

ANÁLISES COMPARATIVAS ENTRE CIMENTOS PORTLAND COMPOSTO (CP-II Z 32) COM ACOMPANHAMENTO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV

Elizeu D. Antonioli Neto Veزارo¹

Ailson Oldair Barbisan²

Francisco Roberto da Silva Machado Junior³

RESUMO

Tendo em vista o constante aumento no consumo do cimento Portland nacional e sua empregabilidade na construção civil, torna-se cada vez mais importante avaliar o processo de qualidade envolvendo o material, garantindo ao consumidor que o mesmo está adquirindo um produto que atende aos requisitos mínimos exigidos por normas e leis, mesmo que estes sejam atestados pelo fornecedor. O objetivo é analisar três amostras de cimento Portland CP II Z-32 adquiridas de fabricantes distintos, cujos produtos são comercializados na cidade de Chapecó, Santa Catarina, relacionando-as com as condições e parâmetros mínimos previstos nas normas regulamentadoras vigentes. A metodologia foi utilizada o método indutivo. O nível de pesquisa explicativa e o delineamento baseou-se em técnicas de pesquisas experimentais. Com relação ao instrumento de coleta de dados foram elaborados testes em laboratório, tendo como população todos os fabricantes de cimento Portland nacionais, sendo que, a amostra delimitou-se em apenas três destes fabricantes. Após a realização dos testes, os resultados foram satisfatórios para todas as amostras pesquisadas em todas as idades ensaiadas, pois o trabalho mostrou que, dos cimentos Portland CP II Z-32 analisados na idade aos 28 dias, nenhuma das amostras apresentou resultados inferiores a 32 MPa, tendo casos de amostra que atingiram 37 MPa no ensaio de resistência à compressão. Foram realizados ensaios para determinação da pasta de consistência normal, podendo ser aplicado à dosagem para se determinar o tempo de pega do cimento. Na complementação desta pesquisa, as amostras após o ensaio de ruptura nas diferentes idades, foram submetidas à observação através de Microscopia Eletrônica de Varredura, onde as imagens extraídas, possibilitaram além do enriquecimento intelectual acerca do assunto, uma melhor compreensão quanto ao comportamento em relação à microestrutura dos materiais pesquisados.

Palavras-chave: Cimento Portland CP II Z-32. Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.

1 INTRODUÇÃO

O Cimento Portland, é um dos materiais mais consumidos no segmento da construção civil nacional em função de suas propriedades aglomerantes, que, combinadas com os chamados “agregados” são capazes de proporcionar maior resistência a elementos construtivos além de outras características, como impermeabilidade e proteção da estrutura (ECIVIL, 2018).

¹ Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, UCEFF. E-mail: elizeuantonioli@hotmail.com.

² Docente do curso de Engenharia Civil, UCEFF. E-mail: ailsonbarbisan@uceff.edu.br.

³ Professor Orientador, docente do curso de Engenharia Civil, UCEFF. E-mail: franciscojr_ea@yahoo.com.br.

Para a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a determinação de qualidade e quantidade de matéria prima agregada aos diversos tipos de cimento Portland, não pode ser feita atendendo à vontade unilateral de uma indústria ou consumidor, tendo em vista a importância de se manter padrões mínimos de características e propriedades tanto na produção, quanto nos métodos de ensaios empregados para garantir estas padronizações (ABCP, 2002).

De acordo com Seibt (2012), o cimento Portland é um produto de baixo custo quando comparado a outros tipos de cimento que exigem matéria-prima de alta pureza, e por ser produzido a partir de grandes jazidas de argila e calcário, ao ser processado em grandes quantidades, há grande chance de se ocorrer mudanças significativas na composição utilizada por uma indústria. Ainda assim, estas indústrias como possuem rigoroso controle de qualidade, a produção consegue atingir níveis mínimos de variabilidade na composição química do produto final.

Para Recena (2011), considerando todos os tipos e classes de cimento Portland previstos pelas normas nacionais vigentes, um cimento com a mesma tipologia e classe fabricado em diferentes unidades fabris em todo território nacional pode, apresentar características diversas, principalmente relacionadas aos aspectos de resistência mecânica, sendo possível esperar significativas diferenças entre argamassas mesmo em proporções iguais de dosagem.

Diante do exposto questiona-se: **Como analisar os comparativos entre cimentos Portland composto (CP-II Z 32) com acompanhamento por microscopia eletrônica de varredura – MEV?**

A pesquisa teve como objetivo geral analisar os resultados entre as amostras de materiais adquiridas de diferentes fabricantes relacionando-as com as condições e parâmetros mínimos previstos nas normas regulamentadoras vigentes. Esta análise foi precedida das seguintes etapas: Preparação de corpos de prova e ruptura dos mesmos, após determinada idade para realização de ensaios de resistência à compressão e comparação de parâmetros obtidos entre as especificações de fornecedores e norma correspondente.

Os constantes avanços tecnológicos acerca do cimento, visando torná-lo cada vez mais sustentável, durável e resistente, associado ainda à possibilidade de aprimorar o conhecimento técnico a respeito do material definido para o tema desta pesquisa, resultaram em algumas das principais razões para a definição da escolha, pois proporciona um enriquecimento intelectual e profissional, alavancando a continuidade de pesquisas relacionadas ao propósito estudado.

Além disso, a realização de testes que abordam o comportamento físico do material, através de ensaios realizados em laboratório, juntamente com a possibilidade de análise dos

resultados obtidos em escala microscópica, contribui com informações relevantes no cenário do tema proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A palavra “cimento” originou-se do latim *CAEMENTU*, que na antiga Roma designava uma espécie de rocha natural não esquadrejada, sendo este, matéria prima essencial para fabricação do concreto que conhecemos atualmente e que se tornou um dos materiais mais utilizados pelo homem. Sua história de evolução tem início antes do século XVIII, mas concretiza-se em meados de 1780 devido à pesquisa realizada por cientistas europeus empenhados em descobrir a fórmula de um material pouco desenvolvido denominado de cimento hidráulico. Associado a isto, a busca por encontrar ligantes que servissem de base para as argamassas de revestimento externo, fez com que, no período entre 1780 e 1829, o cimento recebesse algumas fórmulas e denominações diferentes como, “cimento romano” e “cimento britânico” (SNIC, 2015).

