UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUÍ

PEDRO GOECKS

VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO E REDUÇÃO DE CIMENTO NO CONCRETO

Ijuí

2015

PEDRO GOECKS

VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO E REDUÇÃO DE CIMENTO NO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Diorges Carlos Lopes

Ijuí

2015

PEDRO GOECKS

VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO E REDUÇÃO DE CIMENTO NO CONCRETO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 2 de dezembro de 2015

Prof. Diorges Carlos Lopes

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - Orientador

Prof. Lia Geovana Sala

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Ana Paula Maran

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Diorges Carlos Lopes

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - Orientador

Aos meus pais, Rudi Goecks e Crista Goecks por sempre estarem do meu lado.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que foram fundamentais para que eu pudesse concluir estre trabalho e este curso. Foram muitas as vezes que vocês abdicaram de suas tarefas para que as minhas fossem concluídas. O meu mais sincero obrigado é para vocês. Não existem palavras de gratidão para expressar o que sinto por vocês.

Aos meus colegas de pesquisa, Cristiane, Gabriela, Felipe e Tatiana que junto comigo "rodaram" a pequena quantidade de 10 toneladas de concreto para este TCC. Passamos inúmeras manhãs e tardes juntos. Sobrevivemos aos xingamentos do Luiz, as dores nas costas, o cansaço e o bom humor matinal do Túlio. Desejo muito sucesso para nós daqui para frente.

Aos amigos e colegas do PET: Anna, André, Carine, Janaína, João, Lucas, Mariana, Ricardo e a todos os que já passaram por esse grupo nos últimos três anos. Ficará na memórias todos os bons momentos que passamos juntos. Obrigado pelo companheirismo de cada manhã, pela ajuda nos trabalhos, pelos ensinamentos, pela troca de conhecimento e por fazerem parte dos melhores momentos da faculdade. Sei que cada um de nós terá existo no futuro, independente das escolhas que tomarmos.

Aos laboratoristas e amigos, Luiz Donato, Tulio Ribeiro e Roberto Brandão, pela amizade e por seus auxílios principalmente nos métodos e execuções dos ensaios realizados. A secretária Cassiana Oliveira, pelo seu excelente profissionalismo, sempre tendo as respostas para todas as nossas dúvidas acadêmicas. Ao professor Diorges Carlos Lopes, que nunca negou assistência, pela ajuda na tomada de decisões sobre o que era relevante, pelos conselhos e pela dedicação. A professora Cristina Pozzobon, por seus recomendações, ensinamentos e por solucionar diferentes problemas que surgiram.

A pedreira Tabile, ao Laboratório de Engenharia Civil e a Fundimisa pelas doações dos agregados, cimento e da areia de fundição. Ao Fauro Construções que disponibilizou a empilhadeira para que fosse possível descarregar a areia de fundição nas baias, sem que precisássemos passar dias usando a pá.

Agradeço também a todos os demais professores, funcionários e colegas do curso de Engenharia Civil pelo convívio ao longo dessa jornada. Levarei sempre um pouco de vocês comigo.

Cada linha de chegada é a partida de um novo desafio.

Autor desconhecido

RESUMO

GOECKS, Pedro. **Viabilidade da substituição de areia natural por areia de descarte de fundição e redução de cimento no concreto**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

A fundição é responsável por criar peças de extrema responsabilidade a peças banais. O setor é de grande importância para a economia do país sendo fabricadas cerca de 3 milhões de toneladas anuais de peças metálicas. O Brasil ocupa a 7 posição na produção mundial de fundidos, e de acordo com projeções realizadas pela Associação Brasileira de Fundição é previsto um maior crescimento para a área nos próximos anos. No estado do Rio Grande do Sul são produzidas 170 mil toneladas por ano, o segmento automotivo e a produção de máquinas agrícolas e mecânicas lideram a produção. O maior problema que o setor enfrenta é no que tange os seus resíduos. As fundições são conhecidas por gerarem grandes passivos ambientais, de acordo com pesquisas o maior subproduto são as areias de descarte de fundição. Até pouco tempo atrás o único destino para este resíduo eram os aterros industriais mas a engenharia civil, principalmente a construção civil, se vê uma forte aliada para mudar esta realidade, visto que pode-se incorporar as areias de fundição em diversos elementos da construção civil. Mesmo com inúmeras pesquisas apontando a possibilidade da reutilização, pouca porcentagem desse resíduo é realmente reutilizada, pois as ADF ainda sofrem grande receio nos consumidores. A partir desse contexto o presente trabalho tem como objetivo questionar a possibilidade de diminuição do insumo cimento Portland no concreto com base em resultados obtidos por Lima (2014) que mostram que substituições de até 50% de areia natural por areia de descarte de fundição elevam a resistência a compressão axial do concreto. Foram moldados pelo método da ABCP 16 traços com diferentes teores de substituição de areia natural por ADF e de redução de cimento, em seguida foi avaliado a sua resistência a compressão axial nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias e sua resistência a tração por compressão diametral aos 28 dias. Traços com reduções de 15% de cimento e sem adições de areia de fundição foram descartados por não apresentarem exatidão em seus resultados e devem ser refeitos. Dentro do universo de amostras restantes uma redução de 5% de cimento com substituição de 15% de ADF apresentou-se como a melhor viabilidade econômica, ambiental e técnica. Pois foi possível garantir uma elevada resistência a compressão quando comparada com outros resultados e pode-se economizar 5% de cimento reutilizando 15% de ADF. A partir de reduções de 10% de cimento houve a perda considerável de resistência mecânica do concreto, inviabilizando-o tecnicamente.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Material alternativo. Economia. Resíduo industrial.

ABSTRACT

GOECKS, Pedro. **Viability of natural sand replacement casting disposal sand and cement in the concrete reduction**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2014.

The foundry is responsible for creating pieces of great responsibility the mundane parts. The sector is of great importance for the country's economy being made about 3 million tons of metal parts. Brazil occupies the seventh position in world production of castings, and according to projections made by Foundry Brazilian Association is predicted further growth for the area in the coming years. In Rio Grande do Sul state are produced 170,000 tons per year, the automotive industry and the production of agricultural machinery and mechanical lead production. The biggest problem facing the sector is in terms of their waste. Foundries are known to generate large environmental liabilities, according to research the largest by-product are the foundry sand disposal. Until recently the only destination for this waste were the landfills but civil engineering, especially construction, we see a strong ally to change this reality, as one can incorporate the foundry sand in various elements of construction . Despite numerous studies pointing to the possibility of re-use, low percentage of this waste is actually reused, because the ADF still suffer great fear in consumers. From this context, this paper aims to question the possibility of decreased cement input Portland in concrete based on results obtained by Lima (2014) showing that replacement of up to 50% natural sand casting disposal sand elevate resistance to axial compression of the concrete. Were molded by the method of ABCP 16 strokes with different levels of natural sand replacement by ADF and cement reduction, then it was evaluated their resistance to axial compression at ages 7, 14, 21 and 28 days and its tensile strength by diametrical compression at 28 days. Traits with reductions of 15% of cement and sand casting without additions were discarded for not having accuracy in its results and must be redone. Within the universe of remaining samples a reduction of 5% cement replacement with 15% of ADF presented himself as the best economic feasibility, environmental and technical. Because it was possible to guarantee a high compressive strength compared with other results and can save 5% cement reusing 15% of ADF. From 10% of cement reductions there was considerable loss of mechanical strength of the concrete, preventing it technically.

