UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Engenharia Civil

Caroline Fernandes Lima

Isabela dos Santos Cardoso

Núbia Santos Oliveira

Sâmila Márcia Gomes Ferreira

ESTUDO E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TRAÇO DE CONCRETO CONFECCIONADO COM CIMENTOS CP II, CP III, CP IV E CP V

Teófilo Otoni - MG

2018

Caroline Fernandes Lima

Isabela dos Santos Cardoso

Núbia Santos Oliveira

Sâmila Márcia Gomes Ferreira

ESTUDO E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TRAÇO DE CONCRETO CONFECCIONADO COM CIMENTOS CP II, CP III, CP IV E CP V

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do títulodeBacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Stênio Cavalier Cabral.

Teófilo Otoni - MG

2018

Caroline Fernandes Lima

Isabela dos Santos Cardoso

Núbia Santos Oliveira

Sâmila Márcia Gomes Ferreira

ESTUDO E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TRAÇO DE CONCRETO CONFECCIONADO COM CIMENTOS CP II, CP III, CP IV E CP V

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Stênio Cavalier Cabral.

Data de aprovação: 14 / 08 / 2018.

_____

Prof. Dr. Stênio Cavalier Cabral
ICET. Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia-UFVJM

_____

Prof. Msc. Eduardo Lourenço Pinto
ICET-Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia- UFVJM

_____

Prof. Msc. Flávio Alchaar Barbosa
ICET-Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia-UFVJM

Teófilo Otoni – MG

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida. Sem Ele nada disso seria possível. Obrigado pela força, paciência e determinação que o Senhor nos concedeu.

Às nossas famílias, pelo companheirismo, pelas orações, cuidado e apoio nos momentos mais difíceis. Por nunca deixar que desanimássemos e sempre acreditarem que éramos capazes.

Ao nosso orientador Stênio Cavalier Cabral, pelos ensinamentos e dedicação, o nosso muito obrigado.

À Concreteira Mix Mattar por permitir que utilizássemos as dependências do laboratório, bem como os equipamentos necessários para a realização do nosso TCC. Aos técnicos responsáveis pelo mesmo, por auxiliar-nos durante os ensaios.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, nossos sinceros agradecimentos.

RESUMO

No presente trabalho discute-se a variação da resistência à compressão do concreto confeccionado com os tipos de cimento Portland CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI ao longo dos dias de cura, sendo que foram analisados os rompimentos em 3, 7, 14, 21 e 28 dias.Assim verifica-se o tempo necessário de escoramento, que varia conforme o calor de hidratação do cimento e seu endurecimento,sendo o tempo requerido para o concreto atingir a resistência desejada e suportar as cargas sem se romper.Com esse intuito foram preparados cem corpos de prova cilíndricos, sendo cinco para cada idade de rompimento de cada tipo de cimento. Foram utilizados neste estudo como agregado graúdo a brita 1 e agregado miúdo a areia tipo VSI, artificial, ambos pertencentes a pedreira e concreteira Mix Mattar em Teófilo Otoni-MG.Sabe-se que as características dos vários tipos de cimentos variam e o seu uso depende do tipo de obra e propriedades que se desejam alcançar. Na atualidade o concreto é o segundo elemento mais consumido no mundo, revolucionando a arte de projetar e construir estruturas, cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade. A importância deste material cresceu em escala geométrica, com os avanços tecnológicos e necessidades de atributos cada vez mais específicos, sendo o seu elemento primordial o cimento, foco desta pesquisa. Deve-se lembrar, porém,da relevância que o tempo de escoramento das estruturas de concreto possui e que, mesmo na correria da obra,esse tempo de permanência das escoras deve ser respeitado para perfeita cura e obtenção da resistência necessária do concreto.

Palavras-Chave: Tipos de cimento Portland. Resistência. Escoramento. Cura.

ABSTRACT

In the present work, the compressive strength variation of the concrete made with the Portland cement types CP II, CP III, CP IV and CP V-ARI is discussed in the present work. The ruptures were analyzed in 3, 7, 14, 21 and 28 days. This results in the required shortening time, which varies according to the heat of hydration of the cement and its hardening, the time required for the concrete to reach the desired strength and to withstand the loads without breaking. For this purpose, 100 cylindrical specimens were prepared, five of them for each age of rupture of each type of cement. A large aggregate was used in this study as a bulk aggregate for aggregate sand and VSI type artificial sand, both belonging to quarry and concrete Mix Mattar in Teófilo Otoni-MG. It is known that the characteristics of the various types of cements vary and their use depends on the type of work and properties that one wishes to achieve. Today, concrete is the second most consumed element in the world, revolutionizing the art of designing and building structures, whose evolution has always been associated with the development of civilizations throughout the history of mankind. The importance of this material grew in a geometric scale, with the technological advances and needs of attributes more and more specific, being its primordial element the cement, focus of this research. It should be remembered, however, the importance of the shoring time of concrete structures and that, even in the running of the work, this permanence of the struts must be respected for perfect cure and attainment of the necessary strength of the concrete.

Keywords: Portland cement types. Resistance. Shoring. Cure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representativo da produção de cimento Portland. 15
Figura 2 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland. 20
Figura 3 - Escoramento de madeira. 26
Figura 4 - Escoramento metálico. 27
Figura 5 - Verificação do Slump Test. 31
Figura 6 - Concreto em moldes cilíndricos com dimensões 20 cm x 10 cm. 32
Figura 7 - Temperatura da água no recipiente contendo os corpos de prova. 33
Figura 8 - Retificação do corpo de prova. 34
Figura 9 - Corpos de prova retificados. 34
Figura 10 - Máquina de compressão elétrica. 35
Figura 11 - Rompimento do corpo de prova. 35
Figura 12 - Curva granulométrica. 38
Figura 13 - Resistência média dos concretos. 39
Figura 14 - Porcentagem de ganho de resistência – CP II. 39
Figura 15 - Porcentagem de ganho de resistência – CP III. 40
Figura 16 - Porcentagem de ganho de resistência – CP IV. 41
Figura 17 - Porcentagem de ganho de resistência – CP V-ARI. 42
Figura 18 - Resistência do concreto aos 3 dias. 43
Figura 19 - Resistência do concreto aos 7 dias. 43
Figura 20 - Resistência do concreto aos 14 dias. 44
Figura 21 - Resistência do concreto aos 21 dias. 44
Figura 22 - Resistência do concreto aos 28 dias. 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura de reação dos compostos do clínquer. 14
Tabela 2 - Comparação da composição do CP I e CP II. 18
Tabela 3 - Comparação da composição do CP III e CP IV. 18
Tabela 4 - Composição do CP V. 18
Tabela 5 - Composição potencial dos cimentos Portland em porcentagem e calores de hidratação. 19
Tabela 6 - Aplicações e tipos de cimento Portland. 20
Tabela 7 - Resistência média do concreto (MPa) em função da relação a/c para vários tipos de cimentos brasileiros. 24
Tabela 8 - Comparativo entre sistemas de escoramento. 27
Tabela 9 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova[a]. 32
Tabela 10 - Dias para o rompimento dos corpos de prova. 36
Tabela 11 - Correção do fator água/cimento (a/c). 37
Tabela 12 - Resistência média à compressão, umidade da areia e slump dos corpos de prova. 38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **8**

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA **10**
2.1 Objetivo Principal **10**
2.2 Objetivos secundários **10**
2.3 Justificativa **10**

3 REFERENCIAL TEÓRICO **11**
3.1 História do cimento **11**
3.2 Cimento: Composição e Fabricação **13**
3.3 Tipos de cimento Portland **16**
3.4 Comparação entre os principais tipos de cimentos Portland **17**
3.5 O concreto **23**
3.6 Escoramento **25**
3.7 Tempo de retirada de escoras de laje **28**

4 MATERIAIS E MÉTODOS **30**
4.1 Materiais Empregados **30**
4.1.1 Cimento **30**
4.1.2 Agregados **30**
4.1.3 Água **31**
4.2 Procedimentos **31**

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES **37**

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS **46**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **47**

1 INTRODUÇÃO

A palavra cimento provém do latim “caementu”, espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta a 4.500 anos, nessa época utilizava-se uma liga composta por uma mistura de gesso calcinado para unir as pedras que davam sustentação à construção dos monumentos(BATTAGIN, 2018).

No entanto, ao longo dos anos o cimento passou por um processo evolutivo até obter-se o cimento Portland conhecido hoje, produzido pela mistura e queima de calcário e argila, moídos e misturados à gesso, podendo ter adições de outros materiais que foram sendo incorporados na produção, em proporções adequadas para fornecer ao cimento as características desejadas para determinados tipos de aplicações (ABCP, 2002).

Conforme obteve-se sucesso nessas adições, com o melhoramento de propriedades do cimento,comotrabalhabilidade, aumentoda resistência à fissuração, baixo calor de hidratação, elevada resistência final, impermeabilidade, durabilidademaiorem relação ao ataque por sulfatos e à expansão pela reação álcali-agregado (CONCEIÇÃO, 2015), foram surgindo novos tipos de cimento.No Brasil se destacam cinco tipos mais aplicados nas obras gerais da construção civil, sendo eles o Cimento Portland Comum (CP I), Cimento Portland Composto (CP II), Cimento Portland de Alto-forno (CP III), Cimento Portland Pozolânico (CP IV) e o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V - ARI) (ABCP, 2002).

A hidratação do cimento é responsável pelo processo de endurecimento e pelo aumento da resistência e rigidez do concreto, ou seja, pela capacidade do concreto de resistir aos esforços. Com o aumento do calor de hidratação a precipitação dos produtos de hidratação acontecemais rapidamente nas primeiras horas e dias, responsáveis pela resistência verificada no início do desenvolvimento, enquanto obaixocalor de hidratação faz com que a hidratação comece muito lentamente, provocando a distribuição mais uniforme dos produtos da hidratação e consequentemente menor porosidade (PAREDES e BRONHOLO, 2013).

Os cimentos comuns, compostos e resistentes aos sulfatos possuem o calor gerado na reação do cimento com a água classificada como padrão (endurecimento normal), entretanto os tipos de cimento que apresentam maior calor de hidratação e consequentemente menor tempo de pega(endurecimento rápido) são os de alta resistência inicial e o cimento branco estrutural, enquanto o cimento de alto-forno e pozolânico são responsáveis por produzirem menos calor, sendo que estes também possuem maior tempo de pega (endurecimento lento), ou seja, as taxas de hidratação e desenvolvimento da resistência são mais lentos até os 28 dias (ABCP, 2002; ABNT NBR NM 65, 2003). Contudo, as diferenças normalmente desaparecem

após essa idade, quando alcançam um grau de hidratação semelhante (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Além do tipo de cimento a ser utilizado e suas propriedades, uma consideração significativa em relação às estruturas de concreto é a respeito dos escoramentos empregues, conforme a ABNT NBR 15696:2009 essas estruturas provisórias normalmente são feitas de madeira ou metaledestinam-se a resistir e transmitir todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as formas até que o concreto se torne autoportante.

Aretirada dos escoramentos, de acordo com a ABNT NBR 15696:2009,depende de um plano para remoção das escoras, que só deverá acontecer depois que a estrutura puder resistir às cargas atuantes e possuirrigidez suficiente, sendo o tempo de permanência das mesmas dependente das características atingidas pelo concreto.

A remoção prematura das escoras pode provocaroaparecimento de manifestações patológicas,no concreto, como fissuras, deformações ou até mesmo a ruptura, pois a estrutura de concreto que estava apoiada precisará sustentar o seu próprio peso e caso o concreto não alcancearesistência e rigidez necessárias para suportar a tensões posteriores, problemas indesejáveis podem surgir (SALVADOR, 2013).

