

**UFBA-ESCOLA POLITÉCNICA-DCTM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS
SETOR DE MATERIAIS**

ROTEIRO DE AULAS

CIMENTO PORTLAND

Unidade II
(Continuação)

CIMENTO PORTLAND

Aglomerante hidráulico, pulverulento, produzido pela moagem de uma mistura devidamente dosada de calcário e argila, calcinada até fusão incipiente.

Aglomerante hidráulico, pulverulento, produzido pela moagem do Clinquer, com adição de gesso, e usualmente outras adições.

RESUMO HISTÓRICO

Os gregos e romanos utilizam calcário calcinado + cinza vulcânica.

1756 - John Smeaton reconhece as propriedades químicas da cal hidratada. Utilização de calcário com teor de argila.

1796 — Joseph Parker patenteia um cimento natural de pega rápida

1818 — Louis Vicat compreende perfeitamente as causas do endurecimento dos cimentos. Considerado seu inventor. Mistura calcário + argila.

1824 — Joseph Aspdin patenteia o Cimento Portland. Origem do nome Portland: Cor semelhante com a pedra de Portland (calcário de Dorset).

1885 — Frederick Ransome inventa o forno rotativo, que prevalece até hoje.

1824 — Joseph Aspdin patenteia o Cimento Portland, um produto da cor de uma pedra da localidade de Portland, mas ainda uma cal hidráulica

1845 — Isaac Johnson produziu cimento artificial de pega normal

NO BRASIL

1888 - Comendador Antônio Rodovalho

1892 - Ilha de Tiriri na Paraíba

1912 -Cachoeiro do Itapemirim (ES)

1926 - Companhia de Cimento Brasileiro Perus - Primeira produção efetiva.

1939 - Cinco fábricas

1953 - 15 fábricas

2004 - Atualmente o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento possui dez empresas associadas, com 57 fábricas.

Camargo Correia (5 fabricas) – *Cimpor* (8) – *CP Cimento* (4) – *Ciplan* (1) – *Itambé* (1) – *Lafarge* (6) – *Nassau* (9) – *Holcim* (5) - *Soeicom* (1) - *Votorantim* (17)

Produção Brasileira (milhões de tonelada) – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

1992 – 23,9	1993 – 24,8	1994 – 25,2	1995 – 28,2
1996 – 34,6	1997 – 38,1	1998 – 39,9	1999 – 40,2
2000 – 39,5	2001 – 39,9	2002 -	2003 – 34,4
2004 – 34,0			

Maiores Produtores Mundiais -2000 (em milhões de toneladas)

1 ^o - - China	576	6 ^o – Brasil	39,6
2 ^o - Índia	107,7	7 ^o - Itália	38,8
3 ^o - USA	86,0	8 ^o – Espanha	37,8
4 ^o – Japão	81,0	9 ^o - Turquia	37,0

5^o - Coreia Sul

52,3

10^o – Alemanha

35,3

Cimento Portland = Clínquer + Gipsita + Adição**CLÍNQUER**

Nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.

Clínquer = (Calcário + Argila) + Minério de ferro**FABRICAÇÃO:**

Processos por:

- Via seca
- Via úmida

ETAPAS DA FABRICAÇÃO:**A - Preparo da mistura**

- Extração das matérias primas
- Britamento do calcáreo
- Mistura dos materiais calcáreos e argilos - dosagem)
- Moagem da mistura
- Homogeneização
- Transporte para o forno

B) Cozimento da mistura

- Cozimento no forno
- a) evaporação - até 100 °C
- b) decomposição (descarbonatação) até 900 °C
- c) clínquerização (combinação) até 1.500 °C
- Resfriamento do clínquer

C) Moagem

- Adição de sulfato de cálcio ao clínquer (dosagem)
- Colocação de outras adições
- Pulverização do produto (moinhos)
- Armazenamento
- Ensacamento

ADIÇÕES

Matérias primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, contribuem na composição dos diversos tipos de cimento disponíveis no mercado