Keywords: Sustainability. Alternative material. Economy. Industrial waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo detalhado da produção de cimento 20
Figura 2 - Jazida de calcário 20
Figura 3 – Clínquer 21
Figura 4 - Aparelho de Vicat 23
Figura 5 - Influência da área específica do cimento 24
Figura 6 - Frasco de Chapman 26
Figura 7 - Etapas de produção 29
Figura 8 - Fluxograma da produção 30
Figura 9 - Seção de uma amostra de concreto 31
Figura 10 - Micrografia obtida por microscópio eletrônico de varredura 32
Figura 11 - Concentração de tensões na ponta de uma fissura submetida à tração 33
Figura 12 - Padrão de fraturas no concreto sob tração (T) e compressão (C) 34
Figura 13 - Porosidade no concreto 35
Figura 14 - Determinação da massa específica e tempo de pega 37
Figura 15 - Areia convencional 38
Figura 16 - Areia de descarte de fundição 39
Figura 17 - Ensaios de caracterização da brita 1 41
Figura 18 - Materiais utilizados 43
Figura 19 - Abatimento de tronco de cone 44
Figura 20 - Ensaio de massa específica 44
Figura 21 - Moldagem dos corpos de prova 45
Figura 22 - Câmara úmida 45
Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão axial 46
Figura 24 - Ensaio de resistência a tração por compressão diametral 47
Figura 25 - Ensaio de microestrutura eletrônica de varredura MEV 48
Figura 26– Resistência a compressão aos 7 dias de idade 50
Figura 27– Resistência a compressão aos 14 dias de idade 51
Figura 28 – Resistência a compressão aos 21 dias de idade 51
Figura 29 – Resistência a compressão aos 28 dias de idade 52
Figura 30 – Resistência a tração por compressão diametral aos 28 dias 54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões nominais da brita 27
Tabela 2 - Composição ADF 30
Tabela 3 - Percentual de substituição de ADF e redução de cimento 36
Tabela 4 - Ensaio de caracterização do cimento Portland 38
Tabela 5 - Características da areia convencional 39
Tabela 6 – Caracterização da ADF 40
Tabela 7 – Caracterização do agregado graúdo 40
Tabela 8 - Consumo de material 42
Tabela 9 – Propriedades do concreto fresco 53

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADF	Areia de Descarte de Fundição
Al2O3	Alumina
CO2	Dióxido de Carbono
CP	Cimento Portland
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
Fe2O3	Óxido de Ferro
LEC	Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí
NBR	Norma Brasileira Revisada
NM	Norma Mercosul
Si02	Sílica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 Contexto 15

1.2 Problema 16

1.2.1 Questões de pesquisa 17

1.2.2 Objetivos de pesquisa 17

2 REVISÃO LITERARIA 18

2.1 Análise dos materiais 19

2.1.1 Cimento Portland 19

2.1.1.1 Fabricação 19

2.1.1.2 Composição 21

2.1.1.3 Pega e endurecimento. 22

2.1.1.4 Finura 23

2.1.1.5 Tipos de cimentos comerciais 24

2.1.2 Agregados 25

2.1.2.1 Miúdo 26

2.1.2.2 Graúdo 27

2.1.3 Areia de descarte de fundição 28

2.1.3.1 Classificação 28

2.1.3.2 Produção 29

2.2 Análise das propriedades 31

2.2.1 Microestrutura 31

2.2.2 Resistência 33

2.2.3 Durabilidade 35

3 METODOLOGIA 36

3.1 Classificação da pesquisa 36

3.2 Planejamento da pesquisa 36

3.3 Caracterização dos materiais 37

3.3.1 Cimento 37

3.3.2 Agregado miúdo 38

3.3.3 Agregado miúdo residual 39

3.3.4 Agregado graúdo 40

3.3.5 Água 41

3.4 ENSAIOS DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO 41

3.4.1 Dosagem ABCP 41

3.4.2 Resistência a compressão e tração por compressão diametral 45

3.4.3 Microscopia eletrônica de varredura MEV 47

4 RESULTADOS 49

4.1 Resistência a compressão Axial 50

4.2 Resistência a tração por compressão diametral 53

5 CONCLUSÃO 55

REFERÊNCIAS 56

APÊNDICE A 60

1 INTRODUÇÃO

Dentre os processos de fabricação, a fundição tem grande espaço no mercado em função de sua capacidade de produzir peças com grande variedade de formas e tamanhos. É responsável por criar componentes de extrema responsabilidade destinadas a indústria aeronáutica, mecânica e automobilísticas à itens banais como bueiros e bancos de jardim. Toda essa variedade é obtida por diferentes modos, mas com a mesma base de processos. Por possuir fortes ligações químicas o ferro precisa de uma elevada temperatura para atingir o estado líquido e então ser moldado com a forma próxima da final. Os moldes destinados a receberem o metal necessitam ser de um material refratário, ou seja, suportar altas temperaturas sem ter suas características modificadas. O material comumente utilizado pela indústria de fundição é a areia, encontrada de forma abundante e a um preço relativamente barato no mercado. Após solidificado a peça é retirada do molde e está pronta para seguir a linha de produção e a areia acaba absorvendo metais pesados oriundos do processo. A areia pode ser reciclada no processo, sendo reutilizada para vários moldes até o momento em que, devido ao excesso de substâncias absorvidas, perde sua função primordial para a indústria de fundição e é chamada de Areia de Descarte de Fundição –ADF– (SOARES, 2000).

O Brasil ocupa a 7ª posição na produção mundial de fundidos, são fabricados cerca de 3 milhões de toneladas anuais de peças metálicas. Mais da metade é destinada ao mercado de componentes automotores, devido ao segmente automotivo ser forte no país. Para 2018 é projetado uma produção de quase 4 milhões devido as exportações indiretas como: motor, componentes automotivos, bens de capital, etc. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO, 2014).

No Rio Grande do Sul o setor de fundição gera aproximadamente 170 mil toneladas ano. Existem regiões bem definidas onde essa produção é intensa: Caxias do Sul, Grande Porto Alegre e a região entorno de Novo Hamburgo são exemplos. O segmento automotivo lidera a produção de fundidos no estado, seguido pela produção de máquinas agrícolas e mecânicas. O processo areia verde, é desenvolvido por 95% das fundições, é o mais simples de executar e mais econômico, pois não são gerados resíduos considerados como perigosos conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Diferente das areias geradas por processos de cura a frio e em casca, que contaminam com resíduos fenólicos, são consideradas como resíduos perigosos e devem ser dispostos em aterros de resíduo especial, conforme legislação. (ADEGAS e BERNARDES, 2008).

A geração típica de subprodutos derivados da atividade de fundição é: 65% areia, 15% poeira de coletor, 8% escória de fornos e 12% composto por outros resíduos. Seu maior resíduo é a areia, sendo que 84% dela é reciclada no processo e 16% é descartado. Para cada tonelada produzida são gerados 800kg de areia residual (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

Fatorando a produção anual de fundidos no estado do Rio Grande do Sul pela geração de resíduos por produção temos a estimativa de 136mil toneladas de areia de fundição que acaba em sua maioria sendo depositados em valas de aterros e gera custos onerosos para as empresas.

