

ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA PELA UTILIZAÇÃO DE CIMENTO PRÉ-HIDRATADO

COMPARATIVE ANALYSIS OF RESISTANCE BY THE USE CEMENT PRE-HYDRATED

Maria Laura Assumção¹

Fabio Braga da Fonseca²

RESUMO: Este trabalho visa analisar por meio de ensaios experimentais a determinação da perda de desempenho de cimento vencido. Foram efetuados os ensaios de composição granulométrica, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, e análise de consistência pelo *Slump Test* para compará-los aos métodos de consistência pela agulha de Vicat e pela agulha de Proctor, executados de acordo com suas respectivas normas ABNT. Os resultados demonstraram que o cimento vencido, devido sua pré-hidratação, proporcionou uma redução parcial das resistências comparado com o cimento não vencido, além de reduzir o tempo de endurecimento. Portanto, o cimento vencido acarreta redução na trabalhabilidade e no desempenho na capacidade resistente.

Palavras-chave: Cimento, Concreto, Hidratação, Desempenho e Resistência.

ABSTRACT: *This paper aims to analyze, through experimental trials, the determination of the performance loss of expired cement. The following tests were performed: Composition of Granulometric, Resistance to Axial Compression, Tensile Strength by Diametrical Compression, and Consistency Analysis by the Slump Test, with the purpose of comparing them with the methods of consistency by the Vicat Needle and the Proctor Needle, executed in accordance with their respective ABNT standards. The results showed that due to the prehydration of the expired cement, there was a partial reduction of the resistances compared to the cement not expired, as well as reducing the setting time. Therefore, the expired cement entails a reduction in workability and performance in the resistant capacity.*

Keywords: Cement, Concrete, Hydration, Performance and Resistance.

¹ Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: mlassumcao@hotmail.com.

² Docente no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: fabiobf31@yahoo.com.br.

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil o material mais amplamente usado é o concreto, geralmente preparado por meio da mistura de cimento Portland, areia, brita e água. O cimento, em questão de volume, é a sua principal matéria-prima, que é o segundo produto mais utilizado no mundo, estando atrás apenas da água (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Devido a grande importância mundial do concreto, o cimento é utilizado frequentemente. Quando misturado com a água inicia o processo de hidratação, que provoca várias reações químicas, acontecendo em diferentes velocidades e resultando em modificações físicas, químicas e mecânicas. Essas reações formam compostos hidratados, aderindo-se entre si e gerando atributos coesivos e adesivos ao cimento (COSTA et al., 2009).

A trabalhabilidade do concreto é influenciada pelos processos de hidratação das partículas de cimento, evaporação da água total, água de absorção e agitação da mistura. Em razão das condições ambientais, a evaporação e hidratação aumentam com o tempo (DEWAR; ANDERSON, 1992).

O tempo de uso do concreto é limitado segundo alguns fatores, que acabam por dificultar a sua utilização. Entre esses fatores estão as reações de hidratação que acontecem com o cimento, o desenvolvimento do começo de pega, e a perda na trabalhabilidade no decorrer das primeiras horas. De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), o tempo máximo que o concreto tem para que seja descarregado e executado é de 150 minutos após ser preparado (POLESELLO et al., 2013).

Portanto, seu transporte até a obra necessita ser realizado rapidamente, visando diminuir os efeitos de enrijecimento e de perda sobre a trabalhabilidade, para não prejudicar o lançamento, adensamento e acabamento. Em ocasiões em que o concreto é preservado em estado de agitação reduzida ou remisturado eventualmente, à fim de garantir a homogeneidade, a perda de abatimento não retrata risco sério sobre seu uso nos primeiros 90 minutos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Se ultrapassado o tempo de utilização de 150 minutos, o concreto começa a se tornar enrijecido e passa a ser aplicado de acordo com essa característica, seja em pisos industriais, calçadas, pavimentos de aeroportos, pavimentos de rodovias,

canais e barragens. É essencial ressaltar que este apresenta características como durabilidade, resistência e impermeabilidade (ANDOLFATO, 2002).

Os cimentos que se encontram dentro de sua embalagem e com sua data de validade ultrapassada podem apresentar empedramento, caso sua estocagem tenha sido feita de maneira incorreta, como estar organizado em pilhas muito altas e ter entrado em contato com solo úmido (BAUER; ALVES, 1989).

O objetivo deste artigo é efetuar análise por ensaios experimentais para determinar qual a efetiva perda de desempenho de cimento vencido, verificar a porcentagem do material pré-hidratado. Assim, pode-se verificar se este cimento realmente deve ser descartado, ou se pode ser utilizado com finalidade não estrutural.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Definição do Cimento

O cimento Portland define-se como um pó com propriedades aglomerantes, porque realiza a união de outros materiais e é hidráulico, pois reage (hidrata) e endurece ao entrar em contato com a água. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1991), esse aglomerante hidráulico é obtido por meio de uma mistura homogênea de clínquer Portland moído, gesso e adições variadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

Durante sua moagem podem ser inseridas adições de materiais pozolânicos, escória granulada de alto forno e materiais carbonáticos. A incorporação dessas adições durante a fabricação do cimento resulta em diferentes características e propriedades, deixando-os adequados para determinados usos, que dependem da resistência e durabilidade desejada (GALHARDO, 2014).

2.2 Composição

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1991), os principais compostos do cimento são:

- a) Clínquer: é essencial na constituição do cimento, possuindo como matérias-primas o calcário e a argila. Seu processo de produção consiste na britagem e moagem do calcário, logo após mistura-se com a argila moída.

Essa mistura percorre um forno giratório de temperatura interna de 1450°C. Em seguida, ocorre à formação do clínquer configurando pelotas, que são bruscamente resfriadas para serem moídas e se transformarem em pó. Neste novo estado granulométrico, ele reage quimicamente na presença da água, resultando primeiramente em uma consistência pastosa e, em seguida, endurece, apresentando alta resistência e durabilidade (DORFMAN, 2003).

b) Gesso: chamado também de gipsita, é um sulfato de cálcio di-hidratado, utilizado na quantidade equivalente a 3% da massa do clínquer. Ele é inserido na moagem do clínquer, pois sua principal função é prolongar seu tempo de pega, tempo correspondente ao início do seu endurecimento. Essa adição permite que o cimento não endureça rapidamente quando em contato com a água, o que resultaria segundo Panzera et. al. (2010) no adiamento do seu uso no estado fresco.

c) Calcário: constitui maior parte dos compostos utilizados na produção do cimento, sendo em média de 75% à 80% e contendo basicamente carbonato de cálcio, encontrado com facilidade na natureza. Ele é empregado como um elemento de preenchimento, pois seus grãos e partículas moídos possuem dimensões favoráveis para que consiga se alojar entre grãos ou partículas de outros componentes do cimento. Deste modo, age como um lubrificante, o que torna o produto mais deformável no estado fresco (COIMBRA; LIBARDI; MORELLI, 2006).

d) Escória de Alto-Forno: essa adição possui uma aparência similar à de areia grossa e é originada durante a produção do ferro gusa, que é composto de minério de ferro e carvão vegetal, em indústrias siderúrgicas (MODRO et al., 2009).