RAZÕES DA UTILIZAÇÃO

- Técnicas – propriedades específicas
- Econômicas – baixo custo / diminuição do consumo de energia
- Ecológicas – aproveitamento de resíduos poluidores
- Estratégicas – preservação de jazidas

TIPOS DE ADIÇÕES

- Filer calcário
- Escória de alto forno
- Pozolana

DEFINIÇÕES

Filer Calcário - Calcário moído, quimicamente inerte, adicionado ao clínquer, durante a moagem, para diminuir a permeabilidade e porosidade de concretos e argamassas e melhorar a trabalhabilidade

Escória de Alto Forno - Escória de Alto Forno - Produto não metálico, constituído essencialmente de silicatos e aluminatos de cálcio, resultante do tratamento do minério de ferro. Empregado como adição ao cimento Portland.

Pozolana – (1) Material silicoso natural, não aglomerante por si mesmo, e que finamente dividido reage com Ca(OH)_2 , formando os mesmos compostos resultantes da hidratação dos cimentos. Empregada como adição ao cimento Portland.

(2) Produtos naturais ou artificiais constituídos essencialmente por sílica e alumina que, apesar de não terem por si sós propriedades aglomerantes e hidráulicas, contém constituintes que às temperaturas adequadas, em presença da água, com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento, originado compostos de grande estabilidade na água e com propriedades aglomerantes.

Sílica Ativa - Subproduto da produção de silício metálico e ligas de ferro-silício, composto de partículas extremamente finas (100 vezes menores que as do cimento) de dióxido de silício amorfo. Atuam na pasta de cimento por:

- Efeito de micro filer
- Efeito pozolânico

Embalagem

Sacos de papel Kraft com 50 kg ou 25 kg. Pode ser também fornecido a granel

Armazenamento

Até 15 dias	Pilas de até 15 sacos
Mais de 15 dias	Pilhas de até 10 sacos
Período	Menor ou igual a 3 meses
Local	Coberto, fechado, em estrados suspensos do solo e sacos afastados das paredes
Uso	Por ordem de fabricação ou estoque

COMPOSIÇÃO DO CLINQUER:

Dois silicatos	Compostos	
Dois aluminatos	⇒ Fundamentais	≈ 90%
e alguns óxidos		≈ 10%

Os resultados de análise química de rotina são expressos em termos de óxidos dos elementos presentes.

Óxidos	Abreviação	Óxidos	Abreviação
CaO	C	MgO	M
SiO ₂	S	SO ₃	S
Al ₂ O ₃	A	Na ₂ O	N
Fe ₂ O ₃	F	K ₂ O	K

Compostos Principais

Nome	Compostos	Abreviação
Silicato Tricálcico	3CaOSiO ₂	C ₃ S
Silicato Dicálcico	2CaOSiO ₂	C ₂ S
Aluminato Tricálcico	3CaOAl ₂ O ₃	C ₃ A
Ferro Aluminato Tetracálcico	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Compostos Secundários

MgO, CaO (livre) K₂O, Na₂O (álcalis) CaSO₄ 2H₂O

Composição Típica

Compostos	Variação (%)
C ₃ S	40 a 70
C ₂ S	5 a 35
C ₃ A	4 a 15
C ₄ AF	5 a 15

Características dos Compostos

Fórmula	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Nome	Alita	Belita	-	Ferrita
Velocidade de reação	Média	Lenta	Rápida	Média
Calor de Hidratação (cal/g)	Médio 120	Baixo 60	Elevado 320	Médio 100
Resistência	Boa	Boa	Fraca	Fraca