Este trabalho visa analisar os resultados obtidos com ensaio de resistência a compressão, adequando-os para um menor tempo de escoramento de lajes. Para isso, foram feitos corpos de prova com os variados tipos de cimento e medidas as resistências dos mesmos. Os resultados foram plotados em gráficos e analisados, obtendo-se então uma comparação com relação ao tempo de cura e tipo de cimento.

Portanto, foi possível verificar que conforme ensaios de resistência a compressão o cimento tipo CPV-ARI apresentou o desempenho mais elevado, alcançando 20,79 MPa nos 3 primeiros dias de cura, correspondendo a 73,54% da resistência final aos 28 dias. Sendo este, de grande relevância no que se refere ao tempo de escoramento das lajes.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo Principal

Analisar o menor tempo de escoramento da laje através do comportamento quanto à resistência a compressão apresentada por diferentes tipos de cimento, sendo eles CPII, CPIII, CPIV e CPV.

2.2 Objetivos secundários

- Elaborar corpos de prova cilíndricos (CP) de concreto convencional;
- Medir a resistência dos CP's, com o intuito analisar os resultados de forma a avaliar a viabilidade quanto ao uso deste tipo de concreto;
- Elaborar gráficos comparativos dos resultados a fim de proporcionar uma melhor compreensão e visualização dos mesmos.

2.3 Justificativa

A escolha do tema se deve ao constante aumento das obras de construção civil em todo o país, que possuem estrutura em concreto armado. Além da necessidade de execução rápida que ocasiona uma desforma prematura do concreto,a fim de gerar os menores custos possíveis, contudo não observando o tempo de curae provocando patologias futuras.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 História do cimento

O cimento é o aglomerante mais empregado na construção civil, um ligante pulverulento que objetiva solidarizar os grãos de agregados em contato com a água, ocasionado por processos físico-químicos, e resultando em elemento com grande resistência a compressão, cada vez mais estudado e aperfeiçoado, entretanto esse material não possui aplicaçãorecente(ABCP, 2002).

Pesquisas indicam o uso de uma liga composta da mistura de gesso calcinadoem monumentos do Antigo Egito, além do Panteão construído utilizando solode origem vulcânica da ilha grega de Santorinoe do Coliseu,importante obra romana, também desenvolvido a partir de solos vulcânicos, das proximidades da cidade de Pozzuoli, sendo que essessolospossuíam a propriedade de endurecimento sob a ação da água(BATTAGIN, 2018).

A partir do século XVIII, mais especificamente em 1756, o desenvolvimento do cimento é introduzido pelo inglês John Smeaton, que a partir da calcinação de calcários moles e argilosos obteve um produto de alta resistência, que permanecia sólido mesmo em presença de água, com a finalidade deutilizá-lono farol de Eddystone, na Inglaterra (SOUSA, 2009).

Sousa (2009), afirma que James Parker, trinta e cinco anos mais tarde, experimentou uma mistura de sedimentos de rochas da ilha de Sheppel e desenvolveu um novo tipo de cimento que foi patenteado em 1796 com o nome de "Cimento Romano".

Oengenheirofrancês LouisVicat ao combinar componentes argilosos e calcários, em 1818, verificou resultados semelhantes aos de Smeaton e divulgou a teoria básica para produção e emprego do cimento artificial (VOTORANTIM CIMENTOS, 2018).

Em 1824, os experimentos com o cimento foram aperfeiçoados pela ideia inovadora do construtor inglês Joseph Aspdinquequeimouconcomitantemente pedras calcárias e argila, em seguida triturou-as e obtendo um pó fino misturou-o com água. Após secar se transformou em um elemento endurecido, como as rochas empregadas nas construções, e resistente a ambientes úmidos, não se dissolvendo em água(PASSUELO, 2004).

Joseph Aspdin patenteou sua criação nomeando-a“Cimento Portland”, devido às rochas da ilha britânica de Portland que apresentavam cor e propriedades de durabilidade e resistência semelhantes ao do cimento (VOTORANTIM CIMENTOS, 2018).

Segundo no decorrer dos anos o Cimento Portland teve suas propriedades melhoradas, em 1845,Isaac Charles Johnson elevou a temperatura da queima para 1400ºC e moeu o

clínquer, produto originário dessa queima, para obter um pó mais fino e com qualidade superior. Assim, foram surgindo diversas indústrias cimenteiras que desenvolveram pesquisas a respeito da fabricação do Cimento Portland (LIZ CIMENTOS, 2018).

Atualmente esse processo segue rigorosos princípios, consequente de pesquisas que definem as proporções apropriadas da mistura, o teor dos componentes, o tratamento térmico necessário e a natureza química dos materiais.Com a implantação do cimento Portland nas construções o homem modifica o meio utilizando sua criatividade e com o avanço das tecnologias e de métodos de cálculo, utiliza-se do conjunto de propriedades do cimento, como sua moldabilidade e resistência elevada a esforços solicitados (GOBBO, 2009; PAULA, 2009).

As obras mais complexas como barragens, viadutos, pontes, estações de tratamento de água e esgoto, portos, entre outros, são exequíveis devido ao melhoramento das características desse materialno estado fresco e/ ou no estado endurecido,com a adição de aditivos,como a sílica ativapropiciando a obtenção de concreto de alto desempenho (CAD), e o contínuo surgimento de novos produtos e aplicações visando o conforto e bem-estar das pessoas (HELENE e ANDRADE, 2010; TUTIKIAN e HELENE, 2011).

No Brasil, conforme Battagin (2018), iniciou-se fabricação do cimento Portland por volta de 1888, na fazenda Santo Antônio, de propriedade de Antônio ProostRodovalho,situada em Sorocaba-SP. A primeira produção do cimento foi lançada em 1897, com a marca nomeada “Santo Antonio”, operou até 1904, quando interrompeu temporariamente suas atividades, voltando três anos mais tarde, contudo extinguiu-se em 1918 com problemas de qualidade.

Outra instalação produtora, de iniciativa do engenheiro Louis Felipe Alves da Nóbrega, localizada na ilha de Tiriri, na Paraíba, funcionou durante três meses em 1892. Contudo o empreendimento não obteve sucesso devido à distância dos centros consumidores e à pequena escala de produção, não competindo com os cimentos importados da época(BATTAGIN, 2018).

Battagin (2018) ainda afirma, que o governo do Espírito Santo fundou em Cachoeiro do Itapemirim uma fábrica que funcionou de 1912 a 1924, sendo paralisada a produção em função da precariedade e baixo rendimento, em 1935 após modernização voltou a operar.

Entretanto o marco da instauração da indústria brasileira de cimento se deucom a implantação, pela Companhia Brasileira de Cimento Portland, de uma fábrica em Perus-SPem 1924, com produção comercializada em 1926. Com a introdução de novas fábricasa produção

nacional foi progredindo e a participação de produtos importados variou durante as décadas seguintes, até praticamente desaparecer nos dias atuais(BATTAGIN, 2018).

A produção do cimento branco, no Brasil, iniciou-se em 1952 e dois anos depois estava disponível no mercado, com a marca Irajá, produto de responsabilidade da Votorantim Cimentos. Já o cimento branco estrutural, foi lançado1984,mais utilizado nos serviços de concreto aparente, pré-fabricados e pisos de alta resistência (VOTORANTIM CIMENTOS, 2018).

3.2 Cimento: Composição e Fabricação

Consoante Paula (2009), o cimento Portland ou convencionalmente denominado apenas “cimento” é um material com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que possui aspecto de pó fino e endurece em virtude da ação da água, não se decompondo mais.

O cimento Portland é um dos materiais utilizados na produção de concretos e argamassas, juntamente com a água, areia, pedra britada, pó de pedra, cal e outros, dos quais as propriedades e qualidade com que são compostos influenciam diretamente as características dos concretos e argamassas, necessários à construção de casas, edifícios, pontes, barragens, etc. Designa o cimento como o mais ativo, do ponto de vista químico, sendo o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes no produto final desejado (uma laje, uma viga, um revestimento etc.) (ABCP, 2002).

O cimento, aglomerante hidráulico, ou seja, que resiste satisfatoriamente à água após endurecimento, é conseguido a partir da moagem de clínquer, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio, também sendo admitida a adição de materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados, dependendo do tipo de cimento (ABNT NBR 5732, 1991; ABNT NBR11578, 1991).

É composto por aproximadamente 97% de clínquer, sendo este o principal constituinte do cimento, e 3% de gesso responsável por regular o tempo de pega. A partir da transformação térmica de uma mistura pulverizada, denominada de cru ou farinha, oclínquer é produzido,sendo submetido a 7 elevadas temperaturas de aproximadamente 1.450ºC em fornos rotativos (ABCP, 2002).

De acordo com a ABCP (2002), os elementos formadores do clínquer são basicamente o calcário e a argila, ambos obtidos de jazidas em geral situadas nas proximidades das fábricas de cimento, possuindo aproximadamente 80% de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), 15%

de dióxido de silício (SiO_2), 3% de trióxido de alumínio (Al_2O_3) e quantidades menores de outros constituintes, como o ferro, o enxofre, etc.

Para produção do clínquer primeiramente a matéria-prima é misturada e moída finamente, em seguida é submetida a um processo de aquecimento, onde evapora-se a água e outros materiais voláteis. Posteriormente, a descarbonatação do material calcário ocorre na faixa de temperatura entre 500ºC a 900ºC, com produção de óxido de cálcio (CaO) e liberação de CO_2gasoso, processo denominado na indústria cimenteira de calcinação. A formação do quarteto C_4AF, C_3A, C_2S e C_3S, que constituirá o clínquer, se dá pela reação entre o óxido de cálcio e as substâncias sílica-aluminosas na temperatura entre 850ºC até 1.450ºC (PAULA, 2009).As temperaturas correspondentes à formação de cada composto são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura de reação dos compostos do clínquer.

Acima de 800 ºC	Início do processo de calcinação do $CaCO_3$.
Entre 800 ºC e 1.200 ºC	Formação de C_2S.
Entre 1.095 ºC e 1.205 ºC	Formação de C_3A e C_4AF.
De 1.260 ºC até 1.455 ºC	Formação de C_3S a partir do C_2S com quase extinção da cal livre (CaO).
De 1.455 ºC a 1.300 ºC	Cristalização da fase líquida do C_3A e C_4AF.

Fonte: Adaptado de SOUZA et al, 2015.