Já no Brasil, no fim do século XIX, era crescente a necessidade da implantação de uma indústria de produção de cimento que atendesse a demanda existente pelo produto, tal necessidade se dava, entre outros fatores, à remodelação da cidade do Rio de Janeiro e as altas tarifas de importação. Posteriormente, a Primeira Guerra Mundial abriu precedentes para uma demanda ainda mais significativa pelo produto, pois, o país importava cerca de 40 mil toneladas do material da Europa (SNIC, 2015).

Segundo Kihara e Visedo (2014), atualmente o Brasil passa por um novo ciclo de crescimento iniciado a partir de 2004, que conta com cerca de 87 plantas industriais cimenteiras chegando a produzir em 2013, 70 milhões de toneladas, aproximadamente 80% da capacidade instalada, fazendo do país o quarto maior consumidor de cimento mundial.

2.1 CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO PORTLAND E PROCESSO FABRIL

Conforme Ambrozewicz (2012), é classificado como aglomerantes, todos os materiais ativos, com características ligantes, tendo como função primordial o agrupamento entre grão e agregados através da formação de uma pasta derivada da mistura de água e material aglutinante, sendo comumente utilizada na obtenção de argamassas e concretos.

O cimento é constituído de um pó fino com propriedades aglomerantes que ao ser misturado com água, desencadeia uma reação química capaz de promover seu endurecimento, permanecendo estável mesmo quando submetido novamente à ação da água, por este motivo é classificado como um aglomerante hidráulico (AMBROZEWICZ, 2012).

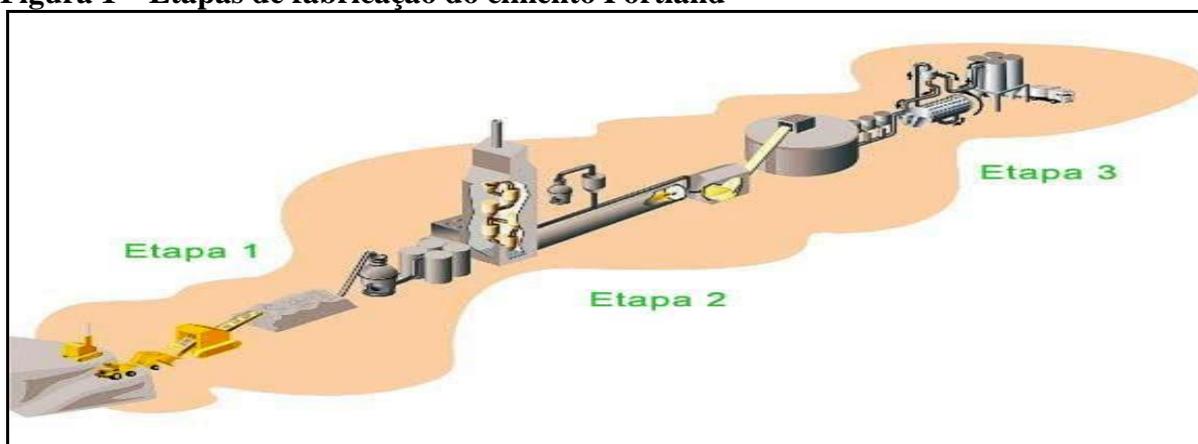
De acordo com Souza (2007), no processo de produção do cimento Portland para obtenção do clínquer, as matérias primas mais utilizadas são argilas, aditivos corretivos (minério de ferro, areia e bauxita) e os calcários, que, são basicamente compostos de carbonato de cálcio (CaCO_3) e de acordo com sua formação geológica pode conter diversas impurezas.

Sendo os silicatos de cálcio os principais componentes que constituem o cimento Portland, as matérias primas extraídas para a produção do material obedecem a necessidades de proporções adequadas de cálcio e sílica, sendo o cálcio extraído de fontes como pedras calcárias, giz, mármore e conchas do mar, enquanto que a sílica, provém preferivelmente de argilas e xistos argilosos devido a facilidade de reação (AMBROZEWICZ, 2012).

Os processos de produção envolvidos são complexos e divididos por etapas que consistem desde a preparação da matéria prima, até a expedição do cimento ensacado ou a granel (SOUZA, 2007)

Conforme ilustrado na Figura 1, a primeira etapa no processo de fabricação do cimento Portland, consiste na extração, por detonação, da matéria-prima em jazidas naturais, sendo posteriormente transportadas até a indústria para armazenagem e homogeneização. Na segunda etapa, ocorre a moagem e aquecimento da mistura dando origem ao principal material para produção de todos os tipos de cimento, o clínquer, que sequencialmente na etapa final, passa pelo processo de moagem, adições e finalmente estará pronto para consumo.

Figura 1 – Etapas de fabricação do cimento Portland



Fonte: Adaptado de Lafarge (2015).

Esta complexidade envolvendo a produção do cimento Portland, vai de encontro, a necessidade de garantir a qualidade final do produto, tendo em vista, o controle na qualidade dos materiais empregados em cada etapa levando em consideração que a matéria prima advém da natureza, por sua vez, não possui uma composição homogênea que garanta padrões em suas características morfológicas, sendo assim, são necessárias intervenções de outros materiais para correção.

A primeira etapa fabril - parte importante para a qualidade final e o desenvolvimento das reações de clínquerização - de acordo com Souza (2007), consiste na preparação e dosagem da matéria-prima em proporções adequadas para obtenção da mistura crua ou “farinha”.

Na fabricação do cimento, muitas vezes para se garantir o teor necessário de argila, nas correções usualmente se faz necessário, a utilização de dois materiais calcários diferentes ou mais, entretanto, deve-se garantir a proporção ideal entre eles devido à importância quanto ao sucesso das operações seguintes ao processo de fabricação (PETRUCCI, 1978).

Para Ambrozewicz (2012), uma boa dosagem e preparo da mistura crua são determinantes na formação dos compostos no clínquer, por este motivo, os componentes são britados, moídos, dosados, misturados e submetidos a constantes análises laboratoriais.