A escória é inserida na moagem do clínquer com gesso, possuindo propriedade de ligante hidráulico muito resistente. Essa adição torna a mistura mais coesa e fluida, contribuindo com o concreto em seu estado fresco e endurecido. Isso acontece pelo fato das partículas se distribuírem melhor e por possuírem uma superfície lisa que absorve pouca água. A escória diminui a velocidade de calor pela reação exotérmica, que reduzirá o calor de hidratação. Assim, a microestrutura da pasta de cimento hidratada torna-se mais densa e, portanto menos porosa (NEVILLE, 1997).

e) Materiais Pozolânicos: são encontrados na natureza como rochas vulcânicas ou materiais orgânicos fossilizados e de acordo com a ABNT NBR:12653 (1992) os materiais pozolânicos podem ser divididos em:

e.1) Naturais: origem vulcânica e caráter petrográfico ácido, contendo 65% de dióxido de silício.

e.2) Artificiais: consequência de procedimento industrial ou de tratamento técnico da atividade pozolanica. Pode ser dividida em argilas calcinadas, cinza volante, escória siderúrgica ácida, microssilica, cinza de resíduo vegetal e de rejeito de carvão mineral (MONTANHEIRO et al., 2002).

A produção deste material artificial consiste na queima de argilas ricas em alumínio a temperaturas próximas de 700°C. Logo, no processo de hidratação do clínquer ocorre a liberação de hidróxido de cálcio que reage com a pozolana, reduzindo o calor de hidratação do cimento, que conseqüentemente também reduz a permeabilidade, segregação de agregados e ocasiona maior trabalhabilidade e estabilidade de volume (PANZERA, 2010).

f) Água: além de ocasionar suspensão do sólido, ela tem por objetivo dissolver os compostos químicos do cimento, chegando à sua saturação, o que possibilita uma consistência à suspensão, que seria o início de pega e resultando no enrijecimento, ou seja, fim de pega. Com isso ocorre o endurecimento, acarretando o ganho de resistência de forma adequada. Esse endurecimento é consequência das transformações do cimento anidro, mediante de reações químicas ligadas à um mecanismo de reação, relacionada com a reatividade do produto, pressão e temperatura. Contudo, as águas que possuem açúcar dissolvido ou sulfato não são adequadas para fabricação de cimento, para que não prejudique a durabilidade da estrutura (LYRA, 2010).

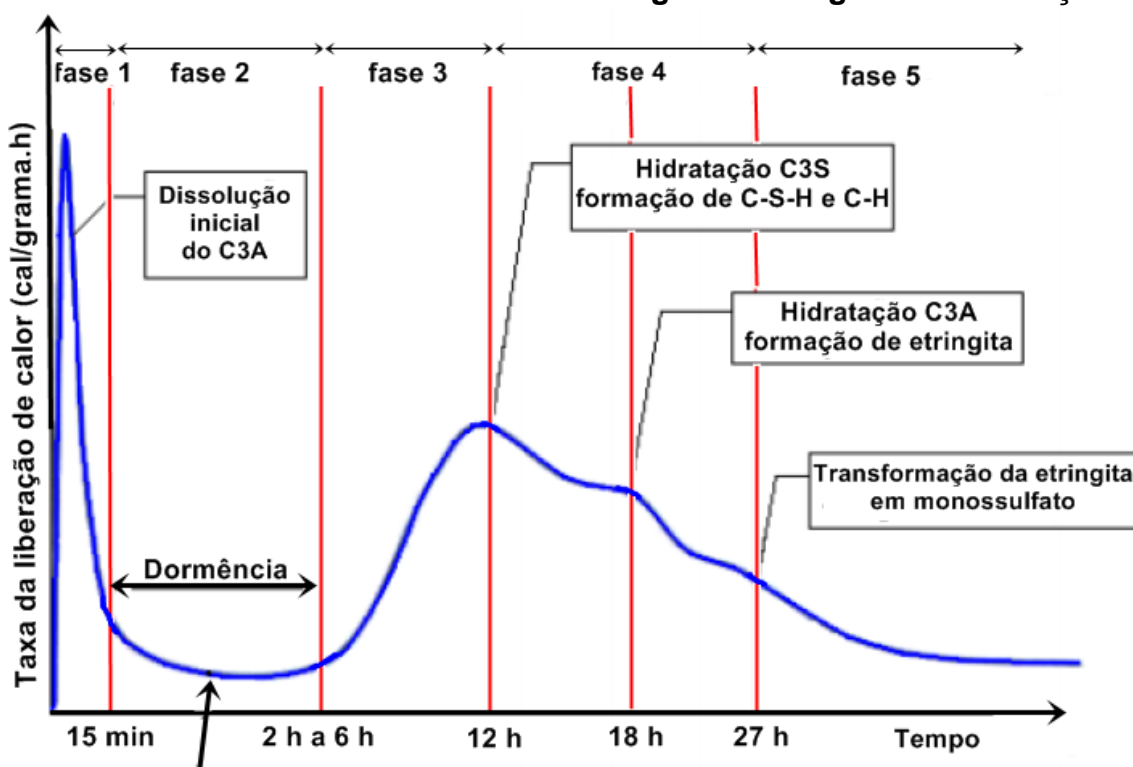
2.3 Hidratação do cimento

A expressão hidratação, em relação ao cimento, significa o início de uma reação química entre os componentes do cimento anidro no momento que entram em contato com a água. Isso resulta em produtos de hidratação que causam endurecimento no material cimentício com resistência mecânica (TAYLOR, 1997).

Esse processo de hidratação provém da finura e do tipo do cimento, da relação entre a água e o cimento, da temperatura de cura e da existência de aditivos químicos e minerais incorporados. É por meio dele que as partículas de cimento começam a se agrupar (PARROT et al., 1990).