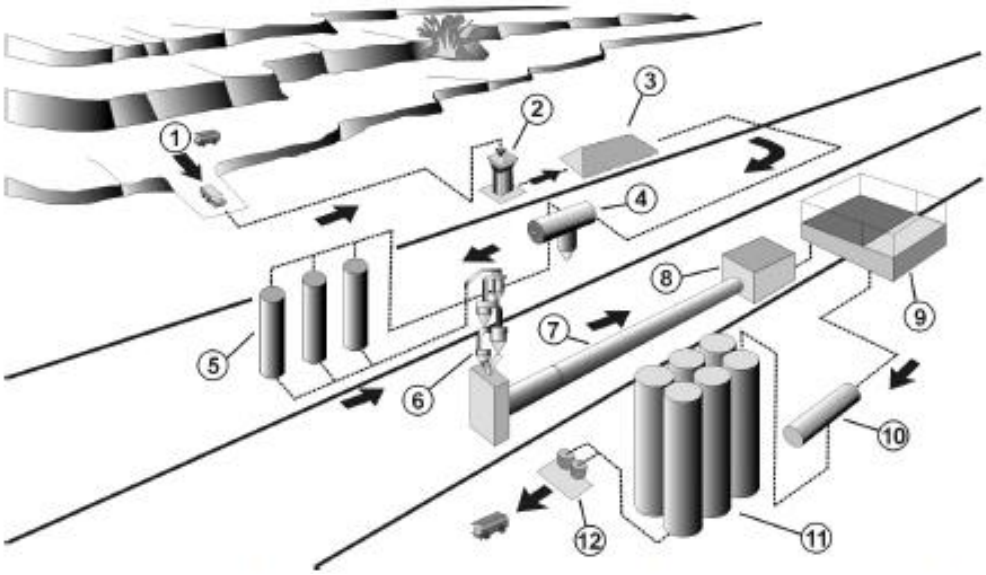
Na indústria do cimento as abreviações C, S, A e F representam CaO, SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3, respectivamente (GOBBO, 2009). O alumínio e o ferro estão presentes em concentrações consideráveisesão essenciais às propriedades finais do cimento, formando o aluminato tricálcico, C_3A, e o ferroaluminatotetracálcico, C_4AF, que são fases instersticiais entre os cristais de alita e belita (TENORIO et al, 2003).

A variação da resistência à compressãodo cimento com o tempo é dependente da atuação dos seguintes compostos: o responsável pelo ganho de resistência no primeiro dia é o Aluminato tricálcico (C_3A), já em idades mais avançadas o agente é o Silicato bicálcico (C_2S), enquanto o Silicato tricálcico (C_3S) é maior responsável pela resistência mecânica em todas as idades. Silicato tricálcico (C_3S) e Aluminato tricálcico (C_3A) também contribuem para a liberação do calor de hidratação (CABRAL, 2016).

O C_4AF é o responsável pela cor acinzentada do clínquer e possui como propriedade principal a resistência à corrosão química, não contribuindo efetivamente na resistência aos esforços mecânicos do cimento (GOBBO, 2003).

Pode-se dividir o complexo processo de fabricação do cimento Portland em etapas, são elas: mineração e britagem das matérias-primas; preparação das matérias-primas (pré-homogeneização e moagem); queima da farinha a 1.450ºC em forno rotativo; resfriamentoe moagem do clínquer com adições (GOBBO, 2009). A Figura 1 representa o esquema da fabricação do cimento Portland.

Figura 1 - Esquema representativo da produção de cimento Portland.



(1) mineração, (2) britagem, (3) pré-homogenização, (4) moagem, (5) silos de farinha, (6) pré-aquecedor, (7) forno rotativo, (8) resfriador, (9) depósito de clínquer e gesso, (10) moinho de clínquer e adições, (11) silo de estoque de cimento e (12) despacho.

Fonte: GOBBO, 2009.

Após sair do forno rotativo, com uma temperatura acima dos 1.300°C, o clínquer precisa deum abrupto resfriamento, com a finalidade de fixar termodinamicamente as características químicas e cristalinas, recuperando parte da entalpia contida no clínquer e seguidamente sertransportado para silos onde será misturado e moído com gesso e outros aditivos (PAULA, 2009).

O gesso é adicionado em pequenas proporçõese tem a função básica de controlar o tempo de pega, ou seja, retardar o início do endurecimento do cimento ao ser misturado com água, caso contrário este endureceria quase que instantaneamente, inviabilizando seu uso nas obras.Outras adições são a cinza volante, escória de alto forno, argila calcinada, calcário, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos (ABCP, 2002; GOBBO, 2009).

As escórias de alto-forno são similares a grãos de areia grossa, um subproduto da indústria siderúrgica durante a produção de ferro-gusa, por outro lado os materiaispozolânicossão rochas de origem vulcânica ou matéria orgânica fossilizada. As

argilas calcinadasrepresentam tipos de argilas queimadas em temperaturas entre 550 ºC a 900 ºC, já ascinzas de carvão mineral sãoprovenientes da queima de carvão mineral nas usinas, principalmente nas termelétricas(ABCP, 2002; PAULA, 2009).

Gobbo (2009) afirma que a incorporação desses elementos moídos ao clínquer é realizada a fim de produzir diferentes tipos de cimento Portland, com características desejadas, de acordo com a especificação técnica requerida, que inclui, assim, todo tipo de cimento com adição de materiais pozolânicos.

3.3 Tipos de cimento Portland

Os tipos de cimento Portland fabricados no Brasil se diferem essencialmente em razão de sua composição. Segundo a ABCP (2002), os mais aplicados nas obras de construção civil são: Cimento Portland Comum, Cimento Portland Composto, Cimento Portland de Alto-forno, Cimento Portland Pozolânico, enquanto os empregues em menor escala, como em aplicações especiais são os seguintes: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, Cimento Portland Resistente aos Sulfatos, Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação, Cimento Portland Branco e Cimento para Poços Petrolíferos.

Todos os tipos de cimento mencionados são regidos por normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, como aNBR 11578:1991, onde se encontra uma definição para “cimento Portland composto”, sendo essa a mesma presente na NBR 5732:1991, “cimento Portland comum”:

> “Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, em teores especificados.”

Semelhantemente a ABNT NBR 5736:1991 determina que o “cimento Portland pozolânico” é o aglomerante hidráulico que se obtém pela mistura homogênea de clínquercom materiais pozolânicos, que podem ser moídos juntos ou separados, além de admitira adição de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos em teores especificados. Contudo o teor de materiais pozolânicos secos deverá compreender entre 15% e 50% da massa total de aglomerante.

Este mesmo procedimento ao ser realizado com a adição de escória granulada de alto-forno, ao invés de materiais pozolânicos, é denominado “cimento Portland de alto-forno”,

segundo aABNTNBR5735:1991, eo conteúdo dessa escória deveestar entre 35% e 70% da massa total deaglomerante.

Por fim, outro tipo de cimento importante a ser mencionado é o “cimento Portland de alta resistência inicial” que tem a especificidade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. Este édefinido pela ABNTNBR 5733:1991, como aglomerante obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos eadicionadosa quantidade adequada de uma ou mais formas de sulfato de cálcio, pode-se incorporar a esta mistura materiais carbonáticos, no teor especificado, durante e moagem.

Todas essas normas para cimentos com adições determinam que o material carbonático utilizado como adição deva ter no mínimo 85% de $CaCO_3$(GOBBO, 2009).

Conforme a ABCP (2002), entre os tipos de cimento Portland mencionados o primeiro a ser comercializado no Brasil foi o cimento Portland comum,conhecido como CP I, sem quaisquer adições além do gesso (retardador da pega). O desenvolvimento dos demais tipos de cimento ocorreu devido ao avanço científico e tecnológico, a partir do domínio das propriedades sobre o cimento portland comum, primeiramente para satisfazer casos especiais. Assim, verificou-se que os cimentos desenvolvidos atendiam as necessidades da maioria das aplicações usuais, além de vantagens adicionais. Dessa forma os cimentos portland compostos correspondem a cerca de 75% da produção industrial brasileira e são os mais encontrados no mercado.

O surgimento dos chamados cimentos portland de alto-forno e pozolânicos teve como motivo a busca pela economia do consumo energético na fabricação. A adição de escória e materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto e consequentemente suas propriedades como a diminuição da permeabilidade, difusibilidade iônica e porosidade capilar, e aumentoda estabilidade e durabilidade do concreto. Portanto, melhora o desempenho do concreto ante a ação de sulfatos e da reação álcali-agregado, além de diminuir o calor de hidratação, aumentar a resistência à compressão em idades avançadas e melhorar a trabalhabilidade (ABCP, 2002).

3.4 Comparaçãoentre os principais tipos de cimentos Portland

Em meio à larga escala de variedades de cimentos, a escolha do melhor tipo a ser utilizado dependerá das propriedades do produto cimentício que se deseja alcançar, do tipo de edificação e da disponibilidade no mercado. Por essa razão, é necessário conhecimento das

proporções dos compostos presentes em cada cimento para que o mesmo tenha a finalidade de aplicação pretendida(GOBBO, 2009).

Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentadas as composições dos cimentos CP I, CP II, CP III, CP IV, CP V-ARI e suas variações, além das resistências comerciais disponíveis, sendo esta alcançada aos 28 dias, com exceção do cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI) que é obtida aos 7 dias.

Tabela 2 - Comparação da composição do CP I e CP II.

Tipo de cimento	**Sigla**	**Classes Resistência MPa**	**Composição (% em massa)**				**Norma ABNT**
			Clínquer + Gesso	**Escória de alto-forno**	**Material Pozolânico**	**Material Fíler**	
Comum	CP I	25 32 40	100	0			NBR 5732
	CP I-S		95-99	1-5			
Composto	CPII-E	25 32 40	56-94	6-34	0	0-10	NBR 11578
	CPII-Z	25 32 40	76-94	0	6-14	0-10	
	CPII-F	25 32 40	90-94	0	0	6-10	

Fonte: ABNT NBR 5732, 1991 e ABNT NBR 11578, 1991.

Tabela 3 - Comparação da composição do CP III e CP IV.

Tipo de cimento	**Sigla**	**Classes Resistência MPa**	**Composição (% em massa)**				**Norma ABNT**
			Clínquer + Gesso	**Escória granulada de alto-forno**	**Material Pozolâ-nico**	**Material Carbo-nático**	
Alto-Forno	CP III	25 32 40	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolâ-nico	CP IV	25 32	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: ABNT NBR 5735, 1991 e ABNT NBR 5736, 1991.

Tabela 4 - Composição do CP V.

Tipo de cimento	**Sigla**	**Resistência MPa**		**Componentes (% em massa)**		**Norma ABNT**
		Limite inferior	**Limite superior**	**Clínquer + sulfatos de cálcio**	**Material carbonático**	
Alta resistência inicial	CP V-ARI	34	-	100-95	0-5	5733

Fonte: ABNT NBR 5733, 1991.

Os tempos de pega necessários para ocorrer a hidratação do cimento, segundo aABNTNBR NM 65:2003, são verificados utilizando a pasta de consistência normal e o

aparelho de Vicat. Sendo que o tempo de início de pegaé“o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base”, enquanto o tempo de fim de pega ocorre quando a agulha estabiliza a 0,5 mm na pasta (ABNT NBR NM 65, 2003).

Conforme ABCP (2002), o tempo mínimo de início de pega é de 1 hora para todos os cimentos e máximo de 10 horas para o tempo final de pega dos cimentos CP I, CP II e CP V, e de 12 horas para final de pega dos cimentos CP III e CP IV. Geralmente os cimentos CP I, CP II e CP V apresentam tempo de início de pega variando de 2 a 3 horas e os cimentos CP III e CP IV demonstram tempo de início de pega superiores a 3 horas.

A reação de hidratação do cimento é um processo exotérmico, ou seja, ocorre liberação de calor.Este calor é denominadodecalor de hidratação e representa a quantidade de calor produzida durante o processo de endurecimento do cimento e depende de fatores como a composição química do cimento e da sua finura (RIBEIRO et al, 2002). Pode-se considerar que o calor de hidratação gerado durante a hidratação completa do cimento é aproximadamente a soma dos calores gerados na hidratação dos compostos individuais do cimento, ponderados por seus teores (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Assim sendo, a Tabela 5 mostra a porcentagem dos quatro principais compostos (C_3S, C_2S, C_3A e C_4AF) nos tipos de cimento CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V, alémdos respectivos calores de hidratação desses compostos.