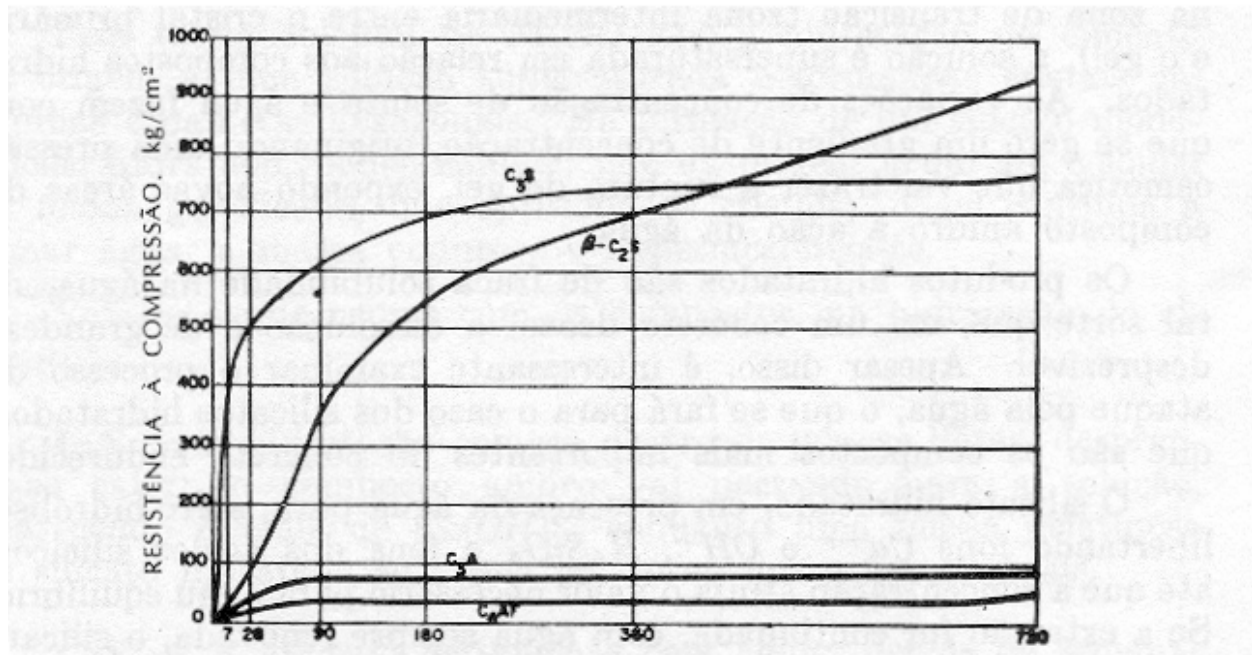
Componentes Fornecidos numa Análise Química - Exemplo

Dióxido de Silício	SiO ₂	21,10 %
Óxido de Alumínio	Al ₂ O ₃	4,67
Óxido de Ferro	Fe ₂ O ₃	3,87
Óxido de Cálcio	CaO	63,37
Óxido de Magnésio	MgO	1,42
Trióxido de Enxofre	SO ₃	2,09
Óxido de Sódio	Na ₂ O	0,59
Óxido de Potássio	K ₂ O	0,34
Resíduos insolúveis		0,33
Perdas ao fogo		0,99
Cal livre	CaO	1,40

Limitações para o C.P. comum:

MgO < 6,5% R.I. < 1,0%

$\text{SO}_3 < 3,0\%$ P.F. $< 4,0\%$



ESPECIFICAÇÕES BRASILEIRAS PARA O CIMENTO PORTLAND

A partir de 1991 os cimentos portland brasileiros passaram a ter as seguintes denominações:

- **CIMENTO PORTLAND COMUM:**

CP I → Cimento Portland Comum

CP I.S → Cimento Portland Comum com Adição

- **CIMENTO PORTLAND COMPOSTO:**

CP II.E → Cimento Portland Composto com Escória

CP II.Z → Cimento Portland Composto com Pozolana

CP II.F → Cimento Portland Composto com Filer

- **CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO (CP III)**

- **CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO (CP IV)**

- **CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (CP V-ARI)**

- **CIMENTO PORTLAND BRANCO**

- **CIMENTO PORTLAND RESISTENTE A SULFATOS (RS)**

CLASSES DE RESISTÊNCIA

Os Cimentos Portland são definidos para efeito de verificação de conformidade por suas classes, conforme indicado a seguir:

Cimento	Classe	Resistência à compressão aos 28 dias de idade (MPa) ^(*)	
		Limite inferior	Limite superior
CP I CP I S NBR 5732	25-32 e 40 25-32 e 40	25-32 e 40 25-32 e 40	Para 25 42 Para 32 49 Para 40 sem limite
CP II - E CP II - Z CP II - F NBR 11578	25-32 e 40 25-32 e 40 25-32 e 40	25-32 e 40 25-32 e 40 25-32 e 40	Idem
CP III NBR 5735	25-32 e 40	25-32 e 40	Idem
CP IV NBR 5736	25 32	25,0 32,0	Para 25 42 Para 32 49
CP V-ARI NBR 5733	Resistência à Compressão aos 7 dias de idade (MPa) ^(*)		
		34	-

(*) MPa (Mega Pascal) = 10,1977 kgf/cm² (aproximadamente 1MPa = 10 kgf/cm²).

ESPECIFICAÇÕES

1 Cimento Portland Comum (NBR 5732)

1.1 - DESIGNAÇÃO

Sigla	Designação	Classe(*)
CP I	Cimento Portland Comum	25, 32 e 40
CP I S	Cimento Portland Comum com Adição	25, 32 e 40

NOTA:(*) Caracterizada pela resistência mínima à compressão aos 28 dias de idade, expresso em MPa(Mega Pascal)

2 Cimento Portland Composto (NBR 5732)

Sigla	Designação	Classe
CP II-E	Cimento Portland Com Escória	25, 32 e 40
CP II-Z	Cimento Portland com Pozolana	25, 32 e 40
CP II-F	Cimento Portland com Filer	25, 32 e 40

3 Cimento Portland de Alto Forno

Passa a ser designado pela sigla de CP III, seguido do número indicativo da classe: 25, 32 ou 40

4. Cimento Portland Pozolânico

Passa a ser designado pela sigla de CP IV, seguido da classe: 25 ou 32

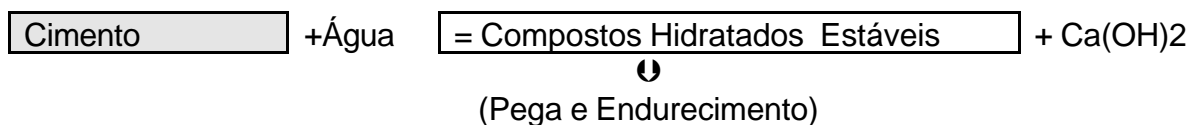
5. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

Passa a ser designado pela sigla de CP V - ARI

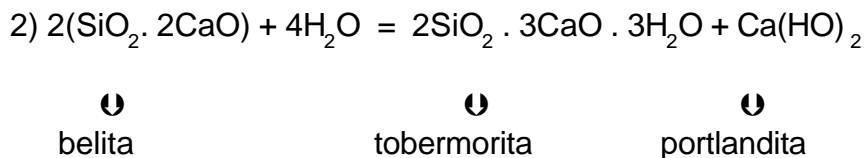
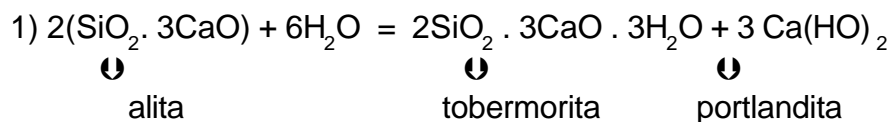
Teores dos Componentes (% em massa)

Sigla	Classe	Clinker + Sulfato de Cálcio	Escoria Granulada	Material Pozolânico	Material Carbonático
CP I	25, 32 e 40	100	0	0	0
CP I S	25, 32 e 40	99 a 95	1 a 5		
CP II-E	25, 32 e 40	94 a 56	6-34	0	0 a 10
CP II-Z	25, 32 e 40	94 a 76	0	6 a 14	0 a 10
CP II-F	25,32 e 40	94 a 90	0	0	6 a 10
CP III	25, 32 e 40	65 a 25	35 a 70	0	0 a 5
CP IV	25 e 32	85 a 45	0	15 a 50	0 a 5
CP V		100 a 95	0	0	0 a 5