A pré homogeneização em forma de pilhas, de acordo com Lima (2011), garantem a redução dos efeitos da variação na composição química da matéria prima extraída devido a variabilidade natural da mina, além de garantir o fornecimento de suprimento de forma constante ao processo de moagem.

O calcário e argila depois de misturados (pré- homogeneizados), são cominuídos por atrito ou impacto ao serem submetidos ao moinho de bolas ou rolo, constituindo assim, um material com granulometria de 3% retido na peneira ABNT nº 100 (0,150 mm) e 13% retido na peneira ABNT nº 170 (0,088 mm) (SOUZA, 2007).

A etapa seguinte, conforme Souza (2007) é constituída pelo processo de clínquerização, através de sistemas pré-calcinadores, por meio de torres de ciclone, onde a queima inicia-se antes do material ser submetido ao forno devido à necessidade de descarbonatação da farinha.

De acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2013), o cimento é resultado do processo de moagem de um produto denominado clínquer, que, ao serem submetidos a um forno rotativo com temperatura ambiente de até 1.450 °C, permitem a liberação de reações químicas nos diferentes estágios de calor, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Sequência de reações no processo de Clinquerização

Temperatura	Processo
Até 100 °C	Evaporação da água livre
100 °C – 500 °C	Calcinação das argilas
500 °C – 900 °C	Modificações estruturais nos silicatos Decomposição dos carbonatos
900 °C – 1200 °C	Reação da Cal (CaO) com os sílico-aluminatos
> 1280 °C	Formação dos compostos do cimento – clinquerização

Fonte: Adaptado de Ribeiro, Pinto e Starling (2013).

2.2 TIPOS DE CIMENTO PORTLAND, ADIÇÕES E SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS

As características de empregabilidade do cimento Portland de acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2013), diferenciam-se em relação a suas propriedades, não só pela composição química do clínquer, mas também, por adições agregadas ao produto tais como escória de alto-forno, pozolana, materiais carbonáticos entre outros.

A adição de gesso, tem como função o controle do tempo de pega ou início do endurecimento no processo de hidratação, caso contrário, o cimento ao entrar em contato com a água endureceria muito rápido. Por isso este material está presente em todos os tipos de cimento Portland em proporções geralmente pequenas, cerca de 3% de gesso para cada 97% de clínquer, em massa (ABCP, 2002).

No caso das escórias de alto-forno, obtêm-se as mesmas durante o processo de produção de ferro nas siderurgias. Em formato que se assemelham a grãos de areia, descobriu-se que continham propriedades de ligante hidráulico com elevada resistência, desenvolvendo características aglomerantes de forma semelhante ao do clínquer. Tal composto, quando agregada a mistura, resultou em um tipo de cimento que atende plenamente a utilização mais comum e proporciona melhorias em algumas propriedades relacionadas à dureza e maior resistência final (ABCP, 2002).

Os materiais pozolânicos, advêm de rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas e encontradas na natureza, alguns tipos de argilas e derivados da queima do carvão mineral nas usinas termoelétricas. Semelhante à escória, pesquisas revelaram que, quando pulverizado em partículas muito finas e em proporções adequadas na presença de mais um material, o clínquer, o processo de hidratação acaba liberando hidróxido de cálcio (Cal) que

reage com a pozolana passando a apresentar propriedades de ligante hidráulico e conferindo ao cimento maior impermeabilidade (ABCP, 2002).

Petrucci (1978), afirma que a pozolana não possui propriedades aglomerantes, tem simplesmente a finalidade de fixar a cal liberada no processo de hidratação, pois este material é a parte solúvel e perigosa do cimento, com tendência a vir a superfície carregada pela água que evaporasse deixando o concreto poroso e menos resistente, assim sendo, justifica-se o interesse em fixar a cal e impedir sua reação ou dissolução através do emprego da pozolana.

Materiais carbonáticos ou filer calcário, quando presente no cimento, são rochas que têm em sua composição carbonato de cálcio, como o próprio calcário, que proporciona ao cimento maior trabalhabilidade, pois suas partículas possuem dimensões capazes de se alojar entre as partículas dos demais componentes do material (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

Estes materiais têm papel importante no processo de fabricação do cimento Portland, pois estão ligados diretamente à qualidade e empregabilidade do produto, atuando no controle das reações na composição do clínquer, e também, proporcionando diferentes características que visam a necessidade de cada aplicação, tendo em vista, as propriedades químicas de cada adição.

Para Ribeiro, Pinto e Starling (2013), e, Smith e Hashemi (2012), dentre os vários tipos de cimento Portland normalizados pela ABNT, destacam-se cinco tipos principais, com suas composições químicas genéricas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de cimento Portland em função das adições

Cimento Portland		Composição (% de massa)				
Sigla	Tipo	Sigla	Clínquer	Escória	Pozolana	Filer
CP I	CP comum	CP I	100	-	-	-
	CP comum com adição	CP I-S	95-99	-	1-5	-
	CP composto com escória	CP II-E	56-94	6-34	-	0-10
CP II	CP composto com pozolana	CP II-Z	76-94	-	6-14	0-10
	CP composto com filer	CP II-F	90-94	-	-	6-10
CP III	CP de alto-forno	CP III	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	CP pozolânico	CP IV	50-85	-	15-50	0-5
CP V	CP de alta resistência inicial	CP V – ARI	95-100	-	-	0-5

Fonte: Adaptado de Ribeiro, Pinto e Starling (2013).

O Cimento Portland CP II, objeto deste estudo, é um material com composições intermediárias entre os cimentos comuns e os cimentos com adições, originado através de

implementações tecnológicas nos cimentos comuns, observou-se que os cimentos compostos, atendiam plenamente as necessidades da maioria das aplicações e proporcionavam vantagens adicionais (ABCP, 2002).

Para os cimentos Portland compostos a NBR 11578/1991, determina parâmetros e exigências mínimas, tanto facultativas quanto obrigatórias, ao qual o cimento composto deve atender em relação aos seus aspectos físicos e mecânicos.

Para determinação da finura, a ABNT, através da NBR 11579/2012, MB-3432 (2012), descreve o método de ensaio a ser aplicado no cimento através de procedimentos manuais e mecânicos determinando a porcentagem, em massa, de material retido na peneira de 0,075 mm (nº 200).