É de suma importância mencionar que a hidratação ocorre em diferentes estágios, que dependem do fluxo de calor das reações químicas exotérmicas do cimento e resultam na liberação de calor, como mostrado na figura (1) (LYRA et al., 2012).

FIGURA 1. Taxa de calor liberado ao longo dos estágios de hidratação.



Fonte: Figura adaptada do DOMONE (1994)

- Estágio de Pré-indução: chamado também de estágio inicial, se processa em poucos minutos. Nesse processamento, após o contato com a água é gerada uma rápida liberação de calor, como também ocorre à dissolução de sulfatos alcalinos (ROMANO et al., 2011).
- Estágio de Indução: é denominado de período de dormência, pois sua duração é de 30 minutos à 3 horas e se caracteriza pela formação de uma camada de gel por meio de partículas coloidais não estruturadas na superfície do cimento. É um período marcado pela baixa evolução do calor, que termina quando a camada de gel de C-S-H (silicato de cálcio hidratado), depositada

ao redor das partículas de cimento, é destruída ou fica mais permeável à difusão iônica, aumentando assim, sua velocidade da reação (THOMAS; JENNINGS, 2006).

c) Estágio de Aceleração: a supersaturação iônica da fase aquosa e a acelerada formação de silicato de cálcio hidratado é uma consequência do mecanismo de dissolução-precipitação que se predomina nesse estágio. Além disso, ocorre também a formação do hidróxido de cálcio (portlandita) e a precipitação da etringita. No decorrer desse período se dá o fenômeno de pega, onde os silicatos começam a se hidratar até atingir seu maior ponto de hidratação, que representa o maior calor liberado. A taxa de hidratação é controlada pela aquisição do C-S-H. Por fim, durante essa etapa de aceleração ocorre a extensão da hidratação que depende da área específica do clínquer (MOSTAFÁ; BROWN, 2005).

d) Estágio de Desaceleração: nesse estágio se inicia a redução da taxa da evolução do calor, diminuindo a concentração de íons em solução, devido à precipitação de hidratos que recobrem as partículas do cimento e prejudica a solubilização das fases anidras. A continuidade das reações lentas promove a origem do C-S-H e Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio), à qual ocorre em um intervalo de 24 horas. É por meio da difusão iônica que o mecanismo de reação começa a ser controlado (KADRI; DUVAL, 2002).

e) Estágio Final: neste estágio ocorre a hidratação da fase ferrita ou a conversão da etringita (AFt) em monossulfoaluminato de cálcio (AFm). Acontece também a formação de placas hexagonais delgadas de AFm (TAYLOR, 1998).

2.4 Pré-Hidratação do cimento Portland

O desempenho do cimento se altera ao longo do tempo, desde a produção até a sua utilização, devido à sua pré-hidratação. Essa perda de desempenho pode acontecer em consequência da má estocagem do cimento. Eles devem ser empilhados com no máximo 10 sacos e o local deve ser coberto e protegido contra intempéries. Caso contrário, se ainda ensacado entrar em contato com a umidade, inicia o processo de hidratação que implica em uma modificação na superfície das partículas do cimento, influenciando as características reológicas fundamentais da pasta, como tensão de escoamento e viscosidade. Outros fatores que sofrem efeitos

negativos da pré-hidratação são as propriedades mecânicas nas primeiras idades, devido ao calor liberado (YANG, 1997).

Os produtos que são formados na pré-hidratação têm significativa importância sobre o calor acumulado e o fluxo de calor no pico da composição da portlandita e do C-S-H, sendo inferiores nas composições pré-hidratadas com água no estado líquido. Isso se dá em razão da dificuldade de dissolução proposta pela formação dos hidratos sobre a superfície das partículas anidras, o que prejudica a hidratação da pasta (WINNEFELD, 2008).

2.4.1 Problemas causados pelo calor de hidratação

Pelo fato da reação de hidratação do cimento ser exotérmica, libera o calor de hidratação, o qual origina problemas de âmbito estrutural, através da dilatação do material. Essa dilatação ocorre ao mesmo tempo em que há a redução da temperatura, ocasionando o fim de pega e gerando as chamadas fissuras do calor de hidratação. Este fenômeno acontece na fase inicial, se a produção de calor for maior do que a capacidade de dissipação do interior do elemento. Isso resulta em um sólido com uma temperatura que excede aquela que corresponde ao equilíbrio com o ambiente. A produção de calor diminui quando a velocidade das reações de hidratação reduz, o que causa queda na temperatura do elemento estrutural (GOMES et al., 2013).

O fenômeno em questão danifica estruturas de concreto, por meio de fissuras, essas causadoras da perda de resistência, lixiviação, interpolação de água, corrosão da armadura, perda de durabilidade e perda na impermeabilidade (CARNEIRO et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi realizado no Laboratório de Construção Civil do Centro Universitário Unifafibe, em Bebedouro, SP.

3.2 Desenvolvimento

Para obter um concreto de f_{ck} igual a 30 MPa, a determinação do traço em massa, foi feita pela seguinte equação (1):

$$C \left(\frac{c}{\gamma_c} + \frac{A_{gm}}{\gamma_{ag,m}} + \frac{A_{gg}}{\gamma_{ag,g}} + a/c \right) = 1000 \quad (1)$$

em que:

- A_{gm} : agregado miúdo;
- A_{gg} : agregado graúdo;
- C : consumo de cimento (kg/m^3);
- γ_c : massa específica do cimento (kg);
- $\gamma_{ag,m}$: massa específica do agregado miúdo (kg);
- $\gamma_{ag,g}$: massa específica do agregado graúdo (kg);
- a/c : relação água/cimento.

Para ser determinada a quantidade total dos agregados, foi definido o consumo de cimento em $500 \text{ kg}/\text{m}^3$ de concreto e a relação de água e cimento é de 0,45, portanto:

$$500 \left(\frac{1}{3,15} + \frac{A_{gm}}{2,65} + \frac{A_{gg}}{2,65} + 0,45 \right) = 1000 \rightarrow A_{gm} + A_{gg} = 3,53 \quad (2)$$

Após, foi estabelecido a quantidade individual do agregado miúdo e agregado graúdo. Por meio do adensamento mecânico, constatou-se que seria utilizada 45% de areia e conseqüentemente 55% de brita. Desta forma, o traço usado foi 1 : 1,6 : 2 : 0,45 (cimento : areia : brita : água).

3.3 Confeção dos corpos de prova

Para a confeção dos corpos de prova, com dimensões de 50 mm x 100 mm, foram utilizados: cimento CP II-Z-32, agregado miúdo e agregado graúdo.