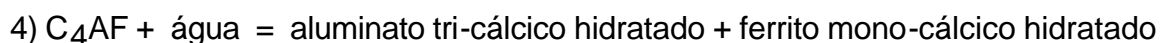
HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND



a) Reações dos silicatos com a água :



b) Reações dos aluminatos com a água :



Sal de Candlot

6) Aluminato tricálcico hidratado + Ca(OH)_2 = Al. tetra-cálcico hidratado

7) Ferrito monocálcico hidratado + Ca(OH)_2 = Ferrato tri-cálcico hidratado

8) $\text{CaO}_{\text{livre}} + \text{água} = \text{Ca(OH)}_2$

9) $\text{MgO} + \text{água} = \text{Mg(OH)}_2$

AÇÃO DAS ÁGUAS SOBRE AS PASTAS DE CIMENTO PORTLAND

1 - Ação da água doce:

- Dissolução do $\text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow$ eflorescência de CaCO_3

2 - Ação da água do mar:

a) $\text{MgSO}_4 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{SO}_4\text{Ca} + \text{Mg(OH)}_2$

b) $\text{CaSO}_4 + \text{C}_3\text{A}$ hidratado \Rightarrow Sal de Candlot (expansão e fragmentação)

As escórias e pozolanas (hidraulites) atuam sobre o $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow$ produzem silicatos e diminui a ação nociva dos sulfatos.

PEGA DO CIMENTO PORTLAND

Causa da pega:

- a) Hidratação do C_3A (inicialmente)
- b) Hidratação do C_3S (complementa)

FATORES QUE INFLUEM NA PEGA:

- 1 - Finura do cimento
- 2 - Temperatura
- 3 - Substâncias adjuvantes:

ADITIVOS:

Classificação: Segundo (Antônio de S. Coutinho)

- Redutores de água \Rightarrow plastificantes
- Introdutores de ar
- Aceleradores de pega
- Retardadores de pega
- Aceleradores de endurecimento
- Impermeabilizantes \Rightarrow hidrófugos ou redutores de capilaridade
- Expansores

- Diversos \Rightarrow anticorrosivos, fungicidas, germicidas, etc.

RETARDADORES DE PEGA:

- Linosulfatos de cálcio, de sódio, de amônia
- Ácidos e sais de ácidos hidroxí-carboxílicos
- Hidratos de carbono \Rightarrow glicose, sacarose, amido, celulose
- Ácidos fosfóricos e fluorídricos
- Glicerina
- Fosfatos e fluoretos
- Borato e bi-carbonato de sódio
- Cloreto de cálcio ($< 0,5\%$)

ACELERADORES DE PEGA:

- Cloreto de cálcio ($> 0,5\%$)
- Cloretos de sódio e de alumínio
- Bases alcalinas : soda, potassa, amoníaco
- Carbonatos e aluminatos de Na e K

VARIAÇÃO DO VOLUME DAS PASTAS, ARGAMASSA E CONCRETOS:

EXPANSÕES

- a) de origem química - Expansibilidade
- b) de origem hidráulica - Expansão hidráulica
- c) de origem térmica - Dilatação térmica

CONTRAÇÕES

Retração Autógena



- a) Origem química



Retração por Carbonatação

- b) origem hidráulica \Rightarrow Retração hidráulica
- c) origem térmica \Rightarrow Retração térmica

EXPANSIBILIDADE

A expansibilidade mais significativa é a de origem química, que é de uma ordem de grandeza muito maior que a retração ou expansão de origem hidráulica.