Já a “pega” refere-se a mudança do estado fluido para o rígido, sendo este, utilizado para descrever o enrijecimento ou solidificação da pasta de cimento como consequência, principalmente, da hidratação do aluminato tricálcico (C_3A) e silicato tricálcico (C_3S), acompanhada pela elevação de temperatura em razão do processo químico envolvido (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O endurecimento e a pega do cimento, para Bauer (2014), embora, sejam aspectos ligados ao mesmo processo de hidratação, ocorrem em períodos diferentes, sendo a pega no primeiro estágio do processo e o endurecimento no segundo e último estágio. Este último por sua vez, ocorre quando não há mais trabalhabilidade na pasta, ou seja, não se admitindo a mistura novamente.

Essencialmente a pasta de cimento, após a pega, não pode sofrer grandes alterações de volume e de acordo com Neville e Brooks (2013), não se deve haver expansões significativas em todos os casos em que hajam restrições para tal, pois causará a desagregação da pasta endurecida. Estas expansões podem ser causadas pela reação de cal livre, magnésio e sulfato de cálcio presentes nos cimentos classificados como expansivos.

De acordo com a ABNT, NBR 11582/12 (2012), norma responsável pela prescrição do método de ensaio para determinação da expansibilidade (a quente e a frio) de *Le Chatelier*, o resultado da expansibilidade a quente e a frio são obtidos através da média de três determinações (expressa em milímetros) com aproximação de 0,5 mm.

Segundo Neville e Brooks (2013), devido à dificuldade e variabilidade de resultados na obtenção de bons corpos de prova, os ensaios de resistência não são feitos na pasta de cimento pura, e sim, em argamassa composta de cimento e areia confeccionada com material específico

sob rigoroso controle, podendo em alguns casos, adotar o uso de concreto em proporções normalizadas para se determinar a resistência do cimento.

De acordo com a ABNT, NBR 7215/1996, o procedimento de ensaio consiste na confecção de corpos de provas com dimensões padronizadas, elaborados com argamassa composta de cimento e areia normalizada, traço 1:3 e relação água/cimento de 0,48. Os moldes contendo os corpos de prova, após a cura úmida e obedecido o intervalo de tempo previsto na norma, são submetidos através de procedimentos normalizados, ao equipamento responsável pelo rompimento para a determinação da resistência a compressão.

Conforme Neville e Brooks (2013), as normas de cimento brasileiras estabelecem três classes de resistência (25 MPa, 32 Mpa e 40 Mpa) para os tipos CP-I, CP-II, CP-III e CP-IV ensaiados a compressão aos 28 dias, e parte de sua nomenclatura comercial tem razão direta com a resistência do produto.

A inspeção rigorosa, no recebimento, transporte e armazenamento tem sua importância para garantir a qualidade do produto, pois grande parte do cimento consumido nas obras, é transportada de forma ensacada através de rodovias e ferrovias, sendo estas operações, responsáveis por cerca de 2% das perdas em virtude de danos causados na embalagem do produto, isso, devido ao aproveitamento pleno da carga em razão do alto custo que representa (BAUER, 2014).

Sendo o cimento Portland, um produto classificado como perecível, de acordo com Ambrozewicz (2012), é extremamente importante evitar o contato com a umidade, pois este processo poderá desencadear reações químicas capazes de provocar alterações de propriedades e endurecimento antes mesmo da utilização.

É essencial para garantir a qualidade do produto em sua destinação final, que sejam obedecidos critérios de estocagem e recebimento conforme indicado pelo fornecedor.

2.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV

De acordo com Dedavid, Gomes e Machado (2007), o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um equipamento capaz de fornecer rapidamente ao usuário informações relacionadas com a morfologia e identificação de elementos químicos presentes em amostras sólidas, podendo apresentar imagens com aparência tridimensional devido sua grande profundidade de campo.

Outra motivação pela utilização deste equipamento, é a alta resolução com que as amostras podem ser observadas, na ordem de 2 a 5 nanômetros para equipamentos comerciais, e instrumentos de pesquisa tem a capacidade de alcançar resoluções melhores que 1 nanômetro (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007 apud NAGATANI et al., 1987).

O microscópio eletrônico de varredura tem a capacidade de produzir imagens em alta resolução proporcionando ao usuário, dentre os inúmeros benefícios, a visualização da microestrutura de elementos presentes na amostra e a facilidade de interpretação das imagens.

Stolf (2015) descreve que, a formação das imagens se dá devido a incidência de fontes de elétrons varridas sobre a superfície da amostra em forma de um feixe concentrado, onde os elétrons ao atingirem a superfície, interagem com os átomos presentes na amostra, e esta interação resulta na liberação de elétrons ou de fótons.

De acordo com Stolf (2015 *apud* Watt, 1985), o aumento do microscópio está relacionado entre a área varrida na amostra e o comprimento de sua linha de varredura, ou seja, quanto menor for a área varrida maior será o aumento disponibilizado na tela do equipamento.

A preparação de amostras para microscopia eletrônica de varredura se dá basicamente pelo atendimento de cinco etapas, sendo elas, a extração da amostra, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico da superfície. As amostras espessas e porosas podem conter umidade dificultando a obtenção do vácuo no processo preparatório e neste caso é aconselhável o uso de estufas para completa secagem (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

Segundo Dedavid, Gomes e Machado (2007 *apud* Steere, 1971), é essencial que a preparação das amostras aconteça em um ambiente limpo e aconselhável que, primeiramente sejam submetidas ao banho com água corrente ou ultrassom para remoção de impurezas. Este procedimento é recomendado para evitar que as partículas soltas da amostra devido ao processo de extração contaminem a superfície a ser observada.

Ainda conforme Dedavid, Gomes e Machado (2007), devido a necessidade de tornar as amostras condutoras, são utilizados processos de evaporação ou deposição de íons, e nestes casos são recobertos com ouro, ouro-paládio ou platina. As amostras são depositadas em uma câmara com pressão entre 0,1 a 0,05 mbar e o alvo é bombardeado com átomos de um gás inerte, este processo é realizado em um equipamento denominado metalizadora.