No estudo foram usados separadamente dois modelos de concreto, definidos anteriormente, sendo um de referência com cimento não vencido (CNV) e outro com cimento vencido (CV).

3.4 Composição Granulométrica

Este ensaio baseia-se na separação por tamanho de cada partícula em conjunto de peneiras sucessivas, denominado agitador de peneiras, da marca

Solotest. As peneiras possuem malhas de aberturas de 9,5mm, 6,3mm, 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,3mm, 0,15mm, que são dispostas em ordem crescente da base ao topo de acordo com a abertura da malha, previamente limpas. Primeiramente pegaram-se as amostras do cimento válido e do pré-hidratado. Por meio da ABNT NBR NM 248 (2003), essa amostra foi colocada sobre a peneira superior do conjunto, evitando a formação de uma camada espessa de material. Em seguida, o agitador mecânico foi ligado durante 10 minutos.

Após, destacou-se e agitou manualmente a peneira superior do conjunto, durante um minuto contínuo. Esse material que foi retido na peneira foi removido para uma bandeja, utilizando uma escova para limpar a tela de ambos os lados. Sendo que o material removido do lado interno é considerado como retido e o desprendido na parte inferior como passante.

Foi determinada a massa total do material que ficou em cada peneira e no fundo do conjunto. A somatória não deve ser diferente de 0,3% da massa inicial. Então, determina-se a dimensão máxima característica, a qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% da massa em uma peneira específica normal ou intermediária. Para definir o módulo de finura, somou-se as porcentagens acumuladas nas peneiras de série normal e dividiu por 100.

3.5 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Para realizar o ensaio de Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone pela ABNT NBR NM 67 (1998), primeiramente umedeceu o molde e a placa de base utilizada, colando o molde sobre essa placa de base. Os pés são posicionados sobre as aletas da base, para mantê-la estável. Encheu rapidamente o cone com o concreto, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado. Compactou cada camada com 25 golpes da haste de socamento, distribuindo uniformemente os golpes sobre a seção de cada camada, de forma com que os golpes penetrem apenas a camada anterior.

Caso a superfície do concreto ficar abaixo da borda do molde, adicionar mais concreto para manter um excesso sobre a superfície e com uma desempenadeira rasar essa superfície com movimentos rolantes da haste de compactação. Após, a placa de base é limpa e retira-se o molde do concreto, levantando-o cuidadosamente na direção vertical, esse movimento de retirada deve durar de 5

segundos a 10 segundos, com ação constante para cima e sem movimentos de torção lateral.

A operação completa, desde o início do preenchimento do molde com concreto até sua retirada, tem que ser realizada em 150 segundos e sem interrupções. Depois de retirado o molde, foi medido o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, que equivale à altura média do corpo de prova desmoldado.

3.6 Análise da consistência utilizando agulha de Vicat

Este ensaio determina o tempo de pega da pasta de cimento Portland por meio do aparelho de Vicat, da marca Fortest.

De acordo com a ABNT NBR NM 65 (2003) para a execução do ensaio, foi feito primeiramente o preenchimento do molde, após o tempo de 30 minutos, ele foi colocado sobre placa base no aparelho de Vicat. O início da pega é constatado quando a agulha ficar estacionada a (4 ± 1) mm da placa de vidro, sendo anotado o horário do ocorrido. Até que seja constatado o início da pega, a leitura foi realizada a cada 10 minutos, no intervalo de tempo de 1 hora desde o preparo da pasta de cimento. Repetindo a penetração em posições distintas, que distem de no mínimo 10 mm da borda do molde ou entre elas. A agulha foi limpa a cada nova penetração.

Então, foi feita a substituição da agulha de Vicat para a determinação do tempo de início de pega pela agulha de Vicat para a determinação do tempo de fim de pega. Inverteu-se o molde cheio do conteúdo da amostra, de maneira que essa parte do ensaio foi realizada na parte contrária (a que estava em contato com a base). Realizaram-se as leituras, assim como na determinação do início de pega.

Registrou-se, com aproximação de 10 minutos, o tempo transcorrido a partir do instante zero, até que a agulha penetrou pela primeira vez apenas 0,5 mm na pasta, como tempo de fim de pega do cimento.

3.7 Variação da consistência do cimento utilizando o penetrômetro (Agulha de Proctor)

O aparelho utilizado neste trabalho é da marca Solotest e a norma aplicada para o ensaio foi ABNT NBR:14278 (2012). Desta forma, a aparelhagem usada é denominada como agulha de Proctor (foto 1), com uma sonda cilíndrica de 0,65 mm², com função de medir a resistência oferecida pelo concreto a sua penetração.

Segurou-se o suporte da haste com ambas as mãos e a penetração foi executada em um período de tempo de aproximadamente 1 segundo.

Foram realizadas 9 penetrações, com intervalo de 10 minutos a cada uma. Os pontos são distanciados de no mínimo 10 centímetros. No cálculo do valor médio são descartados os valores extremos, no caso o máximo e mínimo. O resultado é em tensão, por meio da divisão entre a força de cravação e a área da seção transversal da sonda.

FOTO 1. Agulha de Proctor com a sonda cilíndrica de 0,65 mm².



Fonte: A autoria própria (2018)

3.8 Análise da Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado na Prensa elétrica, da marca Fortest, com capacidade de 100 kN e uma velocidade de carregamento de $0,90 \pm 0,30$ kgf/s. Os corpos de prova cilíndricos foram moldados com 50 mm x 100 mm e a idade adotada foi de 28 dias.

De acordo com a norma ABNT NBR:5739 (2017), os corpos de prova foram ensaiados logo após a sua remoção do local de cura e dispostos sobre dois pratos (inferior e superior de compressão) localizados no aparelho utilizado, de maneira que seu eixo coincida com o da máquina, quando estiver centrado e isso faz com que as forças resultantes passem pelo centro.

A resistência à compressão característica estimada, segundo a ABNT NBR:12655 (2015), foi calculada pela equação (4):

$$f_{ck,est} = 2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad (4)$$

em que:

- $f_{ck,est}$ = resistência estimada à compressão (MPa);

- $f_1, f_2 \dots, f_n$ = resistências dos corpos amostrados em ordem crescente (MPa);
- $m = n/2$: sendo n o número de exemplares amostrados e despreza-se o valor mais alto de n se for ímpar (MPa);

3.9 Análise da Resistência à tração por compressão diametral

Segundo a ABNT NBR:7222 (2010), o corpo de prova (50 mm x 100 mm) foi colocado de modo que o plano axial definido por geratrizes diametralmente opostas, que recebem o carregamento, coincida com o eixo de aplicação de carga.