A estabilidade de volume pode ser afetada por:

- a) excesso de CaO livre

- b) teor excessivo de MgO
- c) teor excessivo de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

O excesso de CaO livre pode ser devido a:

- 1 - uso de mistura com excesso de calcário
- 2 - calcinação deficiente
- 3 - moagem insuficiente da mistura crua

RETRAÇÃO

a) Retração plástica ou retração inicial

- Ocorre antes da pega devido a perda d'água.

b) Retração autógena (de 10 a 150 m/m)

- Ocorre nos primeiros 90 dias, independente da evaporação da água, devido as reações de hidratação do cimento.

c) Retração por carbonatação (de 100 a 200 m/m)

- Devida a reação do CO_2 com o $\text{Ca}(\text{HO})_2$ liberado na hidratação.

d) Retração hidráulica (de 200 a 700 m/m)

É devida a evaporação da água do material endurecido e aumenta ao longo do tempo.

e) Retração térmica (de 7 a 14 m/m / °C)

Devida à variação de temperatura do ambiente, ou da gerada internamente pelo calor de hidratação.

Fatores que influem na retração hidráulica:

- a) Natureza do cimento → C_3A e finura
- b) Natureza do agregado → módulo de elasticidade
- c) Dosagem da água → relação A/C
- d) Dosagem de agregados → relação agregado/cimento
- e) Dimensões das peças
- f) Granulometria → % de material fino
- g) Aditivos → retardadores e aceleradores de pega
- h) Cura → cura inicial
- i) Umidade relativa do ar

INFLUÊNCIA DO CIMENTO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Trabalhabilidade
Resistência Mecânica
Elasticidade
Fluência
Estabilidade de Volume
Permeabilidade
Proteção das Armaduras
Resistência Química
Resistência à Ação do Fogo
Reação Cimento-Agregado

TRABALHABILIDADE

Fatores que influem na trabalhabilidade dos concretos, decorrente do cimento

- **Teor** → plasticidade e lançamento da mistura
- **Finura** → afeta a água necessária
- **Pega** → - aumento de consistência devido a fixação da água - percentual maior de cimento acelera a pega.

RESISTÊNCIA MECÂNICA

Compostos

Os Compostos responsáveis pela resistência são:

- C₃S** → maior contribuição entre 10 horas e 28 dias principalmente
- C₂S** → contribui significativamente a partir de 45 dias
- C₃A** → maior contribuição nas primeiras 24 horas

Finura

Cimentos mais finos resultam em concretos com maiores resistências nas primeiras idades (até 28 dias). O efeito é mais significativo entre 10 e 20 horas.

Adições de finos podem aumentar a resistência dos concretos, como por exemplo a microssílica.

Idade

Há um aumento da resistência da pasta com a idade, decorrente da evolução da hidratação dos compostos.

ELASTICIDADE

O módulo de deformação elástica do concreto é função dos módulos de deformação elástica da pasta de cimento e dos agregados, e do proporcionamento destes.

Módulo de deformação da pasta

7.000 a 14.000 MPa

Módulo de deformação do agregado

- 69.000 a 138.000 mpa (granito, basalto, rochas vulcânicas)
- 21.000 a 48.000 Mpa (arenitos, calcários e cascalho do tipo poroso)

Módulo de deformação do concreto

21.000 a 30.000 MPa

FLUÊNCIA

É a deformação sofrida, com o tempo, por um material decorrente da ação de uma carga constante.

A porosidade da pasta é a principal responsável pela fluência.

O carregamento durante o período de maior crescimento da resistência, afeta a magnitude da fluência.

ESTABILIDADE DE VOLUME

É influenciada por:

- Exsudação
- Variação de Temperatura
- Reações de Hidratação do Cimento
- Secagem

Cimentos que tenham teores significativos de CaO (cal livre) e MgO (periclásio) podem ocasionar expansões.

PERMEABILIDADE

A porosidade dependem dos poros de gel e dos poros capilares como veremos adiante.

Os poros de gel representam cerca de 28% do volume da pasta, com dimensões de 15 a 30 Å de diâmetro.

Os poros capilares podem representar de 0 a 40% do volume da pasta, com dimensões de cerca de 1 µm de diâmetro.

A introdução de pozolanas e escórias nos cimentos diminuem a permeabilidade dos concretos.