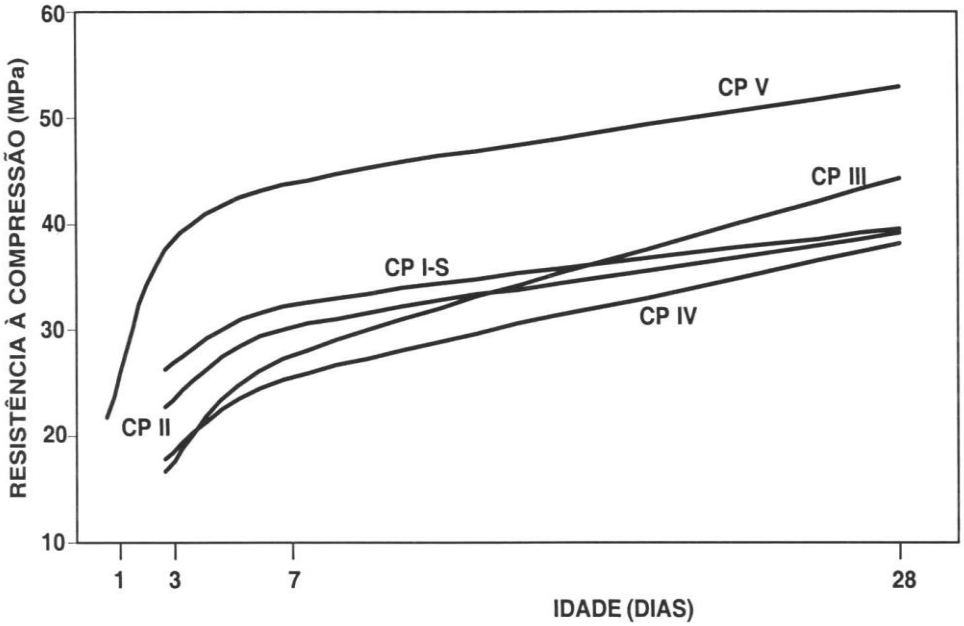
Tabela 5 - Composição potencial dos cimentos Portland em porcentagem e calores de hidratação.

Compostos	**CP I**	**CP II**	**CP III**	**CP IV**	**CP V**	**Calores de hidratação a uma idade (cal/g)**			**Calor de hidratação típico (cal/g)**
						3 dias	**90 dias**	**13 anos**	
	%								
C_3S	53,7	58,0	62,3	53,6	42,0	58	104	122	Médio (120)
C_2S	19,9	16,2	12,5	17,2	28,8	12	42	59	Baixo (60)
C_3A	11,4	7,1	2,8	14,0	14,0	212	311	324	Elevado (320)
C_4AF	8,8	11,9	14,9	8,8	8,8	69	98	102	Médio (100)

Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 2014.

Realizando uma comparação dos cinco tipos de cimento principais, observa-se na Figura 2 o gráfico da variação da resistência à compressão (MPa) com a idade em dias, em que se verifica o aumento da resistência até os 28 dias.

Figura 2 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland.



Fonte: ABCP, 1996 apud ABCP, 2002.

Analisando as características e propriedades dos diversos tipos de cimento, do mesmo modo que sua influência nas argamassas e concretos, é possível determinar os tipos mais propícios para determinados usos e aplicações. A Tabela 6 indica os tipos de cimento apropriados para várias aplicações, conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland.

Tabela 6 - Aplicações e tipos de cimento Portland.

Aplicação	**Tipos de Cimento Portland**
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de assentamento de azulejos e ladrilhos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de rejuntamento de azulejos e ladrilhos	Branco (CPB)
Concreto simples (sem armadura)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto magro (para passeios e enchimentos)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto armado com função estrutural	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com protensão das barras antes do lançamento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F),

protensão das barras após o endurecimento do concreto	de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto armado para desforma rápida, curado por aspersão de água ou produto químico	Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Branco Estrutural (CPB Estrutural
Concreto armado para desforma rápida, curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento curados por aspersão de água	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural) (VER NOTA) (*)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados por aspersão de água	Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Pavimento de concreto simples ou armado	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Pisos industriais de concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
Concreto arquitetônico	Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Argamassa armada (VER NOTA) (*)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Solo-Cimento	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassas e concretos para meios agressivos, água do mar e de esgotos	Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Resistente a Sulfatos
Concreto-massa	Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Baixo Calor de Hidratação
Concreto com agregados reativos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
NOTA: (*) Dada a pouca experiência que se tem no Brasil sobre uso do CP III e do CP IV na argamassa armada deve-se consultar um especialista antes de especificá-los para esse uso.	

Fonte: ABCP, 2002.

Comparando-se os tipos de cimento mais usuais verifica-se que no cimento Portland composto a geração do calor de hidratação ocorrecom velocidade menor do que o gerado pelo

cimento Portland comum, este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos presentes no solo. Já o cimento de alto fornoapresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado e alta resistência mecânica à compressão, sendo também resistente a sulfatos.O concreto feito com cimento Portland pozolânico desenvolve semelhantemente essas características (CABRAL, 2016).

Uma condensação das principais aplicações dos cinco tipos de cimentos mais empregados no Brasil é apresentada a seguir, segundo Cabral (2016):

- Os cimentos Portland comumCPI e CPI-S, são convenientes o uso em construções sem exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas; é usado em serviços de construção em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento.
- O cimento Portland composto é adequado em lançamentos maciços de concreto, com grande volume de concretagem empequenasáreas. Indicado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O CPII – Z (com adição de pozolana) é empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais, enquanto o CPII – E (com adição de escória) é recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos e o CPII – F (com adição de fíler)em aplicações gerais,argamassas de assentamento e armada, revestimento, diversos tipos de concretos, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento.
- O cimento Portland de alto forno pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento, revestimento e armada, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. Entretanto é particularmente vantajoso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos (CPIII – F), esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.
- O uso docimento Portland pozolânicoépropício em obras expostas à ação de água corrente, ambientes agressivos e em casos de grande volume de concreto.
- O Cimento Portland de alta resistência inicialéutilizado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno

porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. É recomendado para todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida, sendo adotado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte.

3.5 O concreto

O mais recente material de construção de estruturas de obras civis é também o mais importante da atualidade, o concreto de cimento Portland, possui uso intensivo a partir do século XX, estando no segundo lugar dos materiais mais consumidos pelo homem, perdendo apenas para a água (PASSUELO, 2004; HELENE e ANDRADE, 2010)

O concreto de Cimento Portland possui como compostos principais o cimento, a água e agregados graúdos (pedra britada) e miúdos (areia), podendo também ser adicionados aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais. A relação desses constituintes depende das propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto, assim como das características de trabalhabilidade essencial para o transporte, lançamento e adensamento (ABCP, 2002; HELENEeANDRADE, 2010).

SegundoHelene e Andrade (2010), a distribuição granulométrica do cimento e a quantidade de água da pasta determina a fluidez, que é expressa pela relação água/cimento, quanto maior essa relação, mais fluída é a pasta. Nota-se a melhoria das características mecânicas da pastae a redução de sua porosidade ao reduzir essa relação, mantendo-se um mesmo grau de hidratação.

Os autores ainda afirmam que para concretos produzidos com o mesmo cimento e agregados, fixando a relação água/cimento, quanto maior o abatimento (mais fluído), maior será o consumo de cimento do concreto, entretanto se o abatimento for fixado, quanto menor a relação água/cimento do concreto, maior será o seu desempenho mecânico e de durabilidade, consumindo mais cimento por m^3 do concreto (HELENE e ANDRADE, 2010).

A pasta, mistura de cimento e água, para formação do concreto é um composto instável, no decorrer do processo de hidratação e secagem se retrai e expande-se quando umedecida. As propriedades viscoelásticas da pasta influenciam na fluência, deformação lenta que sofre o concreto. Outra peculiaridade do cimento, é a liberação do calor de hidratação, que pode provocar problemas de fissuração em peças de grande volume de concreto (HELENE e ANDRADE, 2010).

A Tabela 7 mostra a influência do tipo de cimento e da relação a/c nas resistências médias dos concretos.

Tabela 7 - Resistência média do concreto (MPa) em função da relação a/c para vários tipos de cimentos brasileiros.

Tipo e classe de cimento	**Relação a/c**				
	0,65	**0,60**	**0,55**	**0,50**	**0,45**
CP I 32	28	32	37	41	47
CP II 32	24	28	31	35	39
CP II 40	28	32	36	41	46
CP III 32	23	27	31	36	41
CP III 40	27	32	37	42	49
CP IV 32	24	28	32	36	41
CP V-ARI-RS	30	33	38	42	46
CP V-ARI	33	38	42	47	53

Notas: 1 agregados de origem granítica. 2 Diâmetro máximo dos agregados 25 mm.3 Abatimento entre 50 mm e 70 mm.4 Concretos com aditivo plastificante normal.

Fonte:HELENEeANDRADE, 2010.

A ABNT NBR 8953:2009 relaciona as classes de concretos do grupo I, como sendo: C15, C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50, os números correspondem a resistência característica à compressão referente a idade de 28 dias, em MPa. Segundo a ABNT NBR 6118:2014 os concretos estruturais devem atender à essas classes, sendo o valor mínimo da resistência à compressão de20MPa para concretos armados e 25MPa para concretos protendidos.

Hoje com os avanços tecnológicos e necessidade de características cada vez mais específicas, conforme uso dos concretos, muitos estudos e análises são realizadas para elaboração de novos tipos de concreto, como argumenta TutikianeHelene (2011), transformando cada vez mais a atividade de dosagem numa atividade específica, complexa e dispendiosa.

Os concretos mais utilizados em obras convencionais são os concretos simples e armado, contudo o concreto protendido também se torna bastante utilizado em obras de grandes estruturas como pontes.Além dos concretos de alta resistência, concretos de alto desempenho, concretos autoadensáveis, concretos aparentes, concretos coloridos, concretos brancos, concretos com agregados reciclados, com fibras, também denominados como concretos sustentáveis e concretos têxtis, respectivamente, bem como inovaçõesou concretos do futuro: com cura interna e condutivos eletricamente (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Em relação aos materiais utilizados nos diferentes tipos de concreto, constata-se que são utilizados praticamente os mesmos elementos básicos (cimento, água e agregados), no entanto muda-se as dosagens e os compostos especiais que dão a característica diferenciada a cada um deles, exigindo-se um maior controle tecnológico (ABCP, 2002; TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Contudo,conformeTutikianeHelene (2011), para produção dosconcretos aparentes, coloridos e brancos, o cimento é o elemento que mais influencia na cor final do concreto, por essa razão é preciso escolher um tipo e um fabricante que possam ser mantidos constantes durante a obra. Concretos elaborados com cimentos que dispõe de escórias de alto forno, tipo CP III, quando em contato com a atmosfera, exibem coloração mais clara na superfície do que os concretos com cimento Portland comum, tipo CP I, CP II, CP V ARI ou mesmo o CP IV. Os autores ainda afirmam que:

> "A execução de concreto aparente com cimentos contendo adições tipo escória, pozolanas, sílica ativa e metacaulim deve ser bastante controlada, na medida em que uma pequena variação nos teores dessas adições pode alterar consideravelmente a coloração final do concreto. A utilização do cimento branco é essencial para concretos brancos, mas altamente recomendada para concretos pigmentados, pois a cor do pigmento se distribui melhor e com mais homogeneidade do que se utilizarcimentoscinzas."

3.6 Escoramento

A ABNT NBR 15696:2009 define escoramentos como estruturas provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as formas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante.