3 METODOLOGIA

Metodologia segundo Demo (2014), é instrumental, embora seja condição necessária para a competência científica, pois tem a capacidade de questionar a cientificidade de uma produção científica.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi importante para definir as diretrizes da pesquisa científica, onde foi utilizado o método indutivo.

O nível de pesquisa aplicado ao trabalho foi a explicativa e o delineamento baseou-se em técnicas de pesquisas experimentais. Com relação ao instrumento de coleta de dados foram elaborados testes em laboratório, tendo como população todos os fabricantes de cimento Portland nacionais, sendo que, a amostra delimitou-se em apenas três destes fabricantes.

A classificação desta pesquisa foi definida como não probabilística, por conveniência, já a técnica de análise e interpretação dos dados, baseou-se na interpretação quantitativa dos dados, pois os resultados foram analisados com auxílio de gráficos e tabelas.

4 RESULTADOS DO ESTUDO

Neste tópico serão apresentados os procedimentos para realização de todos os ensaios e análise dos resultados obtidos envolvendo a pesquisa com cimento Portland CP II Z-32.

As amostras relativas aos três diferentes fabricantes analisados não terão seus nomes divulgados nesta pesquisa, portanto, serão tratados como cimento Portland “I”, cimento Portland “C” e cimento Portland “V” precedidos da data de sua respectiva ruptura.

4.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A preparação da argamassa para confecção dos corpos de prova submetidos aos ensaios na determinação de resistência a compressão, foi elaborada conforme o que estabelece a NBR 7215:1996, sendo composta de uma parte de cimento, três partes de areia e a relação água/cimento em 0,48 (48%), com todas as medidas estabelecidas em massa.

No preparo da argamassa envolvendo cada amostra de cimento Portland CP II Z-32, os materiais foram previamente pesados, e posteriormente, submetidos ao amassamento para produção da mistura.

Após a etapa de pesagem dos materiais, a argamassa de cimento foi preparada com auxílio de uma argamassadeira de programação automática, colocando na cuba do equipamento inicialmente todo conteúdo da água, e posteriormente adicionado o cimento devidamente pesado.

A moldagem dos corpos de prova foi feita imediatamente após cada amassamento, através da colocação da argamassa na fôrma com auxílio de uma espátula em camadas, onde a cada uma delas, foram aplicados 30 golpes com a utilização de soquete apropriado para compactação manual.

Em relação a data de moldagem dos corpos de prova e previsão de ruptura dos mesmos, levou-se em consideração a hora e o dia em que o cimento entrou em contato com a água de amassamento de cada amostra conforme determina a norma.

O processo de cura dos corpos de prova foi feito parte ao ar e parte em água, tendo seu início logo após a conclusão da moldagem, sendo que, a cura inicial (ao ar) foi realizada respeitando o período compreendido entre 20 à 24 h, conservando-os em atmosfera ambiente e com a face superior protegida por placas de vidro plano.

Transcorrido o período inicial de cura ao ar, os corpos de prova foram desmoldados, devidamente identificados com o tipo de cimento, identificação da amostra, idade de ruptura e imediatamente depositados no tanque de cura úmida em água saturada de cal (NBR 9479/2006) até a data estimada para ruptura, respeitados os limites de tolerância correspondentes para cada idade.

Os corpos de prova, após passarem pelo processo de cura úmida, obedecendo as idades previstas para realização desta pesquisa, foram submetidos ao processo de retificação por meio de desgaste de superfície, para garantir que não ocorram excentricidades no topo e na base de cada corpo de prova ensaiado, e em consequência, o comprometimento do ensaio.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado com auxílio de uma prensa com capacidade de carga de até 100 Tf e precisão de $\pm 1\%$, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Prensa utilizada na realização do ensaio de resistência à compressão

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Conforme determina a NBR 7215/1996, a resistência média, resultante entre as amostras considerando diferentes idades e fabricantes, determinada pela Tabela 3, foi aplicada ao cálculo para obtenção do desvio relativo máximo.

Tabela 3 - Determinação da resistência à compressão média entre as amostras

Identificação da Amostra	Quantidade de Amostras (Unidade)	Resistência média entre amostras (MPa)
Cimento Portland "V" – 3d	4	17,30
Cimento Portland "I" – 3d	4	18,50
Cimento Portland "C" – 3d	4	21,80
Cimento Portland "V" – 7d	4	24,30
Cimento Portland "I" – 7d	4	25,00
Cimento Portland "C" – 7d	4	25,30
Cimento Portland "V" – 28d	4	36,20
Cimento Portland "I" – 28d	4	37,00
Cimento Portland "C" – 28d	4	33,60

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Tendo em vista que a aceitação dos resultados para determinação da resistência da amostra em cada idade ensaiada, leva em consideração que o desvio relativo máximo resultante da série deve ser igual ou inferior a 6%, tornou-se necessário recalcular as amostras CP-3d-I, CP-3d-C e CP-7d-C.

O desvio relativo máximo, foi calculado levando em consideração a maior das diferenças entre a resistência média de cada série e a resistência individual que mais se afasta

da média para mais ou para menos, este valor obtido, foi dividido pela resistência média e multiplicado por 100 para se determinar o resultado em percentual.

Estes resultados obtidos com a realização dos ensaios para determinação da resistência à compressão do cimento Portland CP II Z-32, conforme demonstrado na Tabela 4, foram satisfatórios, tendo em vista que, em todas as idades e fabricantes, não se apresentou resultados abaixo dos parâmetros mínimos previsto na NBR 11578/1991 e descritos na embalagem de cada fornecedor analisado.