Duas tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado foram colocadas sobre os pratos de prensa da máquina e os corpos de prova. A carga necessita ser aplicada continuamente e sem choques, com crescimento constante de tensão de tração, a uma velocidade ($0,90 \pm 0,30$ kgf/s) até sua ruptura.

A resistência à tração por compressão diametral deve ser calculada pela equação (5):

$$f_{ct, sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad (5)$$

em que:

- $f_{ct, sp}$ = é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos (MPa);
- F = é a força máxima obtida no ensaio, expressa em Newtons (N);
- d = é o diâmetro do corpo de prova expresso em milímetro (mm);
- l = é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

A resistência à tração característica estimada foi realizada pelo mesmo método da NBR:12655 (2015), devido a ausência de resistência característica a tração a ABNT, calculada pela equação (6):

$$f_{tk, est} = 2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad (6)$$

em que:

- $f_{tk, est}$ = resistência estimada à tração (MPa);
- $f_1, f_2 \dots, f_n$ = resistências dos corpos amostrados em ordem crescente (MPa);
- $m = n/2$: sendo n o número de exemplares amostrados e despreza-se o valor mais alto de n se for ímpar (MPa);

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos apresentam-se individualmente em cada tipo de ensaio, para melhor compreensão das diferenças encontradas em um mesmo tipo de cimento CP II-Z-32, mas utilizados fora (fabricação 05/2017) e dentro do prazo de validade (fabricação 08/2018).

4.1 Composição Granulométrica

Expressas na Tabela 1 estão as massas de material que ficaram retida e acumulada em cada peneira com abertura de malha diferente. Foram utilizados 6 kg do cimento na obtenção deste ensaio.

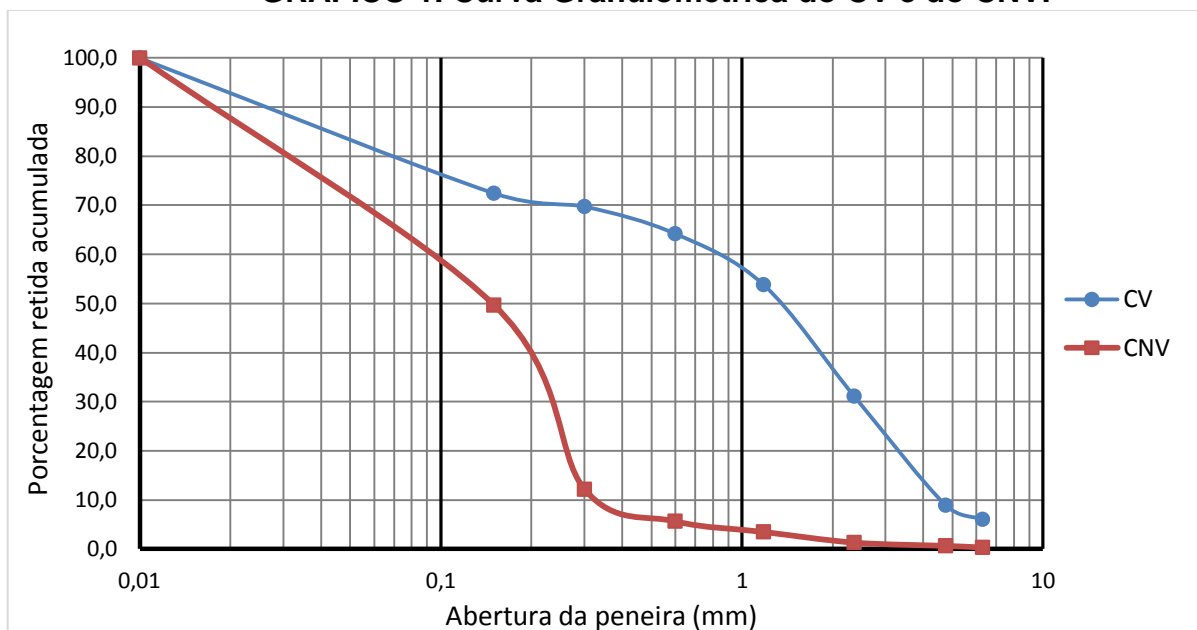
TABELA 1. Análise granulométrica do CV e do CNV.

Peneira # (mm)	CV			CNV		
	Massa (g)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)	Massa (g)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)
9,5	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
6,3	363	6,05	6,05	20	0,33	0,3
4,75	172	2,87	8,92	20	0,33	0,7
2,36	1333	22,22	31,13	40	0,67	1,3
1,18	1362	22,7	53,83	130	2,2	3,5
0,60	623	10,38	64,22	130	2,17	5,7
0,30	332	5,53	69,75	390	6,50	12,2
0,15	162	2,7	72,45	2250	37,5	49,7
0,01	1653	27,55	100,00	3020	50,33	100,00
Fundo	6000	100,00		6000	100	

Fonte: Autoria própria (2018)

O Gráfico 1 abaixo relaciona a porcentagem retida acumulada com a abertura da peneira (mm), gerando a curva granulométrica.

GRÁFICO 1. Curva Granulométrica do CV e do CNV.



Fonte: Autoria própria (2018)

Por meio das porcentagens encontradas, o módulo de finura (MF) do CV é de 2,94, com a classificação média. No CNV o MF foi de 0,73, com a classificação de fina.