Por outro lado, a mesma norma denomina também o reescoramentocomo sendo o escoramento remanescente de estruturas provisórias auxiliares, colocadas sob uma estrutura de concreto que não tem capacidade de resistir totalmente às ações provenientes de cargas permanentes e/ou variáveis, transmitindo-as às bases de apoio rígidas ou flexíveis.

O sistema de escoramento deve ser projetado e construído obedecendo às prescrições das ABNT NBR 7190 e ABNT NBR 8800, quando se tratar de estruturas de madeira ou metálicas, respectivamente,eem caso de uso de outro material, utilizar a norma correspondente.

Os sistemas de escoramentos mais usuais, principalmente em edifícios, são os de madeira, os de metal e os mistos (madeira e metálico) (NAZAR, 2007).

De acordo com a ABNT NBR 15696:2009 os requisitos para os projetos de escoramentos são: especificar as cargas admissíveis dos equipamentos utilizados; definir clara e exatamente o posicionamento de todos os elementos; definir as cargas nas bases de apoio; ser detalhado com plantas, cortes, vistas e demais detalhes, de tal forma que não fiquem dúvidas para a correta execução da montagem.

A norma também cita materiais que podem ser utilizados para o escoramento, como as madeiras em bruto, que são as peças serradas ou não, cuja utilização deve ser feita de acordo com a ABNT NBR 7190 e as madeiras industrializadas,que são peças fabricadas industrialmente, com controle de umidade, temperatura, tolerâncias e espécies de madeira com propriedades físicas e mecânicas conhecidas e ensaiadas. As madeiras industrializadas podem ser chapas de madeira compensada ou vigas industrializadas, tratadas, coladas e prensadas, que podem ter alma maciça, compensada, aglomerada ou treliçada.

Observa-se na Figura 3 o escoramento de madeira.

Figura 3 - Escoramento de madeira.

Fonte: Arquivo Pessoal.

Outro material indicado pela ABNT NBR 15696:2009 são os elementos metálicos, podendo ser de aço ou alumínio, forjados, laminados, fundidos, extrudados ou fabricados a partir de chapas soldadas, com funções de equipamentos, acessórios ou componentes auxiliares das estruturas dos sistemas de formas e escoramentos, de acordo com as especificações das ABNT NBR 8800, ABNT NBR 6355 e ABNT NBR 14762 para elementos de aço e ABNT NBR 14229 para elementos de alumínio.

A Figura 4 exemplifica um tipo de escora metálica.

Figura 4 - Escoramento metálico.

Fonte: CARMO, 2007.

A Tabela 8 apresenta um comparativo entre as escoras de madeira e metálicas sobre diversos aspectos.

Tabela 8 - Comparativo entre sistemas de escoramento.

Variáveis / Sistema	**Madeira Escoras**	**Metálicos Escoras**	**Metálicos Torres**
Custo inicial	Baixo	Médio	Médio / Alto
Durabilidade	Baixa	Alta	Alta
Movimentação	Manual	Manual	Manual ou Mecânica
Produtividade	Baixa	Média / Alta	Média
Segurança	Baixa	Média	Média / Alta
Flexibilidade	Baixa	Média	Alta
Facilidade de ajuste	Baixa	Alta	Alta
Estabilidade	Baixa	Baixa	Alta
Pé-direito	Até 3 m (sem contraventamento)	Normalmente até 4,5 m	Qualquer altura
Quantidade de peças soltas *	Média	Média	Variável
* Peças que devem ser montadas e desmontadas a cada concretagem			

Fonte: ABCP apud CARMO, 2007.

Segundo Nazar (2007), o critério para utilização de um ou outro tipo de escoramento é dependente da peça a ser concretada, do prazo para execução, da repetitividade e da questão econômica.

3.7 Tempo de retirada de escoras de laje

As escoras são usadas geralmente nos edifícios de concreto armado com o intuito dos andares inferiores suporem os andares recém concretados. É preciso um cuidado especial para que as cargas a serem suportadas pelos andares que estão servindo de apoio não superem as cargas de projeto (KRIPKA, 1990).

Conforme a ABNT NBR 14931 (2004) é indispensável um plano de retirada dos escoramentos que contenha uma sequência de operações obedecendo os valores mínimos para a resistência à compressão e o módulo de elasticidade da estrutura de concreto para certa idade. Os escoramentos e formas nunca devem ser retirados antes do concreto ter a capacidade de suportar as cargas destinadas à estrutura no período considerado, de impedir deformações acima das toleráveis e de resistir aos danos superficiais no momento da remoção das escoras.

Algumas considerações devem serem feitas ao se retirar o escoramento, como:

> a) nenhuma carga deve ser imposta e nenhum escoramento removido de qualquer parte da estrutura, enquanto não houver certeza de que os elementos estruturais e o novo sistema de escoramento têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estarão sujeitos; b) nenhuma ação adicional não prevista nas especificações do projeto ou na programação da execução da estrutura de concreto deve ser imposta à estrutura ou ao sistema de escoramento sem que se comprove que o conjunto tem resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estará sujeito; c) a análise estrutural e os dados de deformabilidade e resistência do concreto, usados no planejamento do reescoramento, devem ser fornecidos pelo responsável pelo projeto estrutural ou pelo responsável pela obra, conforme acordado entre as partes; d) verificação de que a estrutura de concreto suporta as ações previstas, considerando a capacidade de suporte do sistema de escoramento e os dados de resistência e deformabilidade do concreto (ABNT NBR 15696, 2009).

As escoras das lajes geralmente são retiradas após os 21 dias, caso o concreto não possua aditivos, pois a retirada do escoramento anterior a esse período pode provocar uma flecha na laje, causando posteriormente fissuras, desconforto visual ou a ruptura da laje.A retirada das escoras deve ser inicialmente do meio do vão para a extremidade nas lajes biapoiadas e a partir da extremidade para o apoio nos balanços(CARMO, 2007).

Deve ser dada especial atenção ao tempo especificado para a retirada dos escoramentos e das formas, a fim de impedir a livre movimentação de juntas de retração ou dilatação, bem como de articulações (ABNT NBR 15696, 2009).

O escoramento deve ser projetado de modo a não impor, sob a ação de seu peso próprio, do peso próprio da estrutura e das cargas acidentais de construção, deformações prejudiciais ao formato da estrutura nem causar esforços não previstos na mesma. No projeto

de escoramentos devem ser consideradas as deformações, flambagem dos elementos e as vibrações a que o escoramento estará submetido, além de se precaver para evitar recalques prejudiciais do solo ou da estrutura que suporta o escoramento (NEGREIROS, 2010).

Consoante Kripka (1990), ao serem retiradas as escoras é esperável que hajam deslocamentos, devido ao carregamento do peso próprio, desconsiderando-se solicitações devidas a outros fatores como fluência e variação de temperatura.O autor afirma que é variado o número de andares componentes do sistema de escoramento, dependendo principalmente da velocidade de construção da estrutura.

Alguns autores definem que os dois pavimentos mais recentemente concretados permanecem com 100% do escoramento remanescente e os pavimentos abaixo apresentam percentuais menores de responsabilidade do projetista da obra (SALVADOR, 2013).

Segundo Negreiros (2010), as operações de escoramento se configuram da seguinte maneira, primeiramente são removidas as escoras do nível mais baixo, depois ainstalação das reescoras no nível onde as escoras foram retiradas e as escoras removidas são instaladas para concretagem do próximo pavimento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta inicial consistiu na elaboração de cinco corpos de provas para cada idade de rompimento e tipo de cimento, totalizando assim cem corpos de prova (CP) de concreto. Utilizou-se o traço em peso dos agregados secos de 1: 2,18: 3,48: 0,68 e as idades de rompimento previstas foram de 3, 7, 14, 21 e 28 dias.

4.1 Materiais Empregados

Todos os materiais e equipamentos utilizados para a fabricação e rompimento dos CP's, exceto os cimentos, foram fornecidos pela concreteira Mix Mattar, localizada na cidade de Teófilo Otoni - MG.

4.1.1 Cimento

Quanto aos materiais dosados no programa experimental utilizou-se o cimento Portland composto por escória (CPII – E), o cimento Portland de Alto Forno (CPIII), o cimento Portland Pozolânico (CPIV) e o cimento Portland de alta resistência Inicial (CPV-ARI). Houvedificuldades para obtenção dos cimentos do tipo CPIV e CPV, uma vez que os mesmos são de pouca utilização na região.

4.1.2 Agregados

Os agregados utilizados não passaram por nenhum tipo de processo de preparação ou ensaio de caracterização, sendo os mesmos fornecidos e coletados diretamente na concreteira em seu estado natural e com parâmetros de umidade apresentados no instante de utilização.

O agregado graúdo empregado na confecção do concreto foi a Brita 1, caracterizada por possuir dimensões de 9,5 mm a 19 mm e aplicada visando o aumento da resistência do concreto e dos espaços vazios, garantindo desta forma melhor compactação da mistura.

Como agregado miúdo aplicou-se a areia do tipo VSI, sendo melhor graduada e com frações finas resultantes do procedimento de transformação em areia artificial.

Para a determinação do teor de umidade da areia, primeiramente foi retirado 1 kg da mesma do monte. A retirada é feita em 3 locais diferentes (base, meio e topo) visando a obtenção de uma média na granulometria. Após a retirada é feita a pesagem e posteriormente a secagem no forno. O teor de umidade é encontrado então através da Equação 1 a seguir:

Equação 1 – Determinação do teor de umidade

$$\%U = \frac{\text{peso úmido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \text{x } 100\%$$

4.1.3 Água

A água utilizada na produção das amostras de concreto foi proveniente de poço artesiano presente no local de moldagem dos corpos de prova.

4.2 Procedimentos

Inicialmente, definiu-se o traço do concreto para atingir 20 MPa de resistência, com isso os materiais para a preparação do mesmo foram adicionados na betoneira da CSM, com objetivo de misturá-los para o resultado final desejado.

O passo seguinte foi à verificação do Slump Test, onde foi possível verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico. O molde deve ser preenchido por três camadas e cada uma deverá receber 25 golpes manuais com haste de metal, conforme visto na Figura 5. Sua consistência foi medida e avaliada a fim de saber se estava adequada ao uso para o qual foi proposta.

Figura 5 - Verificação do Slump Test.

Fonte: Arquivo pessoal.

Em seguida, colocou-se em moldes cilíndricos com dimensões 20cm x 10cm o concreto obtido na betoneira, conforme a Figura 6, realizou-se a disposição em duas camadas com abatimento manual de 12 golpes em cada camada, conforme NBR 5738 especificada no Tabela 9 com o auxílio de uma haste de adensamento.

Figura 6 - Concreto em moldes cilíndricos com dimensões 20 cm x 10 cm.

Fonte: Arquivo pessoal.

Tabela 9 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova[a].

Tipo de corpo de prova	**Dimensão básica (d) mm**	**Número de camadas em função do tipo de adensamento**		**Número de golpes para adensamento manual**
		Mecânico	**Manual**	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450[b]	3	-	-

[a]Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

[b] No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte:NBR 5738, 2015.

De acordo com as exigências da NBR 5738, deve-se atravessar com a haste toda a primeira camada de concreto, evitando-se somente golpear a base do molde. Cada uma das camadas seguintes também deve ser adensada em toda sua espessura, uma vez que a penetração da haste seja de aproximadamente 20 mm na camada anterior.