No Brasil 90% das areias são provenientes de rios, estando a construção civil entre as maiores incorporadoras desse material. Atualmente, estas areias são um recurso abundante e possuem um baixo valor unitário. No entanto, esta realidade começa a mudar devido ao forte crescimento da urbanização e das restrições ambientais. (CARMEZ, CAMARGO e DINI, 2009).

1.1 Contexto

Atualmente existem inúmeras pesquisas tanto a nível nacional quanto internacional comprovando a reutilização de areias de descarte de fundição (ADF). Estas pesquisas estão relacionadas a incorporação da areia em vários produtos como: cimento Portland, artefatos de concreto, artefatos de cerâmica, reaproveitamento de termoplásticos, vitrificação de materiais perigosos, produtos para isolamento térmico e acústico, camadas de pavimentação asfáltica, camada de cobertura de aterros e barreiras hidráulicas, camadas de bases e sub-bases de estradas e rodovias, substituição de agregado fino na composição do concreto asfáltico e na fabricação de concreto (ALVES, 2012)

A utilização em 10% de areia verde atende as normas do Departamento Nacional de Infra Estrutura e Transporte (DNIT) para faixa C. O traço asfáltico satisfaz os resultados do parâmetro Marshall, mas recomenda-se que seja incorporado cal para melhorar os resultados vistos que os resultados ficam muito próximos dos limites das especificações do DNIT. Pode-se considerar que a indústria rodoviária está apta para reutilizar o resíduo como agregado em misturas asfálticas. (PEREIRA, CUNHA, *et al.*, 2005).

A substituição de granilha por areia de fundição em blocos de concreto mostrou uma diminuição da porcentagem absorção por água, resultando numa melhor aderência entre bloco argamassa e revestimento. Em ensaios de desempenhos mecânicos, uma mistura de 10% de areia de fundição se sobressai entre as demais analisadas, atingindo uma resistência acima do limite superior fixado em norma. Em ensaios de lixiviação é concluído que o material fica inerte, não apresentando riscos ao meio ambiente (GHISLENI, 2014).

Substituições de até 50% de areia natural por areia de fundição em concreto apresentaram ganho de resistência à compressão axial em comparação a areia natural. Em ensaios de lixiviação também são considerados como não tóxico estando dentro dos limites estabelecidos pela Norma Brasileira Revisada (NBR) 1004/2004. Junto com a análise da microestrutura pode-se determinar que as areias de fundição causam alterações mecânicas positivas no concreto sem agredir o meio ambiente (LIMA, 2014).

1.2 Problema

A maior adversidade ambiental e econômica encontrada no setor é quando a areia sai do processo. Caso ela seja depositada em locais indevidos, pode alterar as características químicas, físicas e biológicas do solo e da água, causando danos ao meio ambiente. Quando destinada corretamente em aterros industriais acaba onerando o produto final. Como os órgãos ambientais estão cada dia mais controladores e exigentes, estas empresas se obrigam a destinar a ADF em locais distantes de onde foi gerado, causando um aumento considerável nos custos envolvidos (ALVES, 2012)

Mesmo com o elevado número de pesquisas realizadas que buscam viabilizar a utilização das ADF, ainda é pequena a quantidade de resíduo reaproveitado em diferentes setores, principalmente na construção civil, a maior incorporadora de areia. Com essa realidade o presente trabalho busca aumentar a atratividade da reutilização desse elemento através da redução do insumo cimento no traço, visto que já foi comprovado que sua utilização aumenta a resistência axial do concreto.

1.2.1 Questões de pesquisa

- Questão principal

Tendo como premissa que a substituição de areia natural por areia de descarte de fundição aumenta a resistência axial do concreto, o presente trabalho questiona a possibilidade de diminuir a porcentagem de cimento utilizado no concreto para que a resistência adquirida com a ADF seja perdida e volte a resistência padrão. Assim, chegar em um novo traço, mais econômico porém com a mesma resistência.

- Questões secundárias

Além da resistência a compressão axial, também compreende parte das dúvidas do trabalho a determinação da resistência a tração e a aferimento dos resultados de compressão axial obtidos por Lima(2014).

1.2.2 Objetivos de pesquisa

- Objetivo Geral

Analisar as propriedades do concreto com substituições de areia de fundição no agregado miúdo e redução da porcentagem de cimento a fim de viabilizar o uso de materiais mais sustentáveis.

- Objetivos específicos

a) Apresentar um traço ideal para a substituição de areia natural por areia de fundição;

b) Determinar a resistência a tração por compressão diametral do concreto moldado com ADF.

c) Comprovar a economia no concreto e incitar novas pesquisas para sua viabilização técnica em elementos de concreto estrutural.

2 REVISÃO LITERARIA

O concreto é parte integrante de praticamente todas as construções, desde residências à grandes obras de infraestrutura, como, barragens, aeroportos, portos e rodovias que cortam o país. Os incentivos governamentais registrados nos últimos anos, possibilitaram o crescimento da construção civil, o que foi positivo para concreteiras, responsáveis por fazer o material mais consumido no mundo chegar ao seu destino. No Brasil entre 2005 e 2012 o aumento de concreto foi de 180%, estima-se que as concreteiras tenham produzido 51 milhões de metros cúbicos em 2012. Está é uma das conclusões de uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (2013). Outra pesquisa realizada pela *Federacíon Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), e citada na revista Concreto e Construções do Ibracon (2009) estima que anualmente são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto no mundo, o que resulta num consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por ano por habitante.

O concreto é um aglomerado constituído de agregados e cimento como aglutinante, é portanto uma rocha artificial. A fabricação do concreto é feita pela mistura dos agregados areia e cascalho, com cimento e água, a qual, conforme a necessidade, são acrescidos aditivos, que influenciam as características físicas e químicas do concreto fresco ou endurecido. O concreto fresco é moldado em fôrmas e adensado com vibradores. O endurecimento do concreto começa após poucas horas e, de acordo com o tipo de cimento, atinge aos 28 dias cerca de 60 a 90% de sua resistência (MÖNING e LEONHARDT, 2008).

De acordo com os autores o concreto endurecido pode ser classificado conforme a sua massa específica nas categorias de, concreto pesado (2,8-5,0 t/m³), concreto normal (2,0-2,8 t/m³) e concreto leve (1,2-1,6 t/m³). Conforme a textura em densa ou fechada, isto é com poucos e pequenos espaços vazios entre os grãos, ou textura porosa, com grande vazios entre os agregados, devido à falta de uma granulometria mais fina. Para estudar o concreto deve se ter entendimento do cimento, seu principal componente, que produz a reação química de formação da pasta aderente, e torna o concreto tão eficiente, que permite que possa ser moldado nas mais diferentes formas e com o tempo, endureça e ganhe a resistência que lhe é necessária.

2.1 Análise dos materiais

2.1.1 Cimento Portland

Cimento, no sentido geral da palavra, pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta. Está definição abrange uma grande variedade de materiais cimentícios. Na área de construção, o significado do termo “cimento” é restrito a matérias aglomerantes utilizados com pedras, areias, tijolos, blocos para alvenaria, etc. os principais constituintes desse tipo de cimento são os compostos de calcário, de modo que, em engenharia civil e construções, quando se utiliza o termino cimento, estamos nos referindo ao cimento de base calcária. Visto que reage quimicamente com a água, os cimentos tem a propriedade de reagir e endurecer sob a água, sendo então, denominados de cimentos hidráulicos (NEVILLE, 2015).