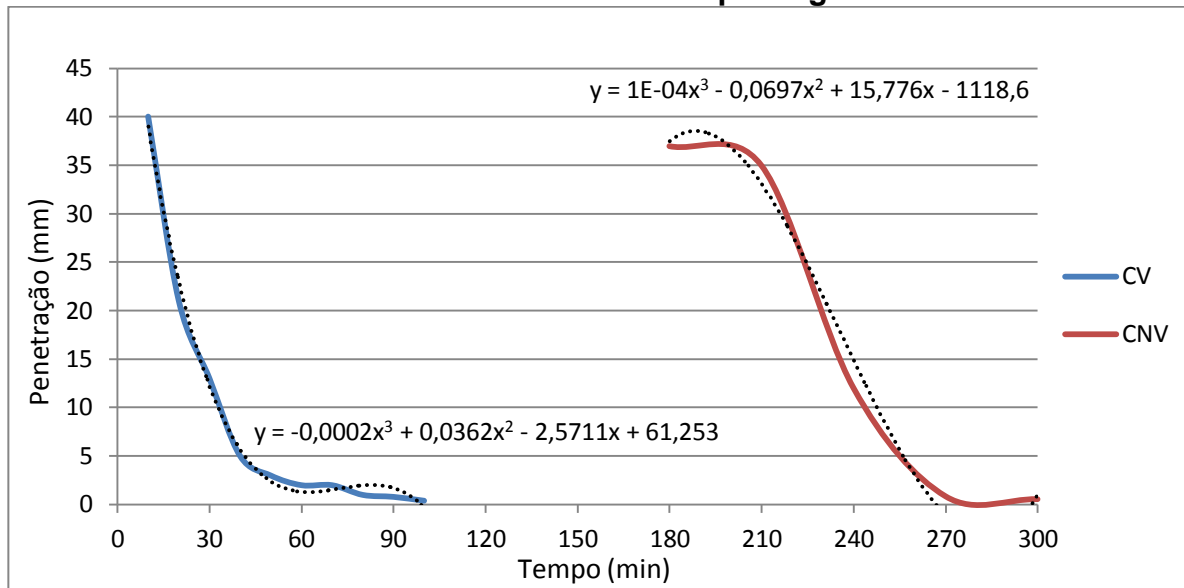
4.2 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

Na realização deste ensaio com o cimento vencido (CV), houve um *slump* de 4,5 cm, enquanto do cimento não vencido (CNV) o *slump* foi de 10 cm, sendo que ambos possuíam o mesmo traço de 1 : 1,6 : 2 : 0,45 (cimento : areia : brita : água).

4.3 Ensaio de análise da consistência utilizando agulha de Vicat

No ensaio referente ao tempo de pega do cimento CII-Z-32, foram obtidos os resultados demonstrados no Gráfico 2, considerando que o intervalo de tempo no qual sucedeu-se as penetrações foram de 10 minutos para o CV e de 30 minutos para o CNV.

GRÁFICO 2. Análise de consistência pela agulha de Vicat.



Fonte: Autoria própria (2018)

A Tabela 2 expõe a duração total de início e fim de pega dos dois cimentos, juntamente com o traço utilizado para a confecção da pasta de cimento.

TABELA 2. Duração do início e fim de pega dos cimentos pela utilização da agulha de Vicat.

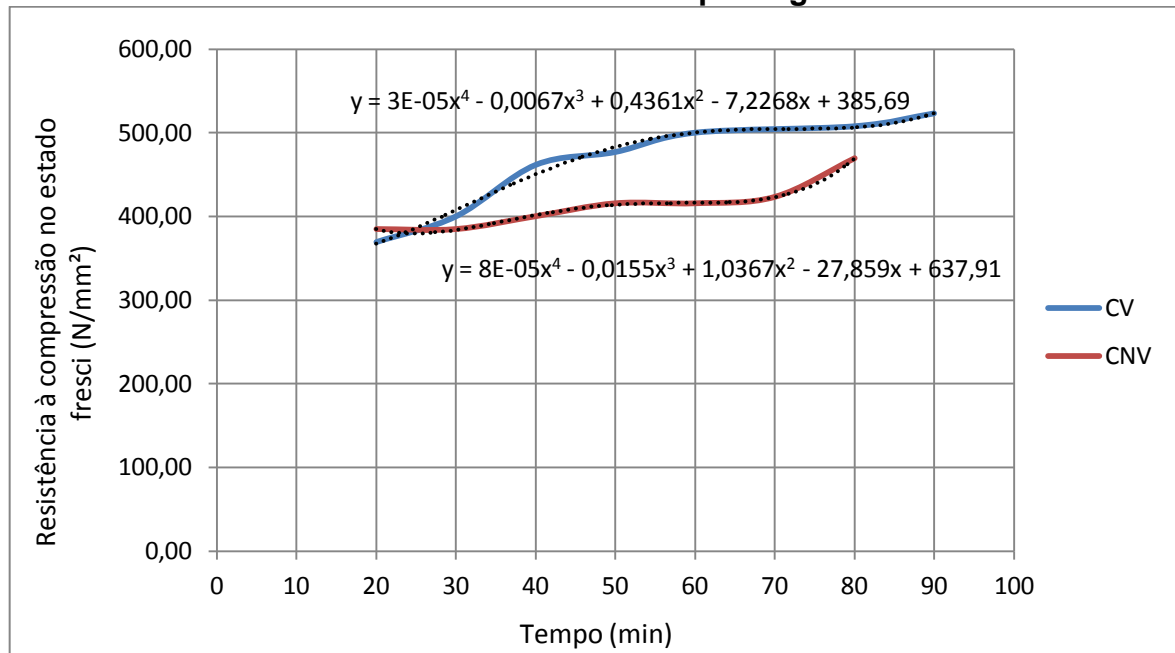
Traço	Cimento (g)	Água (ml)	Início de pega (h)	Fim de pega (h)
1 : 1,6 : 2 : 0,45				
CNV	500	225	00:30	04:30
CV	500	225	00:30	01:30

Fonte: Autoria própria (2018)

4.4 Ensaio de variação da consistência do cimento utilizando o penetrômetro (Agulha de Proctor)

No Gráfico 3, apresentam-se os valores encontrados no ensaio de variação de consistência do cimento CNV e CV, por meio da agulha de Proctor, correlacionando o tempo e a tensão do concreto no estado fresco. O intervalo de tempo a cada penetração foi de 10 minutos

GRÁFICO 3. Análise de consistência pela agulha de Proctor.



Fonte: Autoria própria (2018)

4.5 Ensaio de resistência à compressão axial

A Tabela 3 apresenta os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova de 5x10 cm ensaiados com o CNV, enquanto na Tabela 4 os resultados são referentes ao CV. Esta resistência à compressão foi determinada por meio da tensão máxima também expressa nas tabelas. A idade de cura foi de 28 dias.

TABELA 3. Resistência à compressão axial com o CNV.

	H (cm)	D (cm)	A (cm ²)	F _{máx} (kgf)	σ _{máx} (MPa)	σ _{cm} (MPa)	f _{ck} (MPa)
CP1	9,51	5,00	19,63	5520	28,11		
CP2	9,90	5,00	19,63	5200	26,48		
CP3	9,80	5,00	19,63	4620	23,53	25,17	14,57
CP4	10,00	5,00	19,63	5280	26,89		
CP5	10,00	5,00	19,63	5590	28,47		
CP6	10,09	5,00	19,63	3440	17,52		

Fonte: Autoria própria (2018)

TABELA 4. Resistência à compressão axial com o CV.