O endurecimento do concreto é rápido, sendo que a retirada do mesmo inserido no molde cilíndrico pode ser realizada em 24 horas. Para este trabalho, foram rodados traços com os CP's do tipo: CP II, CP III, CP IV e CP V, e colocados nos devidos 25 corpos de prova (para cada tipo de cimento). A desforma dos mesmos ocorreu em um dia. Logo após, os CP's receberam identificação e foram levados a um recipiente contendo água para sua cura com uma temperatura aproximada de 25,5 °C, como observado na Figura 7.

Figura 7 - Temperatura da água no recipiente contendo os corpos de prova.

Fonte: Arquivo pessoal.

Em seguida, para a retificação dos corpos de prova, utilizou-se uma retificadora da Stuhlert (Figura 8). Segundo a NBR 5738 esse processo constitui-se na remoção de 0,1 mm de uma camada de material das bases dos corpos de prova a serem preparados, com o objetivo de obtenção de superfícies lisas e livres de ondulações. Na Figura 9 estão os Corpos de prova retificados.

Figura 8 - Retificação do corpo de prova.

Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 9 - Corpos de prova retificados.

Fonte: Arquivo pessoal.

A aparelhagem utilizada para a execução do rompimento foi a máquina de ensaio a compressão, mais especificamente uma prensa de compressão elétrica digital da S Solocap (Figura 10).

Figura 10 - Máquina de compressão elétrica.

Fonte: Arquivo pessoal.

Os corpos de prova devem ser posicionados na máquina, de modo que o seu eixo coincida com o centro da máquina. Antes da colocação dos copos de prova, as faces da máquina são limpas e ajustadas a uma posição que facilite o encaixe dos mesmos. A carga aplicada é continua, sem choque, até que o corpo de prova rompa, como verificado na Figura 11.

Figura 11 - Rompimento do corpo de prova.

Fonte: Arquivo pessoal.

Feito isso, obteve-se as respectivas resistências de cada CP aos três, sete, quatorze, vinte e um e vinte e oito dias em kN convertidas para MPa a partir da Equação 2.

Equação 2 - Conversão da resistência do corpo de prova em kN para MPa.

$$f_{ck}(\text{MPa}) = \frac{\left(\frac{f_{ck}(\text{kN})}{A_{cp}}\right)}{9{,}81} \text{ x } 100$$

Onde:

A_{cp}: Área do corpo de prova (A_{cp}= 78,54 cm²)

f_{ck}: Resistência característica do concreto.

De acordo com o citado anteriormente, para a montagem e rompimento criou-se a Tabela 10 para orientação e organização das situações propostas.

Tabela 10 - Dias para o rompimento dos corpos de prova.

CP's	**Moldado**	**Rompido**				
		3 dias	**7 dias**	**14 dias**	**21 dias**	**28 dias**
CP III	07/mai	10/mai	14/mai	21/mai	28/mai	04/jun
CP IV	08/mai	11/mai	15/mai	22/mai	29/mai	05/jun
CP V	14/mai	17/mai	21/mai	28/mai	04/jun	11/jun
CP II	15/mai	18/mai	22/mai	29/mai	05/jun	12/jun

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A qualidade do concreto está diretamente relacionada com o fator água / cimento (a/c). Essa relação é muito importante, pois a quantidade de água tem grande influência na sua resistência. Geralmente, o fator está em torno de 0,4 – 0,7. Valores menores ou maiores dificultam a trabalhabilidade do concreto e os tornam fracos.

Durante a confecção dos corpos de prova surgiu a necessidade de alterar esta relação para 0,68, sendo inicialmente 0,48. Tal necessidade houve devido ao fato do concreto não apresentar a consistência esperada para que fossem feitos os moldes e abatimento dos mesmos, apesar da relação usada está dentro da faixa de valores indicada. Entretanto, não foi levado em consideração o fato do teor de umidade da areia gerar um aumento de água no traço em questão, alterando então os possíveis resultados.

A Tabela 11 apresenta a correção do fator água/cimento (a/c) do traço para cada tipo de cimento utilizado, em função do teor de umidade da areia.

Tabela 11 - Correção do fator água/cimento (a/c).

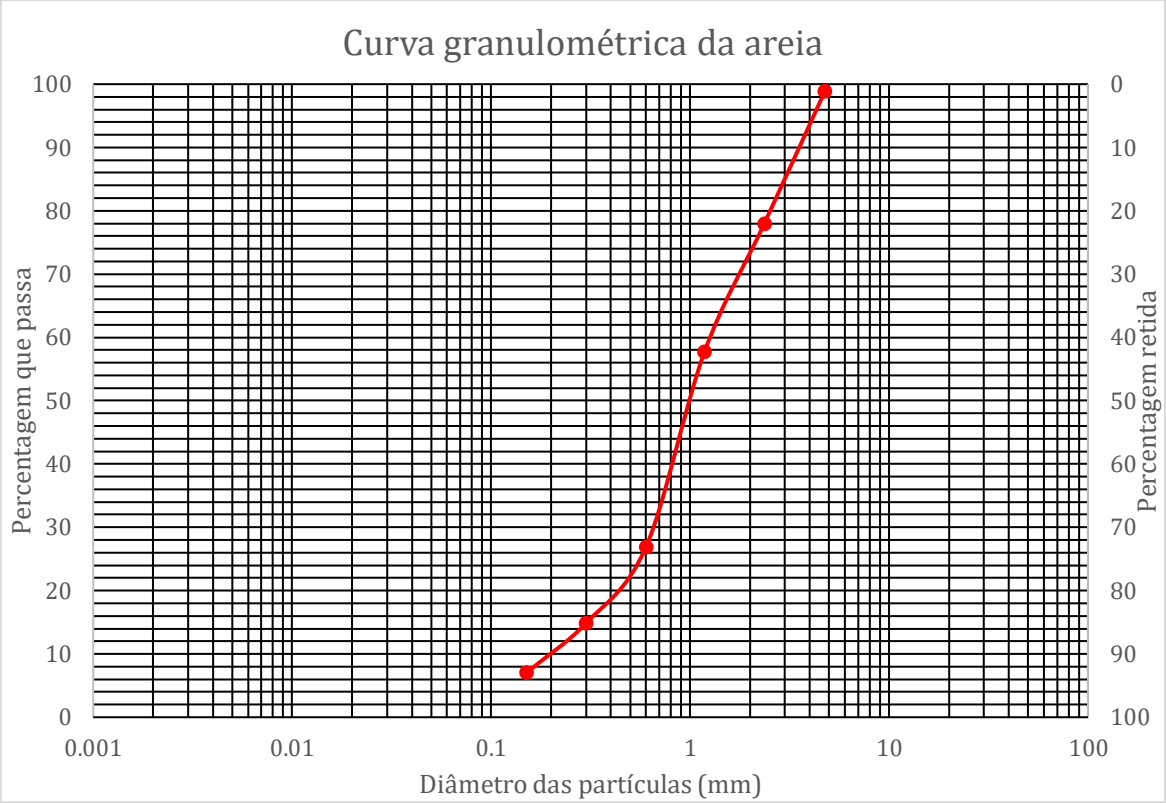
Cimento	a/c corrigido
CP II	0,776
CP III	0,863
CP IV	0,833
CP V	0,730

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em circunstância desse aumento do fator água/cimento houve uma alteração considerável nos resultados diminuindo a resistência do concreto, o que justifica o CPII, CPIII e CPIV não atingirem a resistência esperada. Como o fator a/c para o CPV foi o menor, este apresentou um melhor resultado quanto à resistência prevista.

A curva granulométricadas amostras do agregado miúdo é ilustrada na Figura 12, a partir da qual é possível observar uma areia bem graduada com frações finas consideráveis, que promovem um melhor preenchimento dos vazios entre as partículas maiores e proporciona melhor plasticidade.

Figura 12 - Curva granulométrica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 12 encontram-se os valores médios obtidos para a resistência a compressão dos vinte e cinco corpos de prova confeccionados dos tipos de cimento CP II, CP III, CP IV e CPV-ARI, além da umidade da areia utilizada e do valor do ensaio de abatimento do concreto (slump).

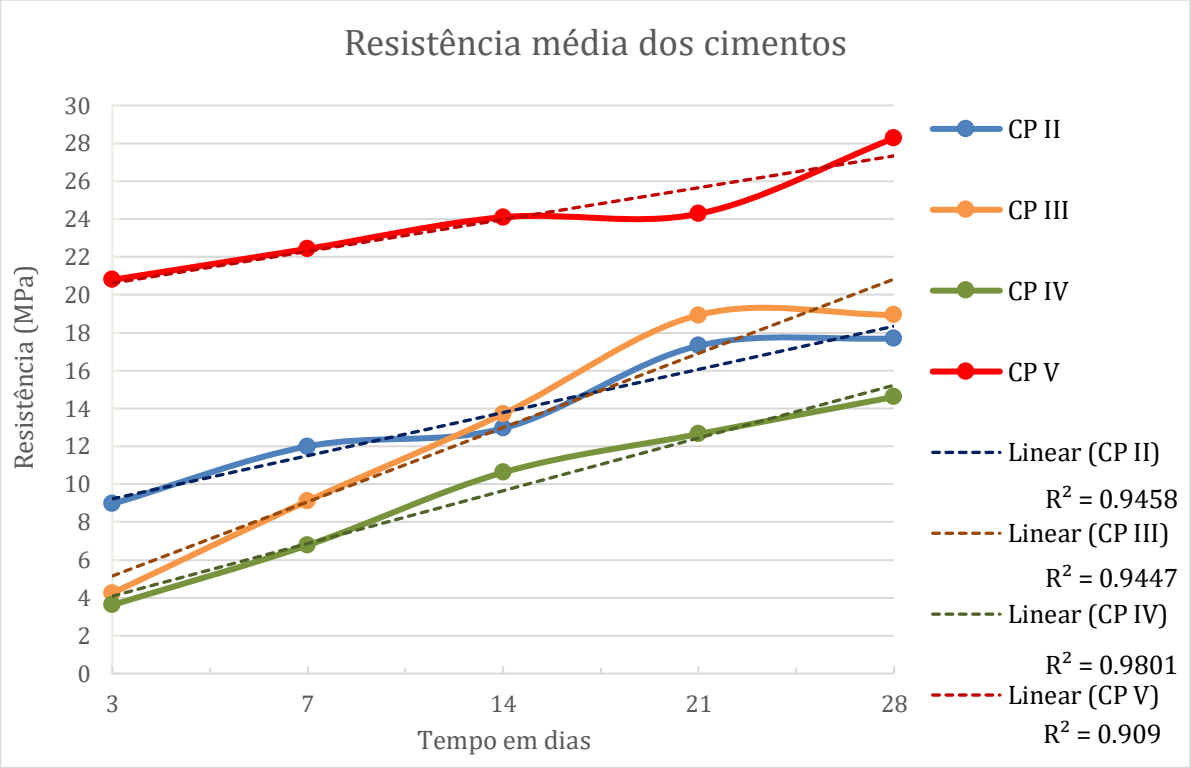
Tabela 12 - Resistência média à compressão, umidade da areia e slump dos corpos de prova.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				
Traço	**CPII**	**CPIII**	**CPIV**	**CPV**
3 dias	8,96	4,25	3,62	20,79
7 dias	12,00	9,12	6,78	22,43
14 dias	12,95	13,71	10,62	24,10
21 dias	17,31	18,93	12,65	24,28
28 dias	17,70	18,94	14,61	28,27
Umidade da Areia (%)	4,60	9,17	7,53	3,09
Slump (cm)	6,00	14,00	15,00	5,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 13 apresenta um resumo em uma curva do crescimento médio da resistência dos quatro tipos de cimento em relação aos dias de rompimento, possibilitando comparar o comportamento dos tipos de cimento.