Tabela 4 - Determinação das Resistências Finais no Ensaio à Compressão

Identificação da Amostra	Maior Diferença Apurada (MPa)	Número da Amostra	Resistência Média Final (MPa)	Desvio Relativo Máximo (%)
CP-3d-V	0,79	1	17,30	4,60
CP-3d-I	0,13	2	18,00	0,70*
CP-3d-C	0,29	3	21,20	1,40*
CP-7d-V	1,34	2	24,30	5,50
CP-7d-I	1,21	2	25,00	4,80
CP-7d-C	1,55	3	27,00	5,70*
CP-28d-V	1,36	1	36,20	3,80
CP-28d-I	0,88	1	37,00	2,40
CP-28d-C	2,00	3	33,60	5,90

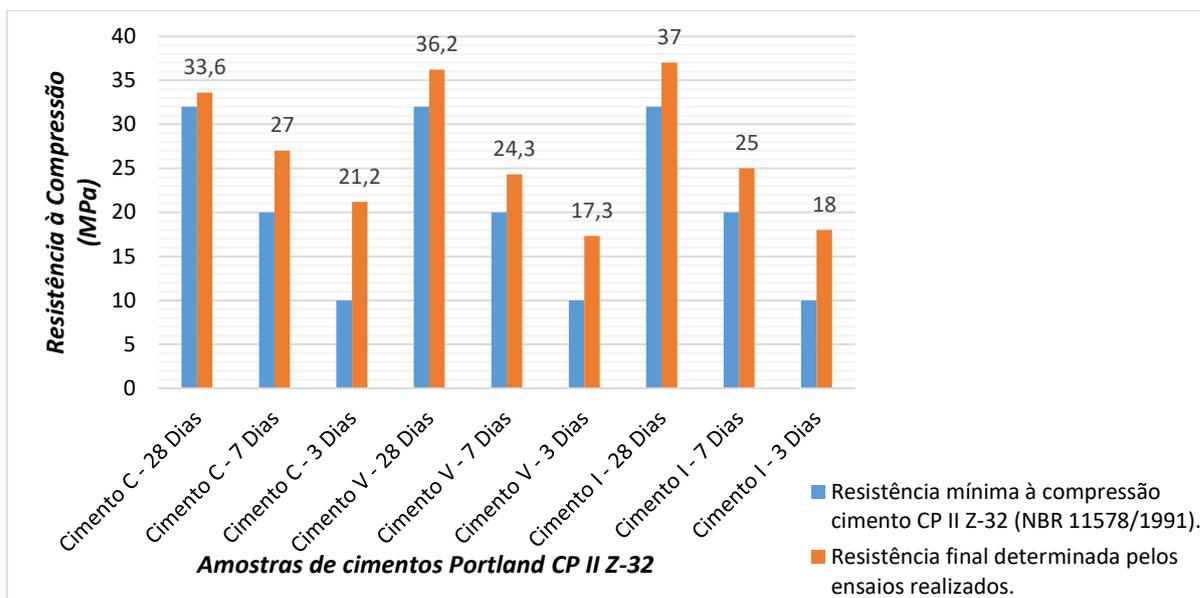
Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Nota:

* Valores recalculados em razão dos resultados do Desvio Relativo Máximo > 6%.

O valor da Resistência Média Final e Desvio Relativo Máximo foi arredondado ao décimo mais próximo.

O Gráfico 1 demonstra os resultados de resistência média à compressão considerando as diferentes idades e fabricantes do cimento Portland CP II Z-32, comparando-os com as resistências mínimas estabelecidas pela NBR 11578/91.

Gráfico 1 - Comparação das resistências entre resultados normatizados e ensaiados

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

4.2 ACOMPANHAMENTO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As amostras submetidas às análises microscópicas foram extraídas de diferentes regiões nos corpos de prova analisados, sendo uma amostra para cada cimento Portland CP II Z-32 de diferente idade que proporcionou o melhor resultado no ensaio de resistência à compressão.

As amostras após serem extraídas dos corpos de prova e devidamente reduzidas para que possibilitem a análise no equipamento de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV, foram submetidas ao processo de lixamento na presença de água com fluxo corrente, em granulometrias variando entre as lixas de número 220 à 1.200 para remover todos os detritos abrasivos evitando artefatos indesejáveis na matriz da amostra, posteriormente, foram submetidas ao banho ultrassônico da marca Bio Free modelo CD-4860 6 L, por aproximadamente 8 minutos para limpeza das amostras.

O processo de secagem de cada amostra foi realizado com auxílio de uma Estufa Microprocessada de Secagem, marca Quimis, modelo QS317M-32, em temperatura de aproximadamente 110 °C, por um período de 24 horas, para remoção de toda umidade contida nas peças. Tal procedimento é necessário uma vez que a presença de umidade nas amostras influencia diretamente no processo de metalização, etapa anterior à visualização no microscópio eletrônico de varredura.

Na metalização ou *sputtering*, para preparação das amostras submetidas à observação no Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV, as amostras foram recobertas utilizando-se ouro (Au) por cerca de 90 segundos, conforme ilustrado na Figura 3. A deposição ocorreu na câmara da Metalizadora da marca *Denton Vacuum* modelo *Desk IV* com pressão entre 0,1 a 0,05 mbar, na presença do gás inerte, argônio (Ar).

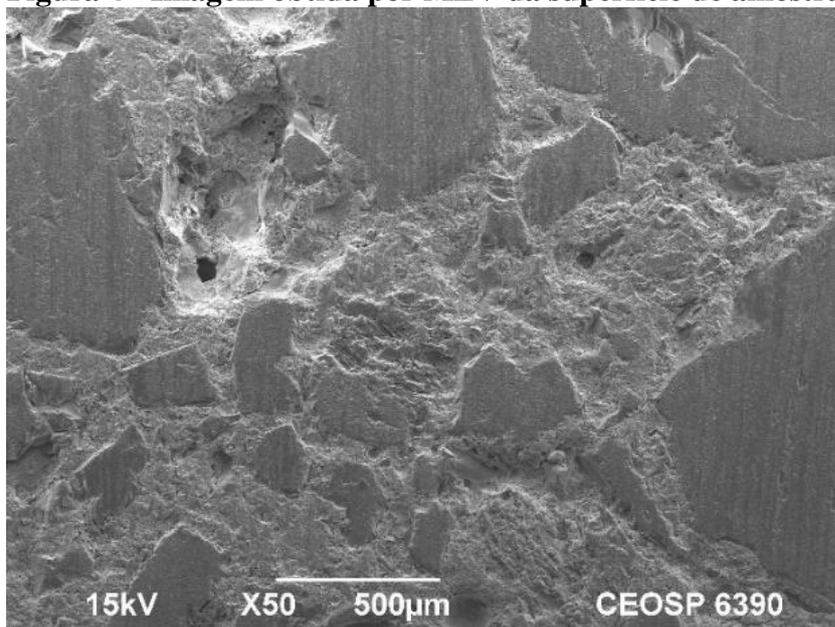
Figura 3 - Amostras após o processo de metalização/recobrimento com ouro (Au)



Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Na Figura 4, é possível visualizar nitidamente a pasta de cimento envolvendo os grãos de areia presentes na composição da argamassa, esta imagem foi retirada da amostra de argamassa do cimento Portland “I” com idade de ruptura aos 28 dias.