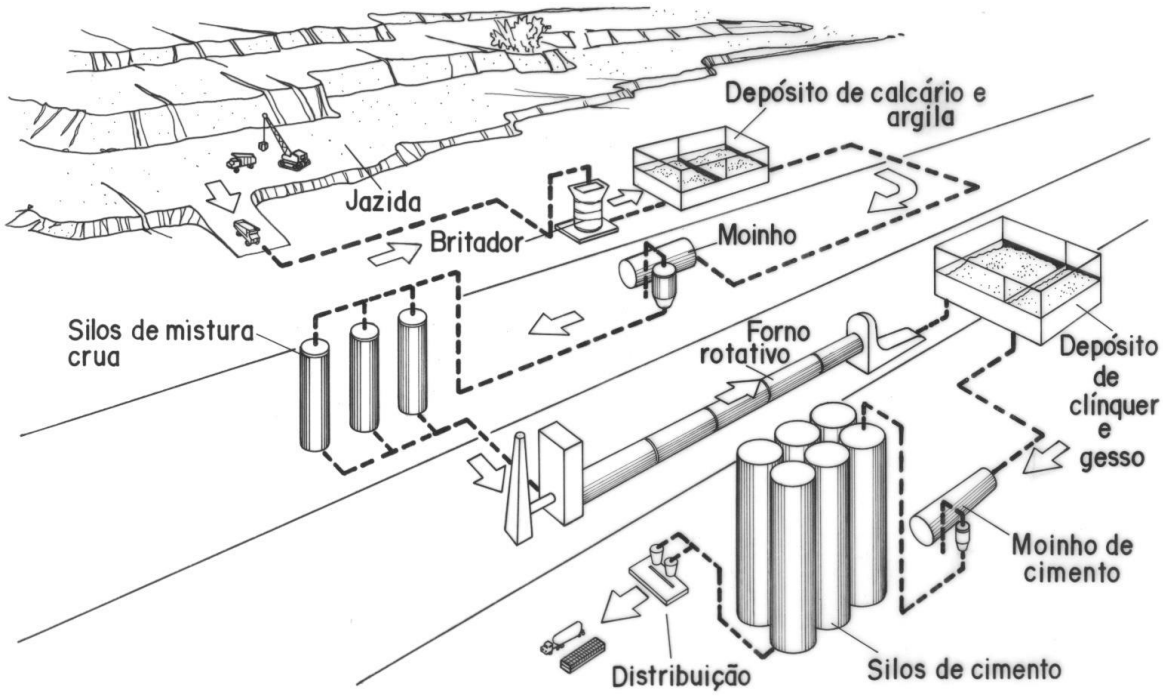
2.1.1.1 Fabricação

O cimento constitui-se basicamente de calcário, encontrado em rochas calcárias e argila. Portanto, pode-se concluir que o cimento pode ser produzido em todas as partes do mundo devido a sua facilidade de acesso a matéria prima. Sua fabricação pode ser resumida na mistura da matéria prima nas devidas proporções e queima a temperatura de 1450ºC. Esse processo gera o clínquer, que, resfriado recebe a adição de pequeno teor de sulfato de cálcio, sendo moído até se tornar um pó bastante fino. O material resultante é o Cimento Portland, tão empregado em todo o mundo. (NEVILLE, 2015). As Figura 1 e 2 ilustram o processo de fabricação e uma jazida de calcário.

Vale ressaltar, que a mistura passa por fornos refratários que giram lentamente em torno de seu eixo a temperatura de 1450ºC, todo esse valor calorífico é obtido através da queima de carvão. Segundo Neville (2015) são necessários 225Kg de carvão para aquecer uma tonelada de cimento. Com isso, pode se ter uma ideia do potencial poluído que a fabricação de cimento possui, além disso, as reações de formação de clínquer, liberam CO2 na atmosfera.

Ao termino do processo o clínquer é moído juntamente com o sulfato de cálcio, com o objetivo de evitar que a pega do concreto ocorra imediatamente após a adição de água. A coloração cinza característica do cimento Portland é devido a mistura do clínquer, material preto brilhante (Figura 3), com o sulfato de cálcio (NEVILLE, 2015).

Figura 1 - Processo detalhado da produção de cimento



Fonte: Resdil

Figura 2 - Jazida de calcário

Fonte: Inducal (2012)

Figura 3 – Clínquer

Fonte: Ecivil (2015)

2.1.1.2 Composição

É sabido que o cimento Portland é formado por diferentes elementos químicos, sendo os principais: cal, sílica, alumina, óxido de ferro, magnésia, álcalis e sulfatos. A seguir, conforme Petrucci (1978), está descrito os compostos.

CaO – A cal, é o componente essencial do cimento, estando entre 60 e 67%. Pode-se dizer, que as propriedades do cimento aumentam conforme o teor de cal. Se o processo de fabricação não for cuidadoso pode ocorrer a formação de cal livre, cuja presença é prejudicial ao concreto.

Si02 – A proporção de sílica varia entre 17 e 25%. Ela provém da argila usada como matéria prima. É da sua combinação com a cal que se resulta os compostos mais importantes do Cimento Porland.

Al2O3 – Também da argila provém a alumina. As variações ficam entre 3 e 8%. Esse composto é responsável por acelerar a pega do concreto e diminuir a resistência por sulfatos, por isso, deve permanecer em baixos teores na mistura.

SO3 – Tem sua origem no sulfato de cálcio, adicionado para regular a pega. Em grandes quantidades é prejudicial ao concreto, por isso é especificado que não ultrapasse 3% do cimento.

Fe2O3 – Assim como a alumina, o óxido de ferro é proveniente da argila, sua principal contribuição na mistura é por possuir propriedades fundantes. Normalmente encontra-se nas proporções de 0,5 a 6%.

MgO – A magnésia provém do carbonado de magnésia presente no calcário. Seu teor varia de 0,1 a 6,5%. A magnésia não se encontra combinada a nenhum elemento no cimento. Esse óxido age de forma expansiva, prejudicando a estabilidade do concreto.

K2O e Na2O – Os álcalis são encontrados em menor quantidade, entorno de 0,5 a 1,3% tem papel fundante na cozedura e age como acelerador de pega.

Costuma-se usar na química do cimento, uma notação própria, simplificada, que auxilia na compreensão dos fenômenos que ocorrem. Assim temos:

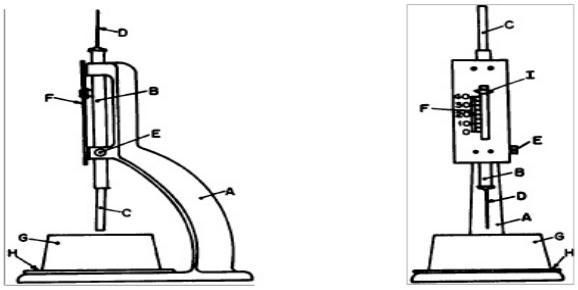
CaO → C
SiO2 → S
FE203 → F
Al203 → A

2.1.1.3 Pega e endurecimento.

Conforme Neville (2015), a pega muitas vezes é utilizada como forma de descrever o enrijecimento da pasta de cimento, como este conceito é muito amplo e pode ser confundido com o endurecimento, é correto definir pega como à mudança de estado, de fluído para sólido. Os termos “início de pega” e “fim de pega” são utilizados para descrever estágios arbitrários da pega. Os dois primeiros compostos a reagirem após a adição de água são o C_3A e o C_3S, a adição do sulfato de cálcio regula as reações através da retardo do tempo de pega. Um fator físico importante que altera a pega é a temperatura, o tempo de pega diminui com o calor e retarda a temperaturas mais baixas.