Figura 13 - Resistência média dos concretos.



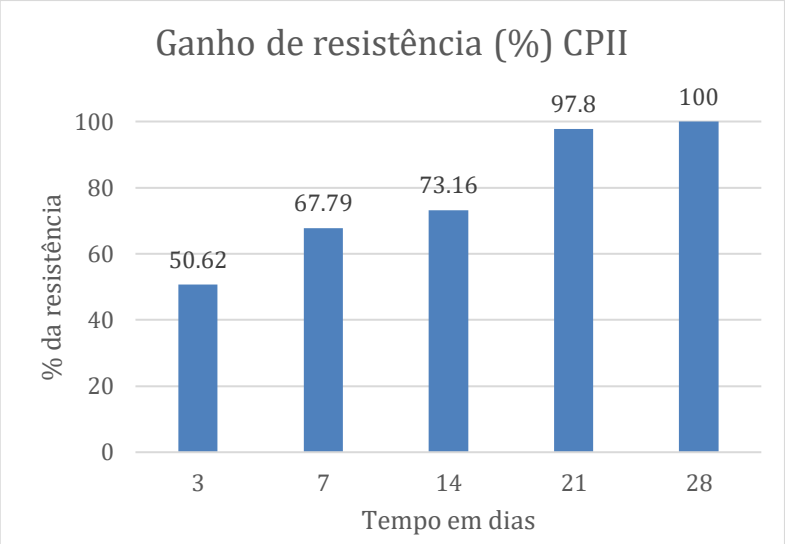
Fonte: Elaborado pelos autores.

Dos resultados obtidos foram elaborados gráficos correspondentes a cada tipo de cimento, possibilitando uma análise gráfica que proporcione uma melhor visualização e entendimento dos resultados.

Com os cinco corpos de prova confeccionados com o cimento CP II, verifica-se um ganho de resistência média no terceiro dia de 50,6% da resistência encontrada aos 28 dias. Ocorreu aumento de 17,2% ao passar de 3 para 7 dias, enquanto de 7 para 14 dias a resistência varia cerca de 5,4%, voltando a subir aproximadamente 24,64% quando a idade varia de 14 para 21 dias e de 2,2% de 21 a 28 dias. Na totalidade nota-se que até 28 dias a resistência à compressão do cimento do tipo composto alcançou 88,5% da resistência esperada de 20 MPa.

A Figura 14 mostra esse ganho de resistência em porcentagem com o passar dos dias do cimento Portland composto.

Figura 14 - Porcentagem de ganho de resistência – CP II.

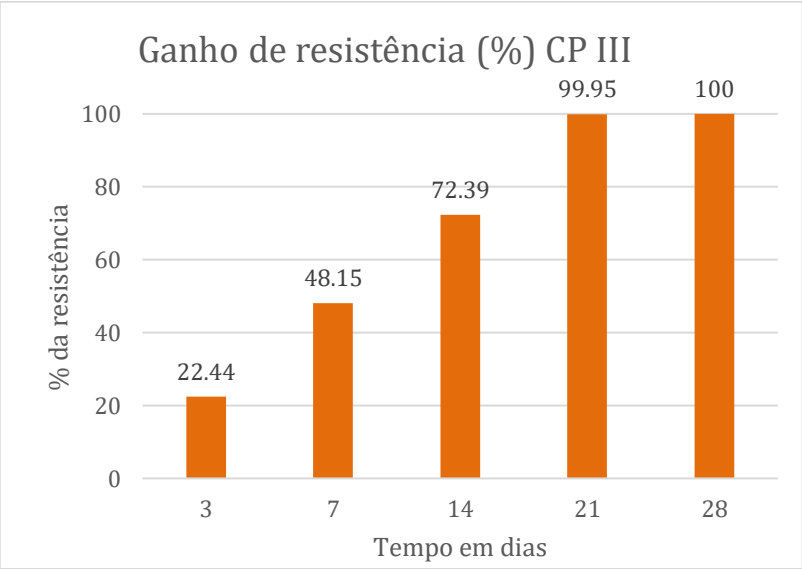


Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação ao cimento CP III o ganho foi de 22,44% da resistência em 3 dias, observou-se um aumento de 25,71% da resistência de 3 para 7 dias, de 24,24% entre 7 e 14 dias e cerca de 27,56% ao passar da idade de 14 para 21 dias, entretanto de 21 a 28 dias a resistência permaneceu praticamente inalterada, aumentando apenas 0,05%. Nota-se que, no total, a variação da resistência até 28 dias chegou a 94,7% da resistência característica do cimento, correspondente a 20 MPa.

Na Figura 15 observa-se esse aumento de resistência em porcentagem no período analisado do cimento Portland de alto-forno.

Figura 15 - Porcentagem de ganho de resistência – CP III.

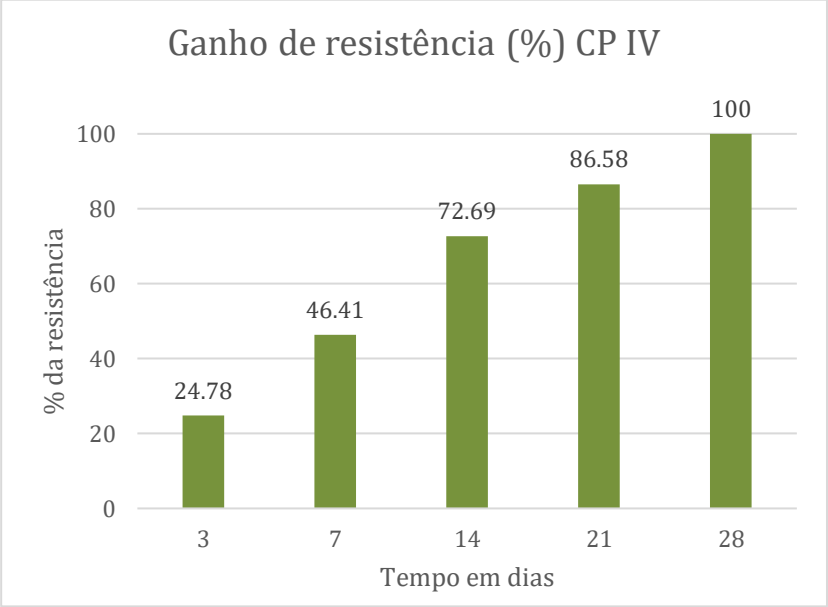


Fonte: Elaborado pelos autores.

O aumento da resistência do concreto confeccionado com o cimento do tipo pozolânico foi gradativo com o passar dos dias, no terceiro dia teve um aumento de 24,78%, sendo a porcentagem de ganho de 3 a 7 dias foi de 21,63%, passando para um aumento de 26,28% de 7 a 14 dias e de 13,89% entre 14 e 21 dias, essa resistência ainda aumentou 13,42% nos próximos sete dias. A resistência obtida aos 28 dias corresponde a 73,05% da resistência do CP IV-20.

A Figura 16 demonstra esse ganho de resistência do cimento Portland pozolânico em porcentagem no decorrer dos dias.

Figura 16 - Porcentagem de ganho de resistência – CP IV.

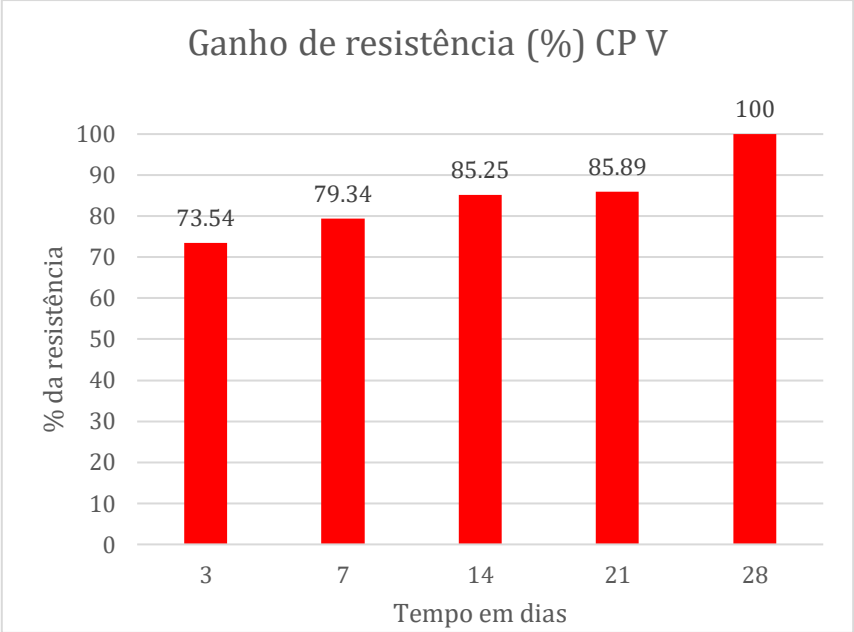


Fonte: Elaborado pelos autores.

A resistência dos corpos de prova feitos com o cimento CP V apresentou um desempenho elevado, alcançando 20,79 MPa nos 3 primeiros dias de cura, correspondendo a 73,54% da resistência final aos 28 dias. Constatou-se um aumento de 5,8% ao passar da idade de 3 para 7 dias, de 5,91% de 7 a 14 dias, seguido de um diminuto aumento de 0,64% entre 14 e 21 dias e crescendo por volta de 14,11% de 21 até 28 dias. Assim, verifica-se que o CP V-ARI atingiu uma alta resistência, ultrapassando a resistência de 20 MPa com idade de 3 dias.

Na Figura 17 tem-se o gráfico exemplificando essa variação do ganho de resistência em porcentagem com o passar dos dias do cimento Portland de alta resistência inicial.

Figura 17 - Porcentagem de ganho de resistência – CP V-ARI.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após análise dos resultados de resistência à compressão, pode-se perceber que existe uma variação de resistência entre os tipos de cimento para cada dia analisado. Observou-se uma resistência diferenciada, constatada nos trabalhos reportados da literatura e assim nota-se que quando está trabalhando em uma obra o escoramento não pode ser retirado antes do tempo necessário para aquele tipo de concreto atingir a resistência esperada de cálculo e ter a capacidade de suportar as cargas submetidas.

No que se refere ao cimento CP II foi possível analisar um aumento gradativo da resistência com o passar dos dias, possuindo assim um endurecimento normal, com quantidade de calor de hidratação gerado padrão e não apresentando grande variação da resistência de 21 para 28 dias, sendo admitida a retirada de escoras nessa idade.

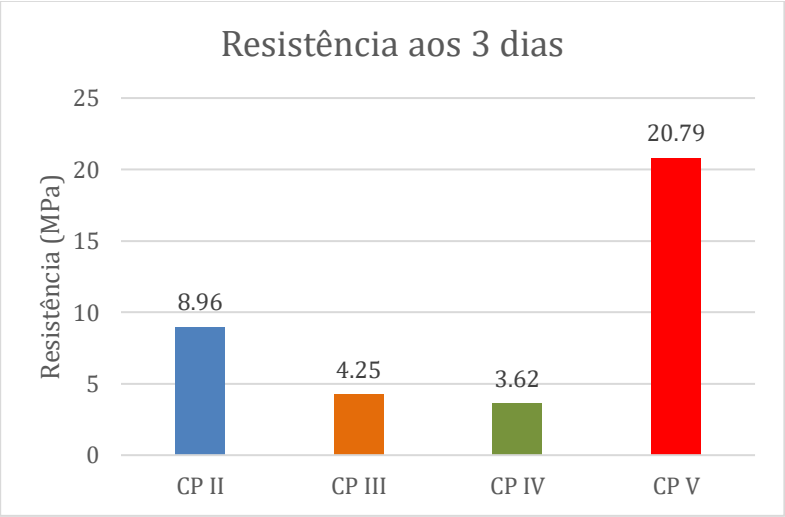
Comparando a resistência à compressão aos 3 dias depois da concretagem dos quatro tipos de cimentos estudados, constata-se que os tipos de cimento CP III e CP IV obtiveram menor resistência, comprovando que as taxas de hidratação e desenvolvimento da resistência desses são mais lentos, possuindo um maior tempo de pega e necessitando de maior tempo para a retirada das escoras da laje.