	H (cm)	D (cm)	A (cm ²)	F _{máx} (kgf)	σ _{máx} (MPa)	σ _{cm} (MPa)	f _{ck} (MPa)
CP1	9,88	5,00	19,63	3020	15,38		
CP2	10,00	5,00	19,63	4670	23,78		
CP3	9,95	5,00	19,63	2070	10,54	15,64	8,20
CP4	10,00	5,00	19,63	3370	17,16		
CP5	9,85	5,00	19,63	2420	12,32		
CP6	9,90	5,00	19,63	2880	14,67		

Fonte: Autoria própria (2018)

4.6 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Na Tabela 5 e 6 estão dispostos os valores encontrados referentes à resistência à tração por compressão diametral, realizados com o CNV e o CV.

TABELA 5. Resistência à tração por compressão diametral com CNV.

	H (cm)	D (cm)	A (cm ²)	F _{máx} (kgf)	σ _{máx} (MPa)	σ _{cm} (MPa)	f _{tk} (MPa)
CP1	9,80	5,00	76,97	3320	4,33		
CP2	10,20	5,00	80,11	2300	2,87		
CP3	10,00	5,00	78,54	3300	4,20	4,13	2,82
CP4	10,00	5,00	78,54	3450	4,39		
CP5	10,00	5,00	78,54	3340	4,25		
CP6	9,97	5,00	78,30	3690	4,71		

Fonte: Autoria própria (2018)

TABELA 6. Resistência à tração por compressão diametral com o CV.

	H (cm)	D (cm)	A (cm ²)	F _{máx} (kgf)	σ _{máx} (MPa)	σ _{cm} (MPa)	f _{tk} (MPa)
CP1	10,00	5,00	78,54	2510	3,20		
CP2	9,96	5,00	78,23	2060	2,63		
CP3	9,95	5,00	78,15	1860	2,38	2,99	2,22
CP4	10,00	5,00	78,54	3340	4,25		
CP5	9,95	5,00	78,15	1930	2,47		
CP6	9,90	5,00	77,75	2340	3,01		

Fonte: Autoria própria (2018)

5 DISCUSSÃO

A utilização de um cimento vencido (CV) para realização dos ensaios expôs que, o material passou por uma pré-hidratação e adquiriu algumas características que são diferentes no cimento não vencido (CNV).

No ensaio de análise granulométrica, constatou-se que o material estava parcialmente hidratado, com as partículas relativamente agrupadas. Desta forma, as peneiras de 1,18 mm e 2,36 mm retiveram a maior porcentagem do CV com o MF igual a 2,94 de classificação média, enquanto a peneira que reteve grande quantidade do CNV foi a de 0,15 mm, com seu MF igual a 0,73 e de classificação fina.

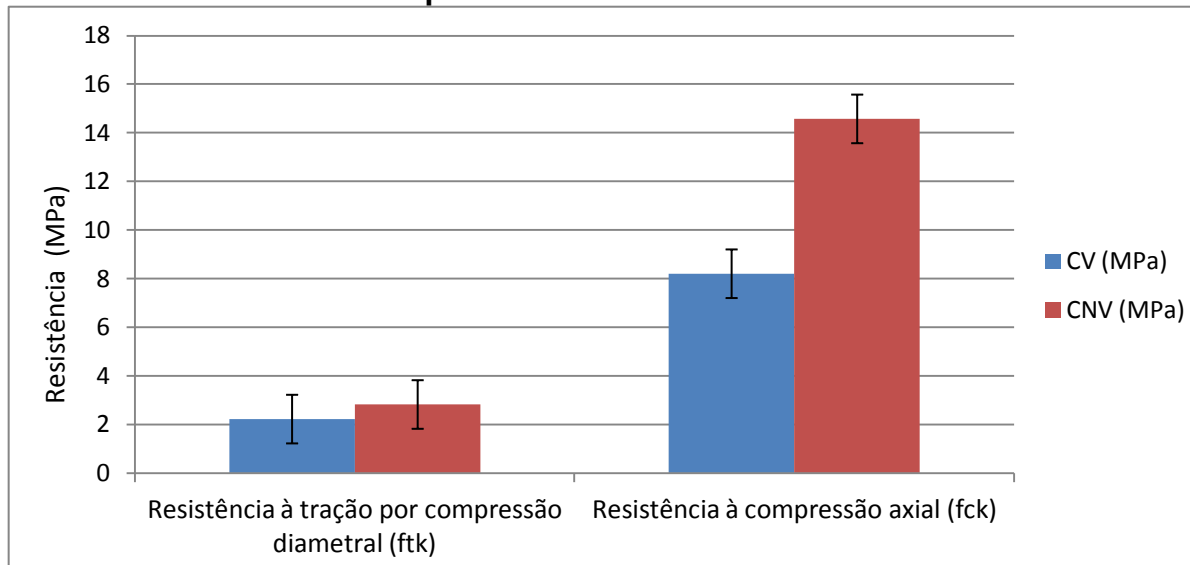
Por consequência, essa pré-hidratação afetou os resultados dos próximos ensaios que foram executados, como no *Slump test*, no qual o CNV possuiu um *slump* duas vezes maior comparado com o CV.

Na análise de consistência utilizando a agulha de Vicat, a determinação do fim de pega demonstrou uma alta desigualdade entre os dois materiais. Enquanto o produto não vencido levou 300 minutos para chegar ao fim de sua pega, o produto vencido precisou de apenas 90 minutos para obter o mesmo fim. Além disso, pode-se notar que, na penetração de 5 mm, a diferença entre o tempo de enrijecimento foi 6 vezes superior no CNV, sendo de 255 minutos, enquanto no CV era de 40 minutos.

Este enrijecimento foi comprovado também na análise de consistência por meio da agulha de Proctor, no qual os dois cimentos foram estudados no mesmo intervalo de tempo, 90 minutos. Dentro desse intervalo analisado, nota-se que o CNV não obteve uma variação de resistência até os 70 minutos, levando em consideração que na análise com a agulha de Vicat precisou de 300 minutos para chegar a sua pega. Enquanto o CV começou a demonstrar ganho de resistência nos primeiros 30 minutos.

A resistência mecânica do concreto é um dos parâmetros utilizados para determinar a qualidade do material, as solicitações neste artigo estudadas foram de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral. Os resultados para ambos apresentaram certa deficiência nos corpos de prova solicitados com o CV, expressos no Gráfico 4.