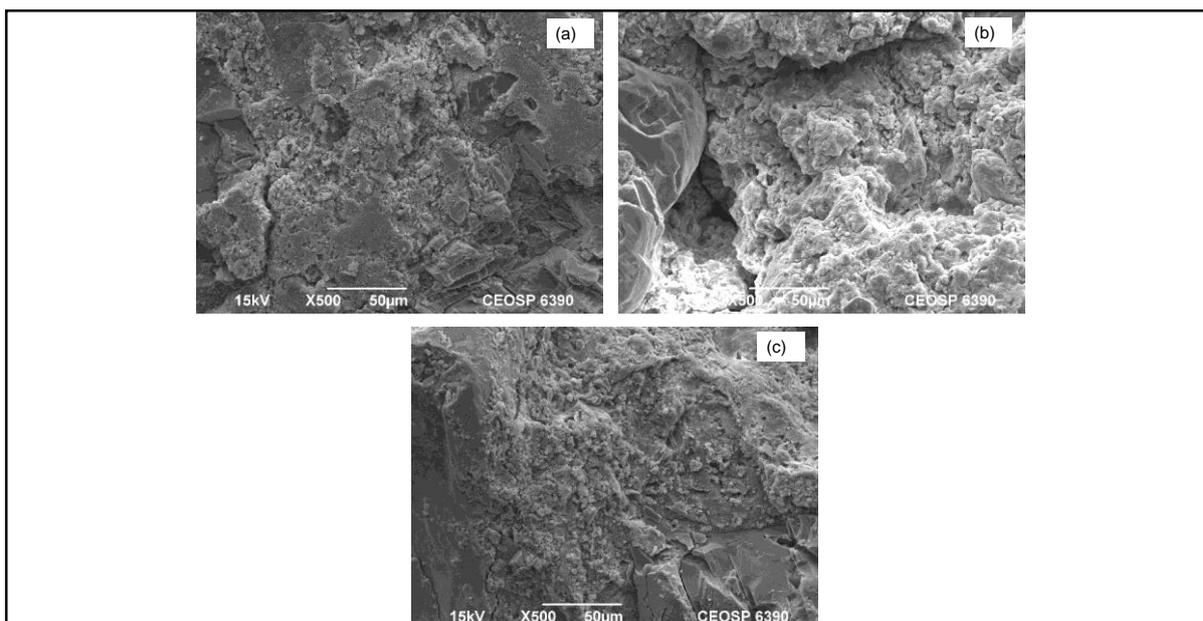
Figura 4 - Imagem obtida por MEV da superfície de amostra aos 28 dias em 50x



Fonte: Dados da pesquisa (2015).

A Figura 5, representa as amostras de argamassa de cimento Portland aos 3 dias de idade em resolução de 500x, sendo a figura 5 (a) representada pelo cimento Portland “V”, a Figura 5 (b) representa a imagem da amostra de cimento Portland “I” e a Figura 5 (c) representa a amostra de cimento Portland “C”.

Figura 5 - Imagens obtidas por MEV de argamassa de cimento Portland 3 dias (500x)

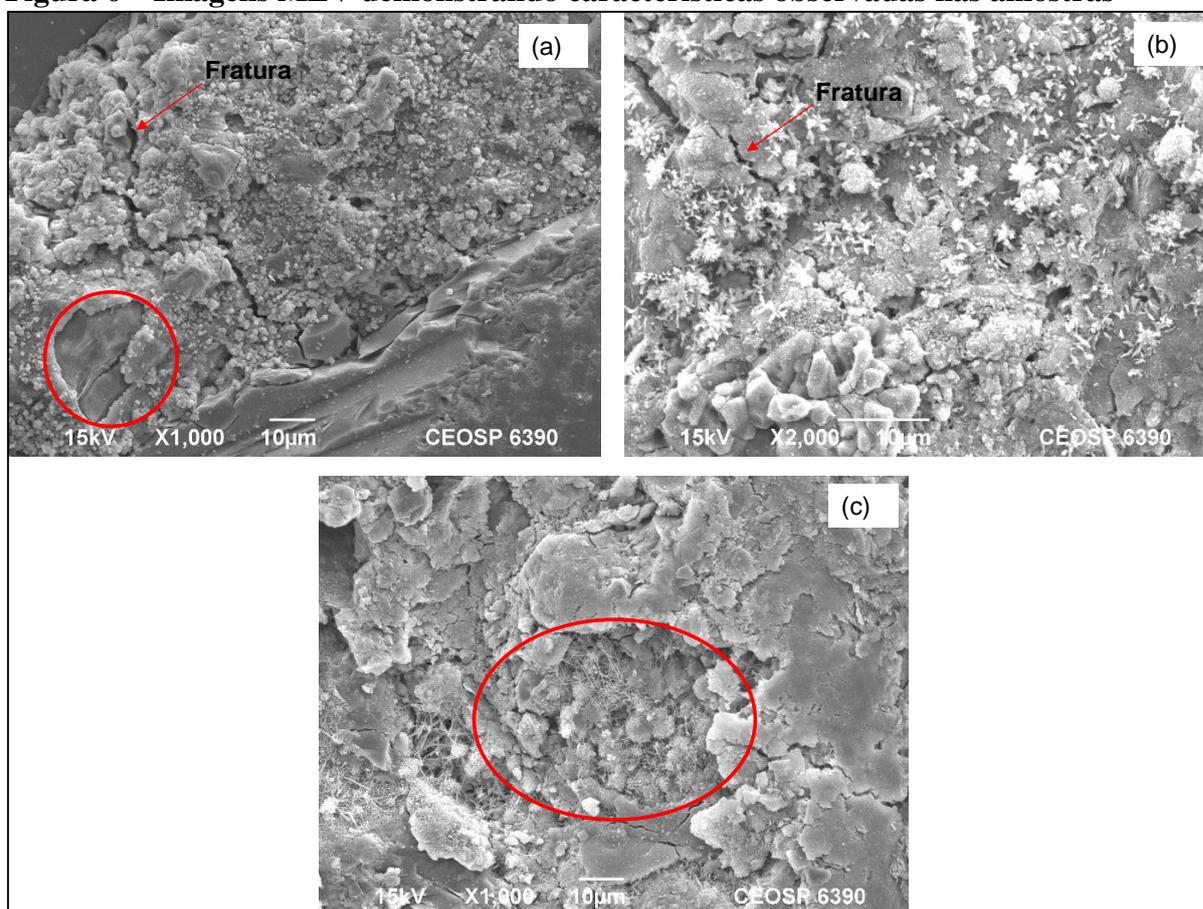


Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Tanto na imagem (a) da Figura 6, onde refere-se à amostra de cimento Portland “I” com idade de ruptura de 7 dias, e na imagem (b) da mesma figura, referindo-se a amostra de cimento Portland “C”, observa-se a presença de fraturas na pasta de cimento e o envolvimento desta mesma pasta nos grãos de areia adicionados para realização do ensaio envolvendo a resistência à compressão do material.

Já na imagem (c), relativa ao cimento Portland “V” da Figura 6, proporciona a observação da formação de cristais em maior volume em relação às amostras com 3 dias de idade.

Figura 6 – Imagens MEV demonstrando características observadas nas amostras



Fonte: Dados da pesquisa (2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da realização desta pesquisa onde foram analisados parâmetros físicos entre três diferentes marcas de cimento Portland CP II Z-32, possibilitou a verificação em relação a

variação de resultados de resistência à compressão aos 28 dias e também a determinação da pasta de consistência normal de cada amostra analisada.

O objetivo deste trabalho esteve pautado na realização de ensaios para analisar se o cimento Portland CP II Z-32 dos diferentes fabricantes submetidos a pesquisa, atendiam aos requisitos e parâmetros mínimos da norma que determina suas características físicas, atestando o que cada fornecedor garante na comercialização de seu produto. Na pesquisa realizada verificou-se pequenas variações de resistência à compressão entre as amostras ensaiadas, utilizando o mesmo traço e padrões definidos pela norma correspondente a cada teste, entre as diferentes amostras de cimento Portland CP II Z-32.

A determinação da pasta de consistência normal analisada neste trabalho subsidia o ensaio para determinação do tempo de pega, entretanto, por questões de tempo este ensaio não foi realizado para nenhuma das amostras de cimento.

Conclui-se com os ensaios laboratoriais de resistência à compressão em todas as idades analisadas, que foram satisfatórias, atendendo plenamente as resistências mínimas em todas as idades aos quais estabelece a NBR 11578:1991 para o cimento Portland analisado.

Além da realização de ensaios físicos nos cimentos Portland CP II Z-32, esta pesquisa proporcionou a visualização de amostras, dos diferentes fabricantes em diferentes idades, no Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV, possibilitando a comparação visual em relação a microestrutura do cimento.

Tendo em vista a análise ter como base o cimento Portland CP II Z-32, sugere-se a realização de ensaios para determinação de tempo de pega e finura do cimento, e ensaios químicos em argamassa, pois estes resultados são importantes para determinação de dosagens e projetos.

Já, em relação aos acompanhamentos no Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV, sugere-se analisar o tamanho dos grânulos formados e também a realização de Microanálises por Espectrômetro de raios-X por Dispersão de Energia (EDS), onde possibilita através das amostras a caracterização com relação a composição química dos materiais presentes.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7 ed. São Paulo, 2002. 28p. (Boletim Técnico 106).

Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/wpcontent/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**. Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio de peneira 75µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 11582**. Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 7215**. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. **NBR 11578**. Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras - materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DEMO, P. **Metodologia Científica em Ciências Sociais**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

ECIVIL – Descomplicando a Engenharia. **O Cimento Portland**. Disponível em: http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland.htm. Acesso em: 18 de abril 2018.

KIHARA, Y.; VISEDO, G. **A Indústria do Cimento e o Desenvolvimento do Brasil**. São Paulo, mai. 2014. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/a-industria-do-cimento-e-o-desenvolvimento-do-brasil>. Acesso em: 19 de abril de 2018.

LAFARGE. **Fabricação do Cimento**. Disponível em: http://www.lafarge.com.br/wps/portal/br/2_2_1-Manufacturing_process. Acesso em: 31 jul. 2015.

LIMA, A. B. **O processo produtivo do cimento Portland**. 2011. Monografia (Engenharia de Recursos Minerais) – Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.ceermin.demin.ufmg.br/monografias/34.PDF>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 3. ed. Porto Alegre: Globo, 1978.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011.

RIBEIRO, C.C.; PINTO, J.D.S.; STARLING, T. **Material de Construção Civil**. 4. ed. rev. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

SEIBT, L. A. **Avaliação da resistência da argamassa e do concreto à compressão, utilizando diferentes marcas de cimento**. 2012. Monografia (Engenharia Civil) – Curso de

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2012.

SMITH, W. F.; HASHEMI J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO - SNIC. **História do cimento no Brasil**. Disponível em: http://www.snic.org.br/pdf/Historia_do_Cimento_no_Brasil.pdf. Acesso em: 13 mar. 2015.

_____. **Venda de Cimento – resultados preliminares de dezembro de 2014**. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdfresultado/Resultados%20Preliminares%20Dezembro%202014.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2015.

SOUZA, V. C. G. **Influência das características mineralógicas, físicas e químicas dos clínqueres de cimento Portland sobre sua moabilidade**. 2007. 366 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12152>. Acesso em: 30 jul. 2015.

STOLF, D. O. Imagem Elementar no Microscópio Eletrônico de Varredura. **Revista Tecnológica**, Chapecó, v. 3, n. 2, 129-142, jun. 2015. Disponível em: <http://www.uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/85/78>. Acesso em: 20 nov. 2015.