Todavia,o cimento Portland de alto-forno apresentou pouca variação da resistência ao passar de 21 para 28 dias e o cimento Portland pozolânico representou o menor desempenho aos 28 dias entre os tipos de cimento estudados, manifestando uma baixa resistência e, portanto, maior tempo de escoramento.

Por outro lado, o cimento CP V-ARI alcançou uma resistência elevada nos primeiros 3 dias e teve um aumento progressivo de resistência ultrapassando os 20 MPa desejados, demonstrando um maior calor de hidratação e menor tempo de pega, conseguindo uma resistência satisfatória e possível retirada de escoras poucos dias após a concretagem.

Como pode ser observado nos gráficos das Figuras 18, 19, 20, 21 e 22 correspondentes aos resultados dos ensaios de compressão realizados nas idades de rompimento de 3, 7, 14, 21 e 28 dias respectivamente, permitindo uma avaliação da importância do ganho de resistência com o tempo de todos os tipos de cimentos utilizados e consequentemente o período adequado para a retirada da escora sem provocar prejuízo da estabilidade.

Figura 18 - Resistência do concreto aos 3 dias.

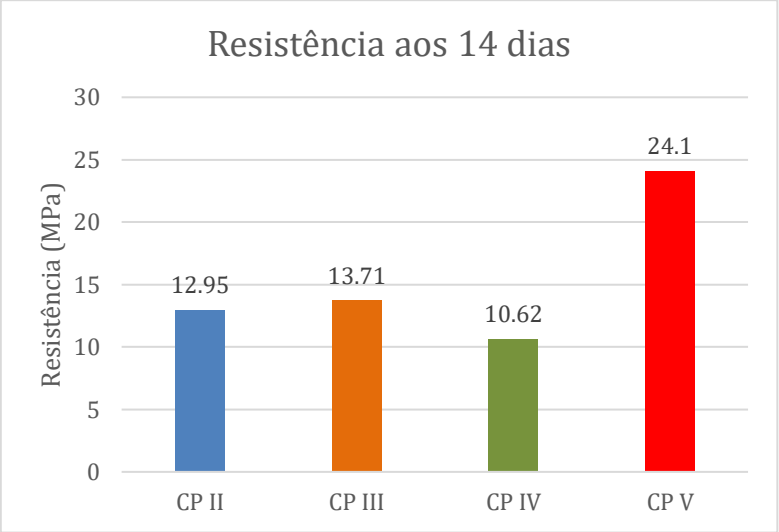


Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 19 - Resistência do concreto aos 7 dias.

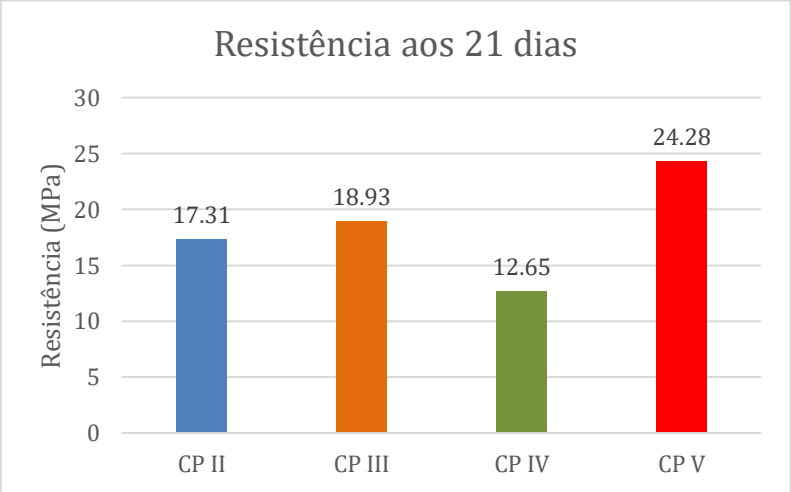
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 20 - Resistência do concreto aos 14 dias.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 21 - Resistência do concreto aos 21 dias.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 22 - Resistência do concreto aos 28 dias.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base na análise feita acerca da resistência à compressão dos 25 corpos de prova, percebe-se que apenas os corpos confeccionados com o cimento do tipo CP V atingiram a resistência esperada de 20 MPa. O fato está ligado à relação água cimento adotada, uma vez que quanto menor a quantidade de água, mais concentrado e forte será o concreto, além do mesmo ser um cimento de alta resistência inicial.

Tratando dos outros três tipos de cimento (CP II, CP III e CP IV) pode-se observar que para esses a relação a/c utilizada foi alta, já que não atingiram a resistência esperada. A quantidade suplementar de água, que fica livre na pasta de cimento endurecida provoca uma alteração na propriedade do concreto, no seu coeficiente de retração, e desta forma constatou-se que quanto maior for o excesso de água maior será o teor de poros capilares na pasta do cimento, que consequentemente reduzirá a sua resistência.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados dos ensaios de resistência à compressão foi possível verificar que independentemente do tempo de cura, o corpo de prova fabricado com cimento CPV-ARI obteve sempre os maiores valores de resistência. Isso se deve ao fato da utilização de uma dosagem diferente de argila e calcário na produção do clínquer, matéria prima do cimento, além da moagem mais fina do mesmo. Esta diferença de produção confere a este tipo de cimento reagir com a água e adquirir elevadas resistências com uma maior velocidade, conforme visto anteriormente.

Com relação à proposta inicial do trabalho, o CPV-ARI é quem atende as respostas similares em termos de trabalhabilidade e de resistência à compressão de acordo com suas especificações técnicas, e em conformidade com os traços iniciais, diferente dos outros tipos de cimento, que não atingiram o esperado. Logo, constata-se a importância da dosagem correta de água, na qual, adicionada em maiores quantidades, é um fator condicionante que acarretará essa diminuição da resistência do concreto.

Dessa forma, o tempo de escoras em lajes com aplicações desse tipo de cimento é reduzido, além de apresentar vantagens como: economia, em relação a quantidade de cimento; tempo de cura reduzido, de acordo com as análises apresentadas, e maior velocidade no tempo de execução da obra. Devendo ainda, atender as condições de exigências da estrutura.

Contudo, como sugestão recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados sobre os outros CP’s, uma vez que a relação a/c foi de grande influência nos resultados. Novos corpos de prova poderiam ser produzidos, levando em consideração a umidade do agregado miúdo utilizado, assim como ensaios para a determinação do módulo de elasticidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** 7ª ed. 28p. São Paulo. ISBN 85-87024-23-X.2002.

ABNT NBR 11578. **Cimento Portland Composto**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT NBR 14931. **Execução de estruturas de concreto – procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT NBR 15696**. Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.**Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2009.

ABNT NBR 5732. **Cimento Portland Comum**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT NBR 5733. **Cimento Portland Alta Resistência Inicial**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT NBR 5735. **Cimento Portland de Alto-Forno**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT NBR 5736. **Cimento Portland Pozolânico**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT NBR 5738. **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2015.

ABNT NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2014.

ABNT NBR 8953. **Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência, massa específica e consistência**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2009.

ABNT NBR NM 65. **Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.**Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2003.

BATTAGIN, A. F. **Uma breve história do cimento Portland.**ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. 2018. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>. Acessado em: julho 2018.

CABRAL, S. C. **Cimento Parte I e Parte II**. Notas de Aula. UFVJM. 2016.

CARMO, E. J. Z. **Fôrmas e Escoramentos**. Monografia. Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica de Área de Ciências Exatas da Universidade São Francisco. 44 f. Itatiba. 2007.

CONCEIÇÃO, L. B. **Estudo da Tecnologia e Aplicação do Concreto Colorido em Habitações de Interesse Social**. 127 p. UFRJ / Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2015.

GOBBO, L. A. **Os compostos do Clínquer Portland: sua caracterização por difração de raio-X e quantificação por refinamento de reitveld**. Dissertação de mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia. 157p. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

GOBBO, L. A. **Aplicação da Difração de Raios-X e Método de Rietveld no Estudo de Cimento Portland.** Tese de Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

HELENE,P.eANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Capítulo 29. 905-944p. Editor: Geraldo CechellaIsaia. IBRACON. 2010.

KRIPKA, M. **Análise Incremental Construtiva de Edificações**. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 129 p. Rio de Janeiro. 1990.

LIZ CIMENTOS. **História do cimento**. Disponível em: <http://www.cimentosliz.com.br/empresa/historiaCimento>. Acessado em: jul. 2018.

MEHTA, P. K. E MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª edição. Editora IBRACON. São Paulo. 2014.

NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios: critérios para dimensionamento e escolha do sistema**. Editora PINI. 1ª ed. São Paulo. 2007.

NEGREIROS, L. G. S. **Análise Inicial da Influência do Sistema de Escoramento no Comportamento das Estruturas de Edifícios de Concreto Armado Durante a Fase Construtiva**. Trabalho de conclusão de cursoEngenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2010.

PAREDES, D. C. A.; BRONHOLO, J. H. **Efeitos da temperatura da água de amassamento na resistência do concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). 45 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2013.

PASSUELO, A. **Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. UFRGS. Porto Alegre. 2004.

PAULA, L. G. **Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland dom Co-Processamento de Misturas de Resíduos**. Dissertação de Mestradoem Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá. 179p. Itajubá. 2009.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil.** 2ª edição. Editora UFMG. Escola de Engenharia da UFMG. 102P. Belo Horizonte. 2002.

SALVADOR, P. F. **Investigação teórica e experimental da transferência de cargas entre pavimentos de concreto escorado**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. 207 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

SOUSA, R. **História do Cimento**. 2009. Disponível em: <https://historiadomundo.uol.com.br/curiosidades/historia-do-cimento.htm>. Acessado em: jul.2018.

SOUZA, H. M.; SOARES JR, A. P.; COSTA JR, E. F.; COSTA, A. O. S. **Predição da composição do clínquer industrial utilizando minimização da energia livre de Gibbs**. Cerâmica. v. 61, nº 357. 23-30p. São Paulo. 2015.

TENORIO, J. A. S.; ARAÚJO, F. G. S.; PEREIRA, S. S. R.; FERREIRA, A. V.; ESPINOSA, D. C. R.; BARROS, A. **Decomposição da fase majoritária do cimento Portland - Parte II: alita com adições de Fe e Al**. Rem: Rev. Esc. Minas. Ouro Preto. v. 56, n. 2, p. 113-117. 2003.

TUTIKIAN, B. F. e HELENE,P.**Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.** Concreto: Ciência e Tecnologia. Capítulo 12. Editor: Geraldo CechellaIsaia.IBRACON. 2011.

VOTORANTIM CIMENTOS. **A história do cimento**.Artigos Técnicos. E-Civil. Disponível em: < http://www.ecivilnet.com/artigos/historia_do_cimento.htm>. Acessado em: jul. 2018.