O início de pega é o tempo decorrente desde o instante em que a água é lançada no cimento até o momento em que a agulha de Vicat (Figura 4) estaciona a 1mm do fundo de um volume de pasta de cimento determinado (Petrucci, 1978). O autor também separa o cimento em três categorias conforme o seu tempo de pega: rápida (menos de 30min.), semi-rápida (30 a 60min.) e normal (mais de 60min.).

Figura 4 - Aparelho de Vicat



Fonte: ABNT (2002)

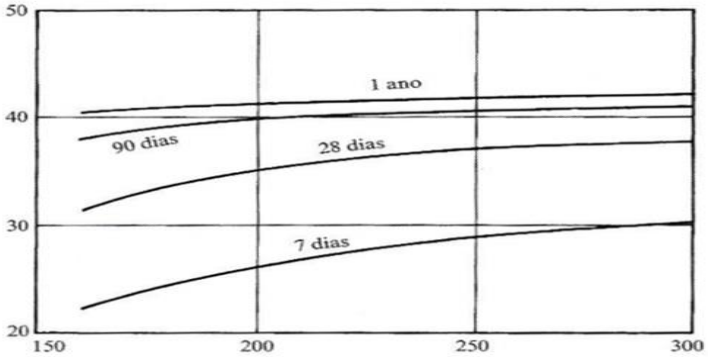
O fim de pega é o tempo que decorre a partir do lançamento de água até o instante em que a agulha, aplicada suavemente sobre a superfície da pasta e não deixa vestígios apreciáveis. Para que não ocorram discrepâncias entre ensaios é recomendado que as determinações sejam feitas a 21ºC a uma umidade relativa do ar superior a 85% (Petrucci, 1978).

2.1.1.4 Finura

Além dos componentes presentes no cimento, o grau de moagem exerce grande influência sobre suas propriedades. A água penetra no grão de cimento a 0,5µm nas primeiras 24h, 2µm na primeira semana e 4µm no primeiro mês. A medida do grau de moagem é feita em muitos lugares através do método das peneiras (nº 200 malha quadrada de 74µm). Tanto Petrucci (1978) quanto Neville (2015) não recomendam esse ensaio por considerarem seus resultados imprecisos. Ambos recomendam que a análise seja feita em um tanque de sedimentação, onde se precipita a amostra de cimento, e de acordo com leituras feitas em tempos marcados e a partir da lei de STOKES seja determinado o diâmetro equivalente dos grãos.

Como a hidratação começa na superfície dos grãos de cimento, uma maior área específica representa uma maior hidratação, consequentemente há maior ganho de resistência nos primeiros momentos e uma maior liberação de calor. Um cimento mais fino representa um custo maior considerável para a sua produção. Na Figura 5 pode ser percebido que a finura é uma propriedade vital do cimento e deve ser cuidadosamente controlada, principalmente no que se refere as resistências nas primeiras idades.

Figura 5 - Influência da área específica do cimento



Fonte: Neville (2015)

2.1.1.5 Tipos de cimentos comerciais

O mercado nacional dispões de 8 opções de cimento que atendem as mais diferentes obras. Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (2009) temos:

● Cimento Portland Comum (CP I): É o tipo de cimento mais puro encontrado no mercado, não possuí adições de nenhum outro material a não ser o gesso, utilizado como retardador de pega. É usado em obras comuns onde não há exposições a sulfatos do solo ou águas subterrâneas.

● Cimento Portland Composto (CP II): Tem a característica de liberar o calor de forma mais gradual a partir do lançamento de água, sendo recomendado para concretagens de alto volume onde não existe área específica suficiente para resfriar o concreto. Há uma maior resistência a sulfatos devida as adições de pozolana (CP II-Z), escória de alto forno (CP II-E) e fíler (CP II-F).

● Cimento Portland de Alto Forno (CP III): Além do baixo calor de hidratação, apresenta a maior impermeabilidade e durabilidade. Este cimento pode ser aplicado em obras gerais, mas é particularmente vantajoso em obras como: barragens, fundações de máquinas, obras em ambientes agressivos, tubos para escoamento de esgoto, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.

● Cimento Portland Pozolânico (CP IV): Utilizado em obras correntes, sob a forma de argamassa, concreto simples, armado ou protendido. É especialmente indicado para concretos expostos a ação da água, tem como característica o fato de apresentar resistência mecânica a compressão superior ao dos concretos comuns a idades avançadas.

● Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI): Possuí valores de resistência a compressão que superam em muito os valores dos cimentos anteriores para as primeiras idades.

Aproximadamente 26Mpa para 1 dia e 53Mpa para 28 dias. É utilizado em obras que precisam de resistência inicial e desforma rápidas. Essa característica é resultado de um maior processo de moagem durante a fabricação.

● Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS): Esse cimento apresenta resistência a ataques por sulfatos nos mais diferentes casos. Todos os cinco tipos de cimento CPI, CPII, CPIII, CPIV e CPV-ARI podem ser classificados como RS, desde que se enquadre em pelo menos uma das seguintes condições: Teor de C3A e adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente. Conter entre 60% e 70% de escória granular de alto forno. Conter entre 25% e 40% de material pozolânico ou qualquer cimento que apresente ensaios que comprovem sua resistência aos sulfatos.

● Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC): Pode ser empregado a sigla BC em todos os tipos de cimento. Possui em sua composição elevador teor de material retardador de pega, com isso a calor liberador também é menor e não ocorrem fissuras de origem térmica.

● Cimento Portland Branco (CPB): Possuí finalidades estéticas, pode ser obtido esse tipo de cimento na produção através da substituição de argila por caulim. Outra vantagem está no fato de poder ser aplicados pigmentos para alterar a cor.

2.1.2 Agregados

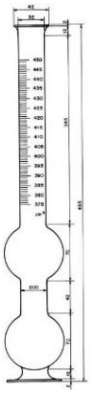
Leva o nome de agregado, o material inerte, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de várias partículas cobrindo uma extensa gama de grãos de diferentes tamanhos. Para estudos de tecnologia do concreto o termo agregado é de uso generalista, diferente de outras áreas, onde é comum usar o nome específico como: fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão e etc. (BAUER, 2014).

Os agregados podem ser classificados pela sua origem em naturais, que se encontram na forma particulada na natureza e industrializados, obtidos através de processos realizados industrialmente. Pelas dimensões das partículas, através do ensaio de granulometria é considerado que todo material passante na peneira de nº4 é miúdo, e o retido, graúdo. São exemplos de passantes na peneira as areias e de retido as britas e os cascalhos (BAUER, 2014).