PROTEÇÃO DAS ARMADURAS

Concretos dosados, adensado e curado adequadamente, protege bem as armaduras contra a oxidação, desde que o cobrimento esteja compatível.

RESISTÊNCIA QUÍMICA

A durabilidade do concreto é muito complexa, dependendo muito do meio a que vai ficar exposto.

Classificação (NBR 6118):

Meio fracamente agressivo
Moderadamente agressivo
Fortemente agressivo
Muito fortemente agressivo

RESISTÊNCIA A AÇÃO DO FOGO

- ☞ Até 100 °C resiste bem
- ☞ 100 a 300°C perde resistência
- ☞ > 300 °C há desidratação com perda total da resistência a depender da duração do fogo.

Para resistir temperaturas elevadas usa-se cimento aluminoso.

CIMENTO - ESPECIFICAÇÕES

ESPECIFICAÇÕES	NBR	NBR 5732		NBR 11578			NBR 5735			NBR 5736		NBR 5733	
		CP I	CP I-S	CP II-E	CP II-Z	CP II-F	CP III			CP IV		CP V	
DETERMINAÇÕES QUÍMICAS (%)													
Resíduo Insolúvel (RI)	5744 ²	=1,0	= 5,0	= 2,5	=16,0	= 2,5	= 1,5	-		-		= 1,0	
Perda ao Fogo (PF)	5743 ²	= 2,0	= 4,5	= 6,5			= 4,5	=4,5		= 4,5		= 4,5	
Óxido de Magnésio (MgO)	5742 ²	= 6,5		= 6,5			-			= 6,5		= 6,5	
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	5745	= 4,0		= 4,0			= 4,0	= 4,0		= 4,0		= 3,5 p/C ₃ A = 8%	
Anidrido Carbônico (CO ₂)	11583	=1,0	= 3,0	=5,0			= 3,0	= 3,0		= 3,0		=3,0	
EXIGÊNCIAS FÍSICAS E MECÂNICAS													
Pega - tempo de início (h)	11581	≥ 1		≥ 1			≥ 1			≥ 1		≥ 1	
- tempo de fim (h) ¹	11581	=10		= 10			=12			= 12		=10	
Expansibilidade - a quente (mm)	11582	=5		= 5			= 5			= 5		= 5	
- a frio (mm) ¹	11582	= 5		= 5			= 5			= 5		= 5	
Teor de Mat. Carbonático (%) ¹		-		0-10	0-10	6-10	-			-		= 5	
Teor de Escória (%) ¹	5754	-		6-34	-	-	35-70			-		-	
Teor de Material Pozolânico	8347	-		-	6-14	-	-			-		-	
Teor mat. poz.+esc.+carb.(%) ¹		0	= 5	-			-			--		-	
Teor de Enxofre - sulfeto (%) ¹	5746	-		-			= 1,0			-		-	
CLASSE		25	32	40	25	32	40	25	32	40	25	32	
Finura - resíduo pen 75µm (%)	11579	=12,0		=10,0	= 12,0		=10	= 8,0			= 8,0		= 6,0
- área específica (m ² /kg)	7224	≥ 240	≥ 260	≥ 280	≥240	≥260	≥280	-			-		≥ 300
Resistência à Compressão (MPa)	7215	≥ 14 (1 dia)											
3 dias		≥ 8	≥10	≥ 15	≥ 8	≥ 10	≥ 15	≥8	≥10	≥ 12	≥8	≥10	≥24
7 dias		≥ 15	≥20	≥ 25	≥ 15	≥ 20	≥25	≥15	≥ 20	≥ 23	≥15	≥20	≥34
28 dias		≥ 25	≥ 32	≥40	≥ 25	≥ 32	≥ 40	≥25	≥32	40	≥25	≥32	-
91 dias ¹		-	-	-	-	-	-	≥ 32	≥40	≥48	≥32	≥40	-

1 - Determinação não exigida - Facultativo

2 - Para cimentos pozolânicos NBR 83