GRÁFICO 4. Comparativa de resultados dos ensaios realizados.



Fonte: Autoria própria (2018)

Como analisado no gráfico acima, os dois ensaios efetuados com o CV, apresentaram perda de desempenho. Nota-se que houve uma redução de 21,27% na resistência à tração por compressão diametral e 43,72% sobre a resistência à compressão axial.

6 CONCLUSÃO

Este artigo teve o objetivo de realizar ensaios experimentais para permitir uma análise comparativa dos resultados obtidos com o cimento não vencido (CNV) e vencido (CV), ambos do mesmo tipo, CP II-Z-32 e com o traço de 1 : 1,6 : 2 : 0,45.

Entre estes seis ensaios está o de análise granulométrica, pelo qual foi verificado que o CV, de aproximadamente 12 meses de idade, estava parcialmente hidratado, fato constatado também pela determinação do módulo de finura. Diante disto, os ensaios de *slump test* e análise de consistência pelas agulhas de Vicat e Proctor, demonstraram que este mesmo cimento possuiu um enrijecimento mais rápido, sendo assim, seu tempo de trabalhabilidade ocorre em um intervalo menor comparado ao produto que está dentro do prazo de validade.

Além disso, o CV não é capaz de suportar igualmente solicitações de compressão axial e tração por compressão diametral, como foi demonstrado na comparação com o CNV.

Como confirmado neste artigo, o cimento que passa seu prazo de validade torna-se pré-endurecido. Esse vencimento causa perda na sua resistência de aderência aos agregados, deste modo, sua utilização dentro da obra se torna reduzida a fim de evitar danos.

Então, conclui-se que há uma diferença expressiva no tempo de endurecimento entre os dois cimentos. Isso ocorre devido à pré-hidratação processada no CV, que causa enrijecimento do material cimentício e conseqüentemente perda na qualidade do concreto, ou seja, redução da trabalhabilidade, capacidade resistente e desempenho estrutural.

Por esses motivos, o concreto confeccionado com CV pode ser empregado, após seu peneiramento, onde não há adversidade em ter um cimento com resistência inferior, como na construção de pisos, calçadas, meio fio ou objeto decorativo. Também pode ser usado no preparo de argamassas, como a de assentamento, para unir tijolos e blocos de alvenaria; a de revestimento, com a função de cobrir e nivelar as superfícies; e a argamassa para pisos, usada na aplicação de pisos, azulejos, ladrilhos e cerâmicas.

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, R. P. **Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4)**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed., 28 p., São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14278**: Concreto projetado – Determinação da consistência através da agulha de Proctor. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

BAUER, J. F. R., ALVES, R. R. Recomendações quanto ao assentamento de azulejos. **Na Construção Região Sul**, n. 254, p. 27-28, dez., 1989.

CARNEIRO, G. V. H. S. et al. **Calor de Hidratação no Concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

COIMBRA, M. A.; LIBARDI, W.; MORELLI, M. R. Estudo da influência de cimentos na fluência em concretos para a construção civil. **Cerâmica**, v. 52, n. 321, p. 98-104, mar. 2006.

COSTA, C.; ALMEIDA, de C. P.; BORDADO, J. C.; NUNES, A. **Estudo de Argamassas de Base Cimentícia por Microscopia Electrónica de Varrimento. Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Lisboa, Portugal, v. 21, n. 3/4, p. 31-35, 2009.

DEWAR, J. D.; ANDERSON, R. **Manual of ready mixed concrete**. Blackie Academic and Professional, 2 ed., Glasgow, UK, 1992.

DOMONE, P. L. **Concrete-Constituent materials of concrete**, chpt 13, construction, 1994.

DORFMAN, G. **Historia do cimento e do concreto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003.

GALHARDO, P. G. **Estudo da produção de cimento com ênfase na classe G**. Graduação (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GOMES, A. et al. Materiais de Construção. **Cimento Portland e adições**. [S.l.]. 2013.

KADRI, E. H.; DUVAL, R. Effect of ultrafine particles on heat of hydration of cement mortars. **ACI. Materials Journal**, v. 99, n. 3, p. 138 -142, mar-apr, 2002.

LYRA, J. S. et al. Consolidação de pastas cimentícias contendo policarboxilatos: um estudo calorimétrico e reológico. **Cerâmica** 58, p. 137-143, 2012.

LYRA, J. S. **Estudo da influência de policarboxilato comercial na hidratação, reologia e físico-química de superfície do cimento**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. L. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.

MODRO, N. L. R. et al. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Matéria** (Rio J.), v.14, n.1, p.725-736, abr., 2009.

MONTANHEIRO, T. J. et al. Terras diatomáceas: uma pozolana natural na bacia do Paraná, estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, p. 1-17, 2002.

MOSTAFA, N. Y.; BROWN, P. W. Heat of hydration of high reactive pozzolans in blended cements: Isothermal conduction calorimetry. **Thermochemica Acta**, v. 435, p. 162-167, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

PANZERA, T. H. et al. Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento Portland e resina epóxi. **Cerâmica**, v. 56, n. 337, p.77-82, mar., 2010.

PARROT, L. J. et al. Monitoring Portland cement hydration: comparison of methods. **Cement and Concrete Research**, v. 20, p. 919-926, 1990.

POLESELLO, E. et al. O limite de tempo especificado pela NBR 7212, para mistura e transporte do Concreto pode ser ultrapassado? **Revista Ibran de Estruturas e Materiais**, v. 06, n. 02, p. 339-359, 2013.

ROMANO, R. C. de O. et al. **Fresh and hardened characterization of airentained cement pastes**. In: ICCI international congress on the chemistry of cement, 13, Madrid, 2011.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. [S.l.]: Thomas Telford, 1997.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2. ed. London: Thomas Telford, 459p., 1998.

THOMAS, J. J.; JENNINGS, H. M. A colloidal interpretation of chemical aging of the C-S-H gel and its effects on the properties of cement paste. **Cem. Concr. Res.** 36 (2006) 30-38.

WINNEFELD, F. Influence of cement ageing and addition time on the performance of superplasticizers. **Zem. Kalk Gips**, v. 61, n. 11, pp. 68 - 77, 2008.

YANG, M.; NEUBAUER, C. M.; JENNINGS, H. M. Interparticle Potential and Sedimentation Behavior of Cement Suspensions. **Advanced Cement Based Materials**, v.5, p. 1-7, 1997.