2.1.2.1 Miúdo

Entende-se por agregado miúdo a areia natural ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, de modo que no máximo 15% fique retiro na peneira de 4,8mm. Dois ensaios são realizados comumente para agregados miúdos. A massa específica e o peso unitário. A massa específica é feita através do frasco de Chapman (Figura 6), é obtido através da divisão da massa pelo volume, excluindo os vazios permeáveis e entre os grãos. O peso unitário é calculado, contanto junto os vazios entre os grãos (PETRUCCI, 1978).

Figura 6 - Frasco de Chapman



Fonte: ABNT (1988)

A granulometria ou composição granulométrica, é a proporção relativa expressa em % dos diferentes tamanhos de grãos que se encontram constituindo o todo. Pode ser expressa de duas formas, ou através do material passante nas peneiras ou do retido. É obtido através de uma sequência de peneiras constituídas de malha quadrada de modo que a peneira superior sempre tenha o dobro da anterior. Deste modo, a série é constituída das peneiras de malha: 0.15, 0.30, 0.60, 1.20, 2.40, e 4.8 mm (PETRUCCI, 1978). A soma de todas as porcentagens retiras e dividida por 100 é denominada de módulo de finura(MF). As areias podem ser classificadas de acordo com seu módulo de finura em:

Muito grossas → MF>3,90

Grossas →3,30<MF<3,90

Médias → 2,40<MF<3,30

Finas → MF<2,40

2.1.2.2 Graúdo

De acordo com Petrucci (1978), diferente do agregado miúdo, este compreende o material retido na peneira 4,8mm. O agregado graúdo pode ser o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, etc. Para garantir a qualidade do concreto os agregados devem ser provenientes de rochas estáveis, isto é, sem sofrer alterações do ar, água ou gelo. No Brasil, as britas são geralmente obtidas por trituração mecânica provenientes de rochas de granito, basalto ou gnaisse. O autor classifica as britas através da Tabela 1, onde é informado o tipo de brita, as dimensões padrão e em qual peneira fica retida.

Tabela 1 - Dimensões nominais da brita

Tipo	Dimensão(mm)	Peneira(mm)
Brita 0	9,5	4,8
Brita 1	19	9,5
Brita 2	25	19
Brita 3	50	25
Brita 4	76	50
Brita 5	100	76

Fonte: Petrucci (1978)

Quando o agregado vai ser proporcionado em volume no concreto, é necessário conhecer a massa que o preenche. Esse valor é conhecido como massa unitária. É encontrado preenchendo-se um determinado recipiente com o agregado graúdo, após isso é medido a massa e o volume. A divisão da massa pelo volume corresponde a massa unitária. Pode ser obtida tanto no estado solto, quanto compactada por uma haste metálica. A granulometria é o fator que mais altera na massa unitária de uma determinada amostra, pois, quando existem materiais mais finos, esses preenchem os espaços vazios entre os grãos, alterando a massa da amostra (NEVILLE, 2015).

2.1.3 Areia de descarte de fundição

A indústria de fundição tem como segmento principal a produção de bens intermediários, fornecendo principalmente peças fundidas para outras áreas industriais. É reconhecida por ser altamente poluidora, por gerar elevados volumes de resíduos sólidos provenientes de diferentes ramos produtivos e com vários níveis de poluentes (BIOLO, 2005)

2.1.3.1 Classificação

A ABNT NBR 10004 (2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos ao meio ambiente e a saúde pública. A norma dispões sobre o manuseio e o destino final dos resíduos, e classifica como:

Resíduo Classe I –Perigosos. Compreende os resíduos mais nocivos para o meio ambiente, em função de suas características de patogenicidade, reatividade, toxicidade, corrosividade e inflamabilidade.

Resíduo Classe II – Não Perigosos. Não apresentam nenhuma das características citadas anteriormente. Pode ser subdividido em dois grupos:

Classe II A – Não Inertes. São aqueles que não se enquadram nos resíduos de Classe I ou Classe II B. Geralmente possuem as características de: solubilidade em água, combustibilidade e biodegradabilidade.

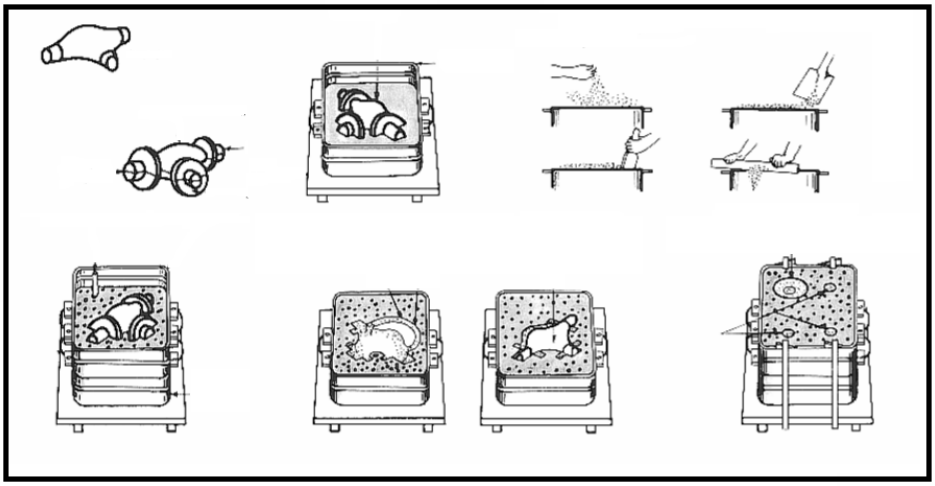
Classe II B – Inertes. Resíduos que quando submetidos a contato dinâmico ou estático com a água não se solubiliza, mantendo os padrões de potabilidade, com exceções do sabor, dureza, cor e turbidez.

A areia de fundição proveniente da Fundimisa-RS utiliza argila como aglutinante, não possuindo resinas fenólicas. É classificada como resíduo de classe II-B, sendo considerada inerte e não perigosa ao meio ambiente. Conforme laudos fornecidos pela empresa fornecedora do material. Para classificar os resíduos nessa categoria, conforme a ABNT NBR 10004:2004, é necessário a realização dos ensaios de lixiviação e solubilização, preconizados respectivamente por ABNT NBR 10005:2004 e ABNT NBR 10006:2004.

2.1.3.2 Produção

O metal líquido é vazado em um molde, cuja cavidade corresponde ao negativo da peça que se deseja obter. Para se construir um molde de areia é necessário fabricar o modelo primeiramente (adaptação do desenho da peça) e os machos, caso existam furos ou partes ocas. Podemos dizer que o modelo é fabricado de madeira e o molde e o macho em areia. Dessa forma, a partir de um modelo podemos fabricar vários moldes. Ao termino do processo de vazamento e solidificação, a peça é retirada do molde e passa pelas seguintes etapas de acabamento: corte dos canais, rebarbação, usinagem, tratamento térmico e soldagem (opcionais), controle de qualidade final e expedição (SOARES, 2000). A Figura 7 ilustra o processo de produção.

Figura 7 - Etapas de produção



Fonte: Soares (2000)

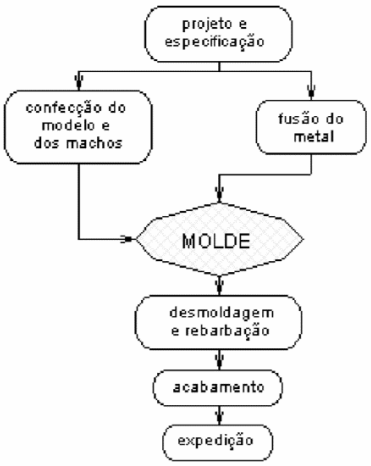
O molde é utilizado para imprimir na forma de areia a peça ser fundida, para o modelo utiliza-se areia verde, sendo compactado ao redor do molde até se atingir uma determinada dureza. Leva o nome de areia verde por possuir argila ligada a mistura. Esses modelos são executados em duas partes, para depois serem unidos. Na parte oca é vazado o metal líquido através de respiros (LIMA et al, 2013).

Quando existem partes ocas na peça a ser fundida é necessário a produção de aglomerados de areias chamados de machos. Diferente do modelo (areia verde) os machos, apresentam uma elevada dureza pois necessitam ser fixos dentro do molde e impedir a propagação do metal fundido dentro dos vasos internos (BIOLO, 2005).

A fusão é o processo onde se inicia propriamente dito a fabricação da peça. O metal é aquecido até a temperatura de liquefação e vazado nas cavidades formadas pelos moldes. Após o resfriamento é feita a quebra do molde e então retirada a peça fundida. O processo de resfriamento deve ser cauteloso, pois variações bruscas na temperatura podem ocasionar bolhas e trincas na peça devido a tensões mecânicas (LIMA et al, 2013).

Ao termino do processo a peça passa por acabamentos e tratamento térmico. Para o acabamento são utilizados rebolos rotativos com a finalidade de melhorar esteticamente. O tratamento térmico é feito com o objetivo de se elevar a resistência mecânica e corrosiva do material (LIMA et al, 2013). A Figura 8, esquematiza a produção de peças metálicas. Segundo Bonin (1995 apud Mello 2004) a areia pode ser reutilizada no processo até que se perca sua trabalhabilidade, para cada tonelada de areia que entra no processo a mesma quantidade de resíduos é gerada. A ADF é composta por diferentes insumos, Ghisleni (2014 apud Armange 2005) expõem os constituintes que compõem geralmente a ADF (Tabela 2).

Figura 8 - Fluxograma da produção



Fonte: Soares (2000)

Tabela 2 - Composição ADF

Composto	Peso (%)
Areia de retorno	60
Areia base	34 a 37
Bentonita	1 a 4
Pó de carvão	0,2 a 2
Água	Quantidade necessária para trabalhabilidade da areia

Fonte: Ghisleni (2014 apud Armange 2005)

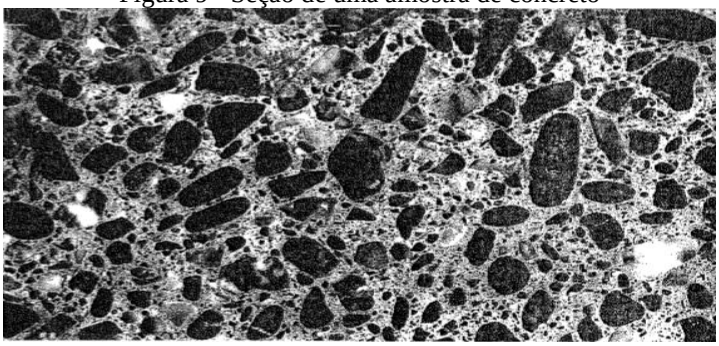
2.2 Análise das propriedades

2.2.1 Microestrutura

As relações de microestrutura são o foco da moderna ciência dos materiais. O concreto tem uma microscopia altamente complexa e heterogenia, entretanto estudá-la auxilia nos controles de suas propriedades. A microscopia visa analisar três áreas: pasta de cimento hidratada, agregado e zona de transição na interface entre a pasta de cimento e o agregado (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Os progressos no campo dos materiais resultou no reconhecimento de que as propriedades tem origem na microestrutura interna, ou seja, as propriedades podem ser modificadas fazendo certas alterações na microestrutura de um material. O concreto possui sua microestrutura diversificada, o que torna seu estudo altamente complexo (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Na Figura 9 está presente uma amostra de uma seção de um corpo de prova, pode-se notar sua heterogeneidade.

Figura 9 - Seção de uma amostra de concreto



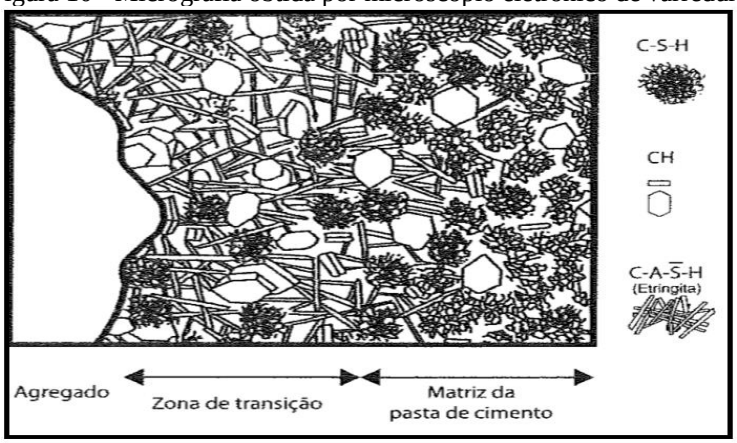
Fonte: Mehta e Monteiro (2014)

A quantidade de água e a idade influem drasticamente na microestrutura do concreto, a redução da relação água/cimento (a/c) diminui o volume de vazios capilares na pasta de cimento hidratada, assim como o aumento da idade de hidratação também preenche esses vazios (KELM, 2011) . Entretanto estudos microscópicos mostram que isso não se aplica a pasta de cimento do concreto na presença de grandes partículas de agregados. A pasta usualmente é muito diferente do que a argamassa no sistema, apresenta-se de forma delgada e normalmente é mais fraca, sendo desta forma muito influente no comportamento mecânico do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A fase agregado é a principal responsável pela massa específica, módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional do concreto. Essas propriedades dependem principalmente da densidade e resistência do agregado, que são determinados mais por suas características físicas do que químicas. Outras propriedades também afetam o concreto como a forma arredondada ou achatada e a textura superficial lisa ou áspera. Essas características dependem do tipo de rocha e da escolha do britador. A forma do agregado também afeta indiretamente na resistência, quanto maior a proporção de agregados alongados, maior será o acumulo de água na superfície do mesmo, enfraquecendo a zona de transição através de um fenômeno conhecido como exsudação (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A zona de transição na interface é extremamente complexa e importante (Figura 10). Em função das dificuldades experimentais, não se dispõem de muita informação sobre essa parte. Entretanto pode se ter a sequência de seu desenvolvimento. Inicialmente filmes de água se formam em torno das partículas de agregados, isso gera uma maior relação água/cimento na região próxima ao agregado, na sequência íons de cálcio, sulfato, hidroxila e aluminato são produzidos pela dissolução dos compostos de sulfato de cálcio e aluminato de cálcio e se combinam para formar a etringita e hidróxido de cálcio. Devido a elevada relação água/cimento, esses produtos cristalinos relativamente maiores formam uma estrutura mais porosa. Finalmente, desenvolvida a hidratação, o C-S-H pouco cristalino e uma segunda geração de cristais menores de etringita e hidróxido de cálcio começam a preencher o espaço vazio que existe entre a estrutura criada pelos grandes cristais. Isso ajuda a melhorar a densidade e consequentemente a resistência da zona de transição na interface (MEHTA e MONTEIRO, 2014)

Figura 10 - Micrografia obtida por microscópio eletrônico de varredura



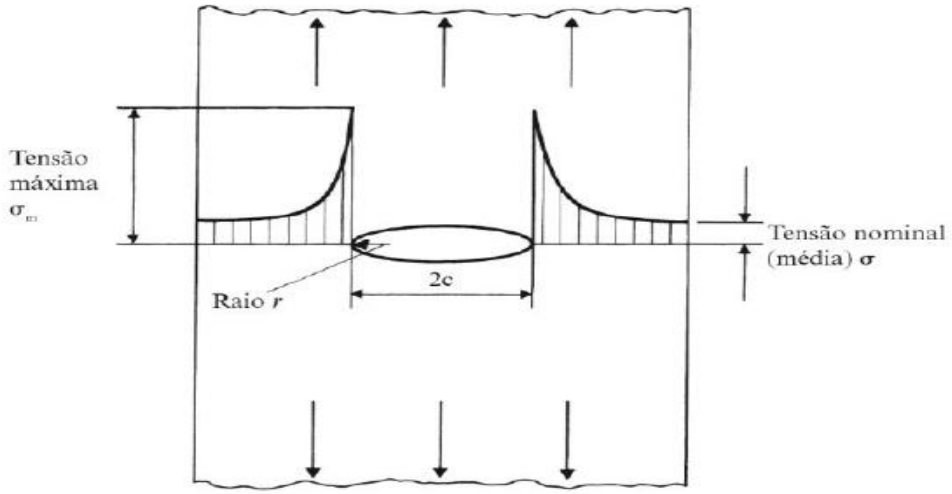
Fonte: Mehta e Monteiro (2014)

2.2.2 Resistência

A resistência do concreto é normalmente considerada a propriedade mais importante, embora, outras características como, durabilidade, impermeabilidade possam ser de fato mais relevantes como é o caso de concreto em estações de tratamento de água e esgoto ou tubulações. A resistência dá uma ideia geral da qualidade do concreto, por estar ligado diretamente à estrutura da pasta de cimento. Os vazios no concreto e agregados com falha podem ser considerados como causadores de diminuição de resistência, por causar um enfraquecimento na interface da pasta de cimento com o agregado. A porosidade e as microfissuras são de difícil quantificação de modo que é necessário recorrer a estudos empíricos assim, a análise da resistência aos esforços mecânicos é a propriedade que melhor descreve um concreto (NEVILLE e BROOKS, 2010).

A resistência a tração do concreto é muito menor do que a resistência a compressão, estimada com base na coesão molecular da estrutura. Essa resistência é considerada como sendo 10% da compressão. A discrepância pode ser explicada pela presença de falhas ou fissuras que resultam em altíssimas concentrações de tensões em suas pontas quando submetidas a uma força de tração. Também ocorre a formação de tensões máximas nas extremidades dos vazios, quanto mais extenso for maior será a tensão máxima. A Figura 11 esquematiza a situação (NEVILLE e BROOKS, 2010). Quando o carregamento externo aumenta, a tensão máxima aumenta proporcionalmente até atingir a tensão de ruptura.

Figura 11 - Concentração de tensões na ponta de uma fissura submetida à tração



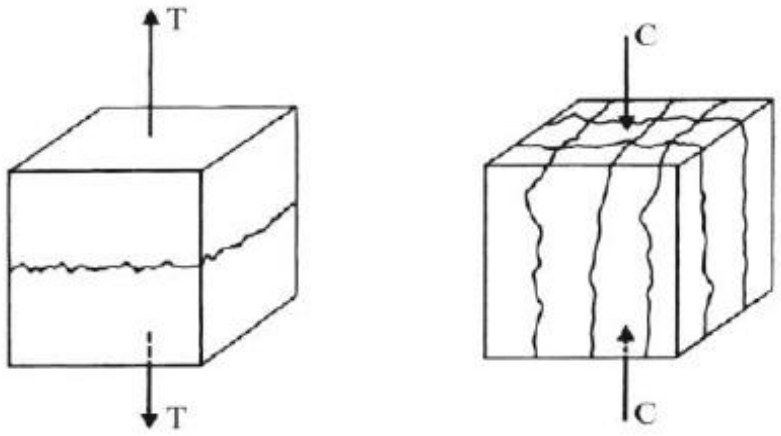
Fonte: Neville e Brooks (2010)

Nesse estágio, novas superfícies se formam, a fissura se alonga, caso a energia seja suficiente para continuar a propagação da fissura, acontece a ruptura do concreto. Por outro lado se a energia for muito baixa, a fissura é contida até que ocorra um aumento de carga. A ruptura a tração começa sempre nas fissuras maiores, portanto, estatisticamente corpos de prova maiores são mais passíveis de iniciar a ruptura (NEVILLE e BROOKS, 2010).

Na resistência a compressão os fatores que mais influem na tensão de ruptura são: porosidade, traço do concreto, grau de compactação e condições de cura. Sem dúvidas a relação água/cimento é o fator mais importante, porque altera na porosidade do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014). A quantidade de água necessária para as realizações de hidratação do cimento são pequenas, mas devido o concreto precisar de trabalhabilidade, é utilizada uma quantidade maior de água na mistura (ANDOLFATO, 2002).

Sob compressão a ruptura ocorre por esmagamento, não se tratando mais de ruptura frágil como na tração, portanto, os mecanismos de fratura são diferentes (NEVILLE e BROOKS, 2010). A Figura 12 retrata a diferente ruptura ocorrida na tração e na compressão.

Figura 12 - Padrão de fraturas no concreto sob tração (T) e compressão (C)



Fonte: Neville e Brooks (2010)

2.2.3 Durabilidade

Os projetistas estruturais de concreto se preocupam muito com a resistência do material. Entretanto, não se pode descartar a sua durabilidade. Mesmo considerando que um concreto dosado corretamente terá durabilidade na maioria dos ambientes, à casos na literatura de deterioração prematura das estruturas, isso traz lições valiosas para o controle de fatores responsáveis pela durabilidade. A água normalmente está presente em todo o tipo de deterioração, e a facilidade com que penetra nos sólidos porosos determina a taxa de deterioração, assim é necessário saber o poder destrutivo da água e fatores que controlem a permeabilidade da pasta de cimento, agregado e concreto. As moléculas de água são muito pequenas e assim conseguem penetrar em cavidades ou poros extremamente finos. Como solvente, a água se destaca por sua capacidade de dissolver muito mais substâncias do que qualquer outro líquido conhecido, essa propriedade justifica o fato de a água carregar muitos íons e gases, que são responsáveis pela deterioração da matéria (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Em geral, quanto a relação água/cimento é alta e o grau de hidratação baixo, a pasta terá uma porosidade capilar alta. Possuirá uma grande quantia de poros grandes e bem conectados, assim sua permeabilidade será alta. Com o desenvolvimento da hidratação a maioria dos poros terão seus tamanhos reduzidos e perderão as interconