgem	3,00 a 3,60	0,88 a 0,96
Cimento	2,95 a 3,15	1,20 a 1,30
Cimento amianto	2,60	--
Concreto	2,00 a 2,20	--
Cortiça	0,30	--
Gesso	2,70	1,25 a 1,45
Madeira	0,40 a 1,15	--
Plásticos	0,92 a 1,30	--
Vidro	2,20 a 2,65	--

Fonte: Autor

1.2.3.3 Dilatação térmica (α)

A dilatação é um fenômeno que ocorre com praticamente todos os materiais e corresponde ao aumento de volume em função do aumento da temperatura. Alguns materiais são mais sensíveis, alterando seu volume com pouca variação de temperatura, como é o caso do mercúrio, enquanto em outros materiais

esse fenômeno tem menor influência prática. Nos materiais metálicos, a dilatação é muito importante.



O material de coeficiente menor trata-se de um material que deforma-se menos.

Para materiais onde duas dimensões são consideráveis (área), como as placas, o coeficiente de dilatação é dito superficial (β) e vale o dobro do coeficiente linear ($\beta = 2\alpha$). Da mesma forma, para materiais onde as três dimensões são consideráveis (volumes), como os blocos, o coeficiente de dilatação é dito volumétrico (γ) e vale o triplo do valor do coeficiente linear. Assim, $\gamma = 3\alpha$.

A identificação numérica desse fenômeno faz-se pelo conhecimento do coeficiente de dilatação do material. O coeficiente é um número que caracteriza a capacidade de uma peça, construída com esse material, em alterar suas dimensões quando submetida a uma temperatura diferente daquela em que se encontra.

Se uma barra de um material metálico que tenha comprimento L_1 ao se encontrar na temperatura T_1 , tenha comprimento L_2 ao se encontrar na temperatura T_2 , então define-se o coeficiente de dilatação linear (α) desse material que compõe a barra, onde a única dimensão considerável é o seu comprimento, conforme a expressão apresentada na Equação 1.7.

Equação 1.7

$$\alpha = \frac{1}{L_1} \times \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

Onde: L_1 é o comprimento da barra

ΔL é a variação de comprimento ($\Delta = L_2 - L_1$) que a barra experimenta quando a temperatura varia de Δ ($\Delta = T_2 - T_1$)

A unidade de α é a unidade de temperatura ao inverso, ou seja, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou $1/^{\circ}\text{C}$.

O Quadro 1.5 apresenta o coeficiente de dilatação linear de alguns materiais.

Quadro 1.5: Coeficientes de dilatação linear de alguns materiais

Material	Coeficiente de dilatação linear (α) ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Aço Invar	$0,7 \times 10^{-6}$
Vidro Pirex	$3,2 \times 10^{-6}$
Madeira: sentido paralelo às fibras	6×10^{-6}
Vidro comum	$8,8 \times 10^{-6}$
Concreto	12×10^{-6}
Aço	12×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Alumínio	23×10^{-6}
Madeira: sentido perpendicular às fibras	52×10^{-6}
Materiais poliméricos (plásticos e borracha)	100×10^{-6} a 200×10^{-6}

Fonte: Autor

1.2.3.4 Condutividade térmica (k)

Condutividade térmica é uma propriedade física dos materiais numericamente identificada pelo seu coeficiente **k**, que descreve a habilidade dos mesmos em conduzir calor através de si. Isso acontece devido a diferença de temperatura que atua entre duas regiões do material, onde o calor se propaga naturalmente da região mais quente para a região mais fria.

Define-se essa propriedade pelo fluxo de calor transmitido, ou seja, pela quantidade de calor (Q) propagado no intervalo de tempo (Δt), isto é, $Q/\Delta t$.

A quantidade de calor que atravessa, por exemplo, uma parede numa unidade de tempo, depende dos seguintes fatores:

- Da área da parede (A).
- Da diferença de temperaturas entre o interior da habitação (T_2) e o exterior (T_1).
- Da espessura (e) da parede.

Assim, essas grandezas se relacionam segundo as Equações 1.8 e 1.9.

Equação 1.8

$$\frac{Q}{\Delta t} = k \times \frac{A}{e} \times \Delta T$$

Onde:

Equação 1.9

$$k = \frac{Q \times e}{A \times \Delta T \times \Delta t}$$

Sendo **k** o coeficiente de transmissão de calor por condução ou coeficiente de condutividade térmica.

A condutividade térmica (k) equivale ao fluxo de calor ($Q/\Delta t$) transmitido através de uma espessura (e), numa direção normal à superfície de área (A), devido a variação de temperatura (ΔT). Ela é sempre uma característica intensiva do material e sua unidade, expressa no SI é W/m.K.

A constituição química do material e a espessura da peça são fatores que influenciam seu uso como isolante ou condutor térmico. O tijolo cerâmico

argiloso, utilizado na alvenaria, é um bom isolante térmico, considerando a nossa região tropical. Entretanto, uma parede construída com tijolos maciços ou com tijolos furados, tendo 12 cm ou 20 cm de espessura, apresentará diferença de comportamento térmico, conforme poderão constatar os moradores, no inverno ou no verão. Isso acontece porque, nesses casos, o calor externo encontrará maior ou menor dificuldade para atravessar a massa de material.



Quanto maior o coeficiente k de um material, melhor condutor térmico ele será (os metais são excelentes condutores de calor). Quanto menor for o coeficiente k , melhor isolante térmico ele será. O isopor é um excelente isolante térmico, assim como a cortiça, o amianto e a fibra de vidro.

Você poderá observar no Quadro 1.6 que o cimento amianto é um excelente isolante térmico, porém, na construção de telhados residenciais pouco contribuirá caso a edificação não tenha forro ou laje. Isso porque as telhas de cimento amianto encontradas no mercado com espessuras de cerca de 5 mm a 7 mm, não são suficientes para apresentar um melhor conforto térmico, atuando isoladamente.

Quadro 1.6: Coeficientes de condutividade térmica de alguns materiais (W/m.K)

Cobre	398
Alumínio	237
Ferro	80
Aço	46
Concreto	1,2
Vidro	0,8 – 1,3
Cerâmica	0,4 – 0,8
Polímeros (plásticos)	0,02 – 0,30
Madeira	0,12 – 0,15
Cortiça	0,18
Cimento amianto	0,09
Lã de vidro; lã pura; algodão	0,04
Ar seco	0,03

Fonte: Autor

1.2.3.5 Temperatura de fusão

Temperatura ou ponto de fusão é a temperatura na qual uma substância passa do seu estado sólido ao estado líquido. Tal conhecimento é importante, pois para a fabricação de vários materiais é necessário:

- Aquecimento suficiente para se conseguir a fusão das matérias-primas.
- Operar tratamento térmico em materiais.
- Determinar o emprego de materiais refratários que conterão substâncias fundidas.



Para os elementos químicos poderemos obter a temperatura de fusão em uma tabela periódica.

Há dois tipos de fusão:

- **Fusão cristalina** – se processa em temperatura determinada e constante durante a mudança de estado, enquanto ocorre uma mudança estrutural da substância. É o caso dos elementos químicos e das substâncias simples.
- **Fusão vítreia** – onde não há mudança estrutural da substância e apenas observa-se um amolecimento gradual (diminuição da viscosidade), enquanto a temperatura aumenta. Sabe-se apenas que a fusão vítreia se processa dentro de uma faixa de temperatura. É o caso do vidro, do asfalto, do cimento, das gorduras e das misturas complexas.

1.2.3.6 Condutividade elétrica (σ)

A condutividade elétrica é uma característica do material que identifica a sua capacidade em permitir que uma corrente elétrica flua através de si.

Ela divide os materiais em condutores e isolantes elétricos, o que está intimamente relacionado ao modo como os elementos químicos se combinam por meio de ligações químicas para formarem esses materiais. Os materiais formados por ligações metálicas são, em síntese, os materiais que apresentam essa capacidade em grande escala por possuírem elétrons livres.

A condutividade elétrica é identificada numericamente em cada material pelo seu coeficiente de condutividade elétrica, representada pela letra grega σ , dependente do comprimento (L) do material, da área (S), da seção transversal à circulação da corrente e das características estruturais químicas do material, aqui representada por sua resistência elétrica (R).



A resistividade (ρ) é o inverso da condutividade (σ):

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

Resistividade e condutividade são características do material (Cu, Al, etc.), enquanto a resistência elétrica é característica do objeto construído com determinado material.

Essas grandezas estão associadas na Equação 1.10, cujas unidades no SI são:
 $\sigma = 1/\Omega m$; $L = m$; $R = \Omega$; $S = m^2$.

Equação 1.10

$$\sigma = \frac{L}{R \times S}$$

Os valores de σ para os diversos materiais são facilmente encontrados em tabelas, como a que segue (Quadro 1.7), bem como o modo como a temperatura ambiente ou a temperatura de trabalho dos condutores elétricos influenciam nessa propriedade. As tabelas dão valores, em geral, para 15°C ou 20°C.

Quadro 1.7: Condutividade elétrica de alguns materiais

Material	σ (1/Ω.m) a 15°C	Material	σ (1/Ω.m) a 15°C
Condutores		Semicondutores	
Prata	$0,67 \times 10^8$	Óxido férreo (Fe_2O_3)	$1,0 \times 10^{-2}$
Cobre	$0,59 \times 10^8$	Silício	$1,7 \times 10^{-4}$
Alumínio	$0,38 \times 10^8$	Isolantes	
Aço comum	$0,06 \times 10^8$	Teflon	10^{-16}
Liga Ni-Cr	$0,03 \times 10^8$	Alumina (Al_2O_3)	10^{-14}
Mercúrio	$0,01 \times 10^8$	Borracha	10^{-15} a 10^{-13}
Carvão	3×10^4 a 20×10^4	Vidro	10^{-14} a 10^{-10}

Fonte: Autor

A-Z

Liga Ni-Cr

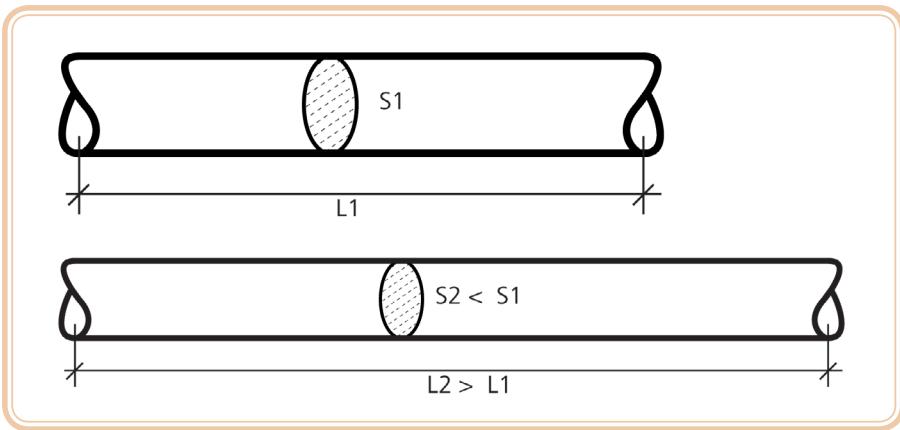
Liga níquel-cromo: material com o qual é construída a resistência dos chuveiros e fornos elétricos.

1.2.3.7 Módulo de elasticidade (E)

O módulo de elasticidade é a característica física (mecânica) apresentada pelos materiais que representa o quanto difícil pode ser alongá-los ou comprimi-los quando esses ficam sujeitos à uma força normal à sua seção transversal. É um número que nos informa quanta força pode ser necessária para produzir uma deformação no material (alongamento ou encurtamento).

E atenção na hora da análise: o módulo de elasticidade aumenta quanto maior for o esforço necessário para deformar o material. Quanto maior for o módulo de elasticidade de um material, mais difícil será deformá-lo sendo, portanto, menos elástico.

Para uma melhor compreensão, suponhamos que uma barra cilíndrica de um material de borracha tenha comprimento (L_1) e seção reta transversal (S_1) que, sendo tracionada por uma força (F), se alonga para um comprimento (L_2), enquanto sua seção reta transversal diminui para (S_2), (Figuras 1.5).



Figuras 1.5: Barra de seção circular sofrendo esforço de tração

Fonte: CTISM, adaptado do autor

Dentro dos limites práticos, conforme a barra for sendo tracionada, ela irá se alongar com uma pequena redução de sua seção transversal, o que pode ser considerada, até mesmo, desprezível. Neste caso, a variação do comprimento será: $\Delta L = L_2 - L_1$.



A deformação unitária sendo adimensional é referida, muitas vezes, em mm/m ou em porcentagem. Exemplo:
5% → 0,05 m/m → 50 mm/m.

Para compreendermos o módulo de elasticidade (E) do material, devemos relacionar a tensão (σ) com deformação unitária (ϵ).

Sabendo que a tensão (σ) é a relação entre a força (F) aplicada e a seção transversal (S) da barra (Equação 1.11) e que a deformação unitária (ϵ) é a relação entre a variação do comprimento (ΔL) e o comprimento inicial da barra (L_1) (Equação 1.12), para cada força aplicada.

Equação 1.11

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

Equação 1.12

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_1}$$

Pela Lei de Hooke a tensão é proporcional à deformação unitária, $\sigma \propto \epsilon$ onde o coeficiente de proporcionalidade é o módulo de elasticidade (E).



Equação 1.13

$$\sigma = E \times \epsilon$$

Onde:

Equação 1.14

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Outra maneira de apresentar as Equações 1.13 e 1.14 é:

Equação 1.15

$$\frac{F}{S} = E \times \frac{\Delta L}{L}$$

A relação entre a tensão e a deformação unitária (ou específica) é geral e válida para qualquer elemento construído com o respectivo material.

Apesar de ser chamado de “módulo”, o módulo de elasticidade possui unidades e como se vê, é unidade de tensão (pressão). No SI, o pascal (Pa).

No Quadro 1.8 você poderá conferir o valor do módulo de elasticidade de vários materiais.

Quadro 1.8: Módulo de elasticidade de alguns materiais

Material	Módulo de elasticidade (MPa)
Aço	210000
Ferro fundido	150000
Vidro	60000 a 80000
Alumínio	70000
Cimento amianto	28000
Concreto	15000 a 30000
Madeira	10000 a 20000
Plástico	500 a 10000
Borracha	10 a 100

Fonte: Autor

1.3 Materiais e suas normalizações

Durante a escolha de um material, o interesse geral recai sobre o que tiver um bom preço, que aceite manutenção, que possa ser aplicado/installado com certa facilidade e que, se for o caso, tenha peças para substituição. Mas como encontrá-los? Pelo preço? Pela marca? Pela indicação de quem o vende? Antes de definirmos, é preciso saber o que são e para que servem as normas técnicas.

1.3.1 Normas técnicas

As normas técnicas são regras de como os materiais de construção e de muitas outras aplicações, como embalagens e serviços, devem ser produzidos, classificados e empregados de maneira a atender os usuários. Essas normas determinam padrões de fabricação, forma, dimensão, composição química, métodos de ensaios, nomenclaturas e simbologias.

E cada país encarrega-se, através de seus organismos (governamentais e não governamentais), em estabelecê-las. Algumas dessas organizações internacionais são:

ASTM – American Society for Testing and Materials.



ISO – International Organization for Standardization.

DIN – Deutsches Institut Fü Normung.

ACI – American Concrete Institute.

No Brasil, o maior organismo normatizador é a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ela é formada por um quadro social mantido, técnica e financeiramente, por empresas, indústrias, comércios, órgãos de defesa do consumidor, entidades de classes, governos, universidades e pessoas físicas como profissionais liberais. É subdividida por grupos de pessoas que se destinam a estudar determinados materiais e suas aplicações, propondo projetos de normas e métodos de ensaios para posterior aprovação. Esses grupos constituem os comitês que, após estudos regulares, emitem instruções técnicas, respectivamente denominadas:



Consulte mais sobre
a ABNT no site:
www.abnt.org.br

Normas regulamentares – instruções de procedimentos para cálculos e execução de serviços de engenharia.



Especificações – determinações de quantificações e/ou qualificações que os materiais devem atender após ensaios padronizados.

Métodos de ensaio – instruções de como se deve avaliar experimentalmente os materiais, de modo que possam ser ensaiados igualmente em todos os laboratórios do país, a fim de que os resultados obtidos sejam, basicamente, os mesmos.



Uma norma técnica aprovada entra em vigor após sua publicação e tem força de lei, assim como o Código de Defesa do Consumidor e outras normas regulamentadoras de âmbito ministerial.

As normas técnicas são aperfeiçoadas e alteradas com o tempo, acompanhando a evolução da indústria e da técnica.

Terminologia – conjunto de termos utilizados para uma determinada técnica, inferindo-se nomes e definições que favoreçam a linguagem e a comunicação.

Padronização – regulamentação de dimensões e formas dos produtos fabricados de maneira a uniformizar tipos, facilitar a fabricação em série e permitir a continuidade de serviços com produtos de diferentes marcas.

Simbologia – padronização de representação gráfica de projetos, visando uma linguagem geral uniforme.

A existência da ABNT não impede o aparecimento de outras entidades particulares ou oficiais com os mesmos objetivos, mas que geralmente dedicam-se a campos específicos e mais restritos ou a estudos mais aprofundados. São exemplos de outras entidades brasileiras:



ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

INT – Instituto Nacional de Tecnologia.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

Quando adquirimos um produto, supomos que todos os fabricantes seguem as regulamentações da norma, inferindo a cada produto um mínimo de garantia que nos atendam. Mas isso não quer dizer que não existam produtos que apresentem qualidades que vão além daquelas exigidas pelas normas.

1.3.2 Condições de emprego dos materiais

Para serem aplicados em obras, os materiais de construção devem apresentar, pelo menos, boa parte das condições listadas a seguir.

- **Resistência** – condição técnica de emprego do material que garante o suporte aos esforços que lhe serão impostos e para os quais ele tenha sido projetado. Pode ser resistência mecânica, à umidade, à temperatura ou às agressividades do ambiente, como acidez ou alcalinidade.
- **Durabilidade** – é a garantia de que a resistência perdure por um período que se resume na vida útil do material. Para alguns materiais bastam seis meses, para outros seis anos, enquanto outros podem ultrapassar 60 anos.

- **Trabalhabilidade** – é a condição de utilização do material com manuseio seguro, utilizando-se de ferramentas relativamente simples.
- **Higienicidade** – é a condição do material de não ser nocivo à saúde do homem ou dos animais. São materiais higiênicos os que não causam reações no corpo humano ou animal (dores de cabeça, vômitos, alergias, entre outros) durante sua aplicação e, obviamente, durante a sua vida útil. Materiais como cimento, cal e tintas apresentam menor grau de higienicidade durante a aplicação, mas que se aplicados com os devidos cuidados compensam-nos com propriedades destacáveis de resistência e durabilidade. Recomenda-se ao aplicá-los, o uso dos EPI (equipamento de proteção individual), como máscaras, luvas ou outros que se tornem necessários.
- **Economicidade** – condição econômica que se refere aos custos de compra, aplicação e manutenção do material, onde as análises de preços são sempre feitas considerando o custo e o benefício. Muitas vezes, custar pouco (barato) pode não representar uma condição econômica favorável.
- **Estética** – condição de emprego dos materiais onde se primam por sensações agradáveis ao toque e à visão.

Resumo

As grandezas podem ser facilmente tratadas se observarmos com mais atenção suas unidades e aos quais sistemas pertencem. Múltiplos e submúltiplos nada mais são que números e com um pouco de treino, encontraremos mais facilidade na resolução de problemas numéricos, afinal, todo problema numérico envolve grandezas. Desejamos que você seja um adepto do Sistema Internacional e que o use com convicção e confiança.

Por outro lado, cada material assume uma grande importância, contribuindo com propriedades que lhes são mais destacáveis, formando um conjunto na estrutura das construções, no estilo: “a união faz a força”. Compreendê-los e aplicá-los por suas propriedades é o que nos garante segurança e durabilidade a custo compatível e com sustentabilidade.

As normas técnicas são recomendações técnicas que visam fornecer mais credibilidade ao que encontramos no mercado. Obedecendo-as e respeitando-as, a empresa é favorecida, pois adquire prestígio com seus produtos, o consumidor é favorecido ao adquirir um produto de melhor qualidade e o meio ambiente também se favorece, pois é defendido e preservado.



Atividades de aprendizagem

1. Com o auxílio dos exemplos 1 e 2 a seguir, efetue as operações de "a" até "c" (lembre-se que devemos operar as grandezas no mesmo sistema de unidades):

Exemplo 1

$$3,1 \times 10^{-3}t + 14,8\text{kg} - 2,2 \times 10^6\text{mg}$$

Solução

Substituindo os múltiplos e submúltiplos por seus valores e lembrando que $1t = 10^3 \text{ kg}$, obtemos:

$$3,1 \times 10^{-3} \times 10^3 \times 10^3 \text{ g} + 14,8 \times 10^3 \text{ g} - 2,2 \times 10^6 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$3,1 \times 10^3 \text{ g} + 14,8 \times 10^3 \text{ g} - 2,2 \times 10^3 \text{ g}$$

$$(3,1 + 14,8 - 2,2) \times 10^3 \text{ g} = 15,7 \times 10^3 \text{ g}$$

Ou substituindo o valor 10^3 por seu símbolo k: **15,7 kg**

Exemplo 2

$$23,5 \text{ m}^2 + 1,8 \times 10^{-5} \text{ km}^2 \div 30 \times 10^3 \text{ dm}^2$$

Solução

Além de colocar todas as parcelas na mesma unidade, por exemplo m^2 , é preciso observar que o expoente afeta também o múltiplo (e submúltiplo).

$$23,5 \text{ m}^2 + 1,8 \times 10^{-5} \times (10^3)^2 \text{ m}^2 \div 30 \times 10^3 \times (10^{-2})^2 \text{ m}^2$$

$$23,5 \text{ m}^2 + 1,8 \times 10^{-5} \times 10^6 \text{ m}^2 \div 30 \times 10^3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$23,5 \text{ m}^2 + 1,8 \times 10^1 \text{ m}^2 \div 30 \times 10^{-1} \text{ m}^2$$

$$(23,5 + 18,0 \div 3,0) \text{ m}^2 = \mathbf{29,5 \text{ m}^2}$$

Querendo transformar a unidade para cm^2 , por exemplo, pode-se facilmente fazer assim:

$$29,5 \times \frac{\text{c}}{(10^{-2})^2} \text{ m}^2 = 29,5 \times \frac{1}{10^{-4}} \text{ cm}^2 = 29,5 \times 10^4 \text{ cm}^2 = 295000 \text{ cm}^2$$

a) $3,7 \times 10^{-2} \text{ km} - 28,0 \times 10^{-3} \text{ hm} \times 42,0 \times 10^2 \text{ mm} =$ (25,2 m)

b) $9 \times 10^{-3} \text{ MPa} + 7 \text{ kN/m}^2 - 1,3 \times 10^3 \text{ Pa} =$ (14,7 kPa)

c) $51,5 \text{ l} + 0,174 \text{ m}^3 \div 348000 \text{ cm}^3 - 15 \text{ dm}^3 =$ (37 litros)

2. Uma sala de aula tem 12 m de comprimento, 60 dm de largura e 300 cm de altura. Qual é a quantidade de material cerâmico necessária para assentar o piso? Quantos galões de tinta são necessários para pintar o teto e as paredes? Desconsidere portas e janelas. (Resposta: 72 m^2 ; 10 galões).

Comentário sobre o problema nº 2:

A área do piso é facilmente calculada: ($A_p = 12 \times 6 = 72 \text{ m}^2$).

E a área das paredes e teto também: ($A = [12 + 12 + 6 + 6] \times 3 + 72 = 180 \text{ m}^2$). Sabendo que um galão de tinta cobre, por demão, cerca de 36 m^2 de reboco e para obter uma boa pintura, daremos duas demãos, serão necessários 10 galões! Se cada galão custar... vamos parar por aqui porque este problema está mais para orçamento de obras do que para estudo de grandezas. Mas você percebeu como não se chega lá sem conhecer grandezas?

3. Converta para a unidade básica do SI.

a) $27,5 \text{ kgf} =$

b) $240 \text{ ft}^3 =$

c) $74,96 \text{ dam} =$

d) $41800 \text{ cm}^2 =$

e) $2,65 \text{ g/ml} =$

f) $8,65 \times 10^8 \text{ cm}^3 =$

g) 2 dias e 55 minutos =

h) $6 \text{ kgf/cm}^2 =$

i) $84500 \text{ dm}^3/\text{min} =$

- 4.** Qual será a carga de um caminhão que transporta um bloco de granito cujas dimensões são $1,2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$? (Resposta: cerca de 8600 kg).
- 5.** Um caminhão que transporta brita nº 3 tem a carroceria formada pelas seguintes medidas: comprimento 5,50 m; largura 1,80 m e altura 0,75 m. Qual é a carga transportada se toda a carroceria estiver completamente cheia? (Resposta: cerca de 10 t).
- 6.** Qual é a resistência elétrica de cada um dos fios de cobre com 200 m de comprimento e, respectivamente, $4,0 \text{ mm}^2$ e $2,5 \text{ mm}^2$ de área de seção reta transversal? (Resposta: fio $4,0 \text{ mm}^2$: $0,85 \Omega$, fio $2,5 \text{ mm}^2$: $1,36 \Omega$).
- 7.** Qual é a deformação de uma barra de aço de 9,5 mm de diâmetro ($3/8''$) quando tracionada por uma força de 3,2 tf, tendo ela 80 cm de comprimento? (Resposta: 1,7 mm).
- 8.** O que são os Comitês de Estudo Brasileiro? Quantos existem atualmente? Acesse o site da ABNT para encontrar as respostas.

Aula 2 – Aglomerantes

Objetivos

Definir aglomerantes.

Explicar as propriedades dos aglomerantes.

Compreender as funções das matérias-primas na composição dos aglomerantes.

Explicar o processo de fabricação do cimento Portland pela via seca.

Distinguir os diversos tipos de cimento Portland.

Compreender o cimento Portland por suas características físicas e mecânicas.

2.1 Aglomerando novos conceitos

Aglomerante é o material que aglomera, o que cola e que se prende a outros materiais. Os materiais aglomerantes que pretendemos estudar são: a cal hidratada e o cimento Portland.

- **Aglomerante** – material em forma de pó, **ativo**, que misturado com água forma uma pasta capaz de endurecer por meio de reações químicas, aderindo-se aos materiais com os quais se acha envolvido e cuja resistência aumenta com o tempo.
- **Pasta** – material resultante da mistura de aglomerante e água. Tem a consistência do “creme dental”.
- **Nata** – é uma pasta onde há excesso de água. Tem a consistência de “lama”.
- **Argamassa** – material resultante da mistura de aglomerante, água e agregado miúdo.

A-Z

ativo

Diz-se dos materiais que se caracterizam por desenvolver reações químicas.

A-Z**inerte**

Sem atividade. Diz-se dos materiais que não estimulam ou desenvolvem reações químicas.

- **Agregado** – material granular, **inerte**, formado por um conjunto de grãos de variados tamanhos. Pode ser miúdo (areia) ou graúdo (brita).
- **Concreto** – material resultante da mistura de cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo.

A-Z**calcinação**

Dissociação de um sólido em um gás e outro sólido, através de aquecimento.

2.2 A cal hidratada

A cal hidratada é o aglomerante obtido do beneficiamento da cal virgem, resultado da **calcinação** do calcário.

O calcário é uma rocha sedimentar, abundante na crosta terrestre, formada essencialmente pelos seguintes elementos:



- Calcita (CaCO_3) – carbonato de cálcio.
- Dolomita ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) – carbonato duplo de cálcio e magnésio.
- Álcalis (Na_2O ; K_2O) – óxidos de sódio e potássio.
- Elementos argilosos (SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3) – sílica, alumina e ferro.

O calcário utilizado na fabricação da cal hidratada deve conter a calcita como elemento predominante, o que caracteriza o seu índice de pureza. Como sempre se encontra acompanhado de uma parcela dos demais componentes, é usual representar sua pureza por um referencial percentual. Por exemplo, dizer que um calcário tem 95% de pureza, significa que ele contém 95% de calcita e 5% dos demais componentes. Nesse caso, esses outros elementos terão participação menos importante na produção da cal e serão chamados de impurezas.

2.2.1 Fabricação da cal

Explorado nas jazidas, o calcário é fragmentado nos britadores em pedras de diâmetros de aproximadamente 50 mm e levado à fábrica de cal.

2.2.1.1 Queima do calcário e obtenção da cal virgem

O calcário é queimado nos fornos rotativos que são gigantescos cilindros de aço ($\pm 3,0$ m de diâmetro por 30 m de comprimento), revestidos com **material refratário**, apresentando uma inclinação de 5% em relação ao eixo horizontal e com giro de 2 a 3 voltas por minuto, conforme a Figura 2.1.

A-Z**material refratário**

Material argiloso que resiste a altas temperaturas. São os revestimentos dos fornos.



Figura 2.1: Forno rotativo para obtenção da cal virgem

Fonte: <http://www.cement-process.com/>

Na parte baixa do forno situa-se o bico de combustível que lança para o seu interior uma chama capaz de atingir aproximadamente 1/3 do seu comprimento.

Quando o calcário é colocado em um forno à temperatura de $\pm 900^{\circ}\text{C}$, a pedra de carbonato de cálcio (CaCO_3) se transforma em uma pedra de óxido de cálcio (CaO), havendo o desprendimento de gás carbônico (CO_2) pela chaminé, conforme a seguinte reação química, chamada calcinação:



O produto que sai do forno é o CaO , chamado de cal viva ou cal virgem. Ele tem a mesma forma das pedras de calcário que entraram no forno, porém, agora está mais claro e mais leve (Figura 2.2). Esta cal virgem é que será transformada no aglomerante (a cal hidratada) por meio da pulverização.



Figura 2.2: Pedras da cal virgem

Fonte: <http://aws.feldman.com.br/wp-content/uploads/2009/08/CIMG0166.JPG>



Para se obter o aglomerante é necessário pulverizar a cal virgem. A pulverização se dará pela adição de água. Sim, é necessário jogar água na cal virgem para que ela se torne um pó – a cal hidratada!



Saiba mais sobre hidratação da cal virgem em:
<http://www.inovatronic.com.br/html/Hidratacao%20da%20Cal.htm>

2.2.1.2 Adição de água à cal virgem e obtenção da cal hidratada

O processo de adicionar água à cal virgem desencadeia uma reação química onde o óxido de cálcio se transforma em hidróxido de cálcio, em uma reação denominada reação de hidratação, onde se desprende muito calor.



O hidróxido de cálcio formado, Ca(OH)_2 , é um pó muito fino chamado cal hidratada (chamada também de cal extinta ou cal aérea) agora sim, aglomerante.



A reação de hidratação acontece com elevada produção de calor e com grande aumento de volume (rendimento). O volume do hidróxido de cálcio produzido chega a ser quase o dobro do volume do óxido de cálcio que o produziu (Figura 2.3). A hidratação da cal viva é o processo técnico fundamental na obtenção de um aglomerante de qualidade, onde a quantidade de água necessária no processo deve ser apenas o suficiente para transformar o material em pó, nunca em pasta.



Figura 2.3: Rendimento da cal virgem na obtenção da cal hidratada

Fonte: http://www.itc/etc.br/imgsDicionario/Cal_124.png

Normalmente nas indústrias modernas, a cal viva produzida tem dimensões que variam de 20 mm a 80 mm e para evitar que se hidratem naturalmente pela ação da umidade do ar, completa-se o processo de fabricação do aglomerante, hidratando-o tecnicamente. Os hidratadores são ambientes fechados onde a água e a temperatura são controladas para favorecer a transformação completa do óxido de cálcio em hidróxido de cálcio.

A cal hidratada é encontrada no comércio para aplicações nas construções, como em pinturas e confecção de argamassas para assentamento de tijolos e revestimento de alvenarias (rebocos e emboços).

2.2.1.3 Endurecimento da cal hidratada

A cal hidratada, como aglomerante ativo que é, será misturada à água para formar pasta ou nata e à areia, para formar argamassa. Entretanto, a reação química de endurecimento que se processa em presença de água, é uma reação que não acontece com a água, mas sim, com o gás carbônico presente no ar, reação chamada de carbonatação.



O endurecimento da massa se processa com lentidão e ocorre de fora para dentro, sendo necessário que ela seja porosa, tanto para penetração do gás carbônico como para saída da água utilizada na mistura.

Esse mecanismo de endurecimento que depende do ar atmosférico explica, além do nome do aglomerante de cal aérea, seu longo tempo de endurecimento, devido à baixa concentração de CO₂ no ar.



Para trabalhar com cal hidratada é comum deixá-la misturada com areia e água em forma de massa, coberta, dias antes do uso. Esse cuidado, além de degenerar a matéria orgânica porventura presente na areia, garante a transformação de todos os óxidos de cálcio ainda existentes, em hidróxidos. Obtém-se, assim, uma massa de ótima trabalhabilidade e coesão. Esse processo é considerado incômodo por alguns trabalhadores que acabam rejeitando a cal frente a outros materiais. Procedimento incorreto já que a cal hidratada apresenta ótimas qualidades de plasticidade e retenção de água, não devendo ser desprezada.

2.2.2 Índice de hidraulicidade

Hidraulicidade é a propriedade que caracteriza a capacidade de o aglomerante mineral endurecer após ter sido misturado com água e resistir, após endurecido, à ação dissolvente da água.

O **índice de hidraulicidade (h_i)** é numericamente definido como a relação entre a soma das parcelas argilosas encontradas no calcário e a quantidade de cal viva obtida a partir dessa rocha (Equação 2.1).



Equação 2.1

$$h_i = \frac{\Sigma\%(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)}{\%\text{CaO}}$$

Quadro 2.1: Relação entre o índice de hidraulicidade e o tempo de endurecimento do aglomerante

h_i	Denominação do aglomerante	Tempo de endurecimento
< 0,10	Cal hidratada	> 30 dias
0,10 – 0,50	Cal hidráulica	05 – 15 dias
0,50 – 1,20	Cimento natural	6 – 24 horas
0,45 – 0,55	Cimento artificial	5 – 60 dias

Fonte: Adaptado de Bauer, 1995, p. 32



Como se viu, a rocha calcária, mesmo pura, traz consigo outros materiais, chamados de elementos argilosos, muitas vezes ditos impurezas, pois seus teores estão abaixo de 5%. São eles: sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e o sesquióxido de ferro (Fe_2O_3). Entretanto, esses elementos determinam importantes propriedades no aglomerante obtido de um calcário onde eles sejam mais abundantes e onde a temperatura de cozimento esteja acima de 1000°C.

A cal hidratada não é um aglomerante hidráulico, isto é, não resiste satisfatoriamente à ação dissolvente da água, como a água da chuva, por exemplo, depois de endurecido.

O cimento, aglomerante hidráulico, resultou de estudos e pesquisas evoluídas desse material.

2.3 O cimento

2.3.1 Como surgiu o cimento?



Em 1756, John Smeaton classificou as cales em hidráulicas e não hidráulicas, afirmando ser possível obter um aglomerante resistente e durável, a partir da queima do calcário argiloso da ilha de Portland. Tem-se daí, em homenagem a Smeaton e à própria ilha no Reino Unido, o nome do cimento: Portland.

O cimento é uma das invenções que contribuíram para o progresso tecnológico alcançado pela sociedade, principalmente no que diz respeito às construções de grandes edifícios, pontes e túneis. Tal qual o conhecemos, o cimento é um material relativamente recente, pois seu desenvolvimento ocorreu pelo mundo a partir do final do século XIX, sendo ainda motivo de recentes pesquisas.

O cimento em si é o adesivo, mas o material que é produzido a partir dele, o concreto, é o grande responsável pela realização de todas essas obras.

O cimento é um material recente, mas tem sua origem bastante antiga: na cal. Foi a partir de estudos e descobertas, principalmente das cales hidráulicas, que se chegou ao cimento que hoje utilizamos.

Há muito tempo, durante a fabricação da cal, foi observado que, ao queimar uma rocha calcária em temperaturas acima de 1000°C e a mesma apresentasse teores de elementos argilosos acima de 5%, o produto obtido não era propriamente a cal virgem, mas algumas pedras mais duras e mais escuras. A ação mais elevada do fogo promovia reações químicas entre os elementos argilosos e a cal viva produzida, resultando em pedras mais duras e mais escuras, não pulverizáveis simplesmente pela adição de água, mas pela ação conjunta de água e moagem. Em compensação, após endurecido, o aglomerante final, era muito mais resistente à ação das intempéries. Era um aglomerante hidráulico, uma cal hidráulica.



Estavam constituídas, assim, as primeiras observações que resultariam no cimento Portland. Antigamente, mesmo os gregos e os romanos já utilizavam uma cal hidráulica misturada com cinzas vulcânicas, compondo o que era chamado de cimento natural.

As pesquisas desenvolvidas a partir dessa época seguiram no sentido de dosar calcário e **argila**, adequando-os à temperatura de fusão. Na vanguarda desses estudos, os ingleses tiveram destaque.

Generalizou-se a prática de misturar intimamente, em proporções rigorosas, materiais calcários puros e materiais argilosos previamente moídos para obtenção deste novo aglomerante, que passa a se chamar cimento artificial.

Em 1845, o inglês Isaac Johnson, fabricou e patenteou o que até hoje é considerado como o 1º cimento Portland artificial e que, mais tarde, espalhou-se pela Europa e pelo mundo.

O cimento artificial é o aglomerante resultado da queima conjunta de duas matérias-primas bem dosadas e fragmentadas à uma temperatura de 1450°C. Uma das matérias-primas é a rocha calcária com elevado teor de carbonato de cálcio e a outra matéria-prima é a argila com proporções bem definidas de sílica, alumina e ferro.

A-Z

argila

Terra, chamada mais apropriadamente de sedimento. Apresenta em sua composição, principalmente, a sílica, a alumina e óxido de ferro.

Em 1889, iniciou-se no Brasil a construção de uma fábrica de cimento artificial, localizada no estado de São Paulo, onde as primeiras unidades foram

entregues ao mercado consumidor somente 10 anos depois. A partir daí, outros movimentos industriais germinaram por todo o Brasil, como em 1892 na Paraíba e em 1912, em Cachoeira do Itapemirim-ES.

Entretanto, o verdadeiro marco do nascimento da indústria cimenteira no Brasil foi a criação da Companhia Brasileira de Cimento Portland em 1924, com fábrica em Perus (São Paulo). Hoje são mais de 50 fábricas espalhadas pelo país.

2.3.2 Matérias-primas para fabricação do cimento



Cimento Portland = clinquer + gipsita + adições

O cimento Portland é o aglomerante artificial obtido da mistura de clinquer (produto da queima conjunta de calcário e argila) com gipsita (gesso) e adições minerais.

2.3.2.1 Principais óxidos componentes das matérias-primas e suas funções

- **CaO – Óxido de cálcio [C]** – proveniente do calcário, é obtido logo na entrada do forno pela queima do calcário. Reage com os elementos argilosos e produz os compostos mais importantes do cimento relacionados com as propriedades mecânicas.
- **SiO₂ – Sílica [S]** – presente nas argilas, irá se combinar no interior do forno com o óxido de cálcio, resultando nos silicatos, produtos responsáveis pela resistência química e mecânica do cimento Portland.
- **Al₂O₃ – Alumina [A]** – proveniente das argilas, resultará em aluminatos após combinados com o óxido de cálcio. Composto de baixa resistência mecânica e química, mas que faz iniciar rapidamente as reações de endurecimento do cimento (pega).
- **Fe₂O₃ – Sesquióxido de ferro [F]** – proveniente das argilas atuará como fundente, facilitando as reações químicas e influenciando também na cor do cimento.
- **K₂O; Na₂O – Álcalis [K]; [N]** – óxidos de metais alcalinos presentes nas argilas, atuarão também como fundentes no interior do forno, contribuindo no abaixamento do ponto de fusão da mistura.

- **SO₃ – Sulfato [S]** – proveniente da gipsita, que será misturada ao clinquer e controlará a reação de hidratação dos aluminatos, impedindo a iniciação imediata das reações quando o cimento estiver em uso.

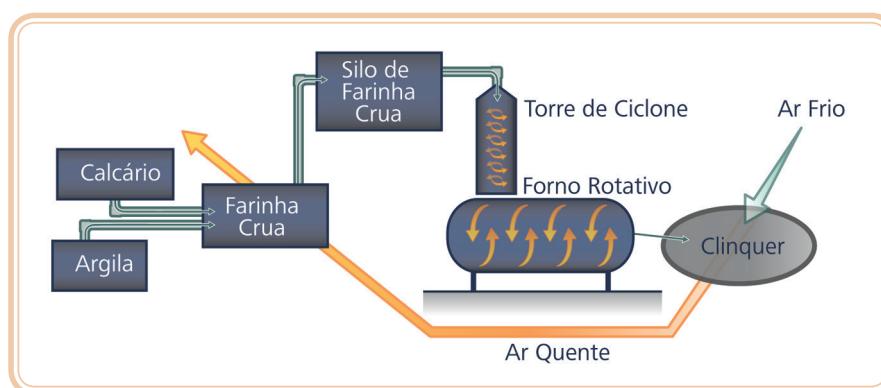
Esses são os elementos presentes nas matérias-primas. Da fusão do calcário e da argila lançados no forno, obtém-se o clinquer. Ele é o que podemos considerar como o cimento em potencial. Misturado à gipsita e a outros componentes minerais (adições), serão todos levados à moagem final, compondo cimentos Portland de diferentes tipos e comportamentos.



2.3.2.2 Obtenção do clinquer

O calcário e a argila são abundantes na natureza e, como muitas vezes pode ser observado, são encontrados lado a lado, prontos para serem utilizados sem nenhum tratamento prévio: um presente da mãe natureza. A exploração e a transformação das matérias-primas são relativamente simples, apesar das grandes instalações industriais e da elevada temperatura necessária para a fusão dessas matérias-primas.

Uma fábrica de cimento é uma instalação industrial de grande porte, localizada junto às jazidas de calcário e argila. O processo atual de fabricação do cimento é denominado “via seca”, pois consiste em secar as matérias-primas antes de colocá-las no forno. O esquema da Figura 2.4 ilustra a produção de clinquer.



Saiba mais sobre a produção atual e fábricas em operação no site:
www.abcp.com.br

Figura 2.4: Esquema de produção de clinker

Fonte: CTISM, adaptado do autor

O calcário explorado na jazida é levado aos britadores onde será fragmentado, reduzindo-se o tamanho dos blocos a pedras de, aproximadamente, 5 cm de diâmetro.

Paralelamente, a argila é esboroadada, sua composição química conferida e, se necessário, corrigida com adição de areia ou hematita para complementação dos teores de sílica e/ou ferro, respectivamente.



Atualmente, tem-se verificado que os fornos de clinquer são excelentes recursos para eliminação de resíduos industriais. Estão em estudos algumas normas técnicas que definem as condições para utilização desses resíduos como combustíveis, sem dano ao meio ambiente. Assim espera-se eliminar lamas derivadas da siderurgia e da indústria de alumínio, cascas de arroz, resíduos de petróleo, serragens de madeiras e, até mesmo, pneus velhos.

A dosagem desses materiais ocorre por intermédio de esteiras transportadoras movimentadas por motores de velocidades compatíveis de modo a combinar cerca de 80% de calcário com 20% de argila em massa.

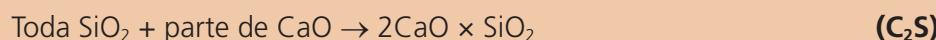
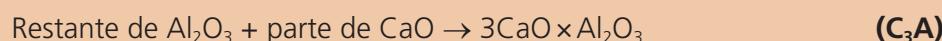
A mistura de calcário e argila segue para o moinho de bolas onde será reduzida a pó e, simultaneamente, secada por um jato de ar quente vindo dos fornos. A função da moagem é aumentar a área específica dos componentes para intensificar suas reatividades no interior do forno, durante a obtenção do clinquer. Essa mistura de calcário e argila chama-se farinha crua: farinha porque é muito fina e crua porque não passou pelo forno.

Os fornos rotativos para cimento são um pouco maiores que os de fabricar cal, conforme mostrado na Figura 2.1.

A farinha crua é lançada na parte superior do forno pela torre de ciclone que se encontra à uma temperatura de 900°C, onde logo acontece a descarbonatação do calcário, produzindo cal virgem.

Com o forno girando e levando os materiais para seu interior cada vez mais quente, processam-se várias reações químicas da cal virgem com os elementos argilosos.

Resumo das reações no interior do forno após a formação do CaO:



O clinquer, resultado das transformações químicas ocorridas entre os elementos do calcário e da argila, sai do forno a uma temperatura de $\pm 1000^\circ\text{C}$. Ele tem a forma de grãos de 2 a 5 cm de diâmetro, escuro e muito duro. Ao sair do forno a 1000°C , o clinquer é bruscamente resfriado por um jato de ar gelado, passando a uma temperatura de $\pm 250^\circ\text{C}$. Esse tratamento térmico tem como função estabilizar o silicato tricálcico (C_3S), último composto formado, impedindo seu retorno a silicato dicálcico (C_2S). O ar gelado que se torna aquecido pelo calor do clinquer será lançado no moinho de farinha crua, no início do processo, para secá-la.

O clinquer resfriado será estocado e estará apto à entrar na última fase de fabricação do cimento Portland, ou seja, a moagem final juntamente com a gipsita e as adições.

2.3.2.3 Outras matérias-primas: gipsita e adições

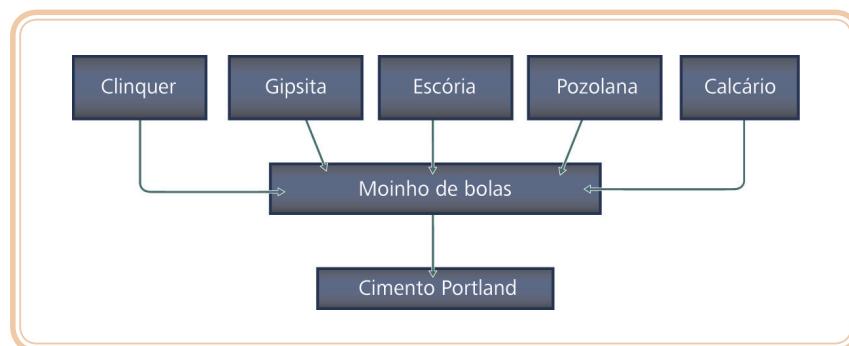


Figura: 2.5: Esquema de produção do cimento Portland

Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Gipsita

A gipsita tem sido, desde a invenção do cimento Portland, uma componente essencial. Apenas quando as pesquisas apontarem a existência de um cimento Portland sem gipsita, ela será uma adição.

A gipsita é uma rocha composta principalmente de sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Participando com teor entre 3 e 5% da massa de clinquer, tem por objetivo reduzir a ação enérgica do endurecimento rápido do alumínato tricálcico, proporcionando um desenvolvimento mais lento das reações químicas de endurecimento do cimento quando em uso.

b) Adições

Outros produtos são considerados adições ao cimento Portland por não serem elementos fundamentais, já que muitos estudos os apontam como materiais que, oportunamente, dão ao cimento características de melhor aplicação. São exemplos de adições: a escória de alto-forno siderúrgico, pozolanas artificiais e o próprio calcário cru (calcário que não entrou na composição da farinha crua – resíduo da britagem). A escolha pelo fabricante do uso entre estes materiais e suas quantificações vai compor os diversos tipos de cimento disponibilizados no mercado.

- **Escória básica de alto-forno siderúrgico**

A escória de alto-forno siderúrgico é um subproduto da fabricação do aço, resultado da fusão do minério de ferro com outros ingredientes, incluindo as



O hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do C_3S e do C_2S , é o catalisador da escória por apresentar o radical hidroxila (OH^-).

cinzas dos combustíveis. Se a escória for de composição química básica ($pH > 7$) adequada e devidamente tratada termicamente pelo brutal rebaixamento de temperatura, ela apresentará propriedades aglomerantes latentes. Quando misturada com água, endurece através de um processo extremamente lento. Porém, se estimulada pela ação catalisadora do hidróxido de cálcio produzido na hidratação do clinquer, endurece mais rápido, produzindo silicatos hidratados de cálcio, os produtos mais nobres e mais estáveis dos cimentos.

• **Pozolanas**

Materiais pozolânicos são materiais compostos por sílica e alumina que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que finamente moídos e na presença de água e de clinquer, reagem formando compostos que também endurecem e aglomeram.

As pozolanas podem ser naturais ou artificiais. As naturais são materiais de origem vulcânica, geralmente ácida ($pH < 7$) por isso adicionadas em menor quantidade. As artificiais são materiais provenientes de tratamento térmico de subprodutos industriais. Destacam-se:



Fabricação do cimento:
http://www.youtube.com/watch?v=XadBPx_48-E

- Cinzas volantes – cinzas obtidas e coletadas nas chaminés de usinas termoelétricas abastecidas por carvão mineral.
- Metacaulim – pozolanas artificiais oriundas da queima entre 500 e 900°C de argilas cauliníticas.
- Sílica ativa – resíduo da fabricação do ferro silício.

• **Pó de calcário**

É o calcário cru com elevado teor de calcita ($> 90\%$) e que moído nas mesmas dimensões dos grãos de cimento recebe o nome de *filler* carbonático.

Tem-se verificado que, apesar de inerte, o pó de calcário misturado ao clinquer tem efeito ligeiramente benéfico nas propriedades do concreto, inclusive na resistência mecânica, por dispersar mais e melhor os grãos de clinquer, intensificando sua ação. Entretanto, por razões econômicas e até ecológicas, os resíduos criados durante a exploração da matéria-prima são aproveitados.

2.3.2.4 Moagem final

Determinados os materiais que serão adicionados ao clinquer e seus respectivos teores, toda a mistura segue finalmente para o moinho de bolas onde

será pulverizada a grãos menores que 75 µm, passando a compor o cimento Portland. Esse será embalado em *container* plástico de 1000 kg destinado às usinas e concreteiras ou ensacado em embalagens de papel de 40/50 kg destinado ao comércio de construções em geral.



Figura 2.6: Tipos de cimento Portland após moagem nos teores de respectivas matérias-primas

Fonte: CTISM, adaptado do autor

2.3.3 Fatores que identificam os comportamentos dos cimentos

2.3.3.1 Resistência a esforços mecânicos de compressão

Esta é, provavelmente, a principal lembrança quando se pretende escolher um cimento para fabricar concreto. Apesar disso, a resistência dos concretos não depende só do cimento, mas está ligada também a outros materiais, tanto em quantidade como em qualidade.

O ensaio mais significativo para se verificar a resistência do cimento ao esforço de compressão é executado sob a forma de argamassa. Utiliza-se uma areia exclusiva para tal teste (areia padrão) e dosa-se um **traço** com cimento, areia e água a fim de se obter a argamassa padrão.

Com essa argamassa padrão são moldados os corpos de prova a partir dos quais, rompidos em idades convencionadas (3, 7, e 28 dias), obtém-se resultados que possibilitarão uma visão da evolução e do alcance da resistência mecânica, que é creditada ao cimento (NBR 7215:1997).

Conforme se observará no Quadro 2.2 apresentado mais à frente, os diversos tipos de cimento Portland serão classificados em uma das três classes de resistência mecânica (25/32/40), correspondentes às tensões (em MPa) que os corpos de prova são rompidos aos 28 dias de idade.

A-Z

traço

Proporção dos elementos na mistura (cimento, areia e água).

2.3.3.2 Alcance da resistência mecânica

Este fenômeno diz respeito tanto à intensidade quanto à rapidez com que a resistência mecânica é alcançada. Está relacionado à porcentagem de C₂S, e C₃S do clinquer, teor de adições e à finura do cimento.

2.3.3.3 Grau de finura

Quando o clinquer e as adições vão para o moinho, o tempo de permanência lá determinará a finura do cimento, ou seja, o tamanho de seus grãos. Quanto mais fino for o grão, maior será o contato com a água, resultando em reações mais rápidas, endurecimento mais rápido e liberação mais intensa do calor gerado durante a hidratação. A finura ainda influencia em uma maior retração das peças concretadas depois de endurecidas.

Um dos ensaios mais simples para se conhecer a finura de um cimento é o peneiramento pela peneira nº 200 de abertura de malha 0,075 mm (NBR 11579:1991). Apesar de ser um processo menos preciso, tem sido executado há um bom tempo, devido ao seu baixo custo e facilidade de execução.

2.3.3.4 Tempo de início de pega

A pega e o endurecimento são dois aspectos físicos de mesmo processo de hidratação do cimento, vistos por períodos diferentes. Para entender o momento em que o cimento endurece, convencionou-se dividir o fenômeno da hidratação em duas etapas separadas pelos respectivos tempos de ocorrência: a pega na 1^a fase do processo e o endurecimento na 2^a fase.

A Figura 2.7 procura esclarecer, num gráfico de escala de tempo, a pega e o endurecimento, tão logo o cimento e água sejam misturados.

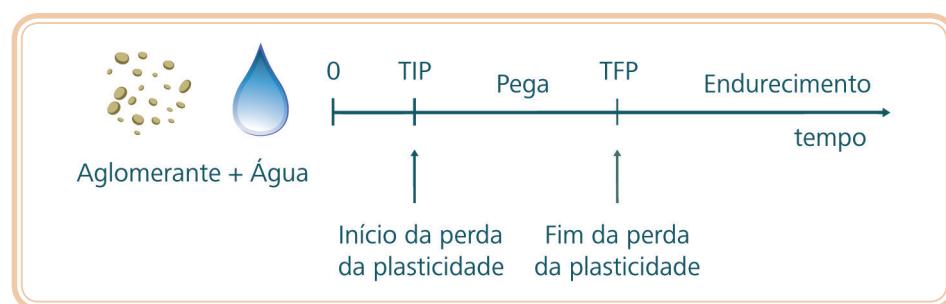


Figura 2.7: Esquema de desenvolvimento da pega e do endurecimento

Fonte: CTISM, adaptado do autor

O 1º tempo, chamado de Tempo de Início de Pega (TIP), corresponde ao intervalo de tempo decorrido desde o lançamento de água no cimento até o instante em que a pasta apresenta grande perda de plasticidade.

O tempo que transcorre entre o zero da escala e o ponto de TIP corresponde ao período em que o operário tem para usar o material (argamassa ou concreto).

Após o TIP, as reações de endurecimento passam a se processar mais intensamente e o material já não é mais trabalhável sob pena de, rompendo as ligações químicas em formação, contribuir para a diminuição da resistência mecânica que seria alcançada.

Assim, à medida que o tempo progride, a pega também progride, levando o cimento a unir-se mais firmemente aos materiais com os quais se encontra misturado.

O 2º tempo, chamado de Tempo de Fim de Pega (TFP), corresponde ao intervalo de tempo decorrido desde o lançamento da água no cimento até o instante em que a pasta perdeu completamente a sua plasticidade.

Atingido TFP, o material passará para outra fase onde, já sólido e enrijecido, mas sem resistência mecânica, irá incorporando-a com o transcorrer das horas e dias. É a fase de endurecimento que pode até durar meses, caso as condições sejam favoráveis (presença de água e cimento anidro).

O conhecimento do TIP é de grande importância para todos que manuseiam os cimentos e aglomerantes em geral. A partir dele é possível dimensionar seu trabalho de modo a produzir, transportar, lançar e adensar o concreto, antes que as reações químicas possam efetivamente conduzir o material a um estado não mais trabalhável.

É inadmissível a movimentação da massa de concreto fresco após decorrido o TIP do cimento.

Os fatores que influenciam no tempo de início de pega são:

- Porcentagem de C_3A no cimento – quanto maior, mais rápida ocorre a pega.
- Quantidade de água de amassamento – uma pequena quantidade a mais pode agilizar a pega por favorecer a solubilização dos aluminatos, porém, em excesso pode atrasar, em função da demora da precipitação dos compostos.
- Temperatura – quanto mais elevada, mais rápida a pega; temperaturas baixas retardam-na, podendo até paralisá-la.



Alguns aglomerantes têm TIP rápido, como o gesso, (± 4 minutos), enquanto o cimento, dito aglomerante de pega normal, tem por volta de 2 a 3 horas e TFP entre 10 e 12 horas.

A determinação do TIP e do TFP dos cimentos é feita em laboratório, dentro de condições ambientais e com equipamentos específicos (NBR NM 65:2003).



- Grau de moagem do cimento – quanto mais fino o cimento, menor o TIP.
- Presença de impurezas orgânicas – se houver (geralmente presente nas areias), haverá atraso ou mesmo interrupção da pega.

Existem elementos cuja presença intencional ou não na mistura, alteram o TIP. São os aceleradores (NaCl ; NaOH ; CaCl_2 ; K_2O), utilizados para tapar vazamentos e lançamentos de concreto projetado e os retardadores (Na_2CO_3 ; CaSO_4 ; ZnO ; H_3PO_4), utilizados para lançamento de concreto-massa, ou casos específicos de transporte.

2.3.3.5 Liberação de calor durante a cura e o endurecimento

O calor de hidratação é o calor produzido durante o desenvolvimento das reações químicas de pega e de endurecimento do cimento. Esse calor é lançado no ambiente e também é absorvido pela própria estrutura. O calor produzido será maior à medida que maior for o teor de C_3A e C_3S do clinquer, bem como quanto mais fino for o cimento.

Todo material submetido a um aumento de temperatura tende a aumentar de volume. O concreto, com poucas características de “livrar-se” facilmente desse calor, irá trincar, já que não é elástico. Portanto, quanto mais cimento for utilizado no traço de concreto, maior a chance das trincas aparecerem.

2.3.3.6 Resistência ao ataque de águas agressivas

Águas agressivas são águas que agredem quimicamente o concreto, desfazendo as ligações químicas adquiridas pelo cimento, podendo levar as estruturas à ruína. São elas:



- Águas sulfatadas (que contém sulfato de cálcio, sulfato de sódio ou sulfato de magnésio). Podem ser encontradas em muitos terrenos e agredem as fundações.
- Águas carbonatadas (que contém CO_2 livre ou bicarbonato de cálcio e/ou de magnésio). Podem ser encontradas em terrenos pantanosos.
- Águas puras (como as das chuvas, as resultantes de degelo ou as de alguns poços subterrâneos).
- Águas do mar (por apresentarem sais de sódio e cloro).

- Águas residuais (de esgotos domésticos, de dejetos orgânicos ou ainda com resíduos industriais).

Os cimentos resistentes às águas agressivas são designados por “Resistente a Sulfatos”, trazendo consigo a sigla RS. Em geral são mais grossos e com maior quantidade de adições de escória.

2.3.3.7 Possibilidades de reações químicas entre os álcalis presentes no cimento e os agregados do concreto

Os álcalis K_2O e Na_2O , provenientes das argilas, são matérias-primas necessárias por serem fundentes e facilitarem a formação do clinquer, porém permanecem no cimento em quantidade de $\pm 1,0\%$, o que não é muito bom, mas que ainda não se conseguiu um processo mais econômico de os excluírem completamente. Por outro lado, certos agregados utilizados na fabricação do concreto contêm minerais passíveis de reagir com esses álcalis, principalmente em ambientes de permanente contato com água, resultando em compostos que causam expansões anormais nos concretos, fissurando-os funestamente. O uso de cimento com baixos teores de álcalis ($< 0,6\%$) e o uso de cimento com maiores teores de escórias ou pozolanas são recomendados para prevenir a ocorrência da reação álcali-agregado, um fenômeno que tem sido objeto de intensos estudos de técnicos e de pesquisadores.

2.3.3.8 Propriedades dos compostos do clinquer

Silicato tricálcico (C_3S – Alita) – responsável pela resistência mecânica do cimento nas primeiras idades. Libera grande quantidade de calor de hidratação.

Silicato dicálcico (C_2S – Belita) – responsável pela resistência mecânica a longo prazo (a partir dos 28 dias de idade). É resistente à ação das águas agressivas e libera uma quantidade menor de calor de hidratação.

Aluminato tricálcico (C_3A – Aluminato) – hidrata-se rapidamente e libera grande quantidade de calor de hidratação logo nas primeiras horas. Pouco contribui para a resistência mecânica e resistência à ação das águas agressivas. A gipsita, conforme visto anteriormente, é adicionada ao clinquer durante sua moagem para controlar a velocidade de hidratação do C_3A e, consequentemente, controlar o início de pega do cimento.

Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF – Ferrita) – composto que praticamente não contribui para a resistência mecânica. Com menor desenvolvimento de calor de hidratação, também resiste melhor ao ataque das águas agressivas

e caracteriza a cor do cimento. Atua como fundente auxiliando as reações que se desenvolverão seguidamente no interior do forno.

2.3.4 Tipos de cimentos Portland

A ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, normaliza cinco tipos de cimentos Portland, sendo que alguns ainda subdividem-se. A disponibilidade de determinados tipos é regional, sendo que outros são fabricados somente por encomenda.

Quadro 2.2: Composição dos diversos tipos de cimentos

Nome Cimento Portland	Sigla	Classe	Clinquer + gipsita	% Escória	% Pozolana	% Calcário
Comum	CP I	25/32/40	100	-	-	-
Comum com adições	CP I-S	25/32/40	95 – 99		1 – 5	
Composto com escória	CP II-E	25/32/40	56 – 94	6 – 34	-	0 – 10
Composto com pozolana	CP II-Z	25/32/40	76 – 94	-	6 – 14	0 – 10
Composto com <i>filler</i> calcário	CP II-F	25/32/40	90 – 94	-	-	6 – 10
Alto-forno	CP III	25/32/40	25 – 65	35 – 70	-	0 – 5
Pozolânico	CP IV	25/32	45 – 85	-	15 – 50	0 – 5
Alta resistência inicial	CP V	-	95 – 100	-	-	0 – 5

Fonte: Adaptado das normas da ABNT sobre cimentos

2.3.4.1 Cimento Portland comum e com adições (CP I; CP I-S)

Aglomerante que praticamente não tem adições. Devido ao elevado teor de clinquer na sua composição, tem custo mais elevado que os demais e, por isso, não é encontrado facilmente no mercado. É um aglomerante de elevada resistência mecânica já nas primeiras idades devido ao maior teor de C_3S , com liberação de muito calor durante a sua hidratação. O CP I-S é bastante parecido, tecnicamente, com o CP I em razão dos baixos teores de adições (NBR 5732:1991).

2.3.4.2 Cimento Portland composto (CP II-E; CP II-Z; CP II-F)

Este cimento já leva adições variadas em teores variados, que alteram perceptivelmente o seu comportamento (NBR 11578:1997).

Nos cimentos compostos com escória (CP II-E), nota-se um pequeno atraso no Tempo de Início de Pega e no alcance da resistência mecânica nas primeiras idades. Com reações ligeiramente mais lentas, libera calor durante a hidratação de maneira mais suave, contribuindo na diminuição da ocorrência de trincas e fissuras nas estruturas de concreto. Apresenta ainda, melhor resistência ao

ataque das águas agressivas e suas propriedades se acentuam quanto maior for o teor de escória.

Nos cimentos com pozolanas (CP II-Z), a pega é mais demorada e o alcance das resistências com a idade também, por isso é recomendável que se aguarde mais tempo para a desforma das estruturas de lajes. Apesar disso, o baixo calor de hidratação, devido à lentidão das reações, favorece o não surgimento de fissuras devido à retração. Sua presença em concreto aparente pode não ser indicada porque não sendo uniforme a distribuição das cinzas pozolânicas no cimento, há o surgimento de “manchas” na superfície externa das peças de concreto. Por apresentarem melhor resistência ao ataque de sulfatos, têm sua durabilidade ampliada.

Os cimentos com material carbonático (CP II-F) são de fabricação recente e as suas propriedades muito se assemelham ao CP I-S, apesar do teor de clinquer ser ligeiramente menor.

2.3.4.3 Cimento Portland de alto-forno (CP III)

Este cimento apresenta adição de escória básica de alto-forno siderúrgico em proporções bem mais intensas que o cimento CP II-E (NBR 5735:1991). Suas características mais marcantes são:

- Tempo de início e fim de pega prolongado, ainda que normal, com possibilidades de paralisação das reações ($< 7^{\circ}\text{C}$).
- Endurecimento lento e resistência inicial baixa nas primeiras idades, o que requer maior cuidado na cura e maior tempo de espera com a estrutura escorada. Entretanto, sua resistência aumenta sensivelmente em idades próximas aos 28 dias, chegando a superar muitos cimentos em idade superior a 60 dias, pois a escória também contribui no endurecimento, embora de maneira mais lenta.
- De baixo calor de hidratação, favorecendo o não surgimento de trincas e fissuras nas peças concretadas, apresenta boa resistência aos meios agressivos. Ainda são desfavorecidas as possibilidades de reações entre os álcalis do cimento com os minerais supostamente reativos dos agregados.
- Outra boa característica dos cimentos de alto-forno é a sua boa estabilidade volumétrica em tempo frio ou calor excessivo. Entretanto, há restrições de uso em estruturas onde a ferragem é pré-tensionada como em peças pré-fabricadas de concreto protendido.



Ainda encontraremos no mercado outros tipos de cimento, como Cimento Portland Resistente a Sulfatos; Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação; Cimento Portland Branco tipo estrutural e não estrutural. Visite os sites de fábricas de cimento e conheça mais sobre eles.

2.3.4.4 Cimento Portland pozolânico (CP IV)

Cimento onde as adições de pozolana e calcário cru são maiores do que no cimento CP II-Z (NBR 5736:1999). Suas características são basicamente as mesmas do cimento citado anteriormente, porém mais intensas.

A-Z

cura a vapor

Cura acelerada do concreto.
Veja mais em "produção de concreto".

A pega neste cimento é mais lenta, a resistência inicial é baixa nas primeiras idades (até 7 dias) e a resistência final um pouco mais elevada (observe que só são classificados por Norma Técnica, os de resistência mecânica de 25 e 32 MPa). Seu endurecimento é lento em climas frios, o que requer paciência para a desforma, uso de aditivo ou aplicação de **cura a vapor**. Apresenta ainda baixo calor de hidratação, boa resistência à ação de águas agressivas, melhor estabilidade volumétrica em climas frios ou quentes e inibição da reação álcali-agregado. Encontra grande aplicação em concreto-massa (grandes volumes de concreto), como em barragens, onde elevada resistência mecânica não é requerida e onde o permanente contato com águas provenientes de tratamentos industriais, de esgoto ou de solos seja necessário.

2.3.4.5 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial-ARI (CP V)

Cimento composto basicamente de clinquer e gipsita, onde só se adiciona calcário cru. Possui pega normal, porém, o endurecimento é muito rápido devido ao seu maior grau de moagem (NBR 5733:1991).



Grande cuidado deve ser dado ao armazenamento do cimento na obra. Embalado em papel, suporta pouco contato com a umidade do solo ou de paredes. Se a umidade atravessa a embalagem, inicia-se o processo de endurecimento, impedindo-o e estragando-o. Para uma boa armazenagem, isole-o do chão e de paredes, não coloque mais que 12 sacos empilhados e guarde-os por, no máximo, um mês.

O cimento ARI não foi classificado por classe de resistência mecânica como os demais cimentos citados anteriormente, mas sua resistência é sempre maior que 30 MPa aos 7 dias de idade. Já aos 3 dias de idade, alcança resistência superior a 25 MPa, somente alcançada pelos demais cimentos após 21 dias.

Suas características são explicadas em função da obtenção de um clinquer com queima mais completa, o que proporciona maior formação de C_3S e por ser um cimento mais fino que os demais. Em compensação, sua utilização requer maior atenção, desde a armazenagem até os rigorosos cuidados dispensados ao concreto durante a cura, função do elevado calor de hidratação desprendido. Sua utilização em peças de grandes dimensões deve ser estudada com cuidado, mas tem seu uso recomendado na fabricação de blocos pré-moldados, artefatos de concreto e até mesmo no concreto protendido.



Em geral, todos os cimentos podem ser utilizados em praticamente todos os serviços de argamassas e concretos, havendo, entretanto, cimentos mais indicados para determinados serviços.

No caso dos concretos, mais importante é compreender que, para melhor fabricá-los, é necessário ficar atento no momento da escolha dos agregados e nas dosagens dos materiais, principalmente da água. Isso é muito mais importante que a própria escolha do tipo de cimento.

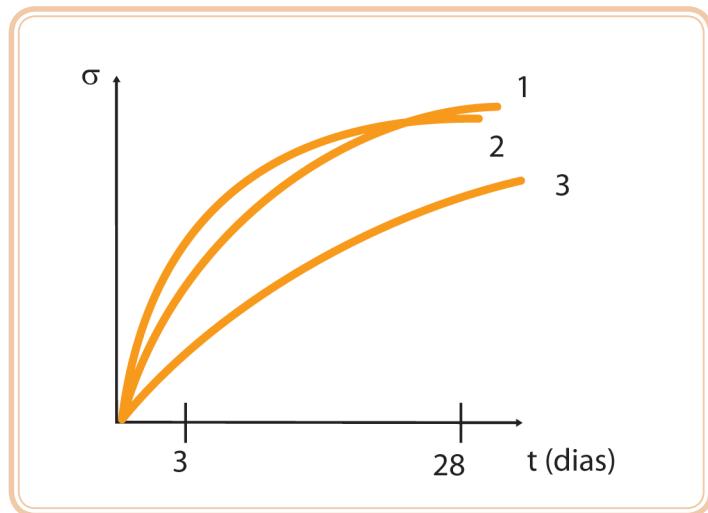
Resumo

Como se viu, o cimento resultou da evolução dos estudos da cal onde procurava-se obter um material mais resistente e durável. Fabricado no mundo inteiro devido à abundância de matérias-primas, contribui enormemente para o progresso das cidades pela utilização do concreto armado. O cimento tem merecido, nos últimos anos, pesquisas mais audaciosas que buscam o aumento de suas resistências. O cimento em si é “apenas” o aglomerante, mas é ele que fornece a confiança que obtemos nas estruturas de concreto armado.

Atividades de aprendizagem



1. O que é aglomerante hidráulico? Exemplifique.
2. Quais as características básicas da reação de hidratação da cal virgem?
3. O que é o clinquer do cimento Portland e quais seus principais componentes?
4. Por que a gipsita é um material imprescindível no cimento Portland?
5. Qual é a influência da finura dos cimentos na composição dos concretos?
6. No gráfico a seguir que representa a resistência mecânica (σ) com o tempo (t), dos cimentos 1, 2 e 3, apontar:
 - a) O cimento de endurecimento mais rápido.
 - b) O cimento que apresenta maior resistência aos 28 dias de idade.
 - c) O cimento que promete apresentar a maior resistência mecânica com o tempo.



Exercício 6.1: Gráfico demonstrativo do alcance da tensão com o tempo para os cimentos
Fonte: CTISM

Aula 3 – Agregados para concretos

Objetivos

Definir agregados.

Classificar agregados.

Identificar funções e características de uso dos agregados.

Conhecer impurezas presentes nos agregados.

3.1 Areia e pedra britada como agregados para concreto

Agregados são materiais inertes em forma de grãos.

Areias e pedras britadas são os agregados que iremos estudar, procurando compreender suas aplicações em argamassas e concretos. A escolha correta desses materiais tem importância econômica, por ocuparem o maior volume nos concretos e argamassas, e importância técnica, por ser o material que dificultará o efeito nocivo da retração da pasta de cimento. Os agregados devem ser formados por grãos resistentes, duráveis, de preferência de variados tamanhos e inertes, isto é, que não desenvolvem nenhuma reação química quando misturados com água.

O uso dos agregados reflete ainda na trabalhabilidade, na massa específica, nas propriedades térmicas e acústicas, no módulo de elasticidade e na durabilidade das estruturas de concretos e de argamassas.

As areias são extraídas do leito dos rios ou de depósitos naturais e as pedras britadas (britas) são rochas fragmentadas artificialmente.

3.2 Classificação

3.2.1 Quanto à origem

Naturais – são as areias provenientes do leito dos rios (chamadas de areia lavada) ou areias exploradas em outros locais (chamadas de areias de barranco)

ou de mina). Cascalhos ou seixos rolados também podem ser encontrados no leito dos rios ou fora deles e, muitas vezes são utilizados sem qualquer tipo de tratamento ou beneficiamento. Mesmo as britas obtidas artificialmente pelo uso de britadores, têm sido consideradas naturais, devido ao trabalho pouco industrializado de obtenção desses materiais.

Artificiais – são os agregados obtidos por processos industriais, tais como: argila expandida, vermiculita, pó de alumínio, entre outros.



As peneiras para ensaio granulométrico dos agregados são feitas de malhas metálicas, quadradas, identificadas pelo lado da abertura, em milímetros. Pertencem à duas séries distintas da ABNT denominadas de série normal e série intermediária.

3.2.2 Quanto ao tamanho do grão (granulometria)

Miúdo – é o agregado cujos grãos passam pela peneira 4,8 mm, mas ficam retidos na peneira 0,15 mm. No máximo 15% da massa ensaiada podem ficar retidos na peneira 4,8 mm. São as areias.

Graúdo – é o agregado cujos grãos passam pela peneira de abertura de malha 76 mm, mas ficam retidos na peneira 4,8 mm. No máximo 15% da massa ensaiada podem passar pela peneira 4,8 mm. São as britas e os seixos rolados.

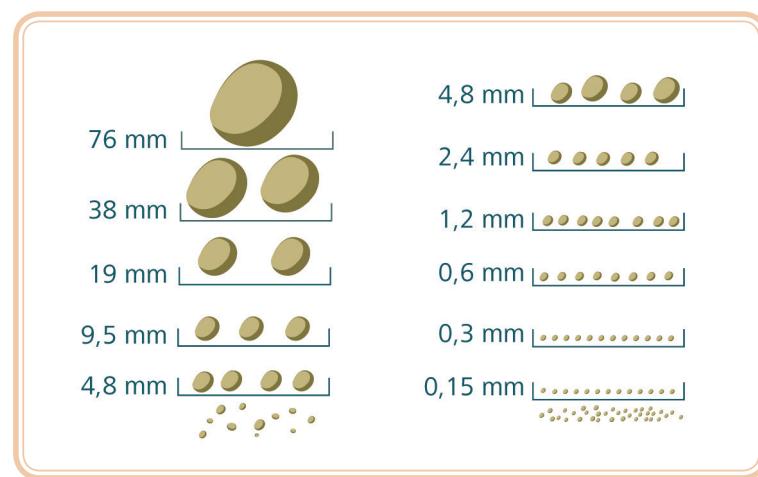


Figura 3.1: Peneiras da série normal para agregados graúdos e agregados miúdos
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Filler – é um material muito fino composto por grãos menores que 0,075 mm.

Um agregado pode ter granulometria contínua, aberta e uniforme, conforme a Figura 3.2.

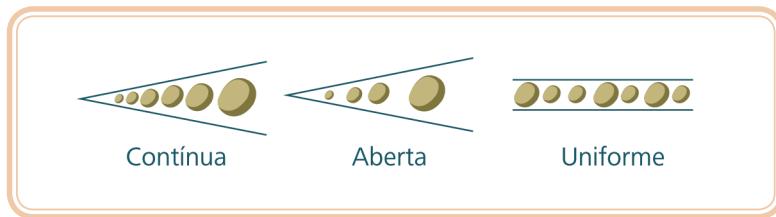


Figura 3.2: Distribuição granulométrica de agregados

Fonte: CTISM, adaptado do autor

3.3 Propriedades dos agregados

As propriedades dos agregados são as características que eles trazem consigo, provenientes de sua própria constituição e origem que permitem indicá-los para serviços adequados. A elas associamos os valores numéricos, ou seja, parâmetros que os indicarão para as mais variadas aplicações nas obras de engenharia.

3.3.1 Umidade

Geralmente, as britas e areias são guardadas ao ar livre e por isso sempre apresentam determinada umidade, menor em época de seca, porém, considerável em época de chuvas.

A quantidade de água presente nos agregados interfere em muitas de suas propriedades e aplicações. A areia, mesmo que pareça seca, contém quantidade razoável de água e sofre a influência do inchamento. A brita não sofre esse efeito e mesmo molhada, seca rapidamente, pois os espaços entre os grãos são maiores, o que facilita a evaporação da água.



A umidade influí na utilização da areia para confecção de concretos, sobretudo, por exigir duas correções durante a sua aplicação:

- Alteração da água de amassamento da mistura.
- Alteração do volume da areia na confecção do traço, devido ao inchamento.

A água de amassamento é a água adicionada à mistura de cimento, areia e brita para a confecção de concretos. Teoricamente, essa água pode ser dividida em duas partes.

Uma parte ($\pm 12\%$ da massa do cimento) irá reagir com o cimento transformando-o em aglomerante. A outra parte será responsável pela trabalhabilidade do concreto e irá evaporar. Essa 2^a parte merece atenção redobrada, pois quanto mais água houver para evaporar, maior será a quantidade de poros

deixados na peça e por eles, futuramente, poderão penetrar elementos nocivos à estrutura, como gás carbônico, gás sulfuroso, oxigênio e águas agressivas, como a água da chuva.

A umidade, sempre presente nas areias, deverá ser conhecida e avaliada, para que possa ser sempre levada em consideração. Seu excesso ou sua falta altera a trabalhabilidade necessária aos concretos, comprometendo a resistência mecânica da peça.

Considerando um pequeno grão de agregado, podemos observá-lo em um dos seguintes estágios de umidade (Figura 3.3).

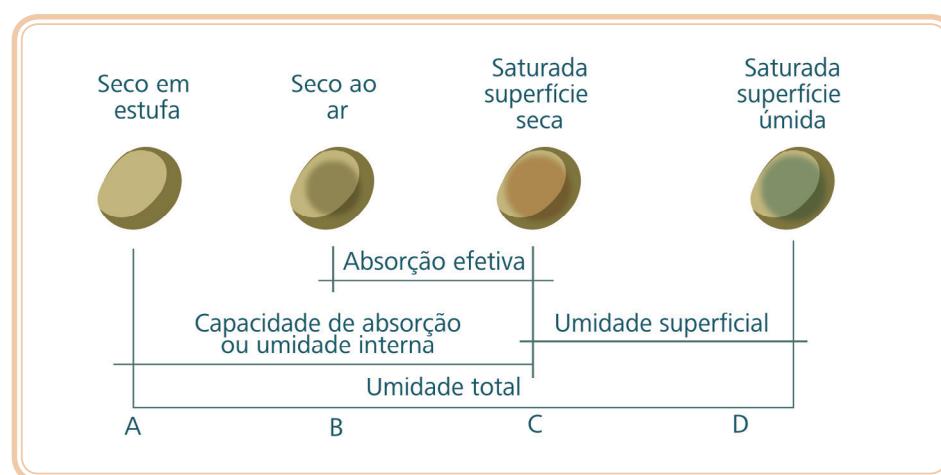


Figura 3.3: Teores de umidades de agregados

Fonte: Adaptado de Petrucci, 1979, p. 50

A – Sem umidade

B – Somente com umidade interna

C – Saturado com superfície seca (absorção)

D – Saturado com água livre extravasando pelos poros

A massa de água (M_{ag}) presente nos agregados indica o seu teor de umidade (h%), expresso como uma porcentagem da massa de material quando completamente seco (M_s). Uma determinada quantidade de areia úmida (M_h) tem consigo um determinado teor de umidade h%, de modo que:

$$M_s \rightarrow 100\%$$

$$M_{ag} \rightarrow h\%$$

Onde: M_s é a massa da areia seca

M_h é a massa de areia úmida

M_{ag} é a massa de água embutida na areia

Então: $M_{ag} = M_h - M_s$

Portanto, temos a Equação 3.1.

Equação 3.1

$$h\% = \left[\frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \right] \%$$

A determinação numérica da umidade de um agregado pode ser feita com simplicidade, aplicando-se a Equação 3.1 após a pesagem de uma amostra da massa úmida e a secagem da amostra por um dos seguintes métodos:

3.3.1.1 Pela estufa/aquecimento ao fogo

Após determinada a massa de uma quantidade de material úmido (M_h), este será conduzido à estufa (ou frigideira ao fogo), para eliminação da umidade. Pesa-se, posteriormente, novamente o material (M_s) e, aplica-se a Equação 3.1 do teor de umidade.

3.3.1.2 Aparelhos especiais

É o caso do *Speedy Moisture Test*, um método prático, rápido e relativamente seguro para se determinar a umidade do agregado miúdo. Constitui-se de um mini laboratório que pode ser utilizado na obra para verificação do teor de umidade da areia (Figura 3.4).



Pelo método da estufa avaliamos a umidade total do agregado. Os demais métodos avaliam uma umidade ligeiramente menor, porém, a que realmente importa, porque a umidade interna dos vazios impermeáveis “não sai” do agregado para interferir no fator a/c dos concretos e argamassas.



Figura 3.4: Equipamento *Speedy Moisture Test* para a medida do teor de umidade do agregado miúdo

Fonte: http://viatest.com.br/novo_site/modules/rmms/uploads/APARELHO%20UMIDIMETRO%20SPEEDY_dSH1W1v0.jpg

Compondo o *Speedy*, há uma garrafa metálica, cuja tampa é acoplada a um manômetro. Para utilizá-lo, coloca-se dentro da garrafa uma ampola de vidro contendo carbureto de cálcio, uma pequena esfera de aço e uma amostra de areia úmida cujo teor de umidade deseja-se conhecer. Fecha-se a garrafa, sacode-se a mesma para que a esfera quebre a cápsula de vidro, colocando o carbureto de cálcio em contato com a areia úmida. O carbureto passa a reagir com a água da areia formando um gás (o acetileno), cuja quantidade será denunciada pelo manômetro em função da pressão que ele exerce dentro da garrafa metálica.

Uma tabela fornecida pelo fabricante indicará o teor de umidade que havia na amostra de areia em função da massa da mesma e da pressão exercida pelo gás, visualizada no manômetro do aparelho.

3.3.2 Massa específica

A massa específica (μ) é a relação entre a massa (M) de uma determinada quantidade de agregado e a soma dos volumes dos grãos componentes, chamado volume real (V_r), segundo a Equação 3.2.

Equação 3.2

$$\mu = \frac{M}{V_r}$$

O ensaio constitui-se na determinação do volume real do material, uma vez que a massa da amostra a ser ensaiada é facilmente determinada na balança.

Em síntese, o ensaio consiste em colocar uma amostra de agregado seco de massa conhecida (M) em um vidro com capacidade de 500 ml que, após pesado (M_1), será preenchido com água e pesado novamente (M_2) como pode ser visualizado na Figura 3.5.

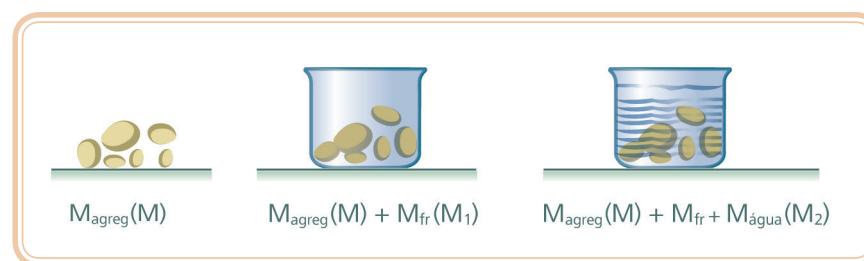


Figura 3.5: Esquema de procedimentos para determinação da massa específica de agregado
Fonte: CTISM, adaptado do autor

A massa específica será obtida através da Equação 3.3.

Equação 3.3

$$\mu = \frac{M_{\text{agreg}}}{500 - V_{\text{água}}}$$

Onde: $V_{\text{água}}$ é o volume de água adicionada ao frasco e igual à diferença de pesagem

Isto é: $V_{\text{água}} = M_2 - M_1$

A determinação precisa do volume real é feita em ensaios de laboratório, seguindo as prescrições da NBR NM 52:2009 para o agregado miúdo e da NBR NM 53:2009, para o agregado graúdo.

Na falta de dados mais confiáveis obtidos em laboratórios, podemos adotar como massa específica, tanto da areia quanto da brita, valores compreendidos entre 2,60 e 2,70 kg/dm³, em função de suas rochas de origem. Lembrando que, se originárias das mesmas rochas, as massas específicas de areias e de britas são iguais.



3.3.3 Massa unitária

A massa unitária (d) é a relação entre a massa (M) de uma determinada quantidade de agregado e o seu volume aparente (V_{ap}). O volume aparente é o volume do recipiente preenchido completamente com o agregado. Determina-se a massa unitária do agregado pela Equação 3.4.

Equação 3.4

$$d = \frac{M}{V_{\text{ap}}}$$

A massa unitária tem grande importância na tecnologia dos concretos e argamassas, pois serve para converter os traços de massa em volume e vice-versa, assim como também é utilizada no cálculo do consumo de materiais e no dimensionamento de recipientes para seu transporte.



Os agregados devem ser ainda avaliados no teor de umidade, quando seco ao ar e no estado solto. Quando ensaiados em teores de umidades diferentes, essa umidade deve ser indicada.

Também na falta de dados mais precisos da massa unitária, podemos adotar os valores apresentados no Quadro 3.1, lembrando que tanto a rocha matriz

como a granulometria do agregado, influenciam nestes valores. Quanto menor for o grão, maior será sua massa unitária.

Quadro 3.1: Massa unitária de agregados (kg/dm³)

Material	Seca (h = 0%)	Seca ao ar (h ≥ 2%)
Areia	1,50 a 1,70	1,20 a 1,50
Brita	1,40 a 1,60	1,40 a 1,60

Fonte: Autor

3.3.4 Inchamento

Ao olharmos para duas latas iguais contendo numa delas areia molhada e na outra areia seca, teremos a impressão de que a lata que contém areia molhada pesará mais. Contudo, esse pensamento está errado! Em igualdade de volume, como devem ser comparadas, a areia úmida pesa menos que a areia seca, devido ao fenômeno de inchamento.



A areia utilizada nas edificações está sempre úmida e, consequentemente, inchada. Este inchamento, que muitas vezes ultrapassa 20%, já traz como interesse imediato a quantidade de material a ser adquirido. Um caminhão que transporta 8 m³ de material pode trazer, a plena carga, apenas 6,5 m³ de areia úmida. Ainda que você não seja enganado no preço, deve tomar cuidado para que não falte material em sua construção. Porém, o cuidado mais importante é atentar para as correções dos traços de concreto, uma vez que a água é um importante componente e que mais contribui para sua resistência e durabilidade. Em geral, quanto mais água for utilizada na fabricação do concreto, pior será sua qualidade.

O inchamento é o aumento de volume que ocorre em uma quantidade de areia, em função da quantidade de água que ela contém. O inchamento (I) é o volume de água (V_{ag}) referido percentualmente em relação ao volume da areia seca. Para cada teor de umidade, há um coeficiente de inchamento correspondente.

$$\begin{aligned} V_s &\rightarrow 100\% \\ V_{ag} &\rightarrow I\% \end{aligned}$$

Onde: V_s é o volume da areia seca

V_h é o volume de areia úmida

V_{ag} é o volume de água contido na areia

Então: $V_{ag} = V_h - V_s$

Que resulta na Equação 3.5.

Equação 3.5

$$I\% = \left[\frac{V_h - V_s}{V_s} \times 100 \right] \%$$

A água livre penetra por entre os grãos de areia invadindo inicialmente os poros permeáveis. Uma vez saturados, a água forma uma película ao redor do grão que, em função de seu tamanho pequeno e leveza, é afastado do seu “vizinho”, produzindo um aumento de volume do conjunto, chamado de inchamento.

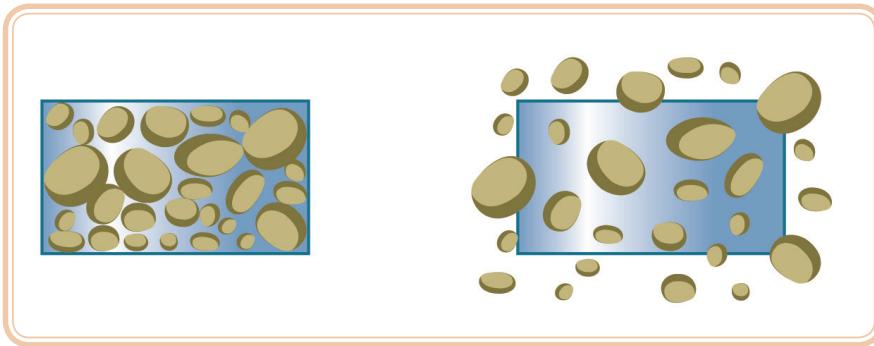


Figura 3.6: Areia seca e areia inchada (úmida)

Fonte: CTISM, adaptado do autor

O inchamento depende diretamente do teor de umidade e da granulometria da areia, sendo maior para areias mais finas, por apresentarem maior superfície específica.

Como praticamente toda areia tem diferente granulometria e sofre influência diferenciada de inchamento, é tecnicamente correto obter em laboratório a curva de inchamento para cada uma dessas areias. Entretanto, isso só se apresentará justificável para obras de grande porte e de elevado consumo de material. Para obras menores e de execução breve, como as residenciais, esse procedimento é dispensável.

3.3.5 Granulometria

Granulometria é a medida da distribuição do tamanho dos grãos dos agregados. Corresponde ao estudo da proporção de grãos de diversos tamanhos em relação ao conjunto, através da separação dos grãos pelas peneiras já indicadas no item 3.2.2.

A granulometria de um agregado tem grande influência na qualidade das argamassas e concretos que irão compor, principalmente, no que diz respeito à compacidade, trabalhabilidade e resistência mecânica.

O ensaio de granulometria de um agregado (NBR NM 248:2003) tem como finalidade determinar o percentual de grãos retidos e acumulados nas peneiras padronizadas pela ABNT e definir a Dimensão Máxima Característica (DMC) e o Módulo de Finura (MF) do agregado. Tem ainda o objetivo de visualizar o enquadramento da distribuição dos grãos pelas faixas granulométricas recomendadas pela norma técnica.

A metodologia do ensaio é relativamente simples, bastando passar duas amostras de agregados coletadas e tratadas em dois conjuntos de peneiras. Após a separação, o material de cada peneira (MR) será pesado, e deter-



Em tecnologia das edificações, o espaço entre as armaduras deverá ser: $\geq 1,2$ DMC das britas; e $\leq 1,2$ da espessura nominal de cobrimento do concreto.

Atente para a expressão “Módulo de Finura” (que bem poderia se chamar de “Módulo de Grossura”), pois quanto maior o MF, mais grosso serão os grãos dos agregados.

minada a porcentagem de massa retida (%MR) e a porcentagem de massa retida-acumulada (%MRA). Desse último cálculo resultarão a DMC e o MF do agregado.



A dimensão máxima característica do agregado é a abertura da malha da peneira (série normal ou intermediária), na qual fica retida e acumulada 5% ou quantidade imediatamente inferior de agregado.

O módulo de finura é a soma das porcentagens retida, acumulada nas peneiras da série normal dividido por 100.

O MF é a característica mais expressiva para as areias e no Quadro 3.2, você pode visualizar esse parâmetro através de alguns valores apresentados:

Quadro 3.2: Módulos de finura de agregado miúdo

Areia	Módulo de finura
1 – Fina	< 2,00
2 – Média fina	2,00 – 2,49
3 – Média grossa	2,50 – 2,85
4 – Grossa	> 2,85

Fonte: Adaptado de Petrucci, 1979, p. 58



Se uma areia muito fina for utilizada na fabricação do concreto, haverá necessidade de utilizar muita água para se obter a trabalhabilidade desejada, o que conduzirá ao prejuízo na resistência mecânica. Se a areia utilizada é muito grossa, serão formadas misturas ásperas, pouco coesas e de fácil segregação. Ambas as situações devem ser evitadas em casos onde não se utilize aditivos para concretos.

No caso da confecção de concreto, as areias mais adequadas são as de módulo de finura entre 2,5 e 3,5, não devendo ser desprezada a possibilidade de composição de duas areias diferentes ou mesmo areias artificiais, resultantes da britagem de rochas.

A DMC é mais expressiva para as britas. Embora a designação técnica esteja a muitos anos em prática, ainda é comum especificar esses agregados por suas numerações populares usuais, como brita nº 1, brita nº 2, brita nº 3 e assim por diante, porém, sem sintonia de uso dessa nomenclatura nas regiões brasileiras. O Quadro 3.3 mostra uma relação entre o tamanho da pedra britada, sua DMC e aplicações usuais.

Quadro 3.3: Identificação granulométrica de agregado graúdo (brita)

Nº	DMC (mm)	Aplicações
0	9,5 – 12,5	Peças esbeltas com muita armação.
1	19 – 25	Fundações, vigas, lajes, pilares e estruturas em geral.
2	32 – 38	
3	50 – 76	Blocos com pouca armação.
4	76 – 152	Blocos sem armação.

Fonte: Autor

3.3.6 Substâncias nocivas

São consideradas substâncias nocivas presentes nos agregados os materiais pulverulentos, as argilas em torrões, as partículas minerais fracas e as matérias carbonosas.

3.3.6.1 Materiais pulverulentos

São argilas e siltes em forma de pó, de dimensões menores que 0,075 mm (*filler*), presentes nos agregados.

Sua nocividade está no fato de, por ter grãos muito finos, requerer muita água para ser manuseada, aumentando no concreto a relação água-cimento. Se presente na brita forma uma película ao redor do grão, dificultando a aderência com a pasta.

3.3.6.2 Argilas em torrões

As argilas em torrões e os materiais friáveis (materiais fracos, que quebram facilmente) são partículas presentes nos agregados suscetíveis a serem desfeitas, até mesmo pela pressão dos dedos. São nocivos pelo fato de se tornarem pulverulentos sob a ação da betoneira.

Quando os torrões de argila, principalmente os de grandes dimensões, não são esboroados durante a mistura do concreto, ocasionam pontos fracos no interior do mesmo e quando são esboroados, ocasionam os mesmos problemas citados nos pulverulentos.

3.3.6.3 Impurezas orgânicas

A matéria orgânica vegetal (folhas e raízes) ou as impurezas provenientes dos esgotos sanitários, prejudicam as reações de endurecimento do cimento. Tanto as areias de barranco como as areias lavadas podem conter matéria orgânica, prejudicando o endurecimento de argamassas e concretos.

As impurezas orgânicas são as matérias nocivas mais comuns encontradas nas areias e sua incidência pode até promover uma coloração mais escura ao agregado. Existem, entretanto, areias que não contém matéria orgânica, mas que são escuras por serem provenientes de rochas escuras.



É muito importante lembrar que a adição de cal hidratada na areia para a confecção de argamassas, digere a matéria orgânica por ventura existente, neutralizando a acidez causada pelo húmus, reduzindo a quantidade de cimento necessária e melhorando a sua trabalhabilidade.

A ABNT descreve o método colorimétrico (NBR NM 49:2001), como qualitativo para análise do agregado com relação à matéria orgânica. O ensaio tem por finalidade detectar a presença dessa impureza e alertar o consumidor para a necessidade de se efetuar teste comparativo de qualidade, da areia considerada “suspeita” com outra areia de qualidade comprovada.

Um teste manual de avaliação, simples e rápido que você pode fazer é esfregar certa porção da areia na palma da mão, se a mão permanecer limpa, é uma indicação de que a areia também está limpa; caso a mão fique suja, ainda que a areia esteja em condições de uso, pode ser recomendável a execução de ensaios mais precisos.

Outro teste rápido para se avaliar a qualidade da areia e que pode ser facilmente executado em uma obra, consiste em colocar uma porção da areia num frasco com água e uma pitada de sal. É necessário agitar a mistura, deixando-a em posterior repouso até que haja sedimentação dos grãos (Figura 3.7). Se a água permanecer clara, a areia pode ser considerada de boa qualidade; quanto maior a relação entre as espessuras das camadas formadas, melhor é a areia.

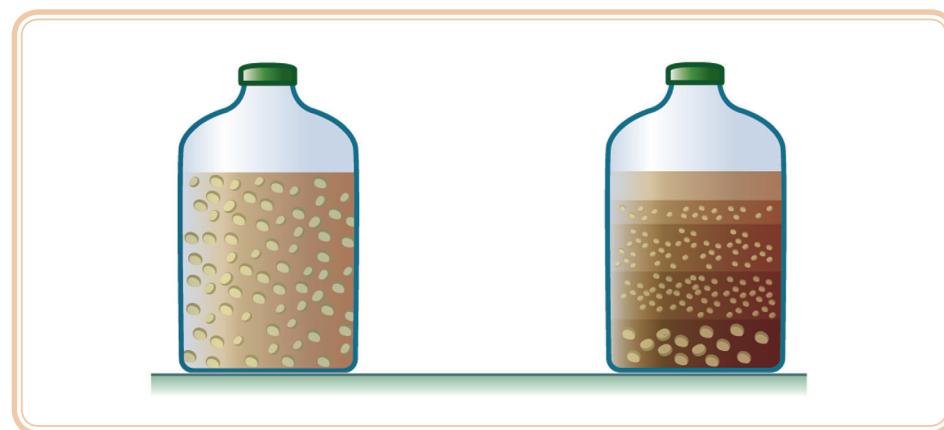


Figura 3.7: Amostras de areia em vidros: agitada e decantada

Fonte: CTISM, adaptado do autor

3.3.7 Forma dos grãos

A forma geométrica dos grãos dos agregados tem grande importância na trabalhabilidade dos concretos que, por sua vez, implica na sua resistência mecânica.

Os grãos dos agregados podem ser arredondados, como os seixos e as areias naturais ou de forma angular e de arestas vivas, como a pedra britada e as areias artificiais. Grãos de formato semelhante a uma agulha ou a um disco resultam em concretos pouco trabalháveis que requerem mais pasta de cimento.

Os agregados de grãos arredondados são os preferenciais para o uso. Com eles, tem-se maior facilidade de movimentação da mistura de concreto, isso significa melhor trabalhabilidade com menor quantidade de água. Entretanto, após endurecido, um concreto feito com agregados graúdos de arestas angulares (brita), apresenta melhor aderência, já que a ligação pasta-agregado, mais delicada, tem mais onde se prender devido à maior rugosidade superficial. Embora exigindo um pouco mais de água para a mesma trabalhabilidade, um concreto com britas (ou areia artificial) torna-se mais resistente, até à tração.



3.3.8 Outras propriedades

Algumas propriedades dos agregados têm merecido estudos aprofundados, entre elas, a capacidade reativa que é a possibilidade que alguns agregados têm de reagir com os álcalis contidos no cimento, especialmente quando a estrutura de concreto fica sujeita à ação de água. Essas reações são lentas e só vão apresentar seus efeitos nocivos, muitos anos após a aplicação do material. A preocupação com esse fenômeno deve ocorrer, principalmente, em grandes e onerosas obras, como barragens que são projetadas para durar décadas. Muitas barragens no Brasil e no mundo inteiro, já sofreram com essa manifestação; algumas foram parcialmente recuperadas, outras continuam em uso e outras foram abandonadas.



Capacidade reativa;
veja mais no site:
www.ibracon.org.br

Outra propriedade dos agregados é a resistência à **abrasão** ou ao desgaste, que deve ser levada em conta no momento da escolha dos materiais para o piso.



abrasão

Raspagem. Desgaste provocado pelo atrito de uma superfície em outra.

Resumo

Apresentados como simples materiais que se juntam à pasta (cimento + água) para compor as argamassas (cimento + água + areia) ou aos concretos (cimento + água + areia + brita), os agregados apresentam muitas outras funções: inibem a retração que ocorre nas pastas, resistem aos esforços, promovem economia e embelezam as obras, como é o caso de concreto polido, geralmente aplicáveis a pisos.

A exploração dos agregados, além de extremamente agressiva à natureza, pode comprometer sua homogeneidade incluindo impurezas que levam a má

aplicação. Os agregados também estão sujeitos à deterioração causada por ações da natureza, como as possíveis reações químicas com os álcalis do cimento. A partir dessas informações, podemos afirmar que os agregados devem ser aplicados com conhecimento de suas características e de suas propriedades.



Atividades de aprendizagem

1. Em um ensaio de determinação de massa unitária de uma brita, foi utilizado um recipiente metálico de dimensões $32 \times 30 \times 35$ (cm) e peso 8800 gf. Após a pesagem, obteve-se o resultado de 57,5 kgf. Pergunta-se: qual é a massa unitária desta brita? (Resposta: $1,45 \text{ kg/dm}^3$).
2. Um caminhão transporta uma carga de 25 toneladas de areia com teor de umidade de 8%, o que lhe acarreta um inchamento de 30%. Qual é o volume de areia que efetivamente será entregue na obra. (Resposta: 20 m^3)
3. Explique os inconvenientes acarretados na edificação com o uso de uma areia com matéria orgânica.
4. Uma amostra de areia tem massa de 3,50 kg quando úmida e 3,25 kg após a secagem. Qual é o teor de umidade anteriormente embutido na amostra. (Resposta: 7,7%).

Aula 4 – Concreto de cimento Portland

Objetivos

Conceituar concretos.

Identificar as propriedades do concreto fresco e do concreto endurecido.

Determinar um traço de concreto através de dosagem empírica.

Reconhecer o processo de dosagem racional.

Conhecer os processos de produção de concreto.

Reconhecer os diversos tipos de concreto.

4.1 O que é e do que é feito o concreto?

O concreto de cimento Portland é um material constituído pela mistura de cimento Portland com areia, brita e água, de modo a apresentar condições de manuseio e endurecimento com o tempo.

Atualmente são utilizados aditivos, produtos químicos líquidos ou em pó, considerados como o quinto e indispensável elemento, que se destinam a destacar as propriedades especiais do concreto, tais como: aumento rápido da resistência, diminuição do calor de hidratação, aumento da plasticidade e retardo ou agilização da pega.



Por ser um material relativamente recente (seus estudos se intensificaram a partir de 1930 quando a produção de cimento se expandiu), muitas pesquisas ainda se encontram em evolução considerando as variedades dos materiais componentes. Atualmente, o concreto autoadensável e o CAD (Concreto de Alto Desempenho) chamam a atenção por suas peculiaridades.

Entretanto, o estudo que desenvolveremos será o estudo de um concreto comum, chamado concreto convencional, confeccionado com areias e britas

que, de tão popular, muitas vezes tem suas propriedades desconhecidas ou relevadas por engenheiros e técnicos. Lamentavelmente, a falta de cuidados na fabricação e aplicação deste concreto, somada à falta de manutenção das estruturas, tem causado redução da vida útil das edificações, trazendo transtornos aos usuários. Com isso, percebe-se que é necessário que os profissionais retomem os cuidados, tanto na escolha de materiais de boa qualidade, quanto na exigência de uma mão de obra mais profissional para a sua produção.

4.2 Propriedades do concreto fresco

Concreto fresco é o concreto recém produzido. É a mistura que se encontra no estado plástico e deformável e que será transportada até a fórmula, adensada e protegida, para o posterior endurecimento.

4.2.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica a facilidade com que ele é manuseado em determinada aplicação, conservando a mistura coesa e homogênea.

É uma propriedade que depende de “como” e “onde” o concreto será aplicado. Ela identifica qual, entre os diferentes tipos de concreto, é o melhor e mais manuseável para determinado serviço. Por exemplo, para que o concreto seja trabalhável em uma confecção de peças pré-moldadas com imediata desforma, deverá ser bastante seco (com aparência de farofa), enquanto um concreto que precisa ser bombeado deverá ser bastante fluido (com aspecto de ensopado). Se invertermos as aplicações destes concretos, eles simplesmente deixarão de ser “trabalháveis”.

A trabalhabilidade do concreto pode ser determinada visualmente por um profissional experiente. Popularmente, sabe-se que o concreto está “duro” ou “mole”, mas tecnicamente é avaliado por meio de ensaios de determinação da consistência.

4.2.2 Consistência

A consistência do concreto fresco é uma propriedade que está relacionada à sua maior ou menor facilidade de deformação, isto é, sua maior ou menor plasticidade. É pela medida da consistência que se identifica numericamente a trabalhabilidade do concreto fresco.

O método mais usual, de fácil execução e interpretação é o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone ou *slump test*. Utilizando o cone de Abrams (Figura 4.1), o teste pode ser executado na obra ou no laboratório.



Verificação da trabalhabilidade por meio de ensaios de abatimento (*slump test*) em:
<http://www.youtube.com/watch?v=1Ki9dMZtPaE>

Figura 4.1: Mecanismos para determinação do *slump test*

Fonte: <http://www.tecnos.ro/en/details/slump-cone-complete-set-galvanized-steel.html>

Para executá-lo, deve-se preencher o cone com três camadas de concreto, cada qual adensada com 25 golpes e, após a remoção o cone, o abatimento natural do concreto dará o resultado do ensaio, que é a medida desse abatimento em mm.

De acordo com o abatimento, podemos identificar a consistência, associando-a numericamente à uma trabalhabilidade, conforme mostrado no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Consistência dos concretos

Concretos	<i>Slump (mm)</i>
Secos	0 – 20
Pouco plástico	20 – 70
Plástico	70 – 120
Muito plástico	120 – 200
Fluido	> 200

Fonte: Adaptado de Helene e Terzian, 1993, p. 153

Para alterar a consistência de um concreto, pode-se atuar na variação da quantidade de água de amassamento ou nas quantidades dos agregados. O concreto será mais plástico se, na fabricação, for utilizado mais brita ou areia mais grossa; e menos plástico (mais “duro”), se for utilizado mais areia ou areia mais fina.



Entretanto, nunca acrecente mais água depois do concreto pronto e evite fazer concreto em demasia, de modo que não possa ser aplicado em pouco tempo.



Há um tipo particular de segregação, chamado **exsudação**, que é a separação espontânea de parte da água de amassamento, fenômeno natural e praticamente inevitável. Geralmente ocorre nas primeiras horas de cura do concreto, onde após o lançamento, produz uma película brilhante na sua superfície.

4.2.3 Segregação

Segregação é a separação dos materiais componentes do concreto fresco logo após terem sido misturados. Ela acontece devido às diferenças das massas específicas dos materiais componentes e que se torna facilitada pelo excesso da água de amassamento. É intensificada se ocorrer trepidação no transporte ou mesmo depois no adensamento excessivo.

A segregação, que deve sempre ser evitada, torna o concreto um material heterogêneo, permeável, de pouca resistência mecânica e de pouca durabilidade.

Evita-se a segregação realizando uma dosagem correta de materiais, acrescentando o mínimo de água possível na mistura (apenas o necessário) e observando os cuidados no transporte, lançamento e adensamento do concreto. Enfim, deve-se primar por sua tecnologia de fabricação e pelo emprego de mão de obra consciente e adequada.

4.3 Propriedades do concreto endurecido

O concreto endurecido é o concreto que se encontra no estado sólido e que já desenvolveu resistência mecânica.

As propriedades do concreto endurecido são as características que efetivamente o destaca dos demais materiais. É, de fato, as qualidades que o identificam para utilização como elemento estrutural.



Moldagem de corpos de prova:
<http://www.youtube.com/watch?v=QqC9RCr3F4A>

Ruptura de corpo de prova de concreto:
<http://www.youtube.com/watch?v=gDMuj7SsUiM>

4.3.1 Resistência aos esforços de compressão

O concreto é um material que resiste muito bem ao esforço mecânico de compressão e para a verificação dessa resistência, corpos de prova são moldados, curados, e rompidos. Algumas operações são realizadas nas obras, outras nos laboratórios.

As normas brasileiras padronizam materiais e instruem quanto aos procedimentos de ensaio, a fim de obter resultados de resistência à compressão que são, acima de tudo, comparáveis.

A tensão de ruptura dos corpos de prova, chamada de resistência do concreto à compressão (f_c), é obtida dividindo-se o valor da força (F) registrada na prensa

pela área da seção transversal do corpo de prova (A), conforme a Equação 4.1, ou visualizando-a diretamente no painel de prensas digitais.

Equação 4.1

$$f_c = \frac{F}{A}$$

Uma boa resistência mecânica à compressão indica, em geral, boas qualidades do concreto.

Como as reações entre o cimento e a água progridem com o tempo, são rompidos corpos de provas nas idades de 3, 7 e 28 dias. Assim, é possível verificar a progressão e o alcance da resistência mecânica desse concreto. Dependendo do tipo de cimento utilizado, as reações podem ser mais lentas, como também atingir valores elevados mais rapidamente. Entretanto, são de caráter **assintótico** e têm como referência padrão a idade de 28 dias. A Figura 4.2 mostra a evolução da resistência com a idade.

A-Z

assintótico

Referente a assíntota. É um termo comum na matemática para indicar funções e seus gráficos que tendem a tangenciar uma reta particular, chamada assíntota. No texto, "caráter assintótico" indica que há um limite no alcance da resistência mecânica dos concretos.

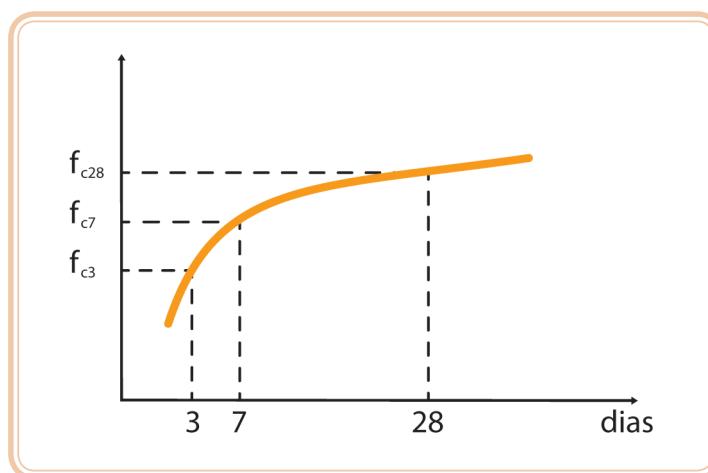


Figura 4.2: Curva característica de evolução da resistência mecânica de um concreto com o tempo

Fonte: Autor

Os resultados das rupturas de vários corpos de prova aos 28 dias de idade são tratados, estatisticamente, donde se obtém a resistência característica à compressão (f_{ck}). Ela identifica o concreto por sua classe de resistência, valor que será especificado no projeto estrutural. O Quadro 4.2 mostra o que foi dito.



Quadro 4.2: Classes de concreto

(f _{ck}) Classes de resistência mecânica características à compressão (MPa)		
Classe – I	Classe – II (CAD)	
C – 10	C – 30	C – 55
C – 15	C – 35	C – 60
C – 20	C – 40	C – 70
C – 25	C – 45	C – 80

Fonte: ABNT NBR 8953:2009

Dos fatores que influenciam a resistência mecânica dos concretos, destacamos:

4.3.1.1 Relação água/cimento (fator a/c ou fator x)

A relação a/c, também chamada de fator x, é a razão entre os litros de água utilizados para cada quilo de cimento. Ela é o principal fator para as propriedades ligadas à resistência mecânica do concreto. Quanto menos água for utilizada, melhor concreto será obtido. O excesso de água colocado para facilitar o amassamento, prejudica o concreto em sua resistência mecânica, impermeabilidade e durabilidade.

O cimento necessita de, para a reação de endurecimento, cerca de 14% do seu peso em água, (± 7 litros por saco). Acrescentar mais água torna-se necessário para se obter a trabalhabilidade adequada, porém, a água não utilizada nas reações de hidratação do cimento evapora, deixando poros por onde, posteriormente, entrarão agentes agressivos, responsáveis pela queda da resistência mecânica do concreto.

O “guia” de cuidados na elaboração do concreto recomenda sempre o uso da menor quantidade de água possível, dentro das condições de trabalhabilidade.

Imagino que você esteja se perguntando:

– Mas e os concretos bombeáveis, quase fluídos? E os autoadensáveis?

Respondo:

– Esses concretos não contém tanta água e sim, aditivos fluidificantes que são produtos químicos capazes de os tornar extremamente plásticos.

4.3.1.2 Observação às propriedades do concreto fresco

Os cuidados na fabricação, fazendo uma boa mistura (sempre na betoneira), os cuidados no transporte, evitando a segregação e os cuidados na aplicação, promovendo um bom adensamento, certamente resultarão em um concreto de boa qualidade.

4.3.1.3 Tipos de cimentos

Os tipos de cimentos existentes (classe 32, classe 40 e cimento ARI), bem como as adições ao clinquer, influem no alcance da resistência mecânica dos concretos confeccionados e na rapidez do alcance dessa resistência (reveja os vários tipos de cimento Portland no item 2.3.4).

4.3.1.4 Qualidade dos agregados

Estudados à parte, os agregados são fundamentais para a obtenção de um concreto de boa qualidade. Nos concretos convencionais, as areias influenciam pelo tamanho de seus grãos e pelo teor de matéria orgânica presente, enquanto as britas influenciam pela forma dos grãos e pelo teor de materiais pulverulentos presentes.

4.3.1.5 Cura

Entende-se por cura os cuidados tomados com o concreto desde quando colocado na fôrma até que sua idade chegue, pelo menos, a quinze dias. Nesse período, será desenvolvida grande parte das reações de hidratação do cimento, responsável pelo alcance da resistência aos esforços mecânicos do concreto.



Muitas outras propriedades do concreto endurecido poderão ser estudadas, mas por enquanto, é válido apenas citá-las. É o caso da deformação lenta (fluênciça), do módulo de elasticidade, da resistência à abrasão, das propriedades térmicas e acústicas, da permeabilidade, da absorção, etc.

4.3.2 Durabilidade

A durabilidade dos concretos é sua vida útil e está ligada a todas as propriedades do concreto fresco e do concreto endurecido. Ela é, praticamente, uma exigência das estruturas, tais como pontes, barragens, edifícios e pavimentos rodoviários, tanto pelo custo de fabricação, quanto pela dificuldade de manutenção.

A durabilidade é, contudo, um termo pouco mensurável, pois afinal como responder com exatidão a pergunta: "Quanto tempo deve durar uma estrutura de concreto?". A determinação da durabilidade é complexa, pois depende dos cuidados dispensados na fabricação, do ambiente onde o concreto estará exposto e das próprias cargas a que ele estará submetido.

A NBR 12655:2006 estabelece orientações sobre as agressividades de ambientes e sugere valores mínimos de fator a/c e consumo de cimento por m³ de concreto, a serem adotados para a sua fabricação que serão vistos mais a frente. Pelo Quadro 4.3, verifica-se a agressividade de alguns ambientes.



Como você já percebeu, houve, em todas as cidades, um grande aumento no número de veículos que têm lançado na atmosfera grande quantidade de CO₂ (gás carbônico). Esse CO₂ tem danificado as estruturas de concreto construídas há mais de cinquenta anos que, na época, não foram preparadas para essa situação e que foram calculadas com resistências abaixo das resistências que hoje são especificadas para os concretos atuais.

Quadro 4.3: Agressividades ambientais

Classe	Agressividade	Classificação geral do ambiente	Risco de deterioração da estrutura
I	fraca	rural	insignificante
		submersa	
II	moderada	urbana	pequeno
		marinha	
III	forte	industrial	grande
		industrial respingos de maré	
IV	muito forte		elevado

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12655:2006

Assim, conhecendo com antecedência o maior número possível das solicitações mecânicas e a agressividade do meio a que serão submetidas as estruturas de concreto, tais como: choques e carregamentos, abrasão, águas agressivas e agentes químicos, poderão ser previstos cuidados no projeto da estrutura e na dosagem, para obtenção de uma estrutura segura, econômica e durável.

4.4 Traço de concretos



O traço é uma sequência numérica que representa os componentes do concreto, separada por dois pontos, onde os números se apresentam em ordem crescente a partir dos materiais mais finos. O cimento é representado pela unidade que inicia a série e a quantidade de água pelo último número da série.

1 : AREIA : BRITA : ÁGUA

O traço poderá ser apresentado em massa (mais correto), mas também em volume ou numa composição mista com cimento em massa e os outros materiais em volume.

4.4.1 Nomenclatura dos traços

- a – kg de areia por kg de cimento
- b – kg de brita por kg de cimento
- x – kg de água por kg de cimento
- K – kg de cimento por saco (K = 50 kg, 40 kg e 25 kg)
- C – kg de cimento no m³ de concreto (consumo)
- da – Massa unitária da areia
- db – Massa unitária da brita
- dc – Massa unitária do cimento

μ_a – Massa específica da areia
 μ_b – Massa específica da brita
 μ_c – Massa específica do cimento

4.4.2 Expressões dos traços

Traço em massa referido ao kg de cimento.

$$1 : a : b : x$$

Traço em massa referido ao saco de cimento.

$$1 : K \times a : K \times b : K \times x$$

Traço em volume referido ao kg de cimento.

$$1 : \frac{a}{da} : \frac{b}{db} : x$$

Traço em volume referido ao saco de cimento.

$$1 : \frac{a}{da} \times K : \frac{b}{db} \times K : x \times K$$

É muito importante entender, na linguagem do traço, em quais grandezas os materiais estão expressos.



Exercício resolvido

Dado: $1 : 1,87 : 3,19 : 0,55$ (traço em massa referido ao kg de cimento e areia seca), pede-se:

- Traço em massa referido ao saco de cimento.
- Traço em volume referido ao kg de cimento.

Solução

É importante você compreender o que os números representam no traço dado. Neste caso, sendo o traço em massa as unidades são de massa (em geral kg – quilogramas):

Cimento	1	1 kg
Areia seca ($h = 0\%$)	a	1,87 kg
Brita	b	3,19 kg
Água:	x	0,55 kg (ou 0,55 litros)

- a)** Passando o traço para representação em massa, referido ao saco de cimento, basta multiplicá-lo pelo valor da quantidade de cimento contida em um saco (geralmente 50 kg).



Cimento	$50 \times 1 \text{ kg} = 50 \text{ kg} = 1 \text{ saco}$
Areia seca ($h = 0\%$)	$50 \times 1,87 \text{ kg} = 93,50 \text{ kg}$
Brita	$50 \times 3,19 \text{ kg} = 159,50 \text{ kg}$
Água	$50 \times 0,55 \text{ kg} = 27,50 \text{ kg} (\text{ou } 27,50 \text{ litros})$

Como o cimento é representado pela unidade, o traço começará por 1, ou seja, 1 saco de cimento.

1 : 93,50 : 159,50 : 27,50

- b)** Passando o traço dado para volume referido ao kg de cimento, precisamos transformar em volume (litros = dm^3) todos os materiais componentes do concreto (areia, brita e água), exceto o cimento que permanecerá em massa (kg).

Para areia e brita, usaremos a expressão da massa unitária já vista no item 3.3.3 ($d = M/V_{ap}$). Para a água, o mesmo número que representar a massa em kg, representa o volume em litros (ou dm^3).

O que nos interessa conhecer é o volume aparente da areia e da brita. Mas para isso, precisamos saber o valor da massa unitária (d), a qual é obtida em um ensaio de laboratório. Ou, como você se lembra no estudo dos agregados, na falta de maiores dados, podemos usar dados do Quadro 3.1.

Vamos usar para a areia (seca) $d = 1,50 \text{ kg/dm}^3$ e para a brita, $d = 1,40 \text{ kg/dm}^3$.

Portanto, para 1 kg de cimento:

Volume de areia (seca) no traço:

$$V_{ap} = \frac{M}{d} = \frac{1,87}{1,50} = 1,25 \text{ dm}^3 \text{ (ou litros)}$$

Volume da brita no traço:

$$V_{ap} = \frac{M}{d} = \frac{3,19}{1,40} = 2,28 \text{ dm}^3 \text{ (ou litros)}$$

Volume da água no traço: $V = 0,55$ litros

E a representação do traço, será: **1 : 1,25 : 2,28 : 0,55**

O que significa:	Cimento:	1 kg
	Areia seca:	1,25 litros
	Brita:	2,28 litros
	Água:	0,55 litros

Como você pôde perceber, esse exercício trabalhou apenas um traço de concreto. Se você fizer a mistura dos materiais conforme indicado nos itens "a" ou "b", você obterá o mesmo concreto.



4.5 Dosagem não experimental (empírica)

Dosar um concreto é determinar a mistura mais econômica de seus componentes que atendam às condições de trabalhabilidade, resistência e durabilidade deste concreto. É determinar o traço desse concreto, ou seja, conhecer numericamente a expressão $1 : a : b : x$ que o identificará pela quantidade de cada um dos componentes da mistura.

- a) Não experimental ou empírico é o processo de proporcionamento dos materiais constituintes do concreto baseado em experiências prévias dos tecnologistas e construtores, quer pela tradição e conhecimentos generalizados sobre o concreto, quer pelas bibliografias existentes sobre o assunto. Não é, evidentemente, a maneira mais correta, entretanto é usual em pequenas e médias construções, em função dos seguintes aspectos:



- Materiais diversos cujas características técnicas, não determinadas em laboratório, são baseadas em valores médios.
 - Obras de conclusão breve, frente ao tempo necessário para ensaios, dosagens e controle tecnológico de materiais.
 - Existência de práticas anteriores aprovadas com o uso dos materiais disponíveis.
- b)** A NBR 12655:2006 determina que a dosagem empírica só pode ser aplicada em concretos com resistência característica de 10 MPa e de consumo de cimento acima de 300 kg por m³ de concreto.

Observe que a consideração (b) exclui a possibilidade de usar a dosagem empírica para concretos estruturais armados, pois, por questão de durabilidade, a NBR 6118:2003 especifica como resistência característica à compressão, o mínimo de 20 MPa.

Segundo muitos tecnologistas, ainda que justa a consideração, sua aplicação impossibilita a fabricação de concretos onde não existam centrais de concreto ou laboratórios para realização de ensaios.

Por isso, apresentaremos um método alternativo de dosagem empírica para situações onde não se dispõem de condições de realização de uma dosagem racional a partir dos materiais que efetivamente serão empregados na obra e, ainda, quando a agressividade do ambiente seja apenas “fraca”. Com esse método, podem ser obtidos concretos da classe C – 20 com relativa facilidade desde que confeccionados e manuseados com os devidos cuidados.

4.5.1 Roteiro para obtenção de um traço empírico

São três os procedimentos a serem efetuados, dentro das recomendações normativas e práticas, para obtenção do traço:

4.5.1.1 Determinação da quantidade de cimento no metro cúbico de concreto (C)

A Equação 4.2 determina o consumo de cimento no m³ de concreto:

Equação 4.2

$$C = \frac{1000}{0,32 + \frac{m}{2,65} + x}$$

Onde: C é a quantidade de cimento, em kg, empregada na confecção de 1 m³ (1000 litros) de concreto
m é chamado de agregado total, mistura de areia e brita

Atente que a quantidade C só será obtida corretamente no traço em massa referido ao kg de cimento e areia seca.



Da Equação 4.2 tira-se a Equação 4.3:

Equação 4.3

$$m = 2,65 \left[\frac{1000}{C} - 0,32 - x \right]$$

4.5.1.2 Determinação da relação água/cimento (fator x)

A NBR 12655:2006 recomenda que sejam observados o fator x, o consumo de cimento e a classe de resistência mecânica do concreto em função da agressividade do ambiente onde a estrutura ficará exposta, como segue no Quadro 4.4.

Quadro 4.4: Características dos concretos em função das agressividades ambientais

Concreto armado	Classe de agressividade			
	I – Fraca	II – Moderada	III – Forte	IV – Muito forte
Consumo C (kg/m ³)	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
Relação água cimento (x)	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
Classe do concreto	≥ C – 20	≥ C – 25	≥ C – 30	≥ C – 40

Fonte: ABNT NBR 2655:2006

Adotados os valores de **x** e **C**, eles serão levados à Equação 4.3, anterior, onde se obterá **m**.



Observe que o Quadro 4.5 é referência para dosagem experimental e que a nossa dosagem é não experimental. Por isso, a usaremos com reserva no exemplo prático que será apresentado mais à frente.

4.5.1.3 Determinação do teor de areia (a) e brita (b) a partir do agregado total (m)

Equação 4.4

$$m = a + b$$

A proporção de areia (a) pode estar compreendida entre 34% e 40%, em massa, no agregado total (m), em função de seu MF e da DMC da brita que será utilizada, conforme o Quadro 4.5.

Quadro 4.5: Composição da areia na mescla de agregados																
DMC (mm)	38				32				25				19			
Zonas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
a (%) Areia	34	35	36	37	35	36	37	38	36	37	38	39	37	38	39	40

Fonte: França, 1991

As areias são identificadas nas respectivas zonas em função de seus módulos de finura, conforme já apresentado no Quadro 3.2 do item 3.3.5. Daí se obtém o traço em massa, referido ao kg de cimento e areia seca.

$$1 : a : b : x$$

Observações aplicadas a este processo

- a)** Quando se adota uma determinada quantidade de água, acaba determinando uma trabalhabilidade para o concreto. Utilizando diferentes areias (mais finas ou mais grossas) ou britas (de grãos maiores ou menores), simplesmente altera-se a trabalhabilidade do concreto, mas o traço permanece o mesmo.
- b)** A trabalhabilidade do concreto, neste dimensionamento, deverá ser obtida quando o concreto estiver em fase de mistura na betoneira, retirando-se parte para execução do *slump test*.
- c)** Para confeccioná-lo, depois de feita a correção de umidade da areia, coloca-se inicialmente na betoneira parte da água e em seguida toda a brita, todo o cimento e a areia. A betoneira é ligada e acontece uma primeira homogeneização. O restante da água será acrescentada aos poucos, onde se observará a consistência do concreto em produção. Se for necessário acrescentar uma quantidade de água além da determinada, acrescente também a quantidade proporcional de cimento.
- d)** Convém que sejam moldados corpos de prova para rupturas com 3, 7 e 28 dias de idade, os quais poderão dar uma boa indicação do comportamento do traço.

- e) Uma boa orientação para este momento é verificar o teor de argamassa ($\alpha\%$), cujo valor ideal está próximo de 50% conforme o cálculo da Equação 4.5.

Equação 4.5

$$\alpha\% = \left(\frac{1 + a}{1 + m} \times 100 \right) \%$$

Onde: Cimento e agregados: $1 + m \rightarrow 100\%$

Cimento e areia: $1 + a \rightarrow \alpha\%$

- f) Para confeccioná-lo na obra, provavelmente, haverá necessidade de transformá-lo em volume referido ao saco de cimento. Esse procedimento está apresentado também dentro do exemplo que segue.

4.5.2 Exemplo prático

Dosar um concreto com areia natural média fina (zona-2), brita nº 1 (DMC = 25 mm), que será adensado manualmente (identificação da trabalhabilidade, o que sugere *slump* de pelo menos 50 mm) e utilizado numa estrutura predial, num local de agressividade ambiental classe – I.

4.5.2.1 Obtenção do traço

1º Passo: Determinação do consumo de cimento

Consultando o Quadro 4.4, poderíamos adotar um consumo de cimento mínimo de 260 kg/m³, caso fosse uma dosagem experimental. Sabendo que a mesma NBR recomenda $C > 300$ kg/m³ para concretos C – 10 e, estando nós interessados em concreto C – 20, partiremos de um consumo mínimo de 350 kg/m³. Vamos adotar então $C = 350$.

2º Passo: Determinação do fator água-cimento (x)

Através do Quadro 4.4, também podemos adotar um fator x máximo de 0,65. Utilizaremos então 0,60.

3º Passo: Determinação da mistura de agregados (m)

Da Equação 4.3, temos que o valor de m, será:

$$m = 2,65 \left(\frac{1000}{350} - 0,32 - 0,60 \right)$$

Portanto: $m = 5,13$

4º Passo: Traço parcial

Formamos o traço parcial: 1 : m : x → 1 : 5,13 : 0,60

5º Passo: Decomposição dos agregados

Segundo orientação do Quadro 4.5:

De brita 25 mm e areia Zona-2: % de areia = 37.

Então, se: $a = 37\%$ de m → $a = 0,37 \times 5,13 = 1,90$

Da Equação 4.4: $b = m - a$ → $b = 5,13 - 1,90 = 3,23$

Finalmente temos o traço em massa, referido ao kg de cimento com areia seca ($h = 0\%$).

$$1 : a : b : x \quad 1 : 1,90 : 3,23 : 0,60$$

E o teor de argamassa será:

$$\alpha = \left(\frac{1,90 + 1}{5,13 + 1} \times 100 \right) \% = 47,3\%$$



- a)** Há uma tendência dos concretos dosados empiricamente apresentarem-se secos (abatimentos entre 20 e 60 mm) e pouco argamassados, principalmente para consumos de cimento de 350 kg/m³. Melhora-se o teor de argamassa enriquecendo o traço, ou seja, adotando um consumo de cimento mais alto. De qualquer maneira, na hora da produção é sempre um bom momento para o ajuste do traço.
- b)** Não dispense a possibilidade de uso de aditivo plastificante, facilmente encontrado no comércio de materiais de construção. Em pó ou em líquido, com pouca quantidade reduz significativamente a água de amassamento, aumentando a plasticidade do concreto e a sua resistência mecânica.
- c)** Se dispusermos de britas de dois tamanhos, por exemplo, 25 e 32 mm, poderemos, numa 1^a aproximação, fazer uma distribuição equitativa entre elas. No exercício dado 1,58 kg de brita 25 mm e 1,65 kg de brita 32 mm, por exemplo.

4.5.2.2 Correção do traço

Corrigir o traço significa recalcular a quantidade de areia. Procedimento necessário já que ela nunca estará seca (mesmo na temporada de estiagem), pois geralmente fica desprotegida de chuvas. Seu teor de umidade irá variar entre 4% e 12% conforme sua granulometria e a época do ano. Estando úmida, a areia estará sempre inchada!

E a correção corresponde a adotar no traço mais areia e menos água.

Provavelmente nossa areia não tem curva de inchamento levantada em laboratório. Suponhamos então que ela esteja com 5% de umidade, o que lhe acarreta 25% de inchamento.

6º Passo: Correção da água de amassamento

Se a areia está úmida, não colocaremos toda a água que calculamos para a confecção do traço, pois uma parte de água já estará sendo adicionada juntamente com a areia. Calcularemos então, uma nova (e menor) quantidade de água que será utilizada e uma nova (e maior) massa de areia úmida. A expressão a ser utilizada é a Equação 3.1 já apresentada no item 3.3.1.

$$h\% = \left[\frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \right] \%$$

Temos: $h = 5\%$ (adotado)

M_h é a massa da areia úmida (a determinar)

M_s é a massa da areia seca ($M_s = 1,90$; determinada no traço)

$M_h - M_s = M_{ag}$ é a massa de água embutida na areia (a conhecer)

$$M_h - M_s = M_{ag} = \frac{h\% \times M_s}{100}$$

$$M_{ag} = \frac{5 \times 1,90}{100}$$

$$M_{ag} = 0,10$$

Esta é a quantidade de água com que a areia úmida ($h = 5\%$) está contribuindo para a confecção do concreto. Esta parcela deverá ser retirada do fator x encontrado.

O fator x corrigido será: **$x = 0,60 - 0,10 = 0,50$**



Observe que a umidade será sempre corrigida na relação água/cimento ou fator x, a partir do agregado miúdo, e no traço em massa.



Para as areias existe um inchamento médio. É um valor de inchamento máximo que, uma vez atingido, determina o teor da umidade (umidade crítica). Mesmo que o teor de umidade ultrapasse essa umidade crítica, a areia não incha significativamente mais.

Esses valores são obtidos na curva de inchamento levantada no laboratório e característico para cada tipo de areia.

Precisamos considerar agora que, para deixarmos o traço inalterado, será necessário colocar areia úmida, em quantidade tal, que subtraída a parcela correspondente de água que lhe vai embutida, reste em areia seca a quantidade necessária estabelecida nos cálculos de dosagem, no caso 1,90 kg para cada kg de cimento.

A nova quantidade de areia no traço será a quantidade de areia úmida (M_h).

Onde: $M_h = M_{ag} + M_s \rightarrow M_h = 0,10 + 1,90 \therefore M_h = 2,00$

Então, o traço em massa corrigido, (usando areia úmida, $h = 5\%$), referido ao kg de cimento, será:

$$1 : 2,00 : 3,23 : 0,50$$

O traço agora está pronto para ser utilizado em obras onde os agregados são dosados em massa, usando uma balança, obviamente.

Assim, por saco de cimento, serão misturadas as seguintes quantidades de materiais:



Cimento	→	50 kg	=	(1 saco)
Areia úmida ($h = 5\%$)	→	100,0 kg	=	(2,00 × 50)
Brita	→	161,5 kg	=	(3,23 × 50)
Água	→	25,0 kg (ou litros)	=	(0,50 × 50)

4.5.2.3 Transformação do traço (agregados em volume)

Muitas vezes, é necessário transformar o traço em volume, pois em obras de pequeno e médio porte, é comum dosar o concreto a partir de agregados medidos em caixotes ou latas, já que o cimento vem ensacado.

Transformaremos a expressão do traço, de modo a identificá-lo numericamente com o cimento medido em sacos e os agregados em volume.

Lembre-se que o volume dos agregados em questão é o volume aparente (V_{ap}), dado pela relação entre a massa (M) de material e sua massa unitária (d), conforme já visto na Equação 3.4 do item 3.3.3. Na falta de maiores dados, adotamos: areia seca ($d_a = 1,50 \text{ kg/dm}^3$) e brita ($d_b = 1,40 \text{ kg/dm}^3$).

7º Passo: Transformação do traço em massa para traço em volume para os agregados

A transformação de massa para volume da brita é relativamente fácil, pois mesmo que úmida, a água só molha um pouco de sua superfície, quase nada alterando sua massa unitária e também não lhe ocasionando inchamento. A massa de brita está, portanto, determinada no traço em massa referido ao kg de cimento e areia seca.

O volume necessário de brita por saco de cimento será:

$$V_b = \frac{M_b}{d_b} = \frac{3,23 \times 50}{1,40} = 115,36 \text{ dm}^3 \text{ (ou litros)}$$

Para a areia, o efeito do inchamento haverá de ser considerado nos cálculos, pois ele representa a alteração volumétrica em função da umidade. Só podemos transformar a quantidade de massa de areia para volume utilizando a expressão do inchamento, ou seja, a Equação 3.5 vista no item 3.3.4:

$$I\% = \left[\frac{V_h - V_s}{V_s} \times 100 \right] \%$$

Onde: V_h é o volume de areia úmida que buscamos conhecer

$V_h - V_s$ é o volume de água embutida na areia

V_s é o volume de areia seca

Aqui:

Equação 4.6

$$V_s = V_a = \frac{M_a}{d_a}$$

Na falta de dados mais precisos, podemos considerar, em relação ao inchamento do agregado miúdo, as informações apresentadas no Quadro 4.6.

Quadro 4.6: Inchamento de areia

Areia – Zona	Fina – 1	Média – 2/3	Grossa – 4
Inchamento (%)	30	25	20

Fonte: Autor

O volume seco da areia (V_s) será dado pela relação entre a massa seca de areia (M_a) pela sua massa unitária seca (d_a). Por saco de cimento, teremos:

$$V_s = \frac{1,90 \times 50}{1,50} = 63,33$$

Agora o volume úmido será:

Equação 4.7

$$V_h = \frac{l\% \times V_s}{100} + V_s$$

$$V_h = \frac{25 \times 63,33}{100} + 63,33 = 79,16 \text{ dm}^3$$

Finalmente, o traço em volume (corrigido para areia úmida) referido ao saco de cimento, será:

$$1 : 79,16 : 115,36 : 25,0$$

Ou, para melhor visualizar e executar:



- | | | |
|---------------------|---|------------------------------------|
| Cimento | → | 50 kg (1 saco) |
| Areia ($h = 5\%$) | → | 79,16 dm ³ (ou litros) |
| Brita | → | 115,36 dm ³ (ou litros) |
| Água | → | 25,00 litros |

.... mas como medir, 79,16 dm³ de areia e 115,36 dm³ de brita?

Esse problema é facilmente solucionável pela confecção de caixotes de madeira com alças laterais, chamados de padiolas, que comportam numa ou mais operações de enchimento, a medida estabelecida.

8º Passo: Confecção de padiolas

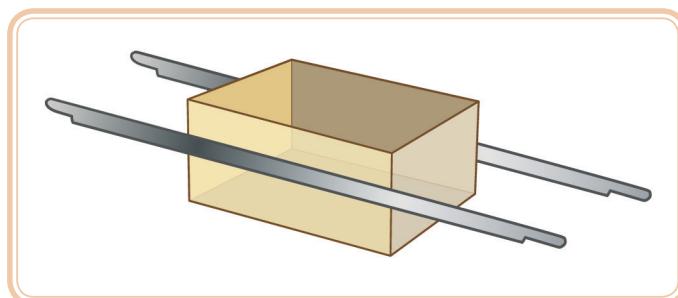


Figura 4.3: Padiola

Fonte: Autor

A prática tem demonstrado que uma boa medida para a base da padiola é 35 cm × 40 cm. Nos resta, portanto determinar sua altura.

Padiola para a areia:

$$79,16 \text{ dm}^3 = 3,5 \text{ dm} \times 4,0 \text{ dm} \times h_a$$
$$h_a = 5,65 \text{ dm ou } 56,5 \text{ cm}$$

Convenhamos que numa padiola desse tamanho cabe, toda a areia necessária ao traço por saco de cimento. Entretanto, cheia, torna-se pesada para o trabalho prático braçal (quase 120 kgf), já que o peso máximo recomendado é de 60 kgf. O que podemos fazer é, por exemplo, reduzi-la à metade e enchê-la por duas vezes. Neste caso, a altura passará a ser: $h_a = 28,3 \text{ cm}$.

Padiola para a brita:

$$115,36 \text{ dm}^3 = 3,5 \text{ dm} \times 4,0 \text{ dm} \times h_b$$
$$h_b = 8,24 \text{ dm ou } 82,4 \text{ cm}$$

As mesmas recomendações feitas para a padiola de areia valem para a padiola da brita, que neste caso pode ter sua altura reduzida à terça parte, sendo cheia por três vezes. ($h_b = 27,5 \text{ cm}$).

Teremos finalmente (finalmente mesmo) uma expressão mista, muito prática para expressar o traço que facilmente será interpretado em obra, válido somente quando a areia apresentar 5% de umidade.



Cimento	→	1 saco de 50 kg
Areia (h=5%)	→	2 padiolas de 35 x 40 x 28,3 (cm)
Brita	→	3 padiolas de 35 x 40 x 27,5 (cm)
Água	→	25,0 litros

Atente que a umidade da areia na obra pode variar facilmente e, neste caso, a altura da padiola também irá variar, mesmo sendo pouco. Ainda que uma 2^a correção possa ser feita facilmente na obra, uma tabela entre o valor da umidade e a altura correspondente da padiola, poderá representar rapidez na execução do traço.

Lembre-se que o *speedy test* é um processo rápido e relativamente seguro para determinar o teor de umidade de areias em obras.

4.6 Dosagem experimental (racional)

Diferente do processo empírico anteriormente exposto, a dosagem racional é executada com o conhecimento prévio das condições da obra, do local onde ela se encontra e dos materiais a serem empregados. É um trabalho desenvolvido em laboratório com acompanhamento constante no canteiro de obras, aplicável a construções de maior porte e maior tempo de execução.

A solicitação do estudo de um traço é feita ao laboratório juntamente com a apresentação de dados da obra e de amostras significativas dos agregados para caracterização e controle de qualidade. Geralmente dispensam-se ensaios para cimento devido ao seu controle na própria fábrica. Entretanto, muitas vezes, já fica definido qual marca ou tipo será utilizado.

De posse do conhecimento dos materiais e das circunstâncias a que ficará submetida a estrutura, é possível dosar a melhor mistura para atender as condições construtivas e as exigências do projeto estipuladas pelo calculista.

E já que falamos do calculista, saiba que tudo isso começa com ele, nos seus cálculos de determinações das ferragens e da resistência característica de ruptura do concreto (f_{ck}).

Quando o calculista estipula num projeto o valor de, por exemplo, $f_{ck} = 25$ MPa, ele está informando ao construtor que os corpos de prova de concreto devem resistir a, pelo menos, 25 MPa, quando rompidos aos 28 dias de idade.



Mas, sendo o concreto um material heterogêneo, não é possível ter garantia plena. Em construções, é usual estabelecer que, pelo menos 95% dos corpos de provas ensaiados irão se romper sob cargas maiores. Por exemplo, rompendo-se 100 corpos de prova, garante-se que não mais que cinco deles (5%) irão se romper com tensões abaixo de 25 MPa.

Agora que o calculista se fez entender, o laboratorista dosará um concreto que garanta ao calculista (e ao construtor) a integridade e a durabilidade da estrutura. O concreto dosado deverá ter uma resistência de dosagem (f_{cj}) superior à estipulada pelo f_{ck} .



De várias rupturas de corpos de prova aos 28 dias de idade (f_{c28}), obtém-se, estatisticamente, o valor do f_{ck} do concreto.

$$f_{cj} > f_{ck}$$

Para desmistificarmos de uma vez por todas tantos “**éfes**”, vamos entendê-los:

De posse de um projeto arquitetônico o calculista estipula uma resistência característica (f_{ck}) para identificar o concreto da edificação. A partir de então passa a desenvolver cálculos que, levando em consideração os materiais disponíveis (concreto e ferragens) e seus respectivos coeficientes de segurança, utiliza uma tensão de cálculo menor (f_{cd}) para o concreto. Posteriormente o laboratorista adota uma tensão de dosagem maior (f_{cj}) para a obtenção do concreto de tal modo que esteja sempre acima e o mais próximo possível do f_{ck} .

Em resumo, temos que o f_{ck} origina f_{cd} menor e f_{cj} maior.

$$f_{cd} = 0,85 \times \frac{f_{ck}}{1,4} \leftarrow f_{ck} \rightarrow f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

Os coeficientes, nas expressões anteriores, correspondem às incertezas na atuação das cargas (1,4), à queda de resistência com o passar dos anos (efeito *rusch*, 0,85), à garantia de que não mais que 5% dos corpos de prova rompam abaixo do f_{ck} , determinado (1,65) e ao desvio padrão de dosagem (S_d), que é uma característica do canteiro de obras, onde: $S_d = 4,0$ (controle rigoroso), $S_d = 5,5$ (controle razoável) e $S_d = 7,0$ (controle regular).

Existem vários métodos de dosagem racional desenvolvidos pelos mais confiáveis institutos e profissionais. Entretanto, não apresentaremos nenhum deles, pois merecem estudos à parte.

4.7 Tipos de concreto

A evolução das construções e das técnicas construtivas ocorreu juntamente com a evolução dos concretos. Surgiram novos tipos de concretos que se destacam por suas aplicações, funções, economia de mão de obra e materiais, estética e as sempre necessárias, condições de resistência mecânica, de segurança e de durabilidade das obras.

Vejamos alguns dos tipos de concreto.

4.7.1 Concreto convencional

Concreto comum cujo lançamento ocorre de modo tradicional, após transporte por carrinhos, calhas ou latas. É o concreto mais utilizado nas construções e é aplicado em todos os tipos de estruturas, como: fundação, pilar, laje, viga, escada, etc. Confeccionado na própria obra, requer cuidados gerais na mistura, no transporte, no lançamento, no adensamento e na cura. Sua plasticidade, medida pelo abatimento do tronco de cone, varia de 50 a 150 mm.

4.7.2 Concreto ciclópico

É um concreto convencional onde, por motivos econômicos, é adicionado cerca de 30% do volume a ser concretado, pedra de mão (agregado de DMC ≥ 152 mm) durante o lançamento. É utilizado em peças de grandes dimensões e de baixa concentração de ferragens como muros de arrimo, tubulões e vigas baldrames.



Concreto sendo bombeado
e adensado:
<http://www.youtube.com/watch?v=ItYQfg82MCQ>

Concreto autoadensável:
<http://www.youtube.com/watch?v=fm3axqVmKAI>

Concreto projetado:
<http://www.youtube.com/watch?v=kPB9yPmm-W4>

4.7.3 Concreto bombeável

Concreto cujo transporte e lançamento são efetuados por intermédio de bombas hidráulicas, que o impulsionam através de tubos metálicos até o interior da forma ou próximo dela.

O concreto bombeável tem maior consumo de cimento e maior teor de argamassa; plasticidade de 120 a 200 mm, sempre conseguida pelo uso de aditivo plastificante. É caracterizado por conceder rapidez nas concretagens reduzindo o número de mão de obra necessária, alcançar locais de difícil acesso e/ou canteiros de obras exígues.

4.7.4 Concreto autoadensável

Concreto com *slump* acima de 250 mm (mas cujo ensaio pelo cone de Abrams não é mais representativo), indicado em concretagem de peças com dimensões reduzidas, grandes concentrações de ferragens, peças pré-moldadas ou em concretagem submersa. Dispensa o uso de adensamento por qualquer processo e permite a obtenção de peças compactas sem brocas. É dimensionado com britas de menor DMC, alto teor de argamassa, alto teor de finos (material passante na peneira nº 200), areia de granulometria contínua (para evitar a segregação) e aditivo superfluidificante, já que o consumo de água não é elevado.

São, em geral, concretos bombeáveis com vantagem de baixo ruído na obra por dispensarem os vibradores e conferirem ainda, menores riscos de acidentes de trabalho. Têm como inconveniente o fato de não possibilitarem a concretagem de escadas, rampas ou vigas invertidas, além de exigir que a fórmula esteja completamente estanque e com todo tipo de orifício completamente tampado.



O concreto de alto desempenho (CAD) é um concreto convencional onde se aplicam maiores cuidados, sendo geralmente preparado para ser bombeável. Também se adicionam sílica ativa e material mineral pozolânico, mais fino que o cimento. Para estes concretos, o uso de aditivo superfluidificante é indispensável e o consumo de cimento deve estar acima de 450 kg para cada metro cúbico de concreto.

4.7.5 Concreto projetado

Concreto de pega ultrarrápida lançado também por bombas. Encontra aplicações na recuperação de estruturas, revestimentos de canal, proteção de taludes e, principalmente, em revestimento de abóbada de túnel. Apresenta características de ser bem argamassado, brita de reduzida DMC, consumo de cimento cima de 400 kg/m³, baixo fator a/c, alta aderência e pega quase instantânea devido ao uso de aditivo acelerador.

4.7.6 Concreto aparente

Concreto aparente é o concreto caracterizado pelo aspecto de sua superfície que não recebe recobrimento com argamassa, cerâmica ou tinta pigmentada, ficando à vista logo após a sua desforma. O concreto aparente não deixa de ser um concreto convencional, muitas vezes bombeado, cujos cuidados se concentram no acabamento das fôrmas. De uma maneira geral, todos os concretos podem ficar aparentes.

4.7.7 Concreto leve (celular)

Este concreto é, na verdade, uma argamassa celular, pois não possui o agregado graúdo e o agregado miúdo utilizado, é o pó de alumínio. É confeccionado com aditivos espumígenos ou incorporadores de ar que inserem bolhas de ar não intercomunicáveis na massa durante a mistura o que, de fato, o torna leve. Apresenta bom isolamento térmico e acústico e boa resistência mecânica, apesar de sua baixa massa específica. Como este concreto apresenta alta retração devido ao elevado consumo de cimento, as peças confeccionadas



Atualmente, têm sido fabricados blocos para alvenaria em concreto celular, de grande aceitação devido à facilidade de operação, ao rendimento, à boa trabalhabilidade e às excelentes características físicas e mecânicas. Exigem, contudo, ferramentas específicas para assentamento e abertura de rasgos em paredes para embutimento de eletrodutos e aquadutos. As alvenarias podem dispensar rebocos e emboços sendo logo emassadas para pintura.

são autoclavadas, isto é, submetidas a pressões de 0,6 MPa a 1,2 MPa a temperatura de 150°C, por cerca de 5 horas em autoclaves, o que melhora, inclusive, sua resistência mecânica.

4.7.8 Concreto pesado

Concreto elaborado com agregados de elevada massa específica, como os minérios de ferro ou os fragmentos de aço. Aplicado como protetor de radiações, desde que tenha espessura conveniente, substitui os revestimentos de chumbo em hospitais ou usinas nucleares.

4.7.9 Concreto massa

Concreto utilizado em imensos volumes com baixa densidade de ferragens. Os maiores cuidados na sua utilização referem-se ao elevado calor de hidratação, que é dissipado durante a pega e o endurecimento, podendo levar a fissuras e trincas danosas.

Aplicados em barragens, cais e grandes muros de arrimo, apresentam como características marcantes o baixo consumo de cimento (< 150 kg/m³), o uso de cimento de baixo calor de hidratação, retardador de pega e agregados de grandes DMC (> 76 mm). Pode ser compactado a rolo.

4.7.10 Concreto para pavimento

Concreto confeccionado para tráfego de veículos. Diferencia-se dos anteriores pela característica de ser resistente à tração e à abrasão. Merece ainda o cuidado da resistência a agentes agressivos como graxas, combustíveis e cargas ácidas. Encontra aplicação em pavimentação rodoviária e urbana, aeroportos, pisos industriais e pátios de estacionamento.

Produzido de modo convencional, é espalhado no local da concretagem e, muitas vezes, compactado com rolo compressor liso, o que lhe identifica como concreto compactado a rolo (Figura 4.4).



A maior parte de nossas estradas é pavimentada com asfalto, um material aglutinante betuminoso derivado da destilação do petróleo. O concreto asfáltico é o concreto feito com brita fina aglutinada com asfalto a quente. Seu custo é bem menor, até porque o asfalto é um dos últimos produtos obtidos da destilação do petróleo e se não for utilizado como elemento na pavimentação, pode tornar-se um problema. Em princípio ele não compete com os cimentos, já que estes encontram aplicações mais amplas no ramo das construções.



Figura 4.4: Concreto compactado a rolo

Fonte: <http://www.sosimoveisbrasil.com.br/alfaDet.php?idNot=41526>

4.8 Produção de concreto

Producir concreto é obter a peça estrutural nas condições de uso. Entendemos que concreto somente é concreto, uma vez endurecido e possuidor das características para as quais foi preparado.

A produção técnica de concreto é responsabilidade do engenheiro ou tecnólogo de concreto. Profissional experiente e cioso na obtenção de um concreto de qualidade a partir de boa matéria-prima, equipamentos e mão de obra adequada, têm sempre à mão todos os projetos necessários à construção (arquitetônico, elétrico, hidráulico, etc.) e, estando permanentemente presente na obra, sabe cuidar do concreto em todas as fases de sua produção.

Antes de iniciar a produção de concreto é muito importante que se disponha de um plano de concretagem, assunto que será visto com mais detalhe em “Tecnologia das Construções”. De posse desse plano e até de outras informações necessárias, serão utilizadas as seguintes etapas para a produção do concreto: mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

4.8.1 Mistura

Também chamada de amassamento, a mistura é a mescla dos componentes do concreto tornando-os um conjunto homogêneo.

Podendo ser feita manualmente, só será aceitável para concreto não estrutural e de pouca quantidade, uma vez que é baixa a produção e o processo, extenuante.

Sempre será preferível o uso de uma betoneira (Figura 4.5), tanto pela qualidade apresentada pelo concreto, como pela rapidez de execução. Encontrada em vários tamanhos e tipos, as betoneiras mais comuns em obras executam trabalho intermitente de carga e descarga promovendo a mistura dos materiais por gravidade.



Figura 4.5: Betoneira de mistura por gravidade

Fonte: <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=view&id=1218299>

4.8.2 Transporte

Uma vez misturado os componentes, o concreto será levado à fôrma onde endurecerá com o tempo, adquirindo resistência mecânica. Para transportá-lo dentro do canteiro de obras, deve-se garantir que suas características não sejam alteradas e que não haja segregação desses componentes.

Pode acontecer de o concreto apresentar leve perda da trabalhabilidade após o transporte devido ao início da evaporação da água de amassamento, porém, **nunca** acrescente mais água, sob pena de danos na sua resistência e durabilidade.

Os dispositivos mais comuns para o transporte do concreto em obras são:

- Carrinhos de mão e vagonetas para o transporte horizontal.
- Calhas para descidas inclinadas (Figura 4.6).
- Guinchos e bombas para elevação (Figura 4.8).



Figura 4.6: Lançamento de concreto por calhas

Fonte: http://www.3becnst.eb.mil.br/floresta_diario_jan_a_mar_09.htm

Nos centros urbanos com maior volume de construções, encontramos caminhões betoneiras (Figura 4.7) que se encarregam da mistura, transporte e lançamento do concreto, quando o mesmo é adquirido pronto da usina. O uso desse procedimento facilita a atividade no canteiro de obras, de si já exíguo, reduzindo o número de operários e o tempo de concretagem, entre outros aspectos.



Figura 4.7: Caminhão betoneira

Fonte: <http://www.trucks.com/trucks/details.aspx?category=CM&id=TW1080372CM>

4.8.3 Lançamento

Lançamento é a colocação cuidadosa do concreto no interior das formas.



Figura 4.8: Lançamento de concreto por bombas

Fonte: <http://mostraambientar.blogspot.com/2010/10/concreto-de-qualidade.html>

4.8.4 Adensamento

Adensar o concreto é torná-lo mais compacto, reduzindo o volume de vazios internos, ou seja, expulsar o ar que foi incorporado durante a mistura, por um processo de vibração.

Para ser executado manualmente, é preciso apilar o concreto recém-lançado na fôrma, utilizando um vergalhão de aço ou uma haste de madeira por repetidas vezes e/ou por golpes do lado externo das fôrmulas, com martelo de borracha. O importante é a variação dos locais dos golpes e não a força com que se faz. Para ser adensado manualmente o concreto, deve ter plasticidade de *slump* acima de 50 mm e as peças não devem ser muito armadas.

O processo mecânico mais eficiente conta com equipamentos chamados de vibradores, que podem ser do tipo agulha (Figura 4.9), régua ou mesa vibratória para o caso de concretos pré-moldados.



Figura 4.9: Vibrador de imersão (de agulha)

Fonte: <http://www.d2rengenharia.com.br/elementos-concreto.php>

É importante saber o momento em que o concreto já se encontra perfeitamente acomodado na fôrma para que o excesso de vibração não leve à segregação dos componentes. O excesso de vibração pode ser mais prejudicial que a falta de vibração: é melhor vibrar pouco em mais de um local, do que muito em um só local.



4.8.5 Cura

A cura do concreto é um conjunto de medidas que devem ser tomadas a fim de, dificultando a evaporação da água de amassamento, facilitar o desenvolvimento das reações de hidratação do cimento até que este concreto alcance as propriedades de resistência e de durabilidade pretendidas.

Essas medidas constituem uma extensão dos cuidados que já vêm sendo praticados desde o início da produção. Muitas vezes, devido ao tempo de concretagem ser superior a 6 ou 8 horas, o primeiro concreto colocado já deu pega e está em fase de endurecimento. Portanto, depois de algum tempo de concretagem, já se pode pensar nos métodos de cura.

Segundo a NBR 6118:2007, são necessários pelo menos sete dias de proteção da peça concretada, mas que deve prolongar-se até o concreto adquirir cerca de 70% de sua resistência de cálculo. Para essa informação, somente a ruptura de corpos de provas moldados conduz a respostas mais confiáveis.



Sobre a cura do concreto: muitas vezes subestimada na construção e abandonada após os primeiros cuidados, a cura pode e deve ser retomada tão logo quanto possível, pois práticas têm demonstrado a recuperação de resistências quando essa é reiniciada. Hoje em dia está perfeitamente estabelecido que quanto mais cuidadosa e demorada for a cura do concreto, melhores serão sua resistência e sua durabilidade alcançadas.

A seguir, apresentam-se os métodos de cura.

4.8.5.1 Aspersão de água

Método simples que consiste em manter a superfície do concreto exposta ao sol, umedecida dificultando assim, a evaporação da água de amassamento usada para a mistura. Mas é manter mesmo! Não é jogar água pela manhã e esquecê-lo pelo resto do dia!

4.8.5.2 Recobrimento

Consiste em proteger a superfície do concreto da ação dos raios de sol e do vento, pela cobertura da estrutura com sacos de linhagem ou com os próprios sacos vazios de cimento umedecidos. Outros materiais, como lona plástica (Figura 4.10) e até mesmo madeiras, poderão ser usados em função das disponibilidades e de cada caso.



Figura 4.10: Cura do concreto por recobrimento da estrutura

Fonte: http://www.geomaks.com.br/produtos/2_BIDIMCURACONCRETO/CuraConcretoSinc-01.jpg

4.8.5.3 Cura a vapor

É a cura acelerada do concreto na qual as peças são submetidas a um ambiente com vapor d'água, a uma temperatura de 70°C sob pressão ou não, para agilizar as reações químicas de endurecimento do cimento. Assim, após um processo de 20 horas de cura a vapor, iniciada tão logo tenha sido terminada a concretagem, consegue-se resistências mecânicas que só seriam alcançadas em prazo normal de 15 dias. Geralmente, corpos de provas moldados durante a concretagem são igualmente submetidos ao processo de cura para comprovar os valores de resistências alcançadas. É um processo muito utilizado em peças pré-moldadas, ou em obras onde o tempo é um fator preponderante na construção e não se usa o cimento CP-V ARI.

Resumo

O concreto é um material de fácil manuseio, produzido a partir de componentes abundantes e de, relativamente, fácil transporte e lançamento. Alcança excelentes resistências em função do cimento e do traço. A cura, que é o processo final da produção de concreto garantirá, após os cuidados adequados, a resistência e a durabilidade das estruturas. Embora necessite na maioria das vezes de equipamentos que melhorem a qualidade e a agilidade da produção, é encontrado em praticamente todas as obras.

Atividades de aprendizagem



1. Dados: traço 1 (**1 : 1,97 : 3,09 : 0,54**) e traço 2 (**1 : 1,56 : 2,77 : 0,43**), em massa referidos ao kg de cimento e areia seca, transforme-os, adotando os dados que porventura necessitar:

- a) Para traço em volume referido ao kg de cimento.
- b) Para traço em volume referido ao saco de cimento.

2. Preencha os campos em branco do quadro abaixo:

Nº	Traço em massa por kg de cimento e areia seca	C (kg/m ³)	m (kg)	α (%)
1	1 : 1,91 : 3,02 : 0,54			
2	1 : 1,77 : 3,01 : 0,58			

3. Desenvolva um traço em massa referido ao kg de cimento a partir dos dados: consumo de cimento ($C = 365 \text{ kg/m}^3$), agressividade ambiental classe – I e teor de areia no agregado total (adote $\alpha = 38\%$). Utilize ainda 45% de brita 25 mm e 55% de brita 32 mm.
- a) Considerando agora que a areia apresente 7% de umidade o que lhe acarreta um inchamento de 28%, apresente o traço calculado devidamente corrigido (traço em volume por kg e por saco de cimento).
 - b) Sabendo-se que em obras menores, os agregados são medidos em volumes, determine a dimensão de padiolas a serem confeccionadas para areia e britas.

- 4.** Dado o traço em massa referido ao kg de cimento e areia seca: 1 : 2,08 : 3,19 : 0,52 e as massas específicas, $\mu_a = \mu_b = 2650 \text{ kg/m}^3$ e $\mu_c = 3100 \text{ kg/m}^3$; pede-se:
- Determine o volume de uma masseira confeccionada com um saco de cimento.
 - Indique a quantidade de material necessário para a confecção de uma estrutura de 15 m^3 de volume.

Aula 5 – Materiais metálicos

Objetivos

Compreender as características dos materiais metálicos.

Distinguir os vários tipos de materiais metálicos utilizados nas construções.

Conceituar ligas metálicas.

Compreender a fabricação do aço.

Conhecer um ensaio de tração em amostra de aço.

5.1 Os metais, as ligas

Uma classificação simples e abrangente divide os materiais em quatro grandes grupos: cerâmicos (pedras, materiais argilosos), poliméricos (plásticos, tintas), compósitos (concreto, cimento amianto, madeira) e metálicos (cobre, alumínio, aço).

Tudo é resultado da forma como os elementos químicos se combinam para a composição desses materiais, e também da maneira como o homem interfere nas combinações, ao criar condições para que elas se realizem através de queima, tratamentos térmicos, entre outros e, no caso dos metais, fazendo as **ligas metálicas**.

Nos materiais metálicos, a ligação química mais importante é a ligação metálica. Nessa ligação, os átomos dos elementos químicos envolvidos se aproximam e alguns de seus elétrons, chamados elétrons livres, rodeiam os átomos, que passam a ter esses elétrons em comum. Ou seja, os átomos se aproximam, os núcleos se agrupam e os elétrons livres formam uma “nuvem” ao redor de todos os núcleos (“núcleos mergulhados num mar de elétrons”). O agrupamento desses átomos é regular, organizado e chamado de **cristal**.

Alguns exemplos de ligas metálicas:

A-Z

liga metálica

Produto metalúrgico que resulta da combinação de dois ou mais metais entre si ou com outros elementos químicos, com objetivo de modificar as propriedades dos metais puros ou atribuir-lhe outras propriedades.

cristal

Em uma definição simples, cristal é um arranjo atômico ou molecular regular e que se repete numa forma periódica nas três dimensões.



Aço = ferro + carbono (abaixo de 2,0%)

Ferro fundido = ferro + carbono (acima de 2,0%)

Bronze = cobre + estanho

Latão = cobre + zinco

Duralumínio = alumínio + cobre + magnésio + manganês

Videa = carbono + tungstênio

5.1.1 Propriedades e aplicações das ligas metálicas

5.1.1.1 Propriedades

O arranjo cristalino dos átomos em um metal sólido juntamente com os elétrons livres resultantes da ligação metálica dá aos metais características importantes, tais como:



A vantagem da utilização da liga é que, normalmente, ela tem propriedades técnicas e mecânicas melhores que as dos metais puros. Por exemplo, o ouro que é visto em jóias está misturado com uma pequena porcentagem de cobre, para que tenha maior dureza e melhor trabalhabilidade, onde as proporções são expressas em quilates. O ouro puro é o de 24 quilates e as ligas são apresentadas como Ouro-18 quilates, Ouro-20 quilates, identificando o teor de ouro e/ou cobre na liga.

- **Alta condutividade térmica** – a condutividade térmica acontece devendo à mobilidade dos elétrons livres que se agitam ainda mais quando o material é aquecido, transferindo o calor para a sua vizinhança através de um processo chamado condução. Isso os indica, por exemplo, para a confecção de panelas.
- **Alta condutividade elétrica** – devido à facilidade de mobilidade, os elétrons livres podem ser colocados em movimentos ordenados, constituindo uma corrente elétrica. Isso os caracteriza como excelentes condutores elétricos, aplicáveis na confecção de fios e cabos elétricos.
- **Plasticidade** – a plasticidade está relacionada com a deformação permanente que ocorre nos metais, ou seja, a capacidade do material em se acomodar a uma nova forma após ser submetido a um esforço externo. Essa deformação permanente é, possivelmente, a mais importante característica dos metais, porque ocorre ruptura das ligações intermoleculares originais devido ao movimento de átomos e moléculas vizinhas que se movem, umas em relação às outras, sem ruptura do cristal. Por ela são fabricadas, praticamente, todas as peças de materiais metálicos.
- **Dureza e resistência mecânica** – a dureza é definida como a resistência da superfície do metal à penetração, tendo ainda uma relação direta com

a resistência mecânica. Há metais extremamente duros como a maioria dos aços, o titânio e o tungstênio, e outros macios como chumbo, cobre e alumínio. Para os aços, dureza e resistência mecânica são propriedades importantes, especialmente, no uso desses materiais na construção civil, onde é necessário aplicar elevados esforços mecânicos.

Somando às propriedades citadas, outras que são específicas de cada liga, é possível conceder aos materiais metálicos inúmeras aplicações na engenharia e até mesmo na medicina como, por exemplo, a utilização da platina e do titânio em placas de emenda de ossos e pinos para implante dentário.

5.1.1.2 Aplicações

- Componentes e latarias de carros, aviões e navios.
- Armadura para concreto armado e protendido.
- Materiais para coberturas estruturais leves.
- Materiais para carrocerias baú, bicicletas, vasilhas.
- Materiais de proteção e de acabamento (telhas, esquadrias, maçanetas, dobradiças, fechaduras para portas, trincos, registros).
- Materiais duros e abrasivos para serras e pontas de brocas.
- Fios e cabos elétricos.
- Elementos de máquinas e motores (eixos, carcaças, mancais, engrenagens) e ferramentas.
- Filamento de lâmpadas, como tungstênio, de alto ponto de fusão.
- Metais preciosos de aplicação em ourivesaria e, metais e ligas para artesanato.



5.1.2 Obtenção dos metais

Os metais podem ser encontrados na natureza puros, assim como Au, Ag, Pt, Cu, S e Hg ou como minerais, quando combinados com outros elementos químicos na forma de um óxido, de um hidrato, de um carbonato e de um sulfeto. Se o mineral for formado por um teor de elemento metálico em que sua exploração econômica seja viável, ele recebe o nome de minério.

Assim:



O ferro existe na natureza combinado com outros elementos, muitas vezes impurezas (CaO ; SiO_2 ; Al_2O_3 ; S ; P ; Mn), constituindo os minerais de ferro. A hematita, seu principal minério, tem grande interesse comercial e industrial, tanto pela abundância como por seu elevado teor de ferro puro (>75%).

Bauxita (Al_2O_3) – minério de alumínio

Blenda (ZnS) – minério de zinco

Cassiterita (SnO_2) – minério de estanho

Cuprita (Cu_2O) e Calcopirita (CuFeS_2) – minérios de cobre

Hematita (Fe_2O_3) – minério de ferro

Piroluzita (MnO_2) – minério de manganês

No nosso estudo, iremos destacar o ferro como principal metal, tanto por sua abundância como por ele formar o aço, a liga metálica mais utilizada em todo o mundo, e que, junto com o concreto, está presente no dia a dia de todas as pessoas.

5.2 Produtos metalúrgicos (e siderúrgicos)

A mineração extraí e beneficia o metal. A metalurgia o transforma em um bem útil que o homem passa a usar na indústria da construção ou no cotidiano do dia a dia.



Figura 5.1: Mineração do ferro

Fonte: http://2.bp.blogspot.com/_AdcHhd669yk/TH-SJMFYorI/AAAAAAAEE0/aB5PMMQXxb4/s1600/4.jpg



Figura 5.2: Indústria metalúrgica

Fonte: <http://www.aprimorar.com/Materiais/38/78.jpg>

Devido ao vasto campo de atuação, a metalurgia foi dividida em metalurgia dos não ferrosos (metalurgia propriamente dita) e metalurgia dos ferrosos (siderurgia).

5.2.1 Metalurgia dos não ferrosos

Ciência que se ocupa com o estudo e a formação de ligas de metais não ferrosos e que, geralmente, são de uso mais nobre que as ligas ferrosas, tais como Cu, Al, Ti, Mg, Au, Pt, etc.

Destacamos na construção civil:



- Os fios de cobre, alumínio e demais componentes para instalações elétricas.
- Os canos de cobre para água quente.
- As estruturas de alumínio para esquadrias, perfis para acabamentos de azulejos e forros de gesso, entre outros.

5.2.2 Metalurgia dos ferrosos (siderurgia)

Ciência que trata do estudo dos aços e do ferro fundido, abrangendo tudo o que nosso instinto tende a chamar de “ferro” ou “lata”. Ambos constituindo os produtos siderúrgicos (liga de ferro-carbono), diferenciados pelo teor de carbono na liga (Quadro 5.1).

Quadro 5.1: Classificação dos produtos siderúrgicos em função do teor de carbono na liga e suas aplicações

Teor de carbono (%)	Produto Siderúrgico	Aplicação
0,20 – 0,30	Aço de baixo teor de carbono	Aços para construção
0,30 – 0,60	Aço de médio teor de carbono	Elementos de máquinas (engrenagens, eixos)
0,60 – 1,20	Aço de alto teor de carbono	Ferramentas
2,00 – 4,50	Ferro fundido	Blocos de motores

Fonte: Adaptada de Petrucci, 1979, p. 220



Acesse o site
www.acobrasil
conheça mais sobre os aços.

5.3 O aço

5.3.1 Mas afinal, o que é aço?

O aço é a liga ferro-carbono obtida a partir do alto-forno, por via líquida. Na sequência do processo de fabricação, recebe a adição de outros elementos em proporções que vão identificar em cada mistura, um aço diferente.



Além dos limites de participação do carbono na liga, outros elementos são inseridos para interferir fortemente nas propriedades dos aços: as adições. A grande variedade de tipos de aço é resultado, principalmente, das várias formas de associação de produtos e respectivas quantidades, além de variação no processo de fabricação.

5.3.2 Como o aço é produzido?

A fabricação clássica do aço (usina integrada) compreende o aproveitamento do minério de ferro de uma jazida, fundido juntamente com o carvão e o calcário no alto-forno, resultando no ferro-gusa. Ainda líquido, passa por beneficiamentos e adições, podendo ser vertido em lingotes para posterior conformação ou ser levado ao leito de laminação para ser transformado em chapas, barras ou nos mais variados perfis estruturais.

Em linhas gerais, distinguimos no processo de fabricação do aço, quatro etapas básicas:

5.3.2.1 Matérias-primas e suas funções

As matérias-primas básicas para a indústria siderúrgica são: o minério de ferro, o carvão e o calcário (todos de aplicação direta no alto-forno) e, ainda, o ferro liga numa fase mais adiantada da produção.

- **Minério de ferro** – no Brasil, a hematita é o principal minério, um óxido fundamental composto de Fe, Si e O onde, numa ilustração simplificada, poderíamos vê-la como uma pedra enferrujada. Esse minério é beneficiado em operações de britagem, peneiramento, moagem e concentração, tornando-se adequado como carga em um alto-forno.
- **Carvão** – podendo ser carvão vegetal ou carvão mineral (hulha), ele atua no interior do alto-forno de três maneiras: como combustível na produção de calor para a fusão do minério, como agente redutor do óxido e como fornecedor de carbono para a liga.

O carvão vegetal é utilizado diretamente no alto-forno, sem tratamento adicional.

O carvão mineral, antes de ser utilizado, passa pelo processo de destilação onde algumas substâncias que o compõe serão separadas. Por este processo, numa parte da usina siderúrgica, denominada coqueria, o carvão mineral é aquecido em fornos a cerca de 1100°C, onde os produtos voláteis são separados para serem reaproveitados posteriormente. O resíduo sólido da destilação da hulha é o coque metalúrgico que será então, aproveitado no alto-forno.

- **Calcário** – o carbonato de cálcio reage, devido à sua natureza básica, com as impurezas contidas no minério de ferro e no carvão, geralmente de natureza ácida, separando-as e tornando o metal mais puro. Esse processo contribui com a formação da escória, subproduto do alto-forno e diminui o ponto de fusão da liga.
- **Ferro-liga** – liga metálica de ferro com outros elementos (Mg, Si, Mn, Ni). Preparada noutra indústria siderúrgica, constitui-se como matéria-prima pronta para ser adicionada em uma fase mais adiantada da fabricação do aço, identificando um tipo específico de aço em produção.



Os elementos voláteis da destilação como os gases e o alcatrão obtidos na coqueria, serão utilizados na indústria de pavimentação, tintas, indústrias químicas de cosméticos e fertilizantes.

5.3.2.2 Redução do minério de ferro (produção do ferro-gusa)

A remoção do oxigênio contido no minério de ferro chama-se redução do minério de ferro, um processo que ocorre no interior do alto-forno com o auxílio do carvão. Carbono e oxigênio formam o monóxido de carbono (CO) que, combinado com o oxigênio libertado pelo minério de ferro, resulta no dióxido de carbono (CO_2), o qual será expelido pela chaminé.

O produto obtido no alto-forno (Figura 5.3) é o ferro-gusa.

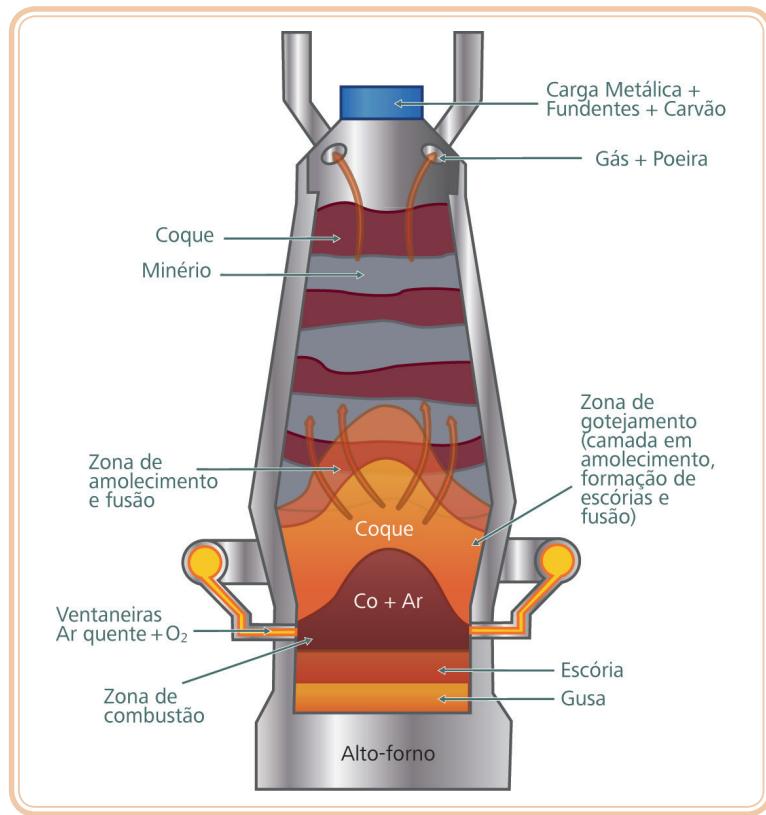


Figura 5.3: Esquema de um alto-forno utilizado na siderurgia integrada

Fonte: CTISM, adaptado de http://www.infomet.com.br/site/img/siderurgia/03/3a_processo.gif



Os alto-fornos são gigantescas estruturas metálicas em formato de tronco de cone, colocados verticalmente e revestidos internamente por materiais refratários. Chegam a medir 50 m de altura por 12 m de diâmetro da base.

No topo do alto-forno situa-se o esquema de carregamento, por onde são lançadas as matérias-primas que caem sobre um colchão de ar extremamente aquecido ($\pm 1700^{\circ}\text{C}$), mantido e soprado pelas ventaneiras. Enquanto caem, as matérias-primas reagem entre si e se fundem, formando assim, uma massa fundida de duas densidades diferentes que se deposita no cadiño, na parte inferior do alto-forno. O ferro líquido, dito ferro-gusa, mais denso e principal produto do alto-forno, é o minério fundido livre de boa parte do oxigênio que lhe compunha, mas ainda apresentando elevado teor de carbono e enxofre. A parte superior dessa massa fundida é uma borra menos densa, a escória.

A escória, subproduto do alto-forno siderúrgico, é composta basicamente de uma mistura de Si, Ca, S, Mn, P, entre outros elementos resultantes das impurezas do ferro, do carvão, do calcário e das cinzas dos combustíveis. Ao ser removido e resfriado, solidifica-se. Porosa, de baixa densidade e de baixa

resistência, encontra aplicações nas construções, como material drenante e de enchimento. Em função de sua composição química e tratamento térmico no resfriamento, pode ser adicionada ao clinquer do cimento Portland, compondo os usuais cimentos com escórias.

O ferro-gusa, saído do alto-forno, contém ainda $\pm 6,5\%$ de carbono e já pode ser moldado, resfriado e enviado a pequenas siderúrgicas como matéria-prima para vários produtos. Nessas pequenas siderúrgicas, ele é reaquecido e purificado em fornos menores, reduzindo-se o teor do carbono e dos outros elementos, sendo utilizado líquido na moldagem direta de peças ou **lingotado** para posterior refusão e moldagem (Figura 5.4).



Figura 5.4: Lingotamento

Fonte: http://www.unainet.com.br/fotos_2010_3/BCV%20FS1%20lingotamento%20FeSi751.JPG

Porém, como ferro-gusa, ainda não é trabalhável. Para que seja possível alguma conformação mecânica, é necessário reduzir ainda mais os teores de carbono, fósforo, sílica e outras impurezas. Essa purificação, chamada refino, se processa na própria usina siderúrgica, dando continuidade na fabricação do aço. Nessa fase, o ferro-gusa será transportado logo após a saída do alto-forno, à uma temperatura de cerca de 1200°C , para a aciaria.

5.3.2.3 Refino

Operação que ocorre na aciaria para purificar e corrigir a composição do ferro-gusa, reduzindo-lhe os teores de C, S e Si a níveis toleráveis. Nesta fase são feitas adições de ferro-ligas em quantidades que caracterizam o produto final, agora sim, aço no estado líquido (Figura 5.5). O material sai dessa operação com temperatura de aproximadamente 1000°C .

A-Z

lingotar

Significa depositar o metal líquido num recipiente chamado lingoteira, onde o metal se resfria e se solidifica, recebendo o nome de lingote.



Figura 5.5: Aciaria (conversor LD)

Fonte: <http://www.novomilenio.inf.br/cubatao/cfotos/ch010b4.jpg>

5.3.2.4 Conformação mecânica

Conformar é dar forma a um produto acabado ou semi-acabado. São utilizadas prensas cuja aplicação de forças causará a deformação plástica no aço. No caso do ferro fundido serão utilizados moldes.

Os aços, ao saírem da acaria, podem ser lingotados em um formato próximo ao formato final ou poderão ainda, seguir para lingotamento contínuo. Se lingotados, serão posteriormente reaquecidos em forno próprio para serem transformados em chapas, blocos ou barras através de um dos processos mecânicos descritos a seguir. Se for por lingotamento contínuo, serão encaiminhados ainda líquidos aos leitos de laminação onde, resfriando-se, passarão pelos mesmos processos.

- **Laminação** – é o processo de conformação mais amplamente utilizado, no qual o lingote reaquecido passa sucessivas vezes por rolos cilíndricos giratórios, recebendo a forma definitiva (semelhante à massa de pastel – Figura 5.6). A laminação pode ser feita a quente (800 a 1200°C) para peças de maiores calibres ou a frio (temperatura ambiente) para peças delgadas, como arames e folhas. Dessa forma são moldadas peças como chapas, barras redondas e perfis T, L, I, H e U.



Telecurso 2000, aula 7,
sobre laminação:
[http://www.youtube.com/
watch?v=oWbWFMpk3tY](http://www.youtube.com/watch?v=oWbWFMpk3tY)

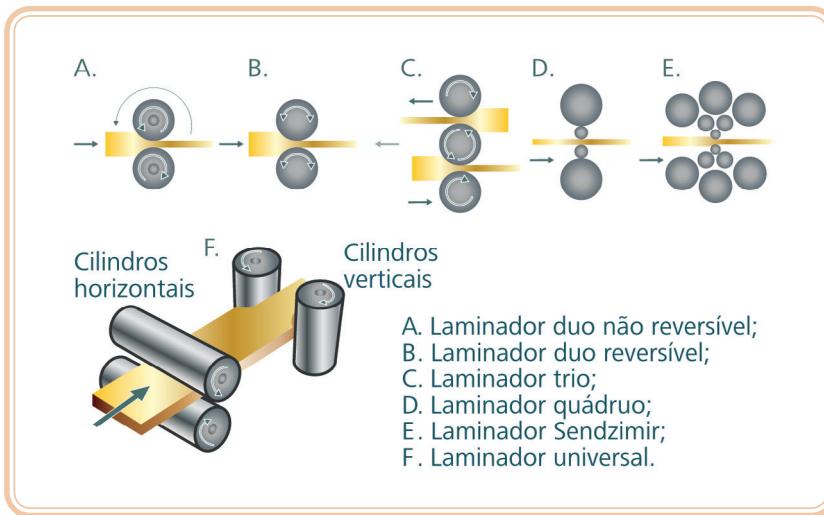


Figura 5.6: Esquema de vários tipos de laminadores

Fonte: CTISM, adaptado de <http://www.estrudena.com.br/img/tabela1.jpg>

- **Forjamento** – é a transformação do lingote reaquecido para uma forma útil, por martelagem, ou seja, rápidos e elevados impactos (ação dinâmica) produzidos por um martelo. Tubos sem costura são obtidos por esse processo, onde um mandril bate e gira simultaneamente no topo de um bloco cilíndrico, perfurando-o.
- **Estampagem** – é o processo de moldagem de peças metálicas onde são utilizadas prensas que aplicam a carga de menor valor de uma maneira mais estática, porém, por mais tempo. É um processo executado a frio e que permite maior exatidão nas medidas. São confeccionadas peças de formatos mais complexos como bacias, baixelas e partes de carroceria para veículos (para-lamas, capô, etc).



Telecurso 2000, aula 9, sobre moldagem por forjamento:
<http://www.youtube.com/watch?v=XBFWDD7Y8-U>



Figura 5.7: Moldagem por estampagem

Fonte: http://pt.made-in-china.com/co_fjcompass/

- **Lingotamento contínuo** – o lingotamento contínuo consiste em verter o metal líquido, saído da acaria, ao longo de um duto refratário até um recipiente de distribuição equipado com uma descarga ajustável que libera o aço líquido dentro de um molde, geralmente do laminador. Enquanto percorre o caminho, o metal resfria-se o bastante para enrijecer e adquirir uma consistência que lhe permitirá sofrer uma deformação plástica. O processo traz grande economia de energia, uma vez que não se necessita reaquecer o lingote.

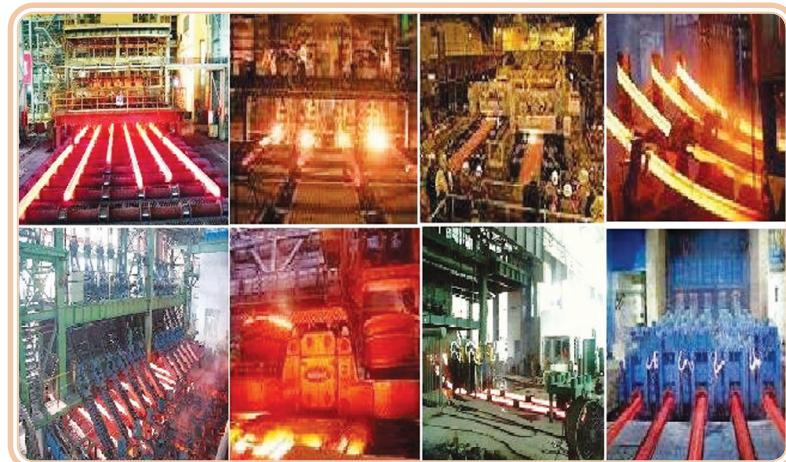


Figura 5.8: Esquema de lingotamento contínuo

Fonte: http://i00.i.aliimg.com/img/pb/813/683/295/295683813_825.JPG



Telecurso 2000, processo de fabricação, aula 2, fundição:
<http://www.youtube.com/watch?v=ZO3o8UGgk8c>

- **Moldagem em formato definitivo (fundição)** – este processo é comum para ferro fundido, onde se usa um molde de areia num contramoldado de madeira. Consiste em encher com o metal líquido a cavidade de um molde das peças a serem obtidas. Pode-se dizer que neste processo de fabricação, têm-se, quanto ao metal, apenas as etapas de fusão da matéria-prima e solidificação do produto acabado.

5.4 Produtos em aço usados na construção civil

5.4.1 Chapas finas e grossas

- **Finas** – são produtos oferecidos pelas indústrias metalúrgicas em medidas padronizadas. Podem ser laminados a frio com espessuras entre 0,3 e 3,0 mm ou à quente com espessuras compreendidas entre 1,2 e 6,0 mm. Geralmente são apresentados em longos comprimentos bobinados com largura acima de 500 mm (Figura 5.9). Normalmente as indústrias siderúrgicas fornecem esse material para metalúrgicas que os transformam em bens utilizáveis, como esquadrias, dobradiças, arruelas ou confeccionam perfis dobrados, nas mais diversas formas.



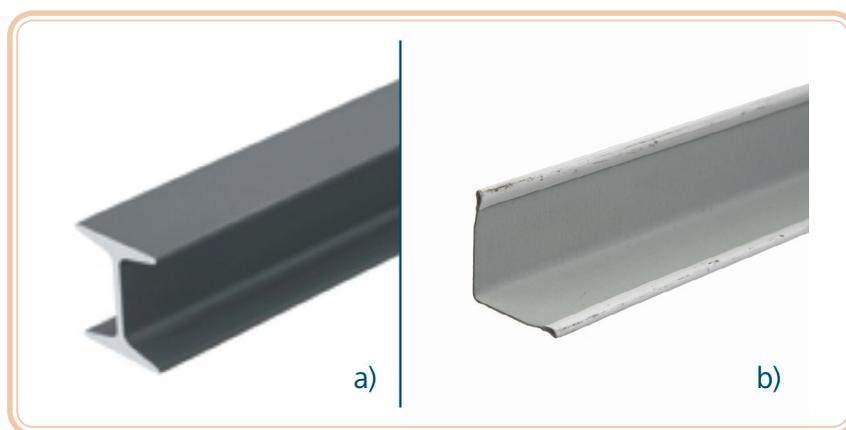
Figura 5.9: Bobina de aço

Fonte: http://img.alibaba.com/photo/267451921/Galvalume_Steel_Coils.jpg

- **Grossas** – são chapas cuja espessura está acima de 6,0 mm. São utilizadas na confecção de perfis soldados.

5.4.2 Aços estruturais

Os aços estruturais são laminados a quente, normalizados e padronizados, tendo como propriedade importante as suas características mecânicas e utilizados em projeto estrutural de edificações. Da mesma forma que os perfis soldados, temos vários aços estruturais, tais como as cantoneiras, barras redondas, barras chatas e os perfis na forma de T, U, H, I e L (Figura 5.10).



Figuras 5.10: (a) Perfil estrutural de aço em I e (b) perfil estrutural de aço em L

Fonte: (a) <http://jctubos.com.br/fotos/31.jpg>

(b) http://www.artesana.com.br/Imagens/produtos/06/101706/101706_Ampliada.jpg

5.4.3 Tubo estrutural e não estrutural

Tubos estruturais e não estruturais constituem grande variedade no mercado e, geralmente, possuem formato de dimensões padronizadas (Figura 5.11). São todos vazados e aplicados em treliças para cobertura, grades, como dutos para água, gás ou condutores elétricos.

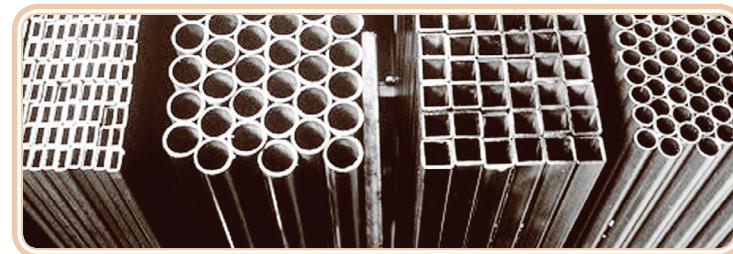


Figura 5.11: Tubos estruturais

Fonte: <http://maquinasindustria.blogspot.com/2011/03/tubos-estructurales-tubos-argentinos.html>

5.4.4 Folha de flandres

Folha fina, muitas vezes já revestida com uma camada de estanho para não oxidar, vulgarmente denominada de lata. É muito trabalhável, facilmente soldável e muito utilizada como embalagem para conserva de alimentos e vários outros tipos de produtos (Figura 5.12).



Figura 5.12: Latas feitas com folha de flandres

Fonte: <http://wilkesbarrecycles.com/residential.html>

5.4.5 Galvanizados ou zincados

Os produtos galvanizados são, em geral, chapas finas submetidas a um banho de zinco fundido, o que lhe proporciona um revestimento mais resistente à corrosão atmosférica. Essas chapas, também chamadas de zincadas, são utilizadas na fabricação de telhas (Figura 5.13), calhas, rufos, dutos de ar condicionado e, ainda, em parafusos e dobradiças.

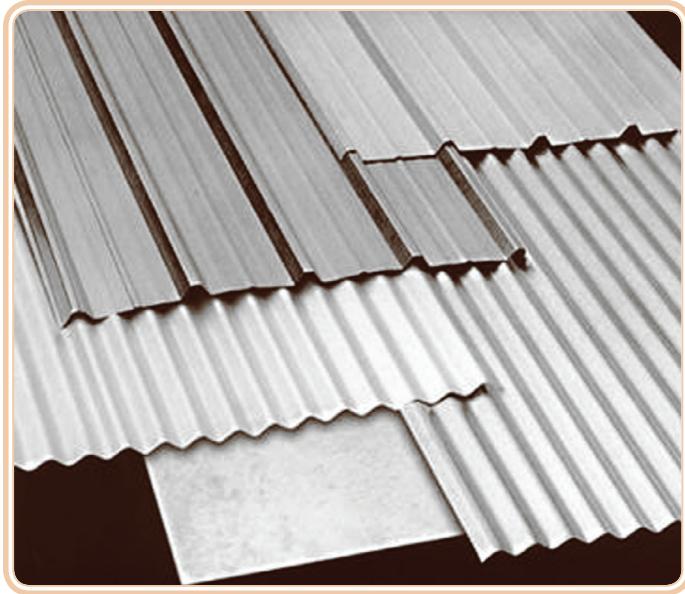
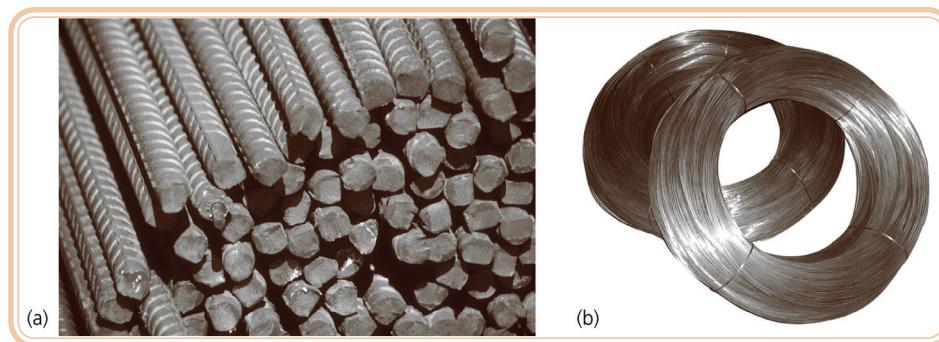


Figura 5.13: Telhas de chapas de aço galvanizadas

Fonte: <http://www.comprasvirtual.com/elviohugoalterio/chapa.htm>

5.4.6 Barras e fios de aço destinados à armadura de concreto

As barras e fios de aço (Figura 5.14) para concreto armado são identificados por CA (Concreto Armado), seguido de um número (25, 50 ou 60) que identifica a categoria de resistência de escoamento desse material em kgf/mm².



Figuras 5.14: (a) Barras de aço para concreto e (b) rolos de fios de aço

Fonte: (a) <http://www.sxc.hu/photo/757531>

(b) <http://image.made-in-china.com/2f0j00jC0tkwohEEip/Non-Galvanized-Steel-Wire-0-2MM-13MM-.jpg>

As barras de aço CA-25 e CA-50 são aços laminados a quente e não recebem nenhum tipo de tratamento após a laminação. Suas características mecânicas são alcançadas apenas pela adequada proporção de seus componentes.

Os fios de aço CA-60 são obtidos a partir do aço CA-50, quando submetidos à **trefilação** ou à laminação a frio.

A-Z

trefilação

É o tratamento mecânico que consiste em puxar o fio através de uma matriz (**fieira** cônica), reduzindo-lhe o diâmetro e alterando-lhe algumas propriedades. A trefilação produz o encruamento, que é o alinhamento dos grãos do aço, tornando-o mais duro e mais resistente, embora mais frágil. O processo é desenvolvido em temperatura ambiente, com material já laminado.

fieira

Material extremamente duro, normalmente carboneto de tungstênio.

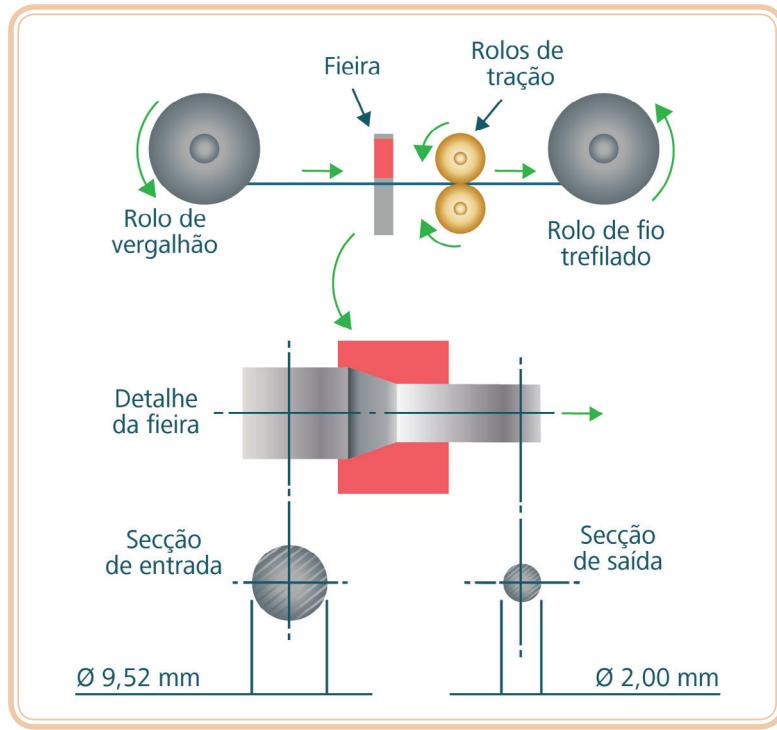


Figura 5.15: Esquema de fio sendo trefilado

Fonte: http://2.bp.blogspot.com/_Mj_j_Y4Hkel/TNlxC8-Uh0I/AAAAAAAACA/JDJhuKqcrYM/s1600/trefila_1.gif

A barra de aço tem diâmetro acima de 6,3 mm e comprimento de 12 m e é obtida por laminação a quente. As barras da categoria CA – 25 devem ser lisas, desprovidas de quaisquer tipos de nervuras ou entalhes. Já as barras da categoria CA – 50 são, obrigatoriamente, providas de nervuras transversais oblíquas para evitar o giro dentro do concreto. As barras são fabricadas nos seguintes diâmetros nominais (mm):

$6,3 - 8,0 - 10,0 - 12,5 - 16,0 - 20,0 - 22,0 - 25,0 - 32,0 - 40,0$



Hoje, somente os fios são encontrados no mercado com $\varnothing < 10$ mm.

O fio de aço possui diâmetro nominal abaixo de 10,0 mm e é obtido por laminação a frio. Podem ser lisos, entalhados ou nervurados, e são produzidos em comprimentos de 12 m ou mais. Fornecidos em feixes ou em rolos, são fabricados nos seguintes diâmetros nominais em mm (NBR 7480:2007):

$2,4 - 3,4 - 3,8 - 4,2 - 4,6 - 5,0 - 5,5 - 6,0 - 6,5 - 7,0 - 8,0 - 9,5 - 10,0$

5.5 Ensaios de materiais metálicos

Ensaiar os materiais significa submetê-los à uma gama de procedimentos normalizados, ou não, com o objetivo de determinar suas características e propriedades físicas, químicas ou mecânicas, de modo a assegurar sua aplicação com economia e segurança.

5.5.1 Ensaios mecânicos

Nos ensaios mecânicos, os corpos de prova são solicitados por esforço de tração, compressão, torção e flexão, geralmente até a ruptura, com carregamento dinâmico ou estático por meio de máquina universal de ensaio.

A escolha do ensaio mecânico mais interessante ou mais adequado para cada produto metálico depende da finalidade de uso, do material, do tipo de esforço que esse material vai sofrer em serviço e, também, das propriedades mecânicas que se deseja medir.

Mas a resistência à tração é, sem dúvida, a principal característica que se espera dos aços para armadura de concreto armado, embora ele resista bastante a todos os esforços mecânicos.

O ensaio de tração consiste em alongar um corpo de prova de comprimento l e seção reta transversal S , por meio de uma máquina de tração (Figura 5.16), onde um mostrador apresenta as cargas F que estão sendo aplicadas. Simultaneamente, são feitas as leituras de deformações Δl que vão sendo produzidas no corpo de prova, por intermédio de um aparelho acoplado ao corpo de prova, denominado extensômetro (Figura 5.17).



Figura 5.16: Máquina de tração

Fonte: http://www.univap.br/graduacao/feau/eng_civil/fotos/foto3.jpg

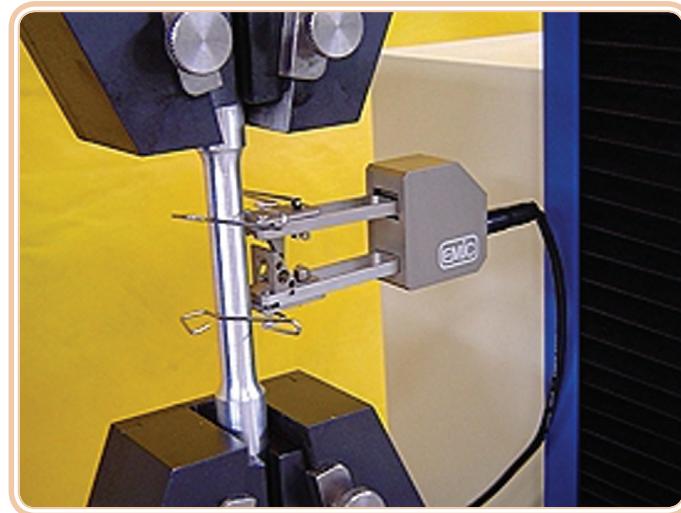


Figura 5.17: Extensômetro acoplado ao corpo de prova

Fonte: http://www.emic.com.br/imagens_site/extensometro.jpg

Com os dados disponíveis antes e após o ensaio, relacionam-se nas Equações 5.1 e 5.2 as seguintes grandezas:

Equação 5.1

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

Equação 5.2

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Onde: σ é a tensão produzida no corpo de prova
 F é a carga (força) lida na prensa
 S é a área da seção transversal do corpo de prova
 ε é a deformação unitária
 Δl é a deformação ocorrida no corpo de prova (lida no extensômetro)
 l é o comprimento inicial do corpo de prova

Assim, durante o ensaio de tração, fazendo crescer lentamente a carga, pode-se determinar satisfatoriamente a resistência do material à tração, anotando-se os valores das cargas e as correspondentes deformações que nos permitirão construir o gráfico $\sigma \times \varepsilon$ (Figura 5.18), já que através das amostras serão conhecidas as grandezas S e l .

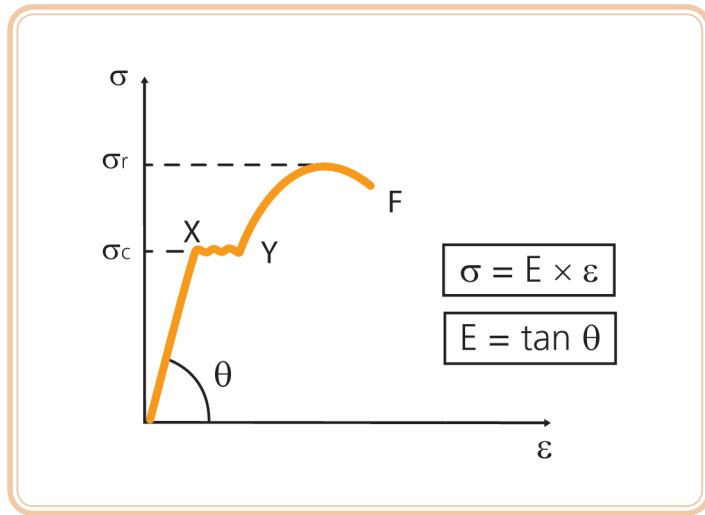


Figura 5.18: Gráfico tensão-deformação apresentando patamar de escoamento

Fonte: Autor

Os aços, quando submetidos a esforço crescente de tração, apresentam curva razoavelmente retilínea até o ponto **X** (Figura 5.18). É a obediência à lei de Hooke, a qual afirma que as deformações são proporcionais às tensões. É a região elástica da curva $\sigma \times \varepsilon$ e nela a inclinação da curva (θ) fornece o E , módulo de elasticidade longitudinal do material ($E = \tan \theta$).

A partir do **X**, não ocorrendo a diminuição da tensão, ocorrerá o escoamento do aço, ocasionando grandes deformações sem, praticamente, nenhum aumento da carga. O ponto **X** determina o fim da zona retilínea elástica e o início da zona plástica, uma vez que as deformações ocorridas a partir daí não desaparecem com a eliminação da carga. A deformação que ocorre entre **X** e **Y** acontece sem ruptura da amostra e equivale ao tratamento mecânico denominado trefilação.

A ordenada correspondente ao ponto **X**, no gráfico $\sigma \times \varepsilon$, é chamada de tensão de escoamento sendo, sob o ponto de vista prático, a tensão limite de trabalho, uma vez que não devemos projetar estruturas que sofram as deformações causadas pelo escoamento do aço, embora eles ainda não tenham se rompido. No ensaio, neste momento, remove-se o extensômetro.

Continuando o ensaio, a partir do ponto **Y**, para se conseguir mais deformação deve-se aumentar a carga (F) e, neste caso, as deformações no corpo de prova acabam assumindo valores tão altos que podem ser visualizados a olho nu. O aumento da carga atinge um valor máximo, passando, em seguida, a decrescer.

No gráfico $\sigma \times \varepsilon$, a ordenada do ponto máximo da curva corresponde ao limite de resistência do material à tração e a parte descendente do gráfico, acusa a estrição do corpo de prova (Figura 5.19), que é o estrangulamento da sua seção transversal na região onde o corpo de prova irá se romper. Na Figura 5.20, podemos visualizar o momento da ruptura do corpo de prova ensaiado.

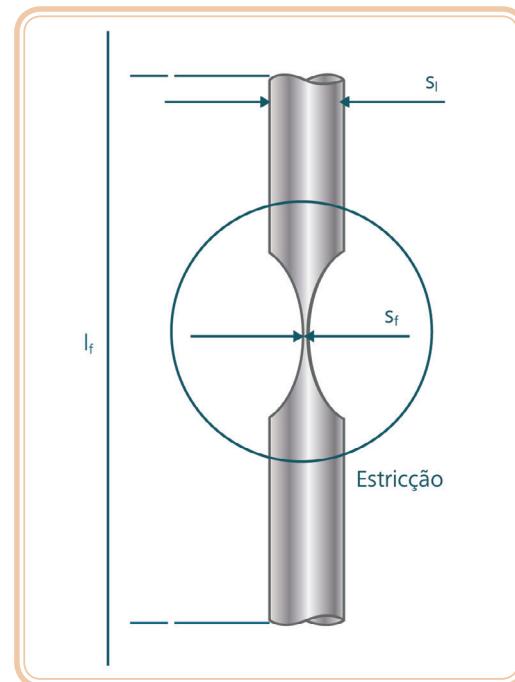


Figura 5.19: Estricção: estrangulamento do corpo de prova
Fonte: Autor

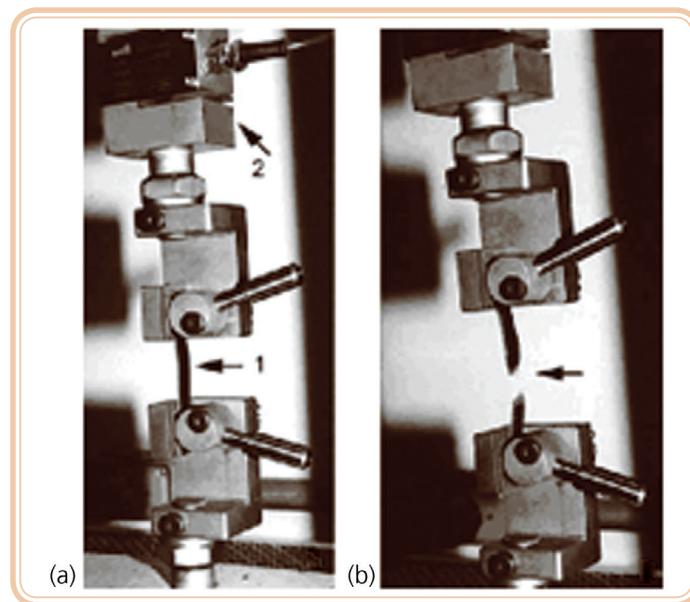


Figura 5.20: (a1) Amostra de aço sendo tracionada, (a2) garras da prensa e (b) ruptura do corpo de prova
Fonte: <http://www.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct33/Figura2.eps.JPG>

É possível determinar nesse ensaio:

- Alongamento, pela equação 5.3:

Equação 5.3

$$\varepsilon \% = \frac{l_f - l_i}{l_i} \times 100\%$$

- Estricção, pela Equação 5.4:

Equação 5.4

$$\varphi \% = \frac{S_i - S_f}{S_i} \times 100\%$$

Onde: l_f é o comprimento final do corpo de prova

l_i é o comprimento inicial do corpo de prova

S_f é a área da seção transversal final do corpo de prova

S_i é a área da seção transversal inicial do corpo de prova

O alongamento e a estricção dão uma ideia quantitativa da ductilidade do material. Se ε e φ estiverem acima de 20%, o aço é essencialmente dúctil, se estiverem abaixo de 10%, é essencialmente frágil.

Entretanto, existem aços que não apresentam patamar de escoamento ou a região do escoamento não é nítida, isto é, desaparece ou torna-se pouco visível no ensaio de tração (Figura 5.21).

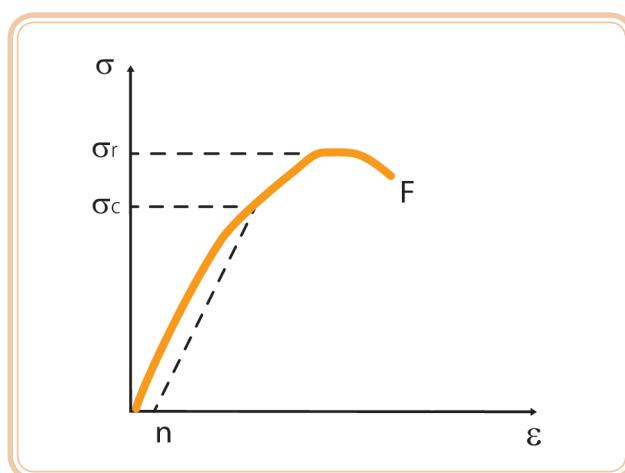


Figura 5.21: Curva tensão-deformação para material sem patamar de escoamento

Fonte: Autor

Nesse caso, determina-se como tensão de escoamento uma tensão fictícia (convencional) que produza uma deformação específica (Δl), permanente e residual, de $n\%$ do comprimento do corpo de prova ensaiado. Genericamente, pela Equação 5.5:

Equação 5.5

$$\Delta l = n\% \times l_i$$

Onde: n é um número convencionado em função do tipo de metal e sua finalidade.

Para o aço de construção, n vale 0,2% ou seja: $\Delta l = 0,002 \times l_i$.

Assim, a tensão de escoamento dos aços de construção que não apresentam patamar de escoamento, é uma tensão capaz de produzir uma deformação residual e permanente de 0,2% do comprimento inicial da amostra ensaiada, ou 0,002 m/m, ou, ainda, 2 mm/m.

Envolvendo deformação e resistência mecânica, surgem algumas características dos materiais que, embora apresente identificação distinta, geram confusões. Vejamos:

- **Ductilidade** – propriedade que identifica a capacidade do material de se deformar plasticamente antes de se romper, tanto em ensaio de tração, quanto em ensaio de compressão. Material que apresenta grande deformação plástica é chamado de dúctil. De uma maneira geral, são dúcteis os materiais metálicos e os materiais poliméricos.
- **Fragilidade** – propriedade que identifica o comportamento do material que se rompe sem apresentar deformações plásticas perceptíveis. Não confunda fragilidade com “fraqueza”, pois muitos materiais são frágeis e, no entanto, só se rompem sob elevadas cargas, como concreto, ferro fundido e muitos aços. São frágeis, mas tenazes. Existem outros materiais que são frágeis e se rompem sob pequenas cargas, como o vidro recozido, o cimento amianto e alguns plásticos. Esses são frágeis e não tenazes.
- **Maleabilidade** – propriedade que identifica material passível de ser transformado em lâmina. Por esta propriedade vários tipos de aços são conformados, principalmente os perfis estruturais, que são tenazes, dúcteis e maleáveis. Também o Au, Ag e Pb são metais maleáveis, porém, não tenazes.

- **Tenacidade** – propriedade que identifica a capacidade de um corpo em absorver energia de impacto sem ruptura. É um conceito muito abrangente e está ligado a várias características físicas, químicas e mecânicas dos materiais. Um material tenaz resiste ao choque, ainda que lhe fique uma deformação residual, como é o caso do aço, da madeira, do concreto e do vidro temperado. Isso quer dizer que um material tenaz necessita de forte pancada para ruir e a tenacidade é a tradução da energia necessária à sua ruptura.
- **Resiliência** – propriedade que identifica no material a sua capacidade de absorção de energia na zona elástica, ou seja, absorção de energia pelo material sem que isso lhe cause deformações residuais. É uma propriedade de maior interesse para materiais poliméricos (plásticos e borrachas).

5.5.2 Ensaios físicos

As propriedades físicas são as características que se alteram quando o estado físico em que se encontra a matéria sofre variação de pressão, umidade, temperatura, incidência de radiação luminosa, etc.

Neste estudo, não faremos descrição dos ensaios físicos, mas é possível obter, se necessário, informações sobre características físicas de materiais em tabelas que são facilmente encontradas.

Resumo

Obtido de matérias-primas como o minério de ferro e carvão, o aço é a liga metálica mais usada no mundo inteiro. O Brasil, além de grande produtor de aço é também grande exportador de minério de ferro. Com tantas qualidades de resistência e beleza, o aço tem o inconveniente de sofrer corrosão, que nada mais é do que a força da natureza procurando trazer de volta para si os óxidos de ferro que lhe foram tirados com o minério.

O aço encontra aplicação marcante quando embutido no concreto, constituindo, então, o concreto armado. Também tem aplicação importante quando é utilizado isoladamente, como estrutura de torres de transmissão de energia elétrica, estruturas de pontes e arranha-céus. Sem deixar de observar, é claro, os aços inoxidáveis de amplo uso como talheres ou baixelas e que receberam tratamentos adequados para melhor resistirem à corrosão. E outros, que de tão simples, nem os notamos no nosso dia a dia, como o grampo para cabelos, o *clips*, os pregos, etc.



Atividades de aprendizagem

1. Identifique com V, se verdadeiro ou F, se falso.

() Laminação é um processo usual para conformação de vergalhões para concreto.

() Bronze é uma liga metálica utilizada na confecção de blocos de motores.

() Aços de médio teor de carbono são utilizados na confecção de ferramentas.

() O produto siderúrgico do alto-forno é o ferro-gusa.

2. O que é trefilação e qual é a sua vantagem?

3. Qual é a diferença entre um aço dúctil e um aço frágil?

Aula 6 – Materiais argilosos

Objetivos

Reconhecer materiais argilosos.

Identificar as propriedades das argilas.

Compreender o processo de fabricação dos materiais argilosos.

Identificar os tipos de fornos utilizados com materiais argilosos.

Distinguir materiais de argila, de louça, de revestimento e refratários.

6.1 Composição dos materiais argilosos

Os materiais argilosos são compostos de uma mistura básica de argila e água, da qual se obtém uma pasta plástica capaz de ser moldada numa forma adequada e que, após secagem lenta, é cozida em temperatura elevada. Os materiais argilosos são materiais que pertencem ao grupo dos materiais cerâmicos.

Nas construções, destacam-se tijolos maciços e furados, telhas, azulejos, pisos e as louças sanitárias (pias e vasos). Outros produtos, como os porcelanatos e os blocos cerâmicos estruturais, estão se estabilizando no mercado em função das qualidades obtidas por modernas técnicas de fabricação e assentamento.

Em muitas outras aplicações situadas em diversos campos tecnológicos, encontramos materiais argilosos designados por cerâmicas avançadas, como a alumina, o carbeto de silício e a zircônia, aplicados como abrasivos, ferramentas, velas para motores e materiais semicondutores em circuitos eletrônicos.

6.2 Argila

6.2.1 Conceito

A argila é um material natural e terroso que se forma na natureza a partir da decomposição das rochas, graças à ação dos agentes de intemperismo (pressão, temperatura e umidade) sobre elas.

As argilas podem variar tanto na composição de seus elementos constituintes, quanto no arranjo dos seus átomos. Na natureza não existem duas jazidas de argila rigorosamente iguais, sendo possível notar, até mesmo, diferenças em uma mesma jazida, o que justifica a grande variedade de tipos de produtos encontrados no mercado para variadas aplicações.

O depósito natural da argila é chamado de barreiro, donde, para a sua exploração, é retirada inicialmente uma camada superficial, em geral uma capa vegetal viva, em que logo abaixo se encontra a argila mais pura e aproveitável para a indústria da cerâmica. Em um processo racional de exploração consciente, a reconstituição da capa vegetal removida, tão logo se esgote a jazida ou parte dela, deverá ser imediatamente feita.



A argila, material inorgânico natural, é terra. Porém, nem toda terra é argila e, por isso, nem todas as argilas servem para a fabricação de materiais argilosos.

São três as condições necessárias para a caracterização geral de uma argila que irá compor um produto argiloso.

a) Possuir elevado teor de partículas com diâmetro inferior a 2 μm (0,002 mm)

Considerando apenas a composição granulométrica, as argilas e outros materiais granulares podem ser distinguidos em função do diâmetro de suas partículas, como mostra o Quadro 6.1.

Quadro 6.1: Classificação de partículas de solo em função de sua granulometria

Material (solo)	Diâmetro das partículas (mm)
Argila	< 0,005
Silte	0,005 – 0,050
Areia	0,050 – 4,800

Fonte: Autor

b) Ser constituída exclusivamente por argilo-minerais

Os argilo-minerais são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, acrescidos em maior ou menor proporção de álcalis e alcalinos terrosos, além de outras substâncias. Os argilo-minerais resultam da desagregação dos **feldspatos** (minerais presentes nas rochas) por ação da temperatura, da água e do gás carbônico.

A-Z

feldspato

Nome dado a um grupo de aluminossilicatos naturais de potássio, sódio, cálcio e bário. Os feldspatos são os minerais constituintes essenciais da maioria das rochas magmáticas e metamórficas.

Numa análise química das argilas, conforme o Quadro 6.2, encontramos principalmente:

Quadro 6.2: Elementos componentes das argilas

Elementos básicos	Impurezas
Sílica (SiO_2): 40 a 80% Alumina (Al_2O_3): 10 a 40%	Óxido ferroso (Fe_2O_3): < 7% Óxido de cálcio (CaO): < 10% Magnésia (MgO): < 1% Álcalis (K_2O ; Na_2O): < 10% Mica, Cálcio, Matéria orgânica, ...

Fonte: Adaptado de Petrucci, 1979, p. 4

Os compostos chamados de impurezas influenciam nas propriedades das argilas e dos respectivos produtos finais, alterando a plasticidade da massa crua, a refratariiedade ou a resistência mecânica da peça pronta.

- A sílica não combinada, presente como areia, apesar de indesejada, é importante, pois diminui o efeito da retração na secagem e na queima. Seu excesso dificulta a moldagem, mas aumenta a quantidade de vidro formado no produto, se também existirem **fundentes** na mistura.
- Se a argila for usada como refratária, não poderá conter fundentes em sua composição (CaO ; FeO ; MgO ; K_2O ; Na_2O), pois a porosidade não comunicável, é fundamental para a refratariiedade.
- Se a argila for usada para a confecção de porcelana fina, não deverá conter óxidos de ferro (FeO ; Fe_2O_3), porque eles conferem uma coloração ferruginosa à peça.
- Os compostos alcalinos (Li; Na; K) diminuem a plasticidade e os seus sais (K_2SO_4 ; Na_2SO_4 ; NaCl ; Na_2CO_3), por serem solúveis, podem sofrer **lixiviação** pela ação da umidade, dando o aspecto esbranquiçado de má aparência na superfície, são as **eflorescências**.
- A matéria orgânica, comum nas argilas, aumenta a porosidade e a retração na queima.

c) Tornar-se plástica quando úmida; dura e rija, quando seca e resistente quando queimada

Plasticidade é a capacidade que a argila umedecida tem de ser moldável e de conservar a forma moldada. Uma argila é dita como mais plástica, quanto maior for sua capacidade de ser moldada em vários teores de umidade.

Essa é uma das características mais importantes da argila, pois ela resultará na facilidade da moldagem e refletirá em todas as (boas) qualidades do produto final, que secará sem trincar e queimar sem se deformar.

A-Z

fundente

Os fundentes são substâncias que auxiliam na formação de uma massa viscosa em temperaturas mais baixas (900°C) e, resfriando-se, prendem os grãos minerais e preenchem poros existentes na mistura, tornando-a mais densa, mais resistente e menos permeável.

lixiviação

Operação que consiste na separação de sais contido numa substância.

eflorescência

Formação de aspecto esbranquiçado na superfície devido à lixiviação de sais solúveis que são carregados pela água em razão da exsudação.

A plasticidade da argila varia conforme a quantidade de água misturada para a confecção da pasta, com o tipo de argila, tamanho e formato do grão e com a inclusão de outros materiais na mistura, além dos argilo-minerais.

Existem substâncias que alteram a plasticidade das pastas argilosas. Carbonatos e hidróxidos sódicos, além de tanino e húmus podem aumentar a plasticidade das argilas, enquanto que areia e soluções salinas podem diminuí-la.

6.2.2 Classificação

6.2.2.1 Em função dos argilo-minerais predominantes

- **Cauliníticas** – grupo de argilas puras, procedentes da ação intempérica sobre os feldspatos. São argilas chamadas de caulim, compostas basicamente de silicatos hidratados de alumínio, prestando-se à confecção de produtos mais nobres, como: porcelanas, louças sanitárias, materiais refratários, na indústria de papel e de medicamentos, além de muitas peças elétricas/eletrônicas (como as velas para motores de veículos). São as mais raras, de grãos mais grossos e adquirem a coloração branca após a queima, embora possam ter qualquer cor “*in natura*”.
- **Ilíticas** – grupo de argilas mais generalizadas, formadas por um silicato de alumínio hidratado com elevado teor de óxido de potássio. Muitas contêm mica em abundância, sendo então designadas por **micáceas**. São as argilas mais abundantes e de aplicação na fabricação de tijolos, telhas, manilhas, lajotas, etc. Apresentam-se na cor vermelha após a queima, devido à presença do óxido de ferro.
- **Montmoriloníticas** – grupo de argilas expansivas originárias de cinzas vulcânicas que, devido ao seu grande poder de inchamento, são pouco utilizadas isoladamente, mas que se aplicam misturadas às anteriores a fim de lhes corrigir a plasticidade. Possuem os grãos extremamente finos e têm aplicações industriais, como: clarificação de óleos vegetais e minerais, perfuração de poços de petróleo, pelotização de minérios e fabricação de fertilizantes. É o mineral predominante na vermiculita, bentonita e saponita, sendo de grande potencial comercial e industrial embora menos exploradas.

6.2.2.2 Em função da temperatura de transformação

- **Fusíveis** – são as argilas que se deformam e se vitrificam em temperaturas abaixo de 1200°C. São as mais importantes para a construção, pois delas se fabricam o maior número de produtos, comumente chamados

A-Z

micáceas

Designação das argilas constituídas por silicatos de alumínio e de metais alcalinos (Li, Na, K) aos quais, frequentemente, se associam magnésio e ferro.

de produtos de argila vermelha, uma vez que adquirem essa coloração após a passagem pelo forno.

- **Infusíveis** – são argilas constituídas de caulim puro e utilizadas na fabricação de porcelanas e louças sanitárias. Os produtos confeccionados com estas argilas são designadas por cerâmicas brancas por tornarem-se claras após a queima no forno. Vitrificam-se entre 1200 e 1500°C.
- **Refratárias** – são argilas puras que só se transformam estruturalmente em temperaturas acima de 1500°C. Têm baixo coeficiente de condutibilidade térmica e são utilizadas na confecção dos tijolos refratários, empregados em revestimento de fornos e construções de chaminés. São cerâmicas importantíssimas para um país, pois todos os materiais produzidos em altas temperaturas como cimento, aço e vidro, dependem delas.

6.3 Processo de fabricação

A indústria cerâmica é uma indústria de processo químico e envolve três etapas, como mostra a Figura 6.1:



Figura 6.1: Diagrama esquemático do processo de fabricação do material cerâmico
Fonte: Zandonadi, 1992

6.3.1 Preparo da matéria-prima

Conforme visto anteriormente, cada tipo de produto requer um tipo próprio de barro e, como as jazidas de argila são diferentes, é possível obter uma grande variedade de produtos, encontrados hoje no mercado.

Preparar a matéria-prima consiste em eliminar parte das impurezas presentes na argila, minimizando os efeitos nocivos que porventura apareceriam durante a fabricação ou no produto final.



6.3.1.1 Processos naturais

- **Mistura** – nada mais é do que a adição de outras argilas, ou outras substâncias, à argila recém-extraída com a finalidade de corrigir nela certos aspectos para melhorar a sua granulometria, sua plasticidade na moldagem e a sua resistência na queima.

- **Meteorização** – é o simples processo de submeter a argila recém-extraída à ação do sol e da chuva. Ficando o material descoberto, sofrerá desagregação dos torrões, lavagem e também alívio das tensões ocorridas na exploração, melhorando a trabalhabilidade da massa. É um processo rudimentar cujo maior problema é a área disponível, além do tempo de espera de cerca de quatro meses para utilização do produto. Porém, é uma etapa indispensável.
- **Amadurecimento** – é o tratamento a que se submete a pasta, que fica abrigada das intempéries por cerca de vinte e quatro horas, para a uniformização da umidade.

6.3.1.2 Processos mecânicos

Os processos mecânicos são os beneficiamentos empregados na fábrica, utilizando-se máquinas e equipamentos adequados, com a finalidade de aumentar a produtividade e a qualidade do produto final. Não se deve desprezar, contudo, pelo menos um ou dois dos tratamentos naturais, geralmente a mistura e/ou meteorização.

- **Trituração** – é o esboroamento dos torrões da argila e a redução do tamanho dos grãos de pedriscos que, geralmente, vêm juntos na extração. É uma etapa executada em moinhos ou em dispositivos que possam eliminar o material grosso indesejável. A moagem é importante porque aumenta a superfície específica dos grãos, aumentando o contato entre eles e propiciando o aumento da reatividade química no interior do forno em temperaturas elevadas.
- **Peneiramento** – é a passagem da argila por peneiras adequadas, eliminando raízes, folhas e pedriscos, separando os grãos de tamanho inadequado. Geralmente, é feita em circuito fechado com a Trituração, voltando ao moinho o que não passou pela peneira.
- **Amassamento** – é a homogeneização da argila com água, obtendo-se a pasta com índice de umidade adequada à moldagem do produto argiloso.
- **Laminação** – tratamento da pasta que consiste em fazê-la passar por entre dois rolos cilíndricos metálicos, os quais desenvolvem velocidades diferentes para melhor homogeneidade e maior densificação da massa. Este processo é indicado para material cerâmico moldado com baixos teores de umidade, onde a porosidade deve ser diminuída.

6.3.2 Conformação

É a operação de moldagem das peças que consiste em dar a forma desejada ao produto final, estando diretamente ligada ao teor de umidade da pasta.

O teor de umidade ($h\%$) é a quantidade de água presente no material, normalmente expresso em porcentagem em relação à massa do material seco (relembre o conceito do teor de umidade no item 3.3.1 de agregado).

A quantidade de água na pasta para a moldagem tem grande importância na qualidade dos produtos. Por isso, deverá ser apenas a quantidade necessária e suficiente para evitar a retração na secagem, trincas na queima e gastos desnecessários de combustíveis nos fornos. A tendência é de se moldar a pasta com a menor quantidade de água possível, uma vez que ela deverá sair do produto posteriormente.



Destacaremos três processos básicos de conformação em função do teor de umidade da pasta de argila.

6.3.2.1 Argila seca ou semi-seca ($h < 8\%$)

A pasta é moldada por prensas cujas capacidades de pressão variam de 5 a 70 MPa. É um processo de simples operação e grande produção, porém de elevado custo. As peças obtidas possuem a melhor qualidade por se tornarem menos porosas e mais resistentes, sendo utilizadas na fabricação de azulejos, pisos, pastilhas, refratários, isoladores elétricos, lajotas e algumas telhas como as do tipo "francesas".

6.3.2.2 Argila plástica ($8\% < h < 25\%$)

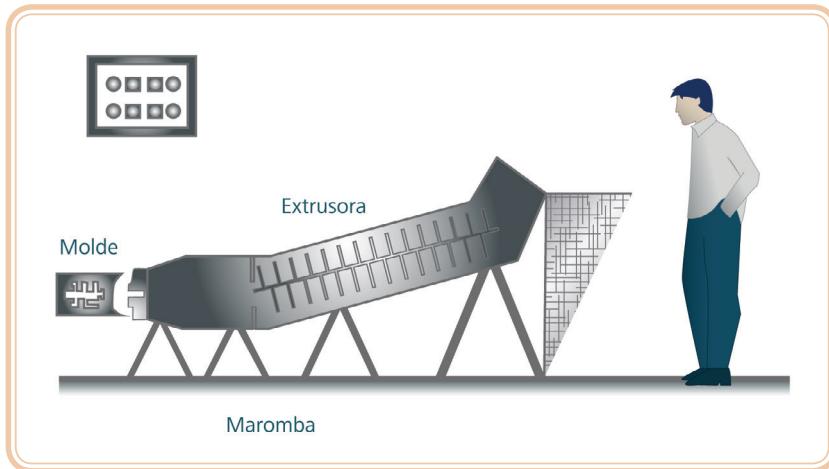
A argila plástica é subdividida em: argila mole e argila rija.

- A **argila mole** constitui o mais antigo processo de moldagem. São fabricados de maneira manual e artesanal, tais como: os tijolos maciços, as telhas coloniais, os vasos para plantas e os filtros para água.
- A **argila rija**, com menor teor de umidade é, normalmente, moldada por extrusão, numa **maromba**. A pasta mais enrijecida é forçada a passar sob pressão através de uma boquilha que funciona como molde para a cerâmica, formando uma coluna uniforme e contínua (Figura 6.2).

A-Z

maromba

Termo que identifica inúmeros artifícios e procedimentos. Aqui, apenas máquina de fabricar materiais de argila (tijolos e telhas).



A-Z

extrusora

Máquina de laminção e refinação que empurra o material na maromba.

Figura 6.2: Esquema de uma maromba com sua extrusora e bocal

Fonte: Autor

A coluna é cortada no tamanho desejado por uma guilhotina de arame. É um processo usual para fabricação de tijolos furados e tubos cerâmicos, entre outras peças. Constituem materiais de boa qualidade no que diz respeito às resistências mecânicas, devido ao menor índice de porosidades, além de serem materiais mais leves, graças à possibilidade de fabricação de peças vazadas.

6.3.2.3 Argila líquida ($h > 25\%$)

A moldagem da argila fluida (ou líquida) é identificada por um processo chamado barbotina, utilizado na fabricação da porcelana, louças sanitárias, cerâmicas elétricas e peças de formato complexo.

A-Z

suspensão

Sistema químico constituído por uma fase sólida de partículas grosseiras imersas numa fase líquida.

Forma-se uma **suspensão** de argila em água onde se usam produtos químicos chamados defloculantes que evitam a coagulação das partículas sólidas. Essa mistura é vertida num molde poroso de gesso que absorve a água da pasta (Figura 6.3). Os grãos de argila aglutinam-se e, quando seco, descolam-se do molde. A descolagem ocorre tanto pela retração da peça, quanto pela utilização de ar comprimido soprado no molde.



Para moldagem de pasta fluida são utilizados produtos químicos (defloculantes) que permitem a obtenção de uma pasta facilmente vertível em moldes com teores de umidade entre 28 e 30%. Só para efeito comparativo saiba que, para uma massa extrudável, sem uso de defloculantes, a composição de água está entre 20 a 25%.

Figura 6.3: Argila fluida sendo vertida no molde

Fonte: <http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSOipMzkbauXHVEh4XJ6yTtF71vnKjtDFOWHzbSVB01EP0qd3ubKw>

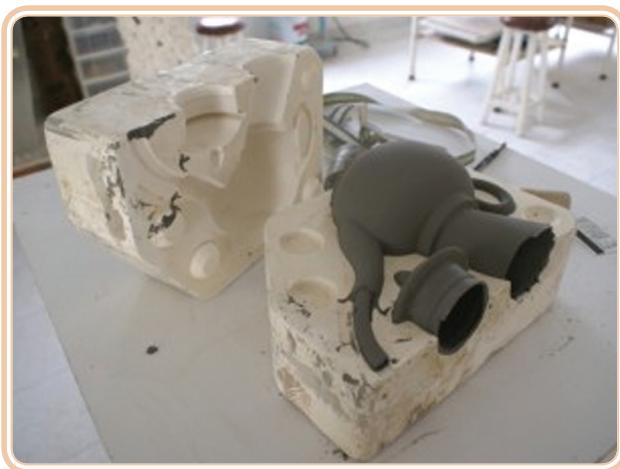


Figura 6.4: Peça semi-pronta após molde aberto

Fonte: <http://moldesyeso.files.wordpress.com/2010/10/img51.jpg>

6.3.3 Tratamento térmico

Inclui a secagem e a queima do produto argiloso.

6.3.3.1 Secagem

A secagem é a remoção da água que deu plasticidade à argila para a moldagem do produto.

Após a moldagem da peça, a água que concedeu plasticidade à ela começa a evaporar, deixando vazios entre os grãos que acabam se aproximando e

provocando a retração da peça moldada. Um fenômeno que se não for bem controlado torna-se nocivo, porque não sendo uniforme em todas as direções, torce o material, deformando-o.

O processo do tratamento térmico se inicia por uma secagem natural, seguida pela secagem forçada onde a temperatura poderá alcançar 85°C.

- **Secagem natural** – secagem que acontece pela exposição do material ao ambiente, porém, protegendo-o da ação direta do sol, ventos e chuvas. A secagem natural, em épocas ou ambientes de mais alta umidade, auxilia a peça a evitar deformações e trincas, por ser conduzida com mais lentidão. Muitas vezes é levada a efeito em galpões próximo aos fornos donde se aproveita o calor gerado pelo mesmo. Essa secagem deve ser conduzida lentamente, podendo durar de uma a duas semanas. Após esse processo, a peça adquire resistência mecânica, conhecida como "resistência a verde" e poderá ser manuseada, mas com muito cuidado.



O segredo de uma boa secagem é sempre a circulação do ar quente por todas as faces da peça moldada. Isso porque uma forma diferenciada de distribuir o calor, pode produzir uma evaporação também diferenciada que leva a diferentes contrações nos planos de secagem, originando empertos e trincas.

- **Secagem forçada (ou artificial)** – é a secagem por ar quente e úmido que acontece dentro de um galpão, onde são lançados os gases quentes vindos do interior do forno antes de serem encaminhados às chaminés. É mais rápida, mais econômica e alcança maiores temperaturas.

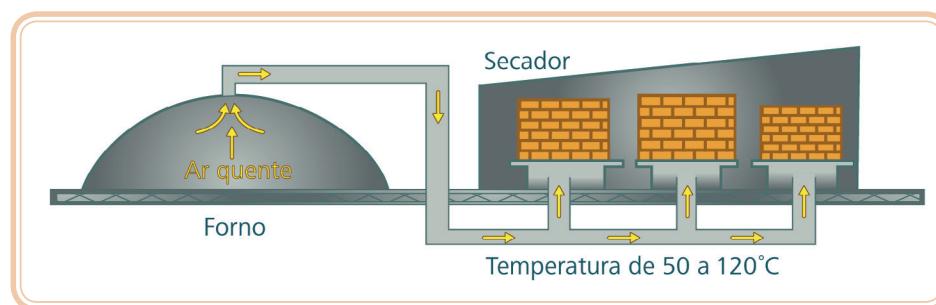


Figura 6.5: Esquema de um secador que aproveita os gases quentes do forno
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Geralmente, os fornos já são construídos com dispositivos de recolhimento do ar quente que, por ser mais leve, se desloca para a parte superior do mesmo. Através de um sistema de exaustores, esse ar é lançado nos galpões de secagem onde se encontram as peças que constituirão a próxima fornada. Essa secagem leva em média dois dias.

Formas semelhantes de secagem forçada são executadas nos túneis de secagem onde o material é deslocado sobre carrinhos ao longo do túnel, recebendo ar quente durante sua passagem, antes de serem levados aos fornos.



Figura 6.6: Túnel de secagem

Fonte: <https://www.cartabndes.gov.br/cartabndes/PaginasCartao/ConsultaIMG.asp?CodImagem=744343>

6.3.3.2 Queima

A queima do material argiloso é executada no interior do forno em temperaturas que variam entre 850 e 1200°C. Nessas temperaturas, o calor “solda” os grãos de argila devido à formação de vidro. O alcance da temperatura e o tempo de permanência no interior do forno têm íntima relação com as propriedades de resistência mecânica, absorção de água e contração linear do produto cerâmico obtido.

Durante a queima distinguimos quatro fases básicas:

- **Desidratação** – é a perda de toda a água presente nas peças argilosas e se desenvolve em temperaturas de 80 a 600°C. Elimina-se desde o restante da água de plasticidade, até a água de constituição que faz parte da estrutura da argila e que se encontra separando as camadas de sílica e alumina.
- **Oxidação** – fase em que os produtos de cálcio e magnésio se transformam em óxidos, formando CaO, MgO e FeO, responsáveis pela futura formação do vidro. Nesta fase há o rompimento da rede cristalina, passando o material para o estado **amorfo**. Processa-se entre 600 e 950°C.
- **Vitrificação** – com o calor no interior do forno ultrapassando os 950°C inicia-se esta 3^a fase da queima, onde as peças de cerâmicas fusíveis tem os grãos aglutinados por uma massa vítreos que lhes conferirá dureza, resistência e compacidade.

A-Z

amorfo

O estado amorfo da matéria é caracterizado pela ausência de ordem na distribuição das moléculas ou átomos que o constituem. Gases e líquidos estão em estado amorfo. Na matéria sólida, o estado amorfo é um estado rígido, desordenado, que diferencia-se do estado cristalino.

- **Sinterização** – constitui uma fase de queima mais avançada dos produtos argilosos, onde a temperatura ultrapassa os 1150°C. Nesta etapa ocorrem novas reações químicas entre os componentes amorfos, resultando em novos compostos, agora cristalizados. É a cerâmica propriamente dita.

6.4 Tipos de fornos

A-Z

intermitente

É o forno que necessita de trabalho intercalado de carregamento de material, acendimento do forno, queima da carga, apagamento do forno, resfriamento da carga e descarga.



Assista ao vídeo Telecurso 2000, aula 19, Materiais – Cerâmica:
<http://www.youtube.com/watch?v=EreQmp5tPw8>

6.4.1 Forno contínuo – tipo túnel

É um forno de carga móvel e que tem a forma de um túnel, no meio do qual se localiza a câmara de queima (Figuras 6.7 e 6.8).

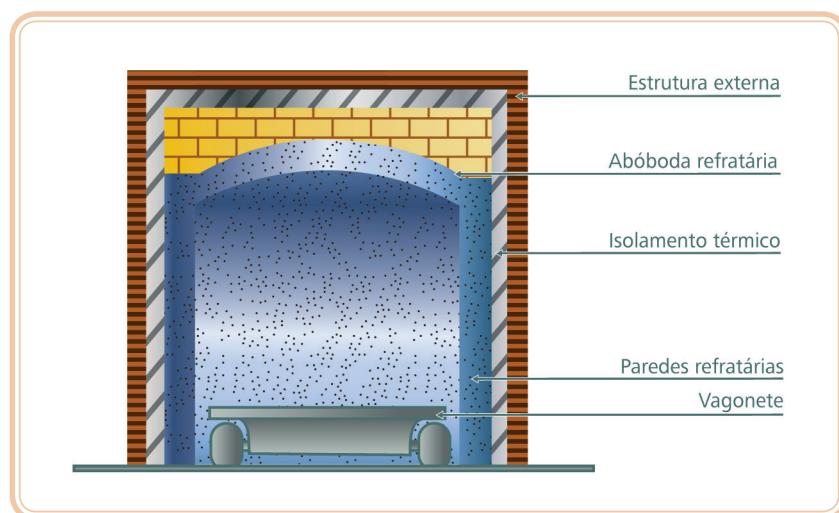


Figura 6.7: Esquema da seção transversal de um forno contínuo tipo túnel

Fonte: CTISM, adaptado do autor

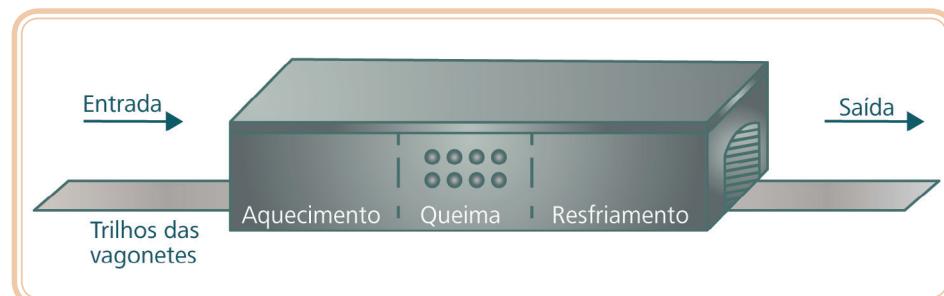


Figura 6.8: Esquema da seção longitudinal de um forno contínuo tipo túnel

Fonte: CTISM, adaptado do autor

As peças a serem queimadas são colocadas sobre vagonetes ou esteiras metálicas (Figura 6.9) que avançam em direção às chamas, afastando-se posteriormente. Enquanto, periodicamente, uma vagonete entra por um lado, outra vagonete sai pelo lado oposto do forno, após ter atravessado as várias zonas de aquecimento e de resfriamento.

Na parte central do forno está a zona de queima. O tempo de passagem pelo forno varia conforme o tamanho do forno e o tipo de produto. Pisos e azulejos atravessam um forno de poucos metros em cerca de uma hora ou menos, enquanto que materiais sanitários podem levar até doze horas, para percorrer um forno que ultrapassa vinte metros de comprimento.



É interessante ressaltar que para os produtos cerâmicos esmaltados e de cores diversas, a cor da peça só será reconhecida após a passagem pelo forno, embora já seja a cor esperada. O esmalte é aplicado por pulverização na peça seca após a moldagem, mas somente após as reações químicas ocorridas sob a ação do calor do fogo, adquire a cor final e definitiva.

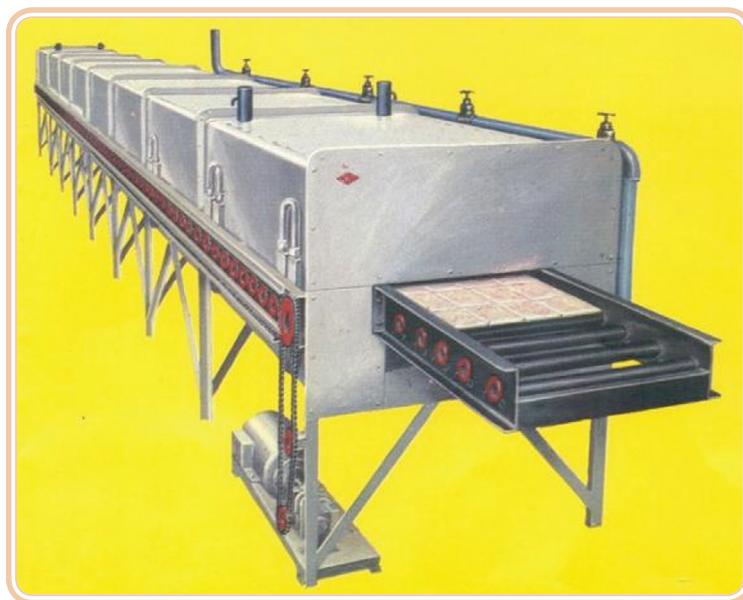


Figura 6.9: Forno contínuo para ladrilhos

Fonte: http://images01.olx.com.br/ui/4/99/68/48209168_1-Imagens-de-FORNO-para-Ceramica.jpg

6.4.2 Forno intermitente

Um tipo comum é o forno de chama ascendente, também conhecido como forno caipira (Figura 6.10). São fornos típicos para queima de cerâmica vermelha, comuns nas olarias de pequeno e médio porte.

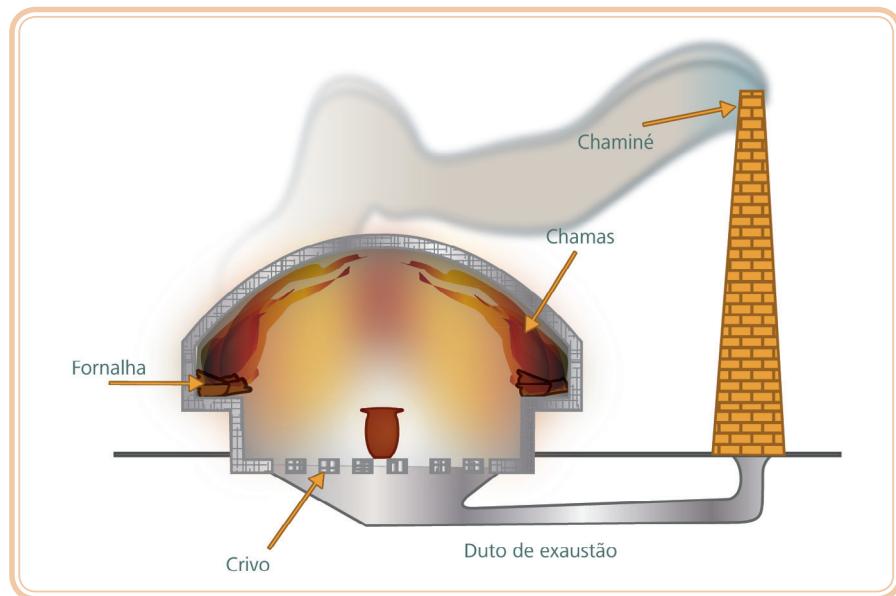


Figura 6.10: Forno intermitente de chama invertida – caipira

Fonte: CTISM, adaptado de Kloss, 1991, p. 58

Após a enfora, o material é queimado à lenha, sendo os gases quentes conduzidos por meio de dutos até a chaminé ou aos depósitos onde se encontram outros materiais em fase de secagem.



Quando os produtos mais nobres são queimados, como as telhas e as manilhas, é comum proteger as peças das chamas com tijolos que, por receberem diretamente a chama, tornam-se, muitas vezes, requeimados.

Uma vez pronta a carga, os vãos de entrada do forno são vedados por tijolos, ateando-se fogo à lenha depositada nas fornalhas. Pode haver controle de temperatura, através da visualização do empeno de "cones pirométricos", colocados junto com a carga e facilmente vistoriáveis por portinholas metálicas. Também é comum o simples e prático controle pelo conhecimento do tempo de permanência do material no forno, geralmente entre trinta e sessenta horas.

Esse tipo de forno tem o inconveniente de apresentar diferentes temperaturas em seu interior, ou seja, enquanto a parte superior chega a 1000°C a parte inferior fica em até 400°C abaixo. Essas diferenças térmicas ocasionam diferenças de cor, de resistência e de dimensão nas peças em produção.



O material cerâmico esfriado é composto por partículas inertes cristalinas ligadas entre si por uma massa vítreia, amorfia. A qualidade de um artigo cerâmico depende muito da quantidade de vidro formado: pouca nos tijolos e telhas, mas grande nas porcelanas e louças sanitárias, principalmente porque o alcance da temperatura nos fornos para estes produtos supera 1200°C.

6.5 Produtos argilosos para a construção

6.5.1 Materiais de argila

Os materiais de argila são basicamente os de cerâmica vermelha (tijolos, telhas, lajotas, manilhas), com baixo valor aquisitivo e de grande produção e circulação. As indústrias ficam próximas às jazidas e ao mercado consumidor. A cor vermelha é resultado da oxidação dos compostos ferrosos presentes na argila.

Esses materiais podem ser vidrados se houver o lançamento de cloreto de sódio (NaCl) no interior do forno quando o produto estiver em adiantada fase de queima. Sobre a superfície da peça, será produzida uma camada mais avançada de material vitrificado, onde o sódio se deposita e o cloro volatiliza, sendo lançado na atmosfera pela chaminé.

6.5.1.1 Tijolos cerâmicos

Também conhecidos como blocos, são muito utilizados nas edificações para construção de alvenarias, apresentando dimensões bastante variáveis.

Distinguimos os maciços e os furados. Os tijolos maciços (Figura 6.11) são tradicionalmente fabricados de forma artesanal, em pequenas olarias, com pastas muito úmidas e queima em baixas temperaturas (800 a 900°C). Obtém-se um produto poroso, de baixa resistência mecânica e pesado, por causa das suas dimensões: tudo isso devido a um baixo beneficiamento da matéria-prima e a um processo de produção ineficiente.



Figura 6.11: Tijolos maciços

Fonte: http://images02.olx.com.br/ui/11/65/61/1303839453_192366461_2-tijolo-macico-demolicao-Tangua.jpg

Não obstante, existem tijolos maciços de boa resistência mecânica que trazem consigo outras vantagens, como: melhor isolamento térmico e acústico, menor absorção de umidade e, até mesmo, possibilidade de serem aplicados sem revestimento posterior, deixando uma das faces da alvenaria à vista.

Os tijolos furados (Figura 6.12) apresentam canais de seção redonda, quadrangular ou hexagonal ao longo de qualquer um dos seus eixos. São moldados por extrusão e queimados nos fornos onde a temperatura alcança de 900 a 1050°C. Produzidos por processos mais elaborados, exigem matéria-prima de melhor qualidade, os quais conduzem a um produto final mais confiável. Uma primeira avaliação de sua qualidade pode ser feita pelo estudo do som percutido pelo choque de um martelo. O tinido metálico indica massa coesa e resistente ao passo que, o som chocho indica a presença de vazios e descontinuidade de massa. Os tijolos de assentamento com o furo vertical são considerados estruturais por apresentarem melhor resistência mecânica à compressão.



Figura 6.12: Tijolos furados

Fonte: http://www.sxc.hu/pic/m/g/guitargoa/1193274_bricks.jpg

6.5.1.2 Telhas cerâmicas

As telhas cerâmicas, assim como os tijolos vazados, são constituídas por argilas ricas em ilita, de melhor seleção e preparo mais cuidadoso a fim de destacar certas propriedades como resistência mecânica e baixa permeabilidade.

As telhas do tipo francesa, também chamadas de Marselha, são obtidas por prensagem de plaquetas extrudadas. Pesam em média 2 kgf por unidade e são necessárias, em média, 15 unidades por m² de telhado, sendo muito usuais em construções (Figura 6.13). Devido ao próprio formato, elas se prendem ao engradamento fixando-se umas às outras, necessitando apenas de um arremate lateral em massa e na cumeeira, uma peça que compõe o telhado.



Figura 6.13: Telhas francesas

Fonte: <http://www.madeireiradellagracia.com.br/outrosprodutos/Telha%20Francesa.jpg>

As telhas do tipo colonial, cujo nome é uma referência à sua chegada no Brasil, vindas como lastro no fundo dos navios, são telhas também de uso bastante generalizado (Figura 6.14). Essas telhas são assentadas, umas com a concavidade para cima (bica ou canal) enquanto outras, com a concavidade para baixo (capa) sobre as primeiras. São amplamente difundidas em regiões de conjuntos coloniais e fabricadas por processo artesanal nas pequenas olarias, mas também produzidas pela extrusão da massa plástica.

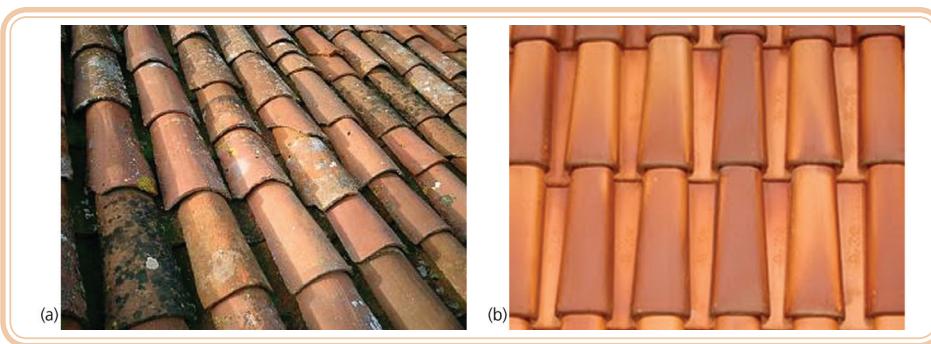


Figura 6.14: (a) Telha colonial curva e (b) telha colonial plana

Fonte: (a) <http://amigosdacuba.no.sapo.pt/fotoscasa/Casas14a-telha%20tradicional%20de%20canudo.JPG>

(b) https://lh3.googleusercontent.com/-0oI-WICR2xg/TX4tkbVjdxI/AAAAAAAQKQ/5SbLerubjlk/s320/3_plan.jpg

Variações no processo construtivo da telha colonial geraram telhas diferenciadas, tanto na apresentação de duas peças distintas (capa e canal), quanto na própria arquitetura, como é o caso da telha “colonial plana” (Figura 6.14b).

Muitas vezes, as telhas coloniais necessitam ser presas ao engradamento, amarradas por um arame pela capa (nunca pela bica), em função da inclinação do telhado. São sempre melhor fixadas recebendo argamassa no sentido do caimento da água.

No Brasil, existe ainda um grande número de telhas semelhantes às coloniais, com nomes diversificados. A paulistinha, a carioquinha e a cantuária são exemplos disso.

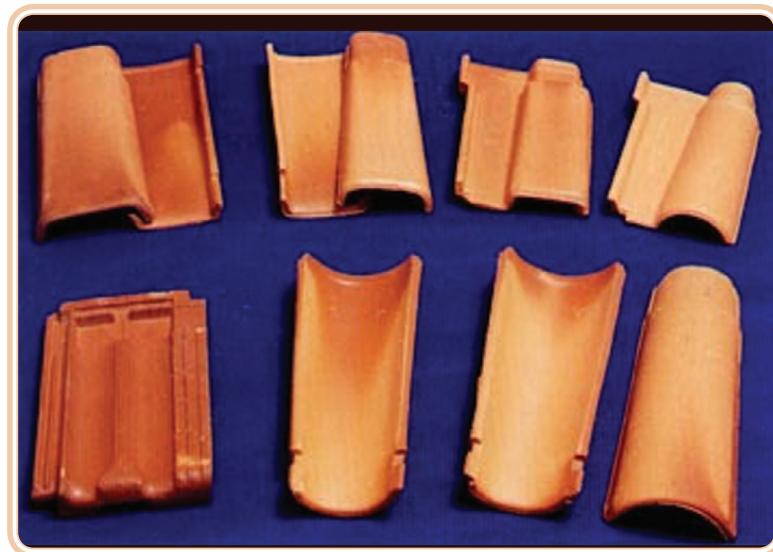


Figura 6.15: Vários tipos de telhas de barro

Fonte: [http://www.madtelhas.com.br/media/Telhas\\$20Vermelhas.jpg](http://www.madtelhas.com.br/media/Telhas$20Vermelhas.jpg)



O grupo de materiais de argila é constituído por uma única matéria-prima, a argila vermelha, ou seja, a argila que queima na cor vermelha. São argilas pertencentes ao grupo das ilitas, com mica extremamente minúscula e saturada de óxido de ferro e potássio, comum no Brasil. Essas argilas avermelhadas, já têm em si todos os componentes que determinam a temperatura de queima entre 800 e 1100°C. A variável qualidade dos inúmeros produtos existentes no mercado é em função da dosagem da matéria-prima, do processo de conformação, dos cuidados na secagem, do cozimento em temperatura adequada e, é claro, da grande variedade na composição da própria matéria-prima.

6.5.2 Materiais de louça e revestimento

A-Z

faiança

(De Faenza, aldeia da Itália, hoje Faience) – louça argilosa, porosa, recoberta com um verniz impermeável e opaco.

Este é o grupo das cerâmicas brancas que apresentam corpo branco após a queima. Compreendem as louças sanitárias, louças de **faiança**, objetos de decoração, cadinho de laboratório, azulejos e pisos, entre outros.

Para a confecção destes materiais são utilizadas diversas matérias-primas além das argilas cauliníticas, como o quartzo, os feldspatos, o talco, a cromita, a grafita e, na medida do possível, utilizadas na forma pura. Os produtos são revestidos por uma película vítreia e seus custos são bem mais elevados que o material de argila. Geralmente têm os corpos porosos, com exceção dessa película externa vitrificada, praticamente impermeável.

A cerâmica branca é classificada quanto à sua capacidade de absorção de umidade em:

- **Vítreo** – produtos que apresentam baixíssimos valores de absorção ($h < 0,5\%$). São as porcelanas, que chegam à translucidez devido a uma fusão mais perfeita.
- **Semi-vítreo** – são produtos que apresentam absorção de água na faixa compreendida entre 0,5 e 4,0%. Neste grupo, temos as cerâmicas sanitárias de corpo branco ou colorido artificialmente (bacias, lavatórios, micrótios e demais peças como papeleira, saboneteira e cabideiro). As partes que entram em contato com a água, recebem o revestimento vidrado, enquanto as partes que farão junção com outras partes (e as invisíveis), não.
- **Poroso** – são produtos cerâmicos com absorção de água acima de 4%. São identificados como louças de faiança e, por serem porosos, devem receber uma camada de vidrado ou de esmalte para serem utilizados higienicamente. Como exemplo, podemos citar a parte posterior dos pisos e dos azulejos (partes que entrarão em contato com a argamassa).



Quanto mais vitrificado o material, melhor sua resistência à abrasão e maior a sua impermeabilidade. Algumas cerâmicas vermelhas, devido ao processo de requeima no forno, adquirem certo grau de vitrificação e dureza, que podem até serem usadas como pisos.

O porcelanato é uma peça para piso submetida a pressões de compactação acima das utilizadas pelas cerâmicas convencionais e, submetida também, à queima acima de 1250°C. A alta temperatura de queima lhe confere grande retracção ($\pm 10\%$), alta sinterização e densificação, baixíssima absorção ($\pm 0,1\%$) e excelentes características de homogeneidade de massa. Sua versão tradicional é sem esmaltação. Normalmente, ao sair do forno, passa por retificadores para melhor definição das medidas, de modo a se obter todas as peças com a mesma dimensão para assentamento sem juntas.

Existem duas versões do porcelanato tradicional: fosco e polido. O primeiro é mais adequado para áreas que exigem um revestimento antiderrapante, como áreas externas ou rampas. O polido difere por sua textura superficial, e por seu brilho. O porcelanato possui uma absorção de água próxima de zero e requer a utilização de uma argamassa colante de assentamento específica aditivada com polímeros.



Em produto esmalgado, a classe de abrasão é medida pelo método do PEI (*Porcelain Enamel Institute*) que prevê a utilização de um abrasímetro, o qual provoca desgaste por meio de esferas de aço e material abrasivo. O resultado é usado como base para a classificação, em grupos desses materiais por uma constatação visual de mudanças provocadas na sua superfície.

6.5.3 Materiais refratários



É importante não esquecer que o assentamento dos tijolos refratários é feito com a massa especial, também refratária e da mesma origem do tijolo, geralmente adquirida juntamente com a peça.

São materiais argilosos importantíssimos na economia de um país. Seu emprego

não é propriamente na construção (excetuando-se algumas chaminés), mas no revestimento de fornos industriais.

Não seria possível obter materiais como aço, cimento, vidros e vários outros, se as cerâmicas refratárias não fossem capazes de suportar altíssimas temperaturas, sem sofrer transformações. A cerâmica refratária deve apresentar estabilidade volumétrica e elevada resistência química e mecânica.

O material refratário é pobre em cal e óxido de ferro e divide-se em ácido, básico e neutro em função de seus principais elementos constituintes. A escolha adequada do refratário se dá pela necessidade de impedir a formação de sais entre o refratário e as substâncias com as quais entrará em contato.



- **Ácidos** – são os sílicos-aluminosos, ou silicosos, utilizados na fabricação de vidros.
- **Básicos** – são os aluminosos e os magnesíticos empregados na fabricação de cimentos.
- **Neutros** – são refratários cromíticos de aplicação mais abrangente, porém de maior custo.

As peças refratárias são utilizadas em diversas formas, sendo os tijolos maciços as peças mais comuns, embora tijolos especiais para chaminés também sejam produzidos.

Resumo

O material argiloso é, em uma classificação geral, um material cerâmico. Obtido da mistura de argilas e água, forma uma pasta que será moldada e levada ao fogo para conseguir resistência e impermeabilidade.

Os cuidados no processo de produção, bem como as técnicas desenvolvidas, são fundamentais na obtenção de produtos cujo objetivo é alcançar a qualidade do material. Assim, moldar uma pasta cada vez mais seca e submetê-la ao mais alto calor do forno, com economia de energia, são técnicas cada vez mais procuradas.

Devido à grande variedade das matérias-primas, encontramos produtos argilosos que vão de simples tijolos e telhas aos mais apurados produtos da microeletrônica, como as cerâmicas semicondutoras, passando pelos produtos refratários, fundamentais na fabricação de aços, cimentos e vidros, pois revestem os fornos onde esses materiais são produzidos.

Atividades de aprendizagem



1. Quais são as características básicas para as argilas que irão compor os produtos argilosos?
2. Quais são as principais impurezas, comumente encontrada nas argilas, que afetam a qualidade dos produtos cerâmicos? Como elas afetam?
3. Diferencie argila fusível, infusível e refratária. Exemplifique-as com suas aplicações.
4. Qual é a importância da secagem nos produtos recém-moldados?
5. Quais são as fases na queima do produto cerâmico?

Aula 7 – Vidros

Objetivos

Reconhecer vidro.

Compreender o processo de fabricação dos vidros.

Identificar os produtos de vidro utilizados na construção civil.

7.1 O que é vidro?

O vidro é resultado da fusão e do resfriamento de matérias-primas abundantes na natureza, onde a areia é o elemento predominante.

Um vidro natural, a **obsidiana**, já era utilizado há milhares de anos pelo homem pré-histórico como arma e ferramenta, pressupondo desde aquela época, um material para muitas aplicações.

Muitos anos depois, os egípcios já sabiam fazer o vidro, conforme atestam peças encontradas em múmias dos faraós. Um desenvolvimento importante na produção de peças de vidros se deu na Síria, 250 anos a.C., quando se descobriu uma maneira de moldar peças, soprando o vidro em estado pastoso, por meio de um tubo, a exemplo de fazer bolhas de sabão (moldagem por sopro). Esse método tornou a produção dos artigos mais fácil e mais barata, contribuindo para a popularidade do vidro. Os romanos, durante a expansão de seu império, disseminaram ainda mais o material e, na Europa da Idade Média, ocorreram os maiores desenvolvimentos técnicos de produção.

Mais recentemente, com o aperfeiçoamento dos fornos e o beneficiamento das matérias-primas, o vidro encontra-se espalhado pelo mundo inteiro como um notável material também aplicado em larga escala nas construções, devido às suas características de resistência mecânica e às suas propriedades térmicas, óticas e acústicas.

A-Z

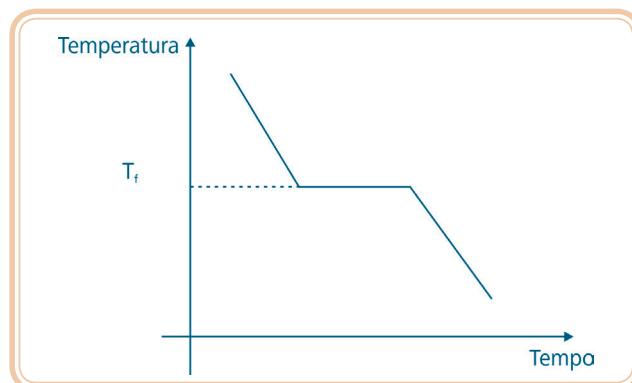
obsidiana

Rocha vítreia de origem vulcânica, escura e muito quebradiça.



Por vidro entende-se uma substância inorgânica, amorfa e fisicamente homogênea, obtida pelo resfriamento de uma massa em fusão que enriquece através de um aumento contínuo da viscosidade.

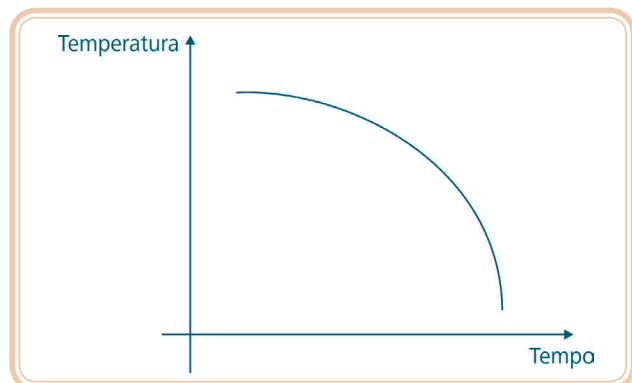
Observe que as substâncias líquidas, quando submetidas ao abaixamento de temperatura, tendem a se solidificar. Há uma mudança de natureza estrutural da substância ao passar do estado líquido para o estado sólido e, durante a mudança de fase, a temperatura permanece constante, designada como temperatura de fusão (T_f) (Figura 7.1). O mesmo acontece no aquecimento quando a substância se liquefaz.



Figuras 7.1: Curva de resfriamento de substância cristalina

Fonte: Autor

Na curva de resfriamento do vidro fundido (Figura 7.2), não se observa o patamar de cristalização, porque não acontece mudança estrutural no material durante o rebaixamento da temperatura. Em função disso, o vidro não é formado por cristais, fibras, grãos ou qualquer outra organização dos átomos. Não havendo forma estrutural organizada, diz-se, então, estado amorfo (sem forma) e a fusão, chamada de fusão vítreia.



Figuras 7.2: Curva de resfriamento de substância vítreia

Fonte: Autor

Em resumo, o vidro enrijecido não abandona o estado amorfo em que se encontrava, quando no estado líquido. Quimicamente, isso significa que o vidro é um líquido de altíssima viscosidade. Para fins práticos, o vidro é sólido em temperatura ambiente.



7.2 Como é feito o vidro?

O princípio da fabricação do vidro consiste na mistura conveniente dos componentes, aquecimento à temperatura de fusão e resfriamento para moldagem. A seguir, faz-se um ligeiro reaquecimento para alívio das tensões produzidas no processamento.

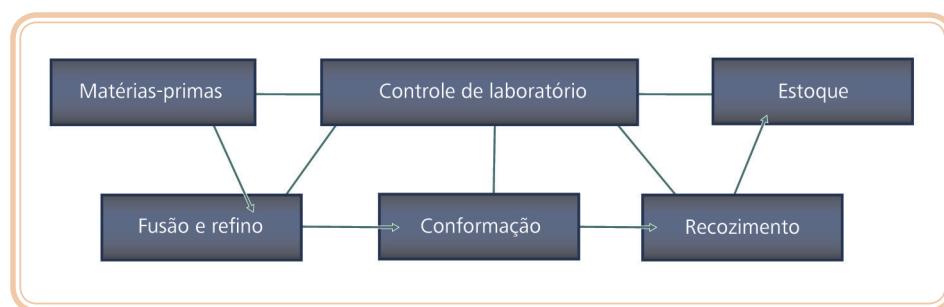


Figura 7.3: Fluxograma de fabricação do vidro

Fonte: Autor

7.2.1 Matérias-primas

Sílica (SiO_2) – elemento com função vitrificante proveniente das areias dos rios (areias lavadas).



Barrilha (Na_2CO_3) – nome comercialmente dado ao carbonato de sódio ou potássio, produzido a partir do sal de cozinha (NaCl). Elemento fundente.

Calcário (CaCO_3) e Dolomita (MgCO_3) – elementos estabilizantes que aumentarão a dureza, a resistência mecânica e a durabilidade dos vidros.

Aditivos (Al_2O_3 , PbO , B , F) – provenientes dos feldspatos, vão identificar vidros específicos.

Cacos de vidros – ($\pm 20\%$) inseridos na massa em fusão.



O chumbo aumenta o índice de refração e dá mais brilho ao vidro, resultando nos chamados cristais, de finíssimas espessuras.

Atente para este termo "cristal":
nenhum vidro apresenta
qualquer porcentagem de
cristalinidade (conceito técnico).
O termo é puramente comercial!

O boro diminui o coeficiente de expansão térmica resultando em vidros de boa resistência ao calor, que podem ser levados ao forno.

O flúor entra na composição de vidros para lâmpadas de descarga.

Um vidro puro é constituído, exclusivamente, pelo elemento vitrificante que, fundido, tem como inconveniente além da elevada temperatura de fusão ($\pm 1700^{\circ}\text{C}$), a sua instabilidade química. Por isso, os fundentes são adicionados para diminuir a temperatura de fusão e os estabilizantes, para impedir a transformação do vidro em uma goma adesiva. Já os aditivos são compostos químicos que modificam ou destacam as propriedades dos vidros.

As matérias-primas moídas e misturadas em proporções adequadas, em função do tipo de vidro que se quer produzir e do processo de moldagem, seguem para o forno.

7.2.2 Fusão e refino

A fusão é obtida nos fornos onde as matérias-primas passarão a um estado pastoso, pouco viscoso, em que a temperatura ultrapassa 1500°C .

O refino é a operação que consiste na remoção de pequenas bolhas de gás existentes na massa em fusão. Uma operação que pode ser feita manualmente através da agitação lenta da massa, mas que também pode ser feita pela adição de produtos químicos, como o óxido de arsênio com nitrato de potássio, que formam bolhas maiores e arrastam as bolhas menores até a superfície, onde se desfazem. O refino é a fase que, além de dar bom aspecto ao vidro, garante a densificação da massa.

Dentro do forno, devido a uma diferença de temperatura, há a criação de duas correntes de massa vítreas (Figura 7.4): uma é extremamente aquecida e a outra, é mais fria, pronta para sair do forno para a conformação.



Figura 7.4: Matérias-primas em fusão

Fonte: http://www.vitraismage.com.br/images/clip_image041.jpg

7.2.3 Conformação (moldagem)

Conformar é dar forma à peça, é moldar o produto final. Para a conformação, a temperatura usual é da ordem de 800°C, onde o vidro encontra-se maleável, já apresentando alguma rigidez. O molde deve estar aquecido e pode ser de ferro fundido ou de aço, preferencialmente.

A moldagem varia com a forma do produto final.

- **Prensagem** – para vidros de maiores espessuras.
- **Moldagem por sopro** – para tubo de vidro de pequena espessura.
- **Estiramento** – para o vidro plano.



Assista aos vídeos:
De onde vem o vidro?
<http://www.youtube.com/watch?v=c-FmxhGrqgc>

Fábrica de vidro em Murano,
Veneza – Itália:
<http://www.youtube.com/watch?v=e5tRVm9nqP8>

O processo *Pilkington Float Glass*, inventado no final de 1950, foi uma revolução na fabricação do vidro, pois reduziu custos e melhorou, sensivelmente, as qualidades obtidas. Ao sair do forno, a massa fundida é lançada sobre um banho de estanho fundido. A massa vítreia flutua (*float*) ao percorrer a superfície do estanho, adquire brilho e apresenta um paralelismo perfeito entre as faces que dispensa polimento.

Por esse processo são fabricados os vidros para a indústria automobilística e para a construção civil, onde o único acabamento é feito nas bordas. Ele chega a identificar um dos tipos de vidros existentes, qual seja o *float*, que se diferencia do vidro comum (estirado) por não apresentar distorção das imagens, apesar de terem a mesma composição química e resistência mecânica.

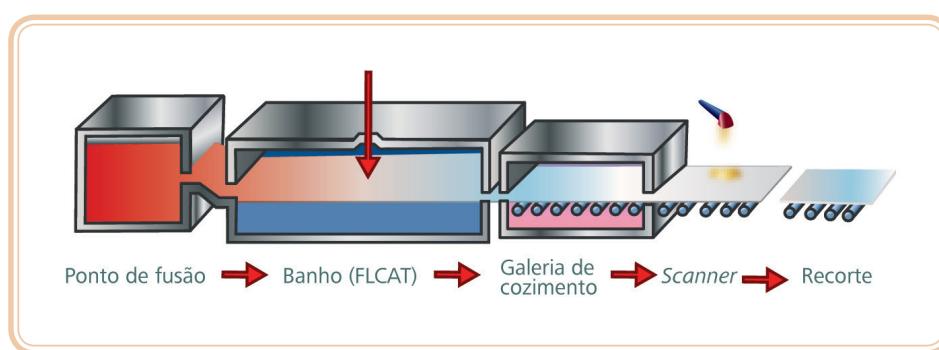


Figura 7.5: Esquema de um forno *float* de fabricação de vidros planos

Fonte: http://www.vitraimage.com.br/images/clip_image040.jpg

7.2.4 Recozimento



Após a moldagem, o vidro encontra-se na temperatura de $\pm 600^{\circ}\text{C}$ e não pode ser deixado em temperatura ambiente. O vidro recém-moldado tem grandes tensões internas que o torna sensível ao choque, quebrando-se com facilidade. Por isso, após a moldagem, ele é novamente levado ao forno, mas agora ao forno de recozimento, para então resfriar-se lentamente.

Essas tensões se originam porque, sendo o vidro um mau condutor de calor, a parte externa em contato com o ambiente, esfria-se mais rápido que a parte interna. Enquanto o exterior está frio e tracionado, o interior está quente e comprimido. Esse fenômeno confere muita fragilidade ao vidro frente aos esforços externos recebidos, e por causa disso, o abaixamento da temperatura é lento, gradual e feito em fornos à parte (fornos de recozimento) a fim de aliviar as tensões criadas na fabricação.

7.3 Os vários tipos de vidros e suas aplicações

Os vidros encontram aplicações nas áreas de embalagens, como utensílios domésticos e nas indústrias, entre elas, a da construção civil. Ampliam suas aplicações em áreas específicas quando em forma de lã, manta de vidro ou na mistura com adesivos poliméricos, compondo as fibras de vidro.



O espelho (vidro espelhado) não é, propriamente, um tipo de vidro. A placa de vidro serve como suporte de uma pintura metálica de mercúrio com estanho, ou solução de prata, que reflete completamente a luz.

7.3.1 Vidro comum

O vidro comum, chamado de vidro recozido, é obtido sem nenhum outro tipo de tratamento além daqueles que fazem parte do seu processo de fabricação. É o vidro usual, utilizado na confecção de produtos domésticos, e os vidros planos, usados na construção. Esse vidro possui uma espessura que varia entre 2 e 6 mm e acabamentos que vão desde o tipo liso (transparente) aos mais variados desenhos de impressão (fantasia). Se quebrado, transforma-se em perigosos pedaços pontiagudos e lâminas altamente cortantes.

7.3.2 Vidro temperado

É o vidro que foi submetido, após a moldagem, a um tratamento térmico chamado têmpera, tornando-se mais resistente aos choques mecânicos. Neste tratamento são introduzidas tensões adequadas que o tornam cerca de cinco vezes mais resistentes que os vidros recozidos e, ao partir-se, desintegra-se em pequenos fragmentos não cortantes e menos perigosos.

Para temperar o vidro, é preciso elevá-lo, após moldado, à temperatura de $\pm 700^{\circ}\text{C}$ em fornos próprios (Figura 7.6) e resfriá-lo rápida e bruscamente por intermédio de um jato de ar frio ou por imersão da peça em água ou óleo.

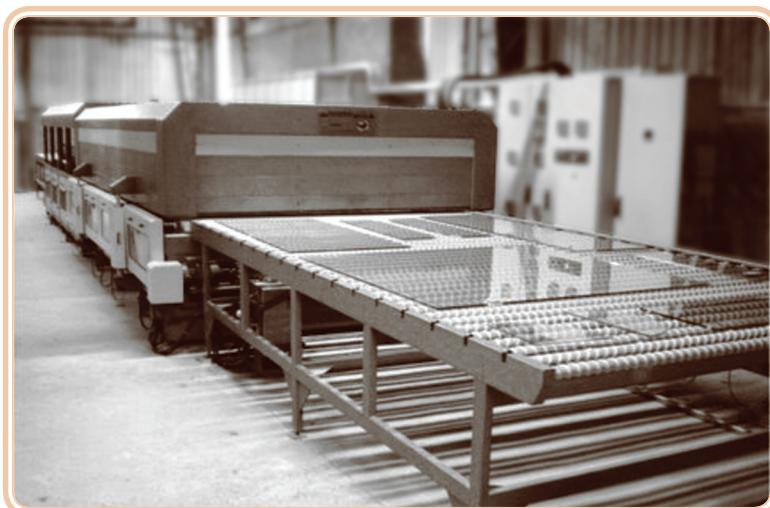


Figura 7.6: Forno de têmpera de vidros

Fonte: <http://www.americavidros.net/wp-content/gallery/novoforno/folder-forno-horizontal300.jpg>

Introduzem-se, então, grandes tensões de compressão na superfície do vidro e, quando a peça temperada sofre algum impacto, essas tensões se opõem à ação externa dificultando a ruptura da peça, tornando-a assim, mais resistente.

Para parti-lo, o esforço externo deve vencer as tensões criadas pelo tratamento. Uma vez vencidas, desequilibra-se o conjunto e o vidro se parte por completo. Vale lembrar que o vidro temperado não pode ser riscado nem furado, sob pena de ser destruído. Todos os cortes e furos que a peça precisa conter devem ser feitos antes da têmpera.

O vidro temperado é um vidro de segurança utilizado em muitas aplicações como em fachadas de prédios, portas, vitrines, balcões, tampos de mesa, boxe para banheiros. Os vidros laterais de automóveis também são temperados e, muitas vezes, ao serem atingidos por uma “pedrinha”, podem partir-se, caso haja rompimento da “casca protetora” externa criada na têmpera.

7.3.3 Vidro laminado

É um vidro formado pela superposição e colagem de duas ou mais placas de vidro liso recozido. A película aderente é um material polimérico, o polivinilbutiral (PVB), de grande adesividade. A colagem é feita em autoclave à 180°C e os resultados obtidos indicam o vidro para aplicações de segurança, como em para-brisas de automóveis. Se houver fratura do vidro, os pedaços ficam

A-Z domo

Tipo de janela de teto ou lanternim envidraçado (mais frequente, porém, de plástico) para iluminação zenital.

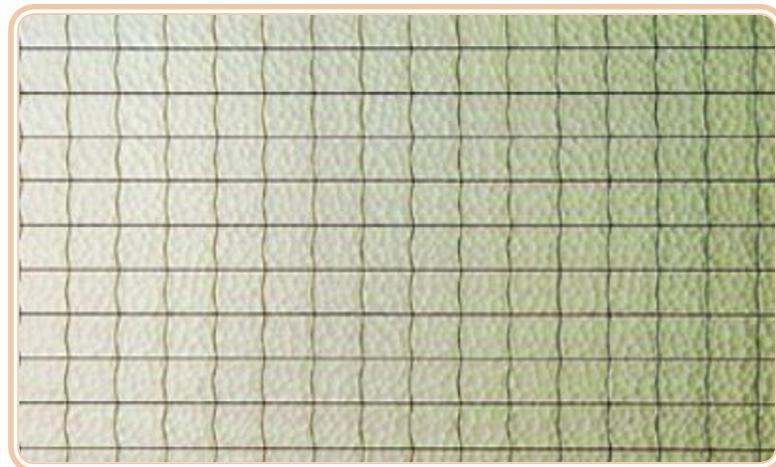


Figura 7.7: Vidro aramado
Fonte: <http://www.small.mcler.com.br/uploads/Aramado.jpg>

7.4 Outros produtos de vidro

7.4.1 Fibra de vidro e lã de vidro

A fibra de vidro é o material vítreo moldado em fios de grandes comprimentos e pequenos diâmetros que apresentam notável resistência à tração.

Na fabricação da fibra de vidro são utilizadas bolinhas de gude aquecidas em forno elétrico, cujo fundo é formado por centenas de minúsculos furos.

O material líquido é estirado (puxado) e os fios resultantes, enrolados em forma de bobinas.



Figura 7.8: Fibra de vidro (roving) e em manta

Fonte: <http://www.abcol.com.br/images/produtos/Manta.jpg>



As fibras de vidro têm resistência mecânica maior que a do vidro bruto porque são revestidas com silicone, logo no estiramento, a fim de proteger a sua superfície das intempéries ambientais. O silicone melhora a resistência da fibra, não por ele mesmo, mas pela proteção que exerce na superfície externa da mesma. A resistência mecânica é em função da área superficial do material.



Veja fabricação de tubo em fibra de vidro:
http://www.youtube.com/watch?v=IkfoJ6D_yOM

Normalmente, as fibras de vidro são aplicadas em conjunto com outros materiais como elemento de reforço em alumínio, asfalto, papel e plástico, formando materiais compósitos para componentes sanitários, coberturas, isolamentos térmicos e acústicos, cortinas e telas de cinemas, caixas de água, filtros e carrocerias de automóveis.



A lã de vidro tem sua fabricação semelhante a do “algodão doce”. O vidro líquido cai num recipiente com furos laterais, que gira a determinada velocidade. As fibras saem chocando-se contra um anteparo, onde recebem um jato de ar, já apresentando a formação da manta.

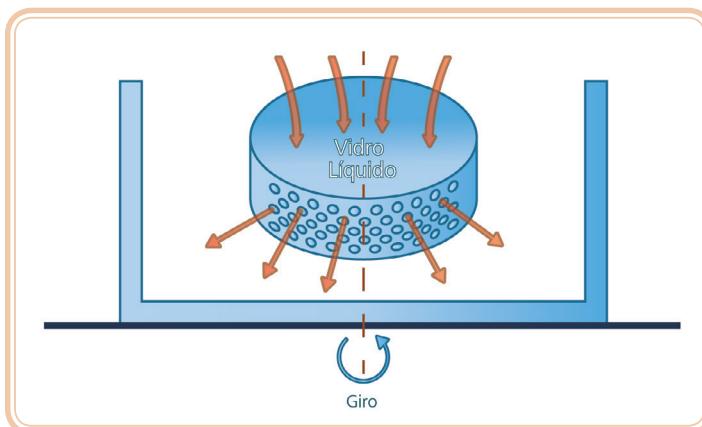


Figura 7.9: Esquema de fabricação da lã de vidro

Fonte: CTISM, adaptado do autor



Figura 7.10: Lã de vidro

Fonte: http://refratiba.com.br/produtos_img/la_02.jpg



As lãs de vidro são utilizadas para isolamento térmico, elétrico e acústico. São impermeabilizantes, desde que não sejam comprimidas, e em função de sua composição química, podem atacar superfícies metálicas. São, contudo, incombustíveis, resistentes à corrosão, à dissolução e à ação de óleos. São imputrescíveis e inatacáveis por roedores, porém, é preciso ter cuidado no manuseio, tanto da lã como das fibras de vidro, pois sendo vidro, são cortantes.

7.4.2 Telhas e blocos de vidros

É possível encontrar também no mercado, produtos como telhas (Figura 7.11a) e blocos (Figura 7.11b) de vidros. As telhas são utilizadas em situações particulares de iluminação e os blocos, em divisórias que não sofrem carregamentos além do seu peso próprio.



Massa de vidraceiro é uma mistura composta basicamente de 20% de óleo de linhaça e 80% de gesso, onde se adiciona um pouco de secante. É muito utilizada para ligar o vidro à madeira ou ao ferro das esquadrias. Corrige pequenas imperfeições nas peças de madeira e pode ser pintada com látex ou esmalte após secagem.

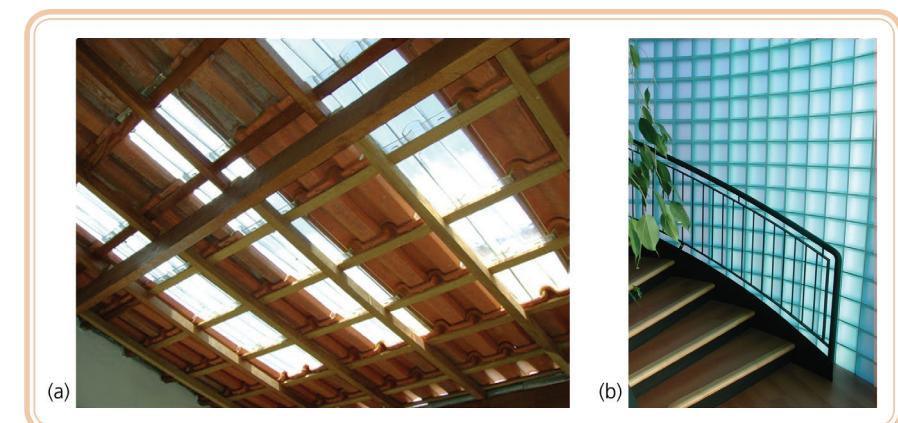


Figura 7.11: (a) Telhas de vidro em cobertura e (b) divisória com bloco de vidro

Fonte: (a) http://lh5.ggpht.com/-5nH7-vdrJWA/SWzNy_tFjl/AAAAAAAAl4/GelWAL14NLg/DSC02532.JPG

(b) http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2004-1/tijolos/escadaria.jpg

Resumo

Os vidros são materiais descobertos e utilizados pelo homem há milhares de anos. Os processos modernos de fabricação, nos permitiram obtê-los em grande escala e aproveitar melhor suas excelentes propriedades de transparência e resistência ao risco. Empregados como embalagens, têm sido substituído por plásticos em função de seu peso, entretanto, voltam à preferência quando o assunto é meio ambiente. Nas aplicações tradicionais das edificações, não encontra substituto. Nos campos tecnológicos avança com aplicações da fibra e da manta de vidro em materiais compósitos que, cada vez mais, encontram aplicações diversificadas.

Atividades de aprendizagem



1. Quais são os elementos formadores do vidro?
2. Por que, quimicamente, se diz que o vidro é um líquido de grande viscosidade?
3. Como é feita a moldagem do vidro plano?
4. O que se entende por recozimento do vidro e qual é o seu objetivo?
5. O que é lã de vidro e, na construção, onde tem sido aplicada?
6. Quais são os métodos utilizados para impedir o estilhaçamento dos vidros?

Aula 8 – Materiais plásticos

Objetivos

Reconhecer materiais plásticos.

Identificar as vantagens e as desvantagens dos materiais plásticos.

Classificar materiais plásticos.

Identificar os processamentos dos materiais plásticos.

Conhecer produtos plásticos aplicados na construção civil.

8.1 O que é um material plástico?

Os materiais plásticos compõem, possivelmente, os materiais mais usados no dia a dia. Sua popularização se deve ao baixo custo e leveza, destacando-se ainda as seguintes características:

- Possibilidade de fabricação de peças em variadas formas, tamanhos e cores.
- São atóxicos (desde que não estejam em combustão), incorrosíveis e inatacáveis por roedores.
- São excelentes isolantes térmicos, elétricos e, até, acústicos.



Com sua aceitação, percebeu-se que muitos objetos tradicionalmente feitos com outros materiais, poderiam ser confeccionados com plástico. Olhe ao seu redor e perceba quanta coisa existe confeccionada com plástico!

Apesar de os materiais plásticos apresentarem vantagens, também possuem algumas desvantagens. São elas:

- Diferentemente de outros materiais, os plásticos levam muito tempo para se degradarem e permanecem intactos na natureza durante anos.



Acesse os sites indicados e veja o histórico e aulas sobre Materiais Plásticos:
<http://www.jornaldeplasticos.com.br/secoes/aulas-5.htm>
<http://www.politeno.com.br>

- Muitos são sensíveis à luz e ao calor, que os envelhecem rapidamente.
- A maioria sofre de instabilidade dimensional sob a ação de cargas e/ou de temperatura. E ainda: dificuldade de reparos quando danificados, fraca resistência a solventes e baixas resistências mecânicas no geral.

Embora esses efeitos não se apliquem para todos os tipos de plásticos, causam graves problemas ambientais, cujas soluções passam por reutilização e reciclagem, e também por conscientização de “adquirir com moderação”. Apesar disso, muitas aplicações tecnológicas e industriais se encontram consagradas e estabelecidas.



O uso da palavra plástico para estes materiais está tecnicamente incorreto. O termo plástico identifica o comportamento mecânico de qualquer material que, deformando-se sob ação de uma carga, não recupera a forma primitiva após a descarga.

A-Z

ligações mistas

São ligações primárias que ligam as moléculas que, por sua vez, apresentam ligações secundárias entre os elementos químicos que a compõem.

Dentro de uma classificação mais ampla os materiais plásticos pertencem ao grupo dos materiais poliméricos, que são materiais formados por **ligações mistas**. Apresentam, principalmente, os elementos orgânicos C; H; O e N e/ ou alguns outros elementos químicos inorgânicos como Cl; F; Si.

8.2 Classificação dos polímeros (plásticos)

O plástico é uma molécula sintética (produzida pelo homem), chamada de “polímero” (palavra derivada do grego, *poli*: muitas e *mero*: partes).

Quimicamente, os polímeros podem ser definidos como moléculas relativamente grandes, em cuja estrutura se encontra unidades químicas simples chamadas de meros, que se repetem.

Em um modelo simplificado: uma corrente seria o polímero, onde cada elo seria um mero. O polietileno, o polipropileno, o poliestireno, o poliéster, o nylon, a lycra e o teflon são alguns exemplos de polímeros.



Assista ao vídeo: “Aula 6, Química, Polímeros”. Professor Marcelo Queiroz.
<http://www.youtube.com/watch?v=ycUN7i74Thw>

Para ilustrar, usaremos como exemplo de polímero, o polietileno (Figura 8.1), formado por muitos meros chamados etilenos que, após a realização de uma reação química denominada polimerização, se prende, a exemplo dos elos da corrente.

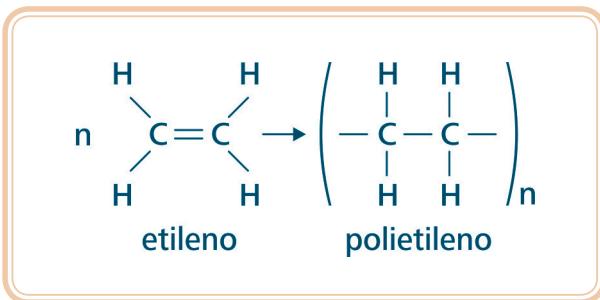


Figura 8.1: Muitos meros (etilenos), resultando o polímero (polietileno)

Fonte: http://www.reocities.com/Vienna/choir/9201/polimero_polietileno.gif

Para formar uma molécula de polietileno, a unidade $-\text{CH}_2 = \text{CH}_2-$ pode se repetir em grande número e essa quantidade de repetição (n), identifica o grau de polimerização ou o peso molecular do polímero. O índice “n” do polímero representa o número de meros presentes na cadeia polimérica.

Muitas são as classificações, obtenções e processamento dos polímeros, estudo a que se debruçam os profissionais dessa área. Conduziremos, entretanto, nossos estudos de uma maneira mais informativa, buscando compreender os vários tipos de polímeros encontrados em maior escala nas construções.

8.2.1 Quanto às características de fusibilidade

Dependendo do comportamento ao serem aquecidos, os polímeros podem ser classificados como:

- **Termorrígidos** – são polímeros que formam ligações tão fixas ao serem aquecidos, que se tornam infusíveis e insolúveis depois de moldados. Uma vez confeccionados não podem mais ser reprocessados ou reciclados. Exemplos: fenol-formol, uréia-formol.
- **Termoplásticos** – são polímeros que se fundem quando aquecidos e que se solidificam quando resfriados. Podem ser reprocessados algumas vezes em função da temperatura alcançada e dos limites do polímero. Exemplos: polietileno, politereftalato de etileno (PET), poliacrilonitrila, *nylon*.

8.2.2 Quanto ao comportamento mecânico

- **Plásticos** – são materiais poliméricos, estáveis nas condições normais de uso, mas que, em algum estágio de sua fabricação, são fluidos, podendo ser moldados por aquecimento, pressão ou ambos. Exemplos: polietileno, polipropileno, poliestireno.

- **Elastômeros ou borrachas** – são materiais poliméricos que, após sofrerem deformação sob a ação de uma força, retornam à sua forma original quando essa força é removida. Exemplos: polibutadieno, borracha nitrílica.
- **Fibras** – são polímeros que se apresentam em forma de fios. Exemplos: poliésteres, *nylon* e poliacrilonitrila.

8.2.3 Quanto ao tipo de aplicação

- **Plásticos de uso geral** – são polímeros utilizados nas mais variadas aplicações do dia a dia, como o polietileno, o polipropileno, o poliestireno, o policloreto de vinila (PVC) e o baquelite.
- **Plásticos de engenharia** – são polímeros empregados em substituição de materiais clássicos usados na engenharia, como por exemplo, a madeira, os metais. Exemplos: poliacetal, policarbonato e politetrafluoretileno (*teflon*).

8.3 Obtenção de polímeros

As principais matérias-primas utilizadas na fabricação dos polímeros são originárias do gás natural (metano, etano) e do petróleo (nafta, gasóleo e GLP). As empresas que trabalham essas matérias-primas estão divididas em indústrias de 1^a e 2^a geração petroquímica, normalmente situadas umas próximas às outras. As de 1^a geração são as refinarias de petróleo que, entre outros produtos, extraem os petroquímicos básicos etano e propeno, que se tornam as principais matérias-primas das usinas de 2^a geração. As indústrias químicas de 2^a geração produzem e fornecem o monômero e o catalisador para as indústrias de transformação obterem brinquedos, materiais de cozinha, materiais escolares, produtos para a construção, etc.



Sobre técnicas de polimerização:

<http://pt.scribd.com/doc/33471415/Tecnicas-de-Polimerizacao>

A diversidade dos tipos de plásticos encontrados se deve aos vários processos de sua obtenção, da reação química de polimerização e da técnica de polimerização empregada.

8.4 Processamentos dos polímeros

O processamento é identificado como a técnica de dar forma a um determinado polímero, adequando-o a um produto útil.

Existem diversas técnicas empregadas na conformação de materiais poliméricos.

O método escolhido depende de vários fatores, tais como: se o polímero é termoplástico ou termorrígido, do alcance da temperatura de amolecimento, da geometria e do tamanho da peça acabada, da quantidade de peças a serem produzidas e do próprio custo do material no mercado consumidor.

Em geral, todos os métodos de conformação dos plásticos ocorrem em temperaturas entre 250 e 300°C e aplicação de pressão, existindo semelhanças entre as técnicas de conformação de outros materiais.

Basicamente, os métodos de conformação de plásticos são: moldagem (por injeção, por compressão, por sopro), extrusão, fiação e calandragem.

8.4.1 Moldagem

A moldagem é o método mais comum, onde o polímero finamente granulado é forçado, sob ação de pressão e/ou temperatura, a escoar para o interior de um molde, assumindo, assim, a sua forma. Após o resfriamento e o enrijecimento da peça, o molde é aberto e ela é retirada.

8.4.1.1 Moldagem por injeção

Neste processo, o polímero é levado para o interior de uma câmara aquecida onde a resina se funde para formar um líquido viscoso que em seguida, será impelido ao interior de um molde frio e mantido sob pressão (Figura 8.2). Destaca-se nesta técnica, a velocidade com que as peças são produzidas e também a possibilidade de se obter várias peças numa única moldagem, como por exemplo: pentes, cabides e saboneteiras.



Moldagem de copos plásticos por injeção:
<http://www.youtube.com/watch?v=MiDUw0rt3pk>

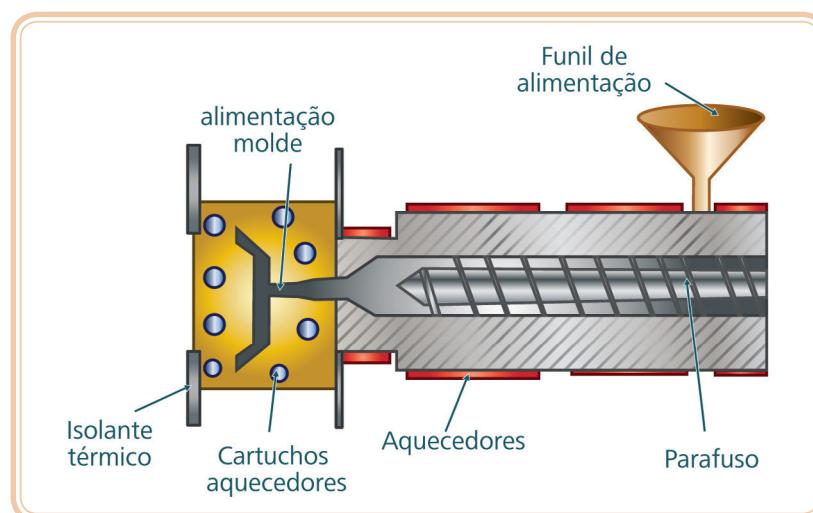


Figura 8.2: Moldagem do polímero por injeção

Fonte: CTISM, adaptado de <http://tecplastico.no.comunidades.net/images/injecao2.gif>

8.4.1.2 Moldagem por compressão

Neste processo, o polímero é aquecido e, quando em estado viscoso, é forçado ao interior de um molde composto por duas partes, onde uma delas se fecha sobre a outra comprimindo o material que acaba adotando a forma do molde. Materiais como baldes são exemplos típicos de moldagem por compressão.

8.4.1.3 Moldagem por sopro



Produção de garrafas por sopro:
<http://www.youtube.com/watch?v=Q06Xjnc1sbo>

Também chamada de moldagem por insuflação, a moldagem por sopro (Figura 8.3) é semelhante ao processo utilizado na moldagem de garrafas de vidros. Inicialmente, um tarugo oco de polímero é extrudado e, enquanto se encontra no estado semifundido, é colocado no interior de um molde que possui a configuração desejada para o recipiente, dividido em duas partes simétricas presas por uma dobradiça. A seguir, por meio de ar comprimido, ele será forçado contra as paredes do molde. Depois de resfriado, o molde será aberto. Garrafas e embalagens similares são assim confeccionadas.

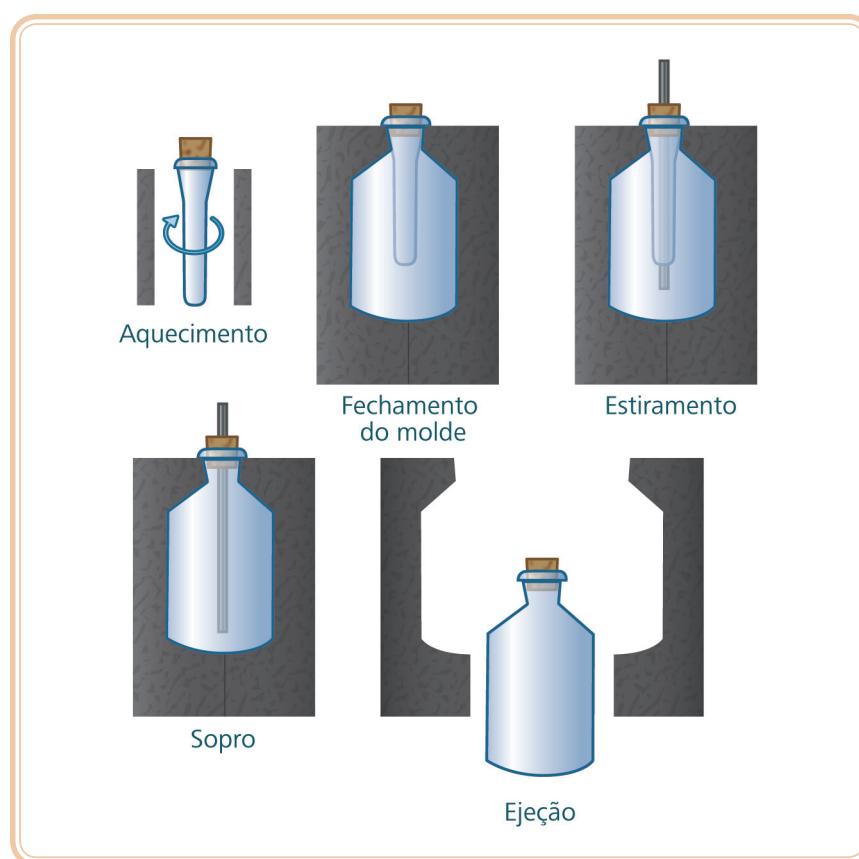


Figura 8.3: Moldagem por sopro de um polímero

Fonte: <http://www.demet.ufmg.br/docentes/rodrigo/sopro1.gif>

8.4.2 Extrusão

A extrusão consiste no forçamento da resina aquecida contra o bocal de uma matriz que lhe concede um formato contínuo. É uma técnica adequada à produção de produtos com comprimento contínuo e que possuam geometrias de seção constante, como por exemplo: bastão, tubos, folhas de menor largura e maior espessura, filamentos, além de perfis, fitas e barras, que são cortados no comprimento adequado.



Assista aos vídeos sobre conformação por extrusão:
<http://www.youtube.com/watch?v=oM8PmtaXZCA>

<http://www.youtube.com/watch?v=glbWclGacXo>

<http://www.youtube.com/watch?v=Xq-JoOvgk5w>

8.4.3 Fiação

Processamento para moldagem de fios, onde também se usa uma extrusora, mas que se diferencia do processo anterior por enrolar o material moldado e não cortá-lo (Figura 8.4). O polímero aquecido, aplicado na forma de um líquido viscoso, é impulsionado contra uma matriz formada por pequenos orifícios. À medida que o material passa pelos orifícios, uma única fibra se forma e se solidifica, quase que imediatamente, ao passar através do ar. A resistência das fibras é melhorada através do estiramento (alongamento mecânico que acontece quando a fibra está saindo da matriz).

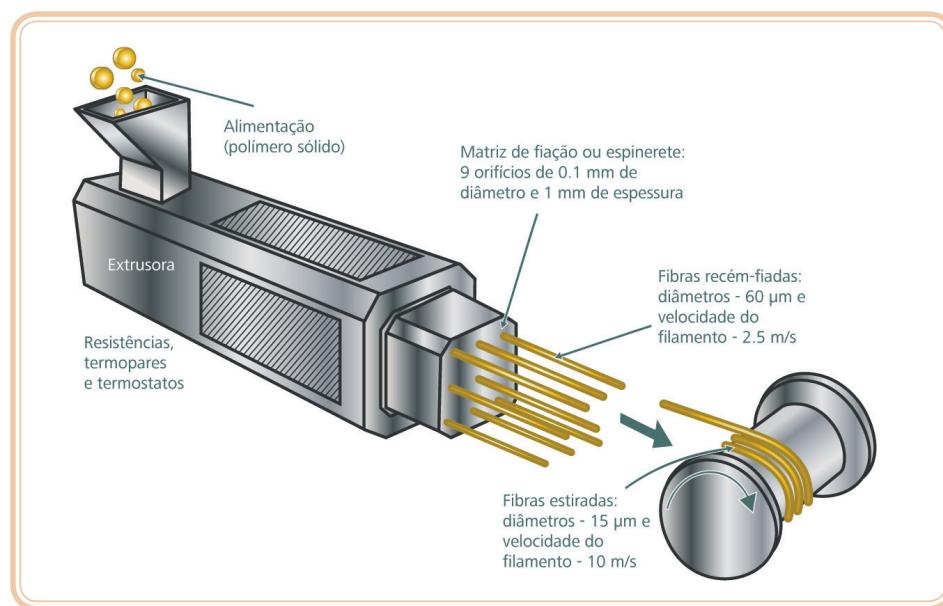


Figura 8.4: Esquema de equipamento de fiação de um polímero

Fonte: <http://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2005/artigos/49cbc-8-12.pdf>

8.4.4 Calandragem

A calandragem é um processo de conformação contínua das películas de maior largura e pequena espessura como mostrado esquematicamente no equipamento da Figura 8.5. O material plástico é espalhado, amolecido e transportado por sucessivos cilindros aquecidos a vapor que vão se adequando à espessura desejada. No final do processo, antes de ser enrolada em bobina,

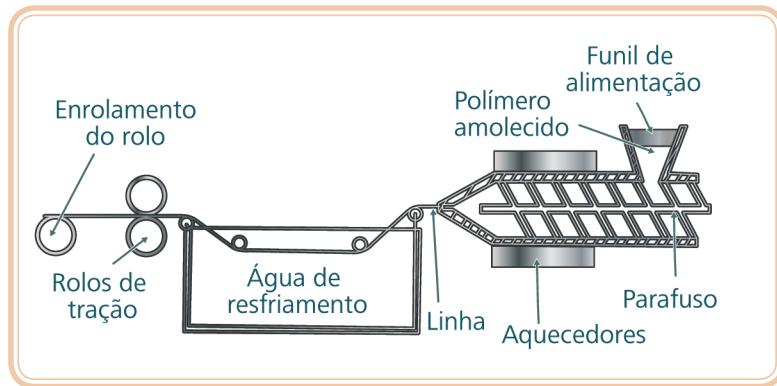


Figura 8.5: Esquema da calandra para produção de películas poliméricas
Fonte: CTISM, adaptado de <http://html.rincondelvago.com/000689560.png>

8.5 Principais características de alguns plásticos

8.5.1 Polietileno

É o termoplástico mais fabricado no mundo em função de seu baixo custo e variadas aplicações. Suas principais propriedades são: boa resistência química a solventes e elevada flexibilidade. Entretanto, degrada-se rapidamente à luz e ao calor tornando-se ressecado e quebradiço. De baixa resistência aos esforços mecânicos, é muito utilizado na fabricação de embalagens.

8.5.2 Polipropileno

Termoplástico de baixo custo e de boa resistência química a solventes. É aplicado na confecção de copos para cafezinho e refrigerante, películas para sacarias, tubos para tinta de caneta esferográfica, pisos para carpetes, gabinetes de televisores, etc. Na construção civil, encontramos o polipropileno nos tubos para condução de água quente.

8.5.3 Poliestireno

Material termoplástico, ou termofixo, de largo emprego e aspecto diversificado. Suas principais propriedades são: boa resistência química e boa estabilidade térmica e dimensional. Geralmente não é flexível e encontra aplicações em brinquedos, armários de banheiros, assento para vasos sanitário, imitativos de revestimentos cerâmicos (azulejos) e artigos domésticos. O isopor é um dos tipos, chamado de poliestireno expandido.

8.5.4 Vinílico

Polímero termoplástico de aplicações diversificadas, desde finos e flexíveis objetos, às peças rígidas e metalizadas.

O Policloreto de Vinila (PVC) é um termoplástico de dureza metálica, mas que também se apresenta amolecido e flexibilizado por agentes modificadores. Podem ser produzidos semelhantes ao couro e seu custo é reduzido. São aplicados na construção de tubos rígidos e flexíveis para água e esgoto, revestimentos de fios e cabos elétricos, placas para revestimentos de pisos, telhas, forros, cortinas de banheiros, forração de poltronas e estofamentos, bolsas e calçados, roupas de couro artificial e brinquedos em geral. Os polímeros mais resistentes às intempéries são utilizados na fabricação de calhas para água da chuva. Atualmente, existe o CPVC (policloreto de vinila com cloro na cadeia polimérica), material que, resistindo a temperaturas maiores que o PVC, encontra aplicações na fabricação de tubos para condução de água quente.

O Poliacetato de Vinila (PVA) é outro polímero vinílico, cuja propriedade mais importante é a adesividade, encontrando aplicação industrial na fabricação de tintas para paredes e adesivos para papel. Outro adesivo vinílico é o PVB (Polivinil Butiral), aplicado na colagem de placas de vidros para a confecção dos vidros laminados, utilizados em para-brisas de automóveis.

8.5.5 Acrílico

Material de excepcional transparência e grande resistência às intempéries, é aplicado na confecção de lentes para óculos, janelas de aeronaves, lanternas de automóveis, equipamentos de desenho (esquadros), difusores de luminosidades, boxe para banheiros, torneiras, dispositivos de segurança em autoestradas (marcadores luminescentes centrais e laterais das pistas) e ainda, como substituto da lã natural, ficando em desvantagem somente com o vidro, por não ser resistente aos riscos em sua superfície.

Para fabricação das tintas, há um polímero acrílico mais específico.



Sugestões de pesquisa:

[http://www.braskem.com.br/
site/portal_braskem/pt/home/
home.aspx](http://www.braskem.com.br/site/portal_braskem/pt/home/home.aspx)

[http://www.bbc.
co.uk/portuguese/
noticias/2010/02/100225_mar_
lixo_plastico_nf.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2010/02/100225_mar_lixo_plastico_nf.shtml)

[http://360graus.terra.
com.br/ecologia/default.
asp?did=27807&action=news](http://360graus.terra.com.br/ecologia/default.asp?did=27807&action=news)

8.5.6 Polieter

Polímero termofixo comercialmente identificada por epoxi. Mais caro e de fabricação ainda limitada, possui excelentes propriedades mecânicas e químicas associadas à boa resistência à corrosão. De dimensionamento estável e excelente adesividade, tem sido indicado na confecção de tintas e adesivos extremamente fortes à base de dois componentes, que são misturados antes de serem aplicados.

8.5.7 Poliéster

Polímero de múltiplas aplicações na confecção de fibras para roupas, tintas, carcaças de eletrodomésticos, mantas para impermeabilização e materiais reforçados com fibra de vidro.

O policarbonato é um poliéster termoplástico transparente, de boa estabilidade dimensional, resistente ao impacto e com boa ductilidade. É utilizado na fabricação de capacetes de segurança, lentes, globos difusores de luminosidade, telhas para coberturas e CD's.

O Politereftalato de Etileno (PET) é um poliéster muito utilizado em embalagens para água e refrigerante. Apresenta excelente resistência à ácidos, graxas e solventes orgânicos, como gasolina e querosene. É aplicado ainda em vestimentas antichamas para os pilotos de carros de corridas.

8.5.8 Fenólico

Termorrígido de excelente estabilidade térmica (até acima de 150°C). A baquelite, um dos mais conhecidos comercialmente, é um fenol-formaldeído de boas propriedades mecânicas em geral. São utilizadas como peças destinadas a acessórios elétricos, caixas de rádios, televisão e relógios.

Outros polímeros fenólicos são empregados na fabricação de laminados para revestimento de móveis, geralmente imitativos de madeiras.

8.5.9 Politetrafluoretileno

É um termoplástico também designado por PTFE ou PFE que, devido à presença de flúor na rede, torna o material muito compacto e duro. Quimicamente inerte em quase todos os ambientes, apresenta baixo coeficiente de atrito, não aderindo à nada, o que os indica para o uso como revestimentos antidesivos e apoio de estruturas deslizantes mais leves. Produzido também como fita, relativamente fraca, é usada para vedação em válvulas e tubulações. É conhecido comercialmente, também, pela designação de "teflon".

8.5.10 Poliamida

Designada, em geral, como *nylon*, a poliamida é um termoplástico de boa resistência mecânica e resistência à abrasão, além de tenaz e de baixo coeficiente de atrito. Suas aplicações típicas são como fibras para confecção de roupas, tapetes, fios de pesca, em escova de dente, revestimentos de fios e cabos metálicos. É usado ainda em mancais, engrenagens, buchas, cabos, puxadores e engates flexíveis para lavatório.

8.5.11 Policloropreno

Também conhecido como neoprene, o policloropreno é um elastômero de aspecto borrachoso, resistente ao calor, a óleos minerais, ao ozônio e que adere muito bem aos metais. É aplicado como bases antivibratórias de correias transportadoras, apoios estruturais móveis, gaxetas e vedações, roupas, luvas e adesivos industriais. É também utilizado em impermeabilizações, pelo fato de não perder suas propriedades de elasticidade e aderência mesmo em presença das intempéries, como a luz e o calor.

8.5.12 Polissiloxano

Elastômero comercialmente conhecido como silicone, determina uma extensa variedade de polímeros produzidos na forma de fluidos, graxas e material rígido. De excelente resistência as altas e baixas temperaturas possuem ainda excelentes propriedades elétricas e de grande adesividade, encontrando aplicações como materiais para isolamento térmico, vedações, juntas, diafragmas, tintas, luvas, tubos para usos com alimentos e para fins medicinais, além de ser aplicado como materiais para adesivar vários tipos de superfícies, como vidro, metal, madeira e couro.



Matéria veiculada no programa Fantástico da Rede Globo, em 15/02/2009:
http://www.youtube.com/watch?v=22Nak_XeUyo

Geralmente, os artefatos feitos de plásticos são mais baratos e apresentam pouca durabilidade, transformando-se rapidamente em lixo. E, infelizmente, ainda os descartamos em qualquer local, contribuindo para uma poluição descontrolada. Os sintomas desses descontroles se alastram, além das cidades, para os rios que desaguam nos mares, formando imensos lixões, como os que já foram detectados nos oceanos Atlântico e Pacífico.



Resumo

Os plásticos são materiais cujas pesquisas mostraram-se promissoras na busca de um excelente substituto para materiais tradicionais, como madeiras, aços e cerâmicos, e que encontraram grande receptividade pelo seu baixo custo, embora de pouca durabilidade, na maioria dos casos. Muitos, entretanto, estão consagradamente estabelecidos devido às suas qualidades de leveza e de isolamento térmico e elétrico, bem como pela dureza e durabilidade encontradas em produtos de revestimentos de pisos, condutores elétricos e até embalagens.



Atividades de aprendizagem

1. Os aquadutos e eletrodutos rígidos, utilizados nas construções, são feitos de:

a) PVC

b) PET

c) PVA

d) PTFE

2. A fita “veda-rosca” usada pelos bombeiros hidráulicos é feita de:

a) Silicone

b) Polietileno

c) Nylon

d) PTFE

3. As mangueiras ou eletrodutos flexíveis são feitos de:

a) PTE

b) Neoprene

c) Polietileno

d) Poliestireno

4. Os globos de lâmpadas podem ser feitos de:

a) Nylon

b) Acrílico

c) Baquelite

d) PVA

Aula 9 – Tintas

Objetivos

Identificar as principais funções das tintas.

Conhecer as tintas por sua composição e propriedades.

Identificar processos de preparo de superfícies para pinturas.

9.1 O que é uma tinta?

Identificamos por tinta o material que se destina a cobrir, colorir e proteger as superfícies dos objetos. Aplicada no estado líquido, endurece por meio de reações químicas, tornando-se uma película sólida, flexível, resistente e aderente à uma superfície.

Nas edificações, as tintas se aplicam no embelezamento, como necessidade arquitetônica; na proteção, como necessidade técnica contra agentes de destruição, como as intempéries e agentes biológicos e, até mesmo, na segurança, como necessidade de sinalização com destaque de cor em canalizações. A função principal de proteção, decoração ou sinalização vai depender do que será pintado.

As tintas são, em geral, elementos poluentes e por isso, não devemos estocá-las de qualquer maneira e, menos ainda, descartá-las indiscriminadamente no meio ambiente. É preciso conhecer melhor esses produtos para que os utilizemos com técnica, profissionalismo e consciência ecológica.

9.2 Como são compostas as tintas?

Quatro são os seus componentes básicos: veículo, pigmento, solvente e aditivo.

9.2.1 Veículo

O veículo é a parte líquida da tinta que se torna aglutinante e prende o pigmento na superfície pintada, formando o que se chama de filme, ou película, quando a tinta enrijece. Muitos são os tipos de veículos e, normalmente, as tintas recebem os nomes de seus veículos.



Veículos diferentes produzem tintas com propriedades físicas e químicas diferentes, determinando uma indicação para cada tipo de tinta. Por exemplo: tinta resistente a agentes atmosféricos ou ambientais, tinta resistente ao calor, tinta indicadora de temperatura, tinta inibidora de ataque de fungos e outros organismos, tintas luminescentes, fosforescentes.

São veículos para as tintas, os seguintes materiais:

- **Óleos secantes** – óleos vegetais oriundos da semente do linho, do tungue, da oiticica e do algodão.
- **Resinas naturais** – a goma-laca, proveniente da excreção de um inseto da Índia (cochonilha), o copal, extraído de algumas árvores tropicais e o látex, obtido das seringueiras.
- **Resinas sintéticas** – alquídica, fenólica, epoxi, acrílica, vinílica, PVA.



As resinas sintéticas são materiais poliméricos. Elas encontram preferências na fabricação de tintas, por apresentarem produção em maior escala e formularem tintas com maiores qualidades de aderência, flexibilidade, nivelamento, resistência, rendimento, lavabilidade e durabilidade.

9.2.2 Pigmento

Os pigmentos são partículas sólidas, insolúveis nos veículos, inertes ou ativos (Figura 9.1).



Figura 9.1: Pigmentos em pó para tintas

Fonte: http://2.bp.blogspot.com/_zKPFrhshHo/TPLwwlXFt5I/AAAAAAAAdS/_dnoHm9q9E8/s1600/800px-Indian_pigments.jpg

Nas tintas, os pigmentos cumprem as seguintes funções:



- a) Caracterização das cores (pigmentos ativos).
- b) Incorporação de resistência mecânica à abrasão (raspagem) e aos raios ultravioletas do sol.
- c) Consistência, poder de lixamento e nível de brilho às tintas (pigmentos inertes).

- **Pigmentos ativos** – **alvaiade**, óxido de titânio, **negro de fumo**, pó de alumínio, óxido de ferro, zarcão (óxido de chumbo), cromato de zinco, fosfato de zinco, entre outros.
- **Pigmentos inertes (carga)** – silicato de magnésio (talco), sulfato de cálcio (gesso), caulim (argila), carbonato de cálcio (calcita).

A-Z

alvaiade

Pigmento branco, seja o óxido de zinco, o sulfato ou o carbonato de chumbo.

negro de fumo

Carvão no estado de extrema finura, obtido da queima incompleta de produtos sólidos.

- a) Muitas características e qualidades das tintas são funções dos pigmentos, no que diz respeito à sua quantidade, forma, dimensão, densidade e resistência a agentes químicos e atmosféricos. Os pigmentos ativos dão cor e poder de cobertura às tintas e os inertes, dão consistência, nível de brilho, dureza e poder de lixamento.
- b) Os fundos são tintas constituídas por veículo e pouca carga e, em geral, poucos pigmentos ativos. Os fundos e líquidos preparadores de parede obstruem os poros das superfícies a serem pintadas, proporcionando economia da tinta de acabamento que, em geral, é mais cara.
- c) As massas são tintas constituídas por veículo e muita carga, razão pela qual têm mais consistência que qualquer outra tinta. As massas, após o lixamento, darão aspecto mais liso às áreas que serão pintadas, além de fazerem também o papel dos fundos preparadores.



9.2.3 Solvente

Solventes são líquidos orgânicos que tornam as tintas menos viscosas, facilitando sua aplicação. Também influenciam na formação do filme por meio de reações químicas com o ar ou com os catalisadores que são fornecidos juntos, promovendo a conversão do estado líquido ao estado sólido dos veículos que fixam os pigmentos na superfície pintada.



Os solventes mais comuns são: a aguarrás, o querosene, o *thinner* e a água; cada um para um tipo específico de tinta.

Os fabricantes geralmente fornecem suas tintas com menor quantidade de solvente para dificultar a sedimentação dos pigmentos. Por esse motivo, na maioria dos casos deve-se adicionar mais solvente à tinta na hora de sua aplicação.

9.2.4 Aditivo

Os aditivos são substâncias adicionadas em pequenas quantidades, ditas como “segredo das fábricas” por atuarem como elementos auxiliares da tinta, melhorando suas propriedades gerais (ou concedendo outras especiais) e contribuindo para o não aparecimento de defeitos nas pinturas.



dispersantes

Produtos que têm a função de separar os pigmentos, permitindo que eles se espalhem pelo conjunto e não se aglutinem em determinados pontos.

São antissedimentantes, antiespumantes, plastificantes, fungicidas, **dispersantes** e secantes, entre outros, que são capazes de modificar significativamente, determinadas propriedades das tintas, auxiliando também os fabricantes com a propaganda que fazem de seus produtos.

9.3 Tipos de tintas

9.3.1 Verniz

Os vernizes são tintas brilhantes e transparentes porque não têm pigmentos. São compostos por óleos vegetais como veículos, mas que também podem ser misturados às resinas sintéticas. Servem para a pintura de madeiras nobres e de materiais cerâmicos.

Lamentavelmente, a durabilidade dos vernizes é baixa (exatamente pela ausência de pigmentos) quando comparada a outras tintas. Os vernizes do tipo “sintético” são mais resistentes, principalmente se usados em interiores. Já os do tipo “filtro-solar”, são os que têm obtido melhor resistência às intempéries.



Veja muitos materiais de pinturas nos sites de fabricantes, entre eles:
www.tintascoral.com.br

www.suvinil.com.br

www.akzonobel.com.br

www.pinceisatlas.com.br

9.3.2 Tinta a óleo

Estas são tintas onde o veículo é exclusivamente um produto à base de óleo, normalmente o óleo de linhaça, que também pode ser combinado com resinas sintéticas. São tintas de aplicação geral em edificações, pinturas em madeiras, metais ferrosos e material cerâmico (rebocos e tijolos). Nas áreas internas, sobre a massa (a óleo), conduz a um melhor acabamento e fácil lavagem. Apenas não é indicada para ambientes com tendência à umidade, como tetos de banheiros, por serem muito suscetíveis à formação de mofo.

9.3.3 Esmalte sintético

Os esmaltes sintéticos são tintas em cujos veículos são utilizadas resinas sintéticas alquídicas ou resinas epoxídicas. Apresentam melhores propriedades e maior durabilidade que as tintas a óleo, sendo aplicadas basicamente nos mesmos locais.

Os esmaltes à base de epoxi são apresentados em dois componentes que necessitam ser misturados antes da aplicação. São tintas de alto desempenho, de excepcional aderência e elevada resistência física e química. As tintas epoxídicas são de grande aplicação industrial em ambientes agressivos, mas não apresentam muitas aplicações domésticas, tanto pela falta desses ambientes, quanto pela limitação das cores, pouco arquitetônicas.

9.3.4 Base de água (PVA e acrílica)

As tintas à base de água são as mais difundidas e conhecidas, sendo aplicáveis em materiais cerâmicos, rebocos, concretos e até mesmo, em madeiras e vidros, embora menos comum. Apresentam boa resistência, boa cobertura, nivelamento e uniformidade de acabamento.

- **PVA** – tem como veículo o poliacetato de vinila e é a mais viável economicamente.
- **Acrílica** – tem como veículo uma resina acrílica que garante maior durabilidade e melhor lavabilidade que a PVA.



Atualmente, as lojas especializadas na comercialização de tintas oferecem em suas cartelas, uma extensa gama de opção de cores, cujas misturas são processadas por dosagem em computador (*self color*), procurando atender o gosto do cliente mais exigente. Na linha residencial, também há muita variedade nas texturas e acabamentos.

9.3.5 Caiação

A tinta cujo componente principal é a cal hidratada, é conhecida popularmente por "caiação". Misturada com água de modo a formar uma nata, é espalhada pela parede, onde endurece devido à ação do gás carbônico e se prende à superfície, como um aglomerante aéreo. É uma tinta econômica e higiênica, mas que dificilmente dá bom aspecto à parede quando comparadas com as PVA, por exemplo. Tintas coloridas podem ser obtidas pela adição de pigmentos encontrados no mercado e, para aumentar sua durabilidade, são acrescidas de fixadores. Existem fixadores industrializados e a prática tem mostrado que

cola de peixe ou cola de carpinteiro, além do óleo de soja e do sal de cozinha, contribuem na composição, fixação e durabilidade dessas tintas.

A grande vantagem da caiação é de ser uma tinta permeável e que, devido ao seu elevado tempo de endurecimento, pode ser aplicada sobre reboco ainda úmido, ou seja, ainda não curado.



É importante evitar um mau costume ainda existente na pintura: a "queimação da parede" para posterior aplicação de tinta PVA. Processo antiquado e nocivo à durabilidade da pintura, a caiação não combina com nenhuma outra tinta, pois o carbonato de cálcio da película da cal ataca e destrói as resinas sintéticas, prejudicando a aderência que leva ao descascamento da pintura em pouco tempo.

9.4 Os cuidados antes da pintura

É de fundamental importância para a pintura, os devidos cuidados a serem dispensados às superfícies que serão pintadas. Nenhuma tinta, por melhor que seja, terá qualidades ou durabilidade se a superfície a ser pintada não for preparada adequadamente.

Preparar uma superfície para a pintura é deixá-la em boas condições para receber a tinta de acabamento, de modo que essa ali permaneça em bom estado.



Pintar uma superfície envolve, basicamente, três procedimentos:

- Limpeza da superfície.
- Aplicação de fundos e, eventualmente, massas.
- Aplicação da tinta de acabamento.

As superfícies que serão pintadas deverão estar limpas, secas e livres de matérias gordurosas, ferrugem ou poeira. A superfície pode apresentar o aspecto liso ou rugoso, mas não deve conter poros que possam absorver a tinta de acabamento. Também é importante cuidar para que nenhuma umidade possa atacá-la futuramente.

O sucesso de uma boa pintura depende essencialmente desses cuidados e do uso de ferramentas e instrumentos adequados. Você verá com mais detalhes

em "Tecnologia das Construções", o pregar correto das várias superfícies a serem pintadas, bem como a ocorrência de possíveis defeitos no caso de emprego de uma tinta ou de um pregar inadequado de superfície.

De modo geral, o pregar indevido de uma superfície ou o não pregar, conduzem a uma pintura de pouca durabilidade e com possibilidade de vários defeitos, a maioria culminando no descascamento.

Lembre-se que uma boa pintura sempre valoriza a obra, que neste momento está em fase final, e não descuide das boas técnicas construtivas, que sempre valorizarão a edificação.



Guia de pintura:
http://www.auracor.com.br/5_guia.htm

Resumo

As tintas são materiais fundamentais em uma edificação. Além de embelezar, protegem e valorizam o imóvel. São encontrados diversos tipos de tintas e cores que, com certeza, satisfazem os gostos mais exigentes. Como materiais poliméricos que são, fazem parte dos materiais que agredem mais abruptamente a natureza e que, portanto, devem ser aplicadas sem perdas e guardadas em segurança. Observando os cuidados na aplicação e primando por mão de obra adequada, os resultados obtidos na pintura serão sempre de maior economia, proteção e durabilidade.

Atividades de aprendizagem



1. Por quais razões somos levados a pintar uma superfície?
2. Quais as diferenças entre fundos e massas?
3. Qual a diferença entre uma tinta PVA e uma tinta acrílica?
4. Qual a diferença entre uma tinta a óleo e um esmalte sintético?
5. Por que a cal hidratada não deve ser utilizada como base de tinta PVA?

Aula 10 – Madeiras

Objetivos

Conhecer as vantagens e desvantagens do uso das madeiras nas edificações.

Reconhecer os processos de obtenção da madeira.

Conhecer as características que condicionam o uso das madeiras.

Demonstrar os processos de beneficiamento das madeiras e os tipos de madeiras transformadas.

Valorizar a madeira como material de construção e suporte de vida.

10.1 Utilização das madeiras como material de construção

A madeira é um produto vegetal extraído do caule das árvores, tradicionalmente aplicada em edificações como material de telhados, esquadrias ou pisos, encontrando ainda aplicações na fabricação de móveis, instrumentos musicais, embarcações e inúmeros artefatos.

Vantagens

- Material que resiste simultaneamente a esforços de tração, compressão, flexão, torção e cisalhamento, com menor massa específica que outros materiais.
- Pode ser produzida em peças de grandes dimensões estruturais que rapidamente se desdobram em peças menores.
- Pode ser trabalhada com ferramentas simples e ser reempregada.
- Apresenta boas características de isolamento térmico e acústico.





A-Z

anisotrópico

Materiais que apresentam propriedades diferentes em função da direção em que são analisadas. (Opõe-se a isotrópico).

Desvantagens

- É material **anisotrópico**, heterogêneo e higroscópico, características que são próprias de sua constituição orgânica, fibrosa e orientada.
- É vulnerável a microrganismos e sua durabilidade é limitada, caso não seja submetida a processos de impermeabilização e impregnação de substâncias inseticidas.
- É mais sensível à variação de temperatura que outros materiais de mesma aplicação, assim como também é mais suscetível a absorver umidade.
- Apresenta-se sob formas limitadas: alongadas e de seção reta transversal reduzida.
- É um material de produção demorada e, se explorada irracionalmente, compromete a fauna, a flora e toda a vida no planeta.

As madeiras utilizadas na construção civil são provenientes do tronco das árvores (lenho). Considerando um corte transversal, como o mostrado na Figura 10.1, é possível identificar as partes que compõem a sua seção reta.

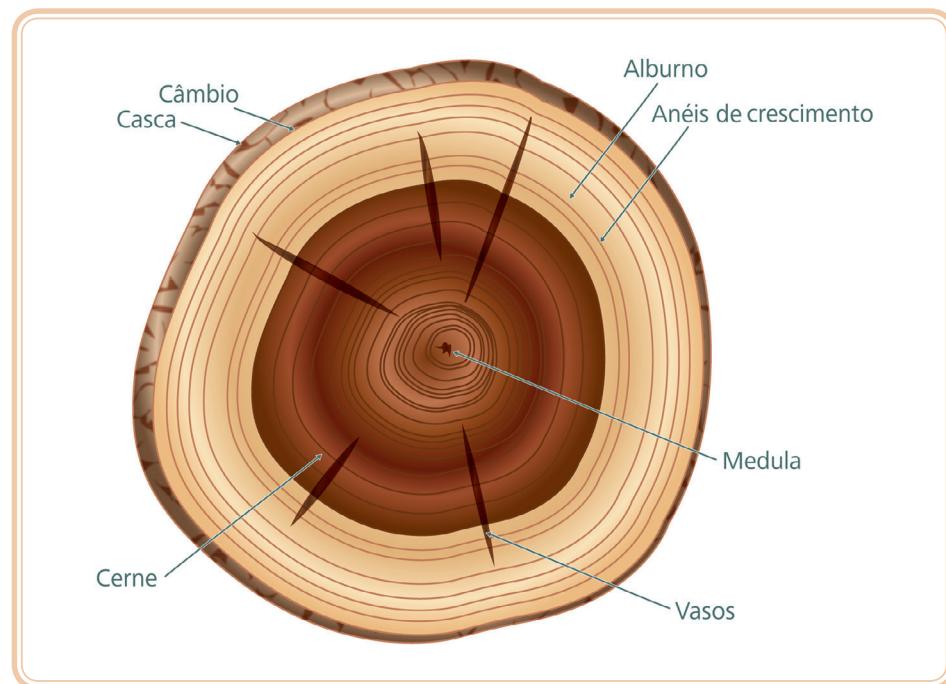


Figura 10.1: Seção típica de um tronco de árvore

Fonte: CTISM, adaptado de http://3.bp.blogspot.com/_yanFywfI8LI/R7o1SRm9UGI/AAAAAAAABU/AyUOfcRJVPg/s320/SEC%

- a) **Casca** – revestimento externo endurecido que protege a árvore dos agentes externos.
 - b) **Câmbio** – é uma fina camada, constituída por células em permanente transformação. Nela acontece a transformação da seiva elaborada (acúcares e amidos) em lignina e celulose, principais constituintes do tecido lenhoso, bem como o crescimento transversal do vegetal pela adição de novas camadas concêntricas e periféricas (anéis de crescimento).
 - c) **Lenho** – constitui a porção maior e útil do tronco para a produção de peças estruturais. É formado por duas camadas: o alburno e o cerne.
- **Alburno** – camada mais externa do lenho de cor clara, formada por células vivas. Apresenta menor dureza, menor resistência mecânica e menor durabilidade.
 - **Cerne** – camada mais interna do lenho formado por células mortas. Nele, houve alteração do alburno que tiveram as células impregnadas de taninos, ligninas e materiais corantes apresentando-se com elevada dureza, resistência e compacidade.
- d) **Vasos (medulares)** – são células lenhosas que se desenvolvem no sentido radial ligando as diversas camadas do tronco fazendo, além de uma amarração natural dessas camadas, o transporte da seiva para elas. Também são chamados de raios medulares.



Alburno – por conter maior quantidade de substâncias nutritivas, é mais sensível ao ataque de insetos e fungos. Constitui mais da metade do lenho e sua presença nas peças tanto se dá por razões econômicas como por ser ele a parte que melhor se deixa impregnar por substâncias preservativas.

Cerne – as peças dali extraídas apresentarão maior durabilidade, pois estarão menos sujeitas ao ataque dos insetos e outros agentes que se nutrem de madeira.

10.2 Classificação das madeiras

As madeiras são classificadas principalmente em função de sua espécie botânica, mas também podem ser diferenciadas em função de suas propriedades e aplicações. Segundo Petrucci (1982), uma dessas classificações, adaptada às finalidades tecnológicas, que pode nos interessar é a seguinte:

- **Madeiras finas** – são madeiras utilizadas em serviços de marcenaria e mobiliários. Entre elas, figuram o louro, a cerejeira, o cedro e a sucupira.
- **Madeiras duras** – são empregadas em construções como peças estruturais de vigas e colunas em função de sua resistência e durabilidade. Entre elas figuram: a imbuia, a peroba e a canela. Muitas receberam o nome de “Madeira de Lei” (em função da exclusividade que a Coroa Portuguesa



Para saber mais sobre madeiras, acesse:
<http://www.madeiratotal.com.br/materia.php?id=106>

tinha na época do Brasil Império) e foram reservadas para a construção de navios e dormentes de ferrovia. Entre as madeiras duras, encontramos o mogno, o angico, o jacarandá e o ipê.

- **Madeiras resinosas** – são madeiras de amplo uso em construções devendo às suas excelentes características de trabalho e resistência mecânica. Necessitam, porém, de proteção contra intempéries e agentes de destruição. São exemplos de madeiras resinosas: angelim, cabriúva, jatobá, entre outras que também estão citadas como exemplos de madeiras duras.

10.3 Produção de madeiras

Nesta etapa, vamos entender a produção de madeiras, como a sua disponibilidade para o uso. É o caminho percorrido da floresta à edificação, compreendendo basicamente: corte, toragem, falquejo, desdobro, aparelhamento e secagem.



Em uma exploração racional, consciente e ecológica, a produção é precedida por estudos de prospecção, medida das espécies que serão abatidas e serviços posteriores de replantio, reflorestamento e recuperação ambiental.

10.3.1 Corte

O corte é o abate da árvore (Figura 10.2).



O corte é melhor executado nos meses sem "r" e na lua minguante. Tais meses correspondem ao inverno, quando a vida vegetativa da árvore é menos intensa. Nessa época, a madeira recém-cortada seca melhor e mais lentamente, evitando o aparecimento de fendas e rachaduras por onde penetram os agentes deteriorantes.

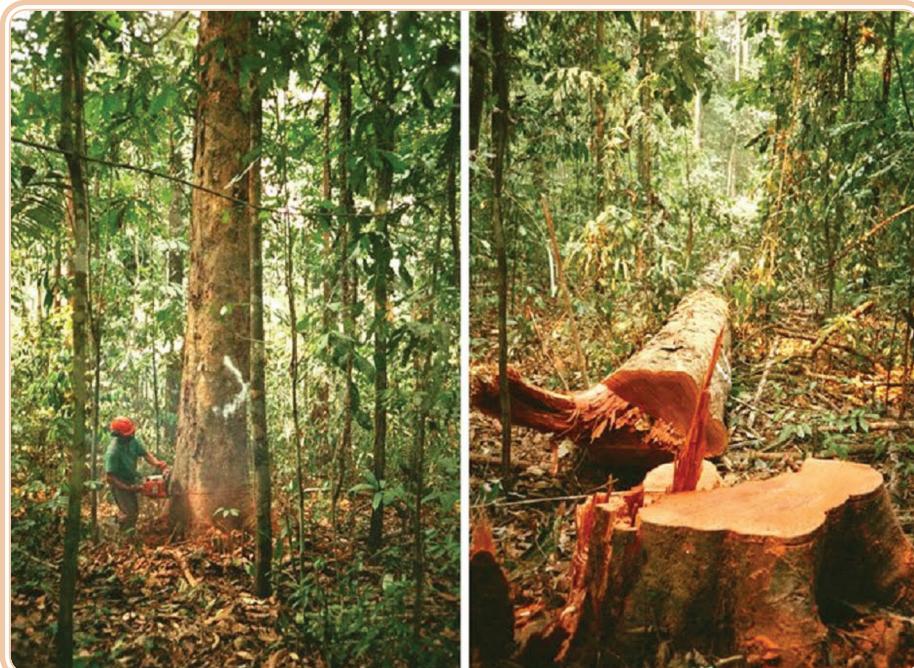


Figura 10.2: Corte da árvore na floresta

Fonte: http://1.bp.blogspot.com/_SA-3d2QhaRw/SxXKDcv8T_l/AAAAAAAHH8g/BSeysMn2UKw/s1600/atividade_de_corte_de_madeira_na_amazonia.jpg



Logo após o corte, a árvore começa a perder água com facilidade, iniciando a secagem. Durante todo o processo de produção da madeira haverá perda de umidade, onde o controle dessa perda assumirá grande importância, tanto na qualidade das peças, quanto no seu melhor uso e durabilidade.

10.3.2 Toragem

Etapa da produção da madeira realizada ainda na floresta. Consiste no desgalhamento da árvore e o corte do tronco em toras de medidas entre quatro e sete metros, de modo a facilitar o transporte para as serrarias.

10.3.3 Falquejo

Etapa realizada nas serrarias que consiste na remoção de quatro costaneiras de maneira a deixar a tora com uma seção grosseiramente retangular (Figura 10.3). As costaneiras serão, posteriormente, desdobradas em peças menores e os resíduos poderão ser aproveitados para a produção de madeira transformada.

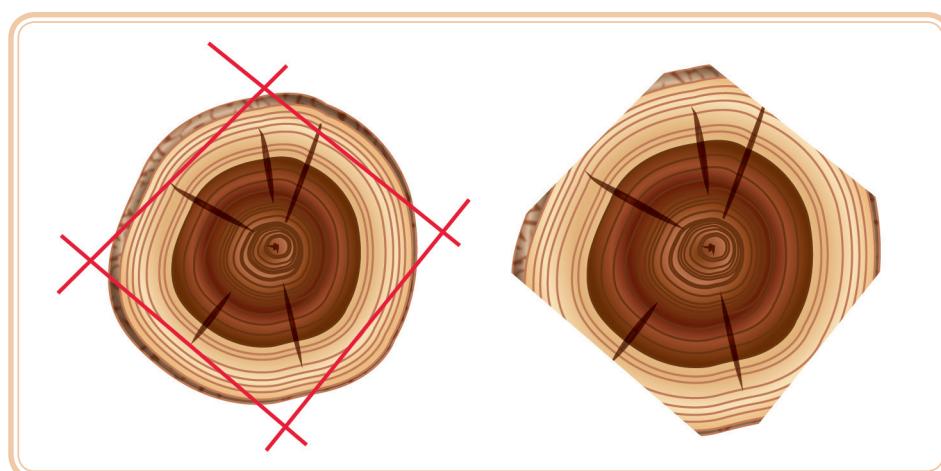


Figura 10.3: Seção de um tronco onde foram removidas quatro costaneiras

Fonte: CTISM, adaptado de http://4.bp.blogspot.com/_yanFywf18LI/R8cRILgav4I/AAAAAAAACg/ScbXenYSmmc/s320/sistemas+de+corte.bmp

10.3.4 Desdobra ou desdobramento

Operação final na produção de peças brutas. Após o falquejo, utiliza-se serras de fita ou circulares para que as toras sejam cortadas longitudinalmente, obtendo-se peças chamadas de pranchões.

- **Desdobra normal** – pranchões paralelos (Figura 10.4).

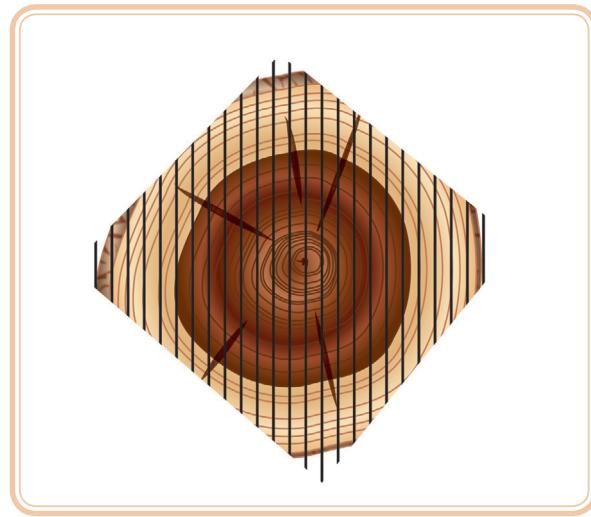


Figura 10.4: Desdobro normal

Fonte: CTISM, adaptado de http://4.bp.blogspot.com/_yanFywfi8LI/R8cRILgav4I/AAAAAAAACg/ScbXenYSmmc/s320/sistemas+de+corte.bmp

- **Desdobro radial** – pranchões paralelos, mas perpendiculares aos anéis de crescimento. Também chamado de “em quartos” (Figura 10.5).

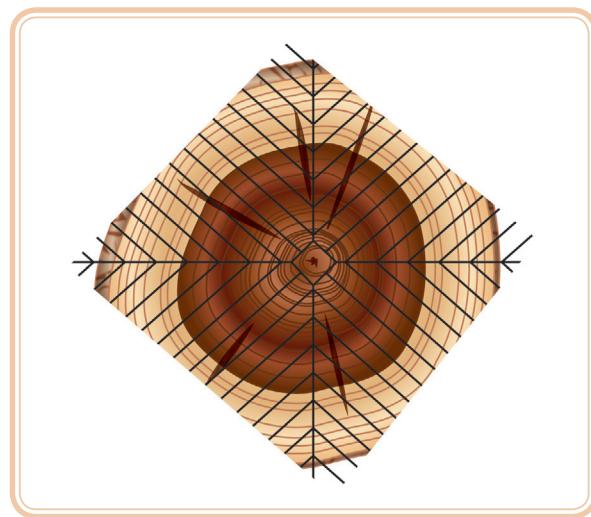


Figura 10.5: Desdobro radial

Fonte: CTISM, adaptado de http://4.bp.blogspot.com/_yanFywfi8LI/R8cRILgav4I/AAAAAAAACg/ScbXenYSmmc/s320/sistemas+de+corte.bmp

Nesta opção de desdobra são obtidos os melhores pranchões, que apresentarão menores contrações na largura, menores empenos e rachas durante a secagem, maior homogeneidade de superfície, melhor resistência e mais uniformidade ao longo das peças. Contudo, não é o desdobramento usual para peças utilizadas na construção civil devido ao seu custo elevado. Geralmente, são aplicados para madeiras utilizadas na construção naval e na confecção de instrumentos musicais, onde o custo e a qualidade do objeto final se justifiquem.

- **Desdobra misto**

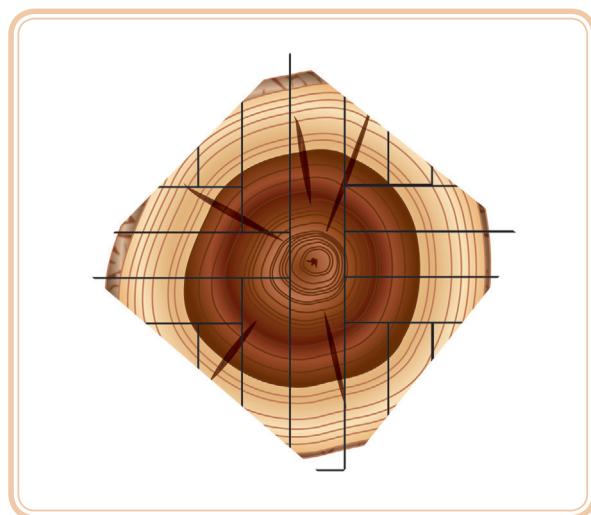


Figura 10.6: Desdobra misto

Fonte: CTISM, adaptado de http://4.bp.blogspot.com/_yanFywf18LI/R8cRILgav4I/AAAAAAAACg/ScbXenYSmmc/s320/sistemas+de+corte.bmp

10.3.5 Aparelhamento

Operação onde são obtidas as peças menores, em bitolas comerciais, a partir dos pranchões desdobrados.

Quadro 10.1: Dimensões das peças aparelhadas e respectivas seções

Nome	Espessura (cm)	Largura (cm)	Seções (sem escala)
Pranchão	> 8	> 20	
Prancha	4 – 8	> 20	
Viga	> 4	11 – 20	
Vigota	4 – 8	8 – 11	
Caibro	4 – 8	5 – 8	
Tábua	1 – 4	> 10	
Sarrafo	2 – 4	2 – 10	
Ripa	< 2	< 10	

Fonte: Adaptado de Petrucci, 1979, p. 128

10.3.6 Secagem

É a etapa que segue após o aparelhamento, pois as peças ainda contêm umidade acima da indicada para qualquer uso. A partir de agora, a secagem

será conduzida com mais cuidado para não ocasionar defeitos nas peças. A saída da água, normalmente acompanhada por aumento de temperatura, gera espaços vazios, os quais produzem contrações e expansões. Esses efeitos, que operam em sentidos contrários, são responsáveis por empenos e trincas.

Há dois tipos de secagem:

- **Natural** – é a secagem obtida pela exposição da madeira ao ar e protegida de sol. Nesta situação, a madeira fica empilhada de modo que o ar possa circular por ela. As chuvas, ao contrário do que possa parecer, podem até auxiliar na secagem, ajudando a dissolver a água de difícil evaporação que está combinada com solução coloidal e outras substâncias da madeira. Em muitas estações de tratamento, a madeira em estágio de secagem é lavada periodicamente em água corrente.
- **Artificial** – é a secagem acelerada realizada em estufas, onde se empregam técnicas e cuidados para regular as temperaturas alcançadas com os graus de umidade do ambiente.

10.4 Propriedades das madeiras

Devido à heterogeneidade e anisotropia das madeiras suas propriedades físicas e mecânicas variam, tanto de espécie para espécie como dentro da própria espécie. Essa variação das propriedades é em função da parte em que as peças foram extraídas do lenho, dos cuidados no processo produtivo, no beneficiamento ou não da madeira e até da presença de defeitos na peça.

Conhecendo as características físicas e mecânicas das madeiras, podemos indicá-las para empregos específicos em móveis, estrutura nas edificações ou fôrma para concreto, garantindo segurança, durabilidade e economia.

As propriedades que caracterizam as madeiras são obtidas em laboratórios especializados por meio de ensaios em amostras representativas, procedimentos e equipamentos padronizados por entidades normativas.

10.4.1 Características físicas

As características físicas são as propriedades que definem o comportamento da madeira e as alterações que sofre o seu estado físico quando ocorrem variações de umidade e de temperatura em seu ambiente de trabalho.

10.4.1.1 Teor de umidade

Teor de umidade é a quantidade de água existente em uma porção da madeira, expressa percentualmente em função do peso seco dessa porção.

Devido ao fato de a madeira ser constituída por fibras de paredes celulósicas hidrófilas, possui a capacidade de absorver água em locais de elevada umidade e perder água em ambientes menos úmidos. Isso, entretanto, acarreta em profundas mudanças no seu comportamento físico e mecânico.

Do ponto de vista de umidade presente, as madeiras dividem-se em:



Madeira verde – ($h > 30\%$)

Madeira semisseca – ($23\% < h < 30\%$)

Madeira comercialmente seca – ($18\% < h < 23\%$)

Madeira seca ao ar – ($12\% < h < 18\%$)

Madeira dessecada – ($0\% < h < 12\%$)

Madeira anidro ou seca em estufa – ($h = 0\%$)

Imediatamente após o corte, a árvore pode conter até 70% de umidade, dependendo da espécie. Abaixo de 23% de umidade, a madeira pode ser considerada imune ao ataque de fungos e bactérias, os seus agentes de destruição, que se não estão ativos, estão em vida latente, pois necessitam de, pelo menos, 25% de umidade e temperatura acima de 25°C para se proliferarem.

O teor de umidade de uma espécie pode ser avaliado de maneira fácil, rápida e com boa aproximação, através de aparelhos específicos em estações de tratamento, por exemplo.

Tais equipamentos são basicamente compostos por duas agulhas metálicas solidárias a um ohmímetro que são introduzidas na superfície das peças. Uma corrente elétrica estabelecida entre as agulhas, informa o teor de umidade existente na peça de madeira em função da resistência elétrica oferecida (Figura 10.7).



Com teor de umidade da madeira seca ao ar, ela já encontra muitas aplicações correntes, sendo também o teor utilizado como referência nos ensaios para a determinação das características do material.



Quanto mais úmida a madeira, maior sua capacidade de conduzir corrente elétrica. Uma vez que a água (pura) é isolante elétrico, a condução de corrente se dá pelos sais minerais contidos na água. Madeiras secas são isolantes elétricos, porém são tão mais condutoras quanto mais úmidas estiverem.



Figura 10.7: Medição do teor de umidade de uma madeira usando um ohmímetro
Fonte: <http://www.nei.com.br/images/lg/211431.jpg>

A resistência elétrica é da ordem de 10^{14} a $10^{16} \Omega$ para madeira bastante seca e de 10^3 a 10^4 para madeira bastante úmida. O Quadro 10.2 fornece uma ideia dessa variação em função do teor de umidade.

Quadro 10.2: Resistência elétrica da madeira em função do seu teor de umidade

Teor de umidade (%)	7	10	15	25
Resistência (Ω)	10^{12}	10^{10}	10^9	10^7

Fonte: Adaptado de Petrucci, 1982, p.140

10.4.1.2 Retratilidade e dilatação

Estas são propriedades da madeira em alterar suas dimensões e volume quando seu teor de umidade e temperatura ambiente varia, também, dito contração ou inchamento, consequência da perda ou absorção de água e da alteração da temperatura.



A retratilidade e a dilatação trabalham em sentidos contrários. Os empenos ocorridos nas madeiras são consequências de retratilidades diferentes em cada direção, caracterizados por suas heterogeneidade e anisotropia. O aquecimento que produz a dilatação, também produz a eliminação da água que causa a retração. Os vasos medulares inibem os efeitos de retratilidade ocasionados pelo calor e pela umidade, melhorando inclusive a resistência mecânica das madeiras.

10.4.1.3 Massa específica

A massa específica também é fundamentalmente alterada pelo teor de umidade presente (Quadro 10.3), a qual altera tanto a massa, quanto o volume. Por esse motivo e por orientação de normas técnicas, ela é estabelecida sob a umidade de 15%.

Quadro 10.3: Classificação segundo a massa específica de algumas espécies de madeiras

M.E. (kg/m^3)	Classificação	Espécies
< 500	Muito leves	paineira, suanã, caixeta, imbicuru.
500 – 800	Leves/Semipesadas	imbaúba, pinho, cedro, jequitibá, louro, mogno.
800 – 1000	Pesadas	cabriúva, eucalipto, peroba, angico, jatobá, sucupira, canela, angelim, jacarandá, imbuia.
> 1000	Muito pesadas	ipê, caviúna, pau-ferro.

Fonte: Adaptado de Petrucci, 1982. p. 139



A madeira mais leve é o pau-de-jangada (madeira balsa) que pesa de 80 a 160 kgf/m^3 . A mais pesada é o pau-ferro, também conhecido como guaratã ou caviúna vermelha, que chega a pesar 1100 kgf/m^3 .

10.4.2 Características mecânicas

As características mecânicas da madeira são as resistências que elas apresentam quando solicitadas por ações mecânicas externas.

Todas as características mecânicas das madeiras estão diretamente relacionadas com sua massa específica. Conhecendo a massa específica, muitas características mecânicas podem ser avaliadas por meio de fórmulas empíricas.

As características mecânicas são obtidas em laboratórios por meio de ensaios padronizados de tração, compressão, flexão, dureza, torção e cisalhamento, executados tanto no sentido ao longo das fibras, quanto no sentido transversal a elas.

10.5 Defeitos

São anomalias provenientes do desenvolvimento da árvore, dos processos de secagem ou ainda, ocasionadas durante a produção das peças por mão de obra descuidada no uso das máquinas. São exemplos de defeitos:

- **Nó** – envolvimento de ramos, vivos ou mortos por sucessivos anéis de crescimento.
- **Rachadura/fenda/fendilhamento** – aberturas de tamanhos, menores a maiores, que ocorrem no topo ou ao longo da peça.
- **Abaulamento** – empeno no sentido da largura.
- **Arqueamento** – empeno no sentido do comprimento.
- **Curvatura** – empeno no mesmo plano.

10.6 Beneficiamento das madeiras

Beneficiar a madeira consiste em aplicar-lhe tratamentos para protegê-la do ataque de agentes biológicos ou intempéricos, aumentando assim, a sua vida útil.



Saiba mais sobre imunização de madeiras:
<http://garoze.com.br/>

O beneficiamento se inicia com uma secagem eficaz. O uso da madeira seca contribui tanto na durabilidade de sua aplicação sem tratamento, quanto na eficiência de um tratamento por aplicação de produto impermeabilizante.

Atualmente, tratamentos modernos são obtidos pela impregnação de substâncias preservantes e, cada vez mais, novos produtos vão sendo oferecidos no mercado em função de pesquisas que visam pela descoberta de produtos mais eficientes e econômicos, que promovam:



- Toxidade a agentes xilófagos, com menor agressividade ao meio ambiente.
- Resistência às intempéries (sol e chuva).
- Higienicidade.
- Maior retenção nos tecidos lenhosos (baixa lixiviação).
- Maiores propriedades impermeabilizantes, retardadoras de fogo e inhibidoras da retratilidade, entre outras.

10.6.1 Impregnação sem pressão

É o processo de tratamento por aplicação de um produto preservante como camada de revestimento. A eficiência do tratamento é maior quanto mais seca estiver a madeira, isso porque apenas uma fenda causada na secagem é capaz de destruir a película protetora, favorecendo novos ataques.



creosoto

Derivado da destilação do alcatrão, proveniente da destilação da hulha betuminosa, é um preservante de baixo custo, insolúvel em água, mas que deixa uma superfície oleosa, muitas vezes indesejável. De odor desagradável, produz irritação na pele e nos olhos.

A impregnação sem pressão pode variar de uma simples pintura até a imersão da peça em tanques com preservativos, onde o produto é forçado ao interior da peça exclusivamente pela pressão atmosférica. Nesse processo, o **creosoto** ou outros produtos preservantes solúveis em óleo ou em água, podem ser utilizados.

10.6.2 Impregnação por pressão

Este processo é executado numa estação de beneficiamento onde as peças de madeiras são tratadas dentro de uma autoclave e recebem um líquido preservante, aplicado à uma pressão acima da pressão atmosférica. O processo torna-se mais eficiente tanto pela maior profundidade alcançada pelo produto, quanto pela menor possibilidade de sua lixiviação.

10.7 Madeiras transformadas

A madeira transformada é o produto obtido a partir de uma tecnologia de tratamento e beneficiamento da madeira natural, com propósito de alterar sua estrutura fibrosa orientada a fim de ampliar suas aplicações.

Vantagens

- Possibilidade de deixar o material homogêneo e isotrópico, melhorando os coeficientes físicos e mecânicos, devido à reorganização das fibras.
- Possibilidade de confecção de peças em formatos de chapas.
- Possibilidade de aproveitamento integral de todo o material lenhoso devido à reaglomeração com colas sintéticas.



10.7.1 Madeira reconstituída

É o produto industrial obtido a partir da madeira natural desfibrada em banho quente e, posteriormente, tratada e reaglomerada sob pressão a quente pelo uso de lignina ou aglomerante sintético. O tipo de aglomerante utilizado e a intensidade das pressões aplicadas diferenciam os produtos disponíveis para uso na construção civil.

Entre os painéis feitos de madeira reconstituída, encontram-se as chapas de fibra de densidade média: MDF, MDP e OSB.

10.7.1.1 MDF – (*Medium Density Fiberboard*)

O MDF é um painel manufaturado com madeira ou outras fibras naturais, ligadas com uma resina sintética (Figura 10.8). É fabricado para ter um peso específico de 0,50 kgf/dm³ a 0,90 kgf/dm³ (densidade ≈ de 0,50 a 0,90).



Fabricação do MDF:
<http://www.youtube.com/watch?v=F9YNgqTH7N0>



Figura 10.8: Placas de MDF

Fonte: http://img.alibaba.com/photo/300066561/melamine_mdf.jpg

10.7.1.2 MDP – (*Medium Density Particle*)

Painéis de MDP (Figura 10.9) têm como principal diferença em relação aos de MDF, o fato de serem utilizadas partículas no lugar de fibras de madeira. As partículas mais finas ficam na superfície do painel e as mais grossas no miolo.



Como os painéis de madeira são usados geralmente em ambientes internos, o principal risco de ataque biológico é representado por insetos, em especial os cupins. Apesar disso, os produtos preservativos existentes, têm sido eficazes para manter a durabilidade das peças confeccionadas.



Figura 10.9: Placas de MDP

Fonte: http://www.bonetsc.com.br/img/bg_mdp_bp.jpg

10.7.1.3 OSB – (*Oriented Strand Board*)



Fabricação do OSB:
<http://www.youtube.com/watch?v=MYDl9eWnK3U>

O OSB é uma chapa de feixes orientados com multicamadas compostas de apara de madeira, formatos e espessuras predeterminados e unidos com adesivo (Figura 10.10). Os feixes das camadas externas são alinhados e paralelos ao comprimento da peça. Os das camadas centrais podem ser orientados ao acaso ou alinhados, o que é feito, geralmente, em ângulos retos em relação às camadas externas.



Figura 10.10: Placa de OSB

Fonte: <http://imagenes.acambioide.com/empresas/6/4/5/3/6453903007045656485765666674570/productos/OSB4.jpg>

- **Hard-board** – são placas mais pesadas (até 1,59 kgf/dm³) de boa resistência mecânica, utilizadas como elementos de vedação, de esquadria, de mobiliária e até mesmo com função estrutural.
- **Soft-board** – são placas mais leves que pesam em média 0,16 kgf/dm³, encontrando aplicações como revestimento de forros e isolamento térmico e acústico. Apresentam o aspecto de um papelão, muitas vezes, furado.

10.7.2 Madeira compensada

A madeira compensada é formada pela superposição de lâminas muito finas ($\pm 1,2$ mm de espessura), coladas entre si perpendicularmente (Figura 10.11). Essas lâminas são extraídas das toras por meio de dois processos: o torneamento e o faqueamento.



Figura 10.11: Placa de compensado

Fonte: http://3.bp.blogspot.com/_LhygHDXgcuw/Ss-to8HWMKI/AAAAAAAFAfc/tWo_NcnYgMo/s320/compensados1.jpg

No torneamento, a tora sem casca é amolecida por imersão em banho quente ou vapor d'água e, logo após, é submetida a um torno mecânico provido de faca horizontal no comprimento da tora que a abrirá como um lençol contínuo, à semelhança de um papel bobinado.

No faqueamento, a tora, também sem a casca, é presa pelos lados e uma faca do comprimento da tora vai fatiando a madeira, produzindo várias lâminas. Essas lâminas são usadas para encapar o compensado laminado folheado utilizado na fabricação de móveis e portas. São peças de maior valor comercial, devido ao aspecto mais decorativo.

As lâminas da madeira compensada são coladas sob pressão a quente (1,5 MPa -150°C) através de resinas sintéticas. Os produtos são chapas de espessuras usuais de até 5 mm (3 folhas); de 9 a 12 mm (7 folhas); 18 mm (9 folhas) e espessuras superiores com 11 folhas ou mais. Entre os empregos mais correntes destas chapas, destacam-se: confecção de móveis, revestimentos de tetos, paredes e fôrmas para concreto.



Para as fôrmas de concreto, temos os madeirites de acabamento de superfície resinada e os de acabamento plastificado à prova d'água.

Nos compensados de madeira nobre, como sucupira, cerejeira e outros, apenas a folha externa é dessa madeira. As folhas internas são de madeiras menos nobres e mais abundantes.

10.7.3 Madeira aglomerada

São produtos industriais obtidos da madeira reduzida a pequenos fragmentos tratados com substâncias preservantes e reaglomerados sob pressão. As chapas de aglomerados (Figura 10.12), resultantes do processo, têm dimensões de 3,60 m × 1,80 m e possuem múltiplas aplicações, dentre as quais se destacam o uso em mobiliários e divisórios e, de forma secundária, na construção civil.



Figura 10.12: Madeira aglomerada

Fonte: http://1.bp.blogspot.com/_ufpyCC9UEL1/TP5gdBoKnDI/AAAAAAAABZQ/GsutnJuBos/s1600/Aglomerado_Natural.jpg

O aglomerante mineral mais utilizado é o cimento Portland. Neste caso, os fragmentos de madeira recebem um banho mineralizador com cloreto de cálcio a fim de neutralizar a ação da matéria orgânica e melhorar a aderência ao cimento, acelerando inclusive a pega. Dependendo da sua densidade, apresentam características físicas de reduzida retratilidade, bom isolamento térmico e boa absorção acústica, com boa resistência mecânica. Assim podem ser indicados como material de revestimento de forros e divisórias (inclusive externas), podendo mesmo ser argamassadas e pintadas.

Um cuidado especial deve ser dedicado ao seu acabamento para que resista ao risco ou à ação de agentes agressivos, como água quente, cigarros e solventes químicos. Nesse caso, após a cura, as chapas recebem tratamento superficial por lixamento e pintura ou podem ainda ser revestidas com material polimérico (laminado fenólico – fórmica), passando a constituir um material compósito.

As madeiras utilizadas na fabricação de aglomerados são provenientes de espécies de reflorestamento, principalmente o pinus e, em menor escala, algumas espécies de eucalipto.



Fabricação da madeira aglomerada:
<http://www.youtube.com/watch?v=YgXecJ4n-UM>

Resumo

As madeiras são materiais naturais de excelentes qualidades físicas, mecânicas e estéticas. Como organizações vivas, são heterogêneas e anisotrópicas, mas que podem se tornar homogêneas e isotrópicas por beneficiamentos.

A madeira é, possivelmente, o único material que apresenta todas as características físicas e mecânicas, proporcionalmente, em maior escala que os demais, isso quer dizer que, proporcionalmente, ela é boa para tudo, ou “pau pra toda obra”.

Atualmente, o reflorestamento de várias espécies, entre elas os pinus e os eucaliptos de crescimento rápido (± 5 anos), tem se tornado muito importante. Apesar de afastar a fauna, por falta de atrativos alimentícios, estas madeiras são opções indispensáveis para aplicação em obras de pequeno porte e como fonte de energia calorífica em usinas. Torna-se, até mesmo, um modo de preservação de florestas naturais, uma vez que se diminuirá a necessidade de desmatamento nessas florestas.

Atividades de aprendizagem

1. Cite as vantagens e as desvantagens do uso das madeiras como material de construção.
2. Diferencie o alburno do cerne.
3. Explique o que é o madeirite, um material muito empregado como fôrma para concreto.
4. Como fazer para aumentar a durabilidade das madeiras?
5. Cite as aplicações das madeiras nobres na construção civil.
6. Cite alguns exemplos de madeiras transformadas e suas aplicações na construção civil.



Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5735**: Cimento Portland de alto forno. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Cimento Portland: Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 49**: Agregado miúdo: Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52**: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53**: Agregado graúdo: Determinação da massa específica e da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 65**: Cimento Portland: Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland: Preparo, controle e recebimento: Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7480**: Aços destinados à armadura para estrutura de concreto armado: Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais: Classificação pela massa específica, por grupo de resistência e consistências. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11579**: Cimento Portland: Determinação do índice de fissura por meio de peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2009.

BAUER, Luiz A. Falcão. **Materiais de construção**. Volumes 1 e 2. São Paulo: LTC, 1995.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

FRANÇA, Esdras Poty de. **Concreto de cimento Portland** (notas de aula). III PCDET. Belo Horizonte: CEFET-MG, 1991.

HELENE, Paulo & TERZIAN Paulo. **Manual de dosagem e controle de concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

KLOSS, César Luiz. **Materiais de construção civil**. Paraná: CEFET-PR, 1991.

PETRUCCI, Eládio. **Concreto de cimento Portland**. Porto Alegre: Globo, 1979.

_____. **Materiais de construção**. Porto Alegre: Globo, 1982.

ZANDONADI, Alexandre. **Materiais cerâmicos**. III PCDET. Belo Horizonte: CEFET-MG, 1992.

Curriculum do professor-autor



Luiz Alcides Mesquita Lara nasceu a 14/04/1954, no Rio de Janeiro. Estudou o curso secundário no Colégio Estadual Professor Soares Ferreira em Barbacena - MG e se formou em Engenharia Civil pela Escola de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto em julho de 1979. Desenvolveu, a partir de então atividades de engenheiro na Prefeitura Municipal de Mariana - MG e na construção do campus da Universidade Federal de Ouro Preto até 1990, quando foi admitido na carreira de docente para o curso de Edificações da então Escola Técnica Federal de Ouro Preto, hoje, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, campus Ouro Preto. Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico tem curso de Licenciatura Plena pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e Especialização em Materiais para a Construção Civil pelo mesmo instituto. Entre outras disciplinas, ministra aulas de Instalações Elétricas e Materiais de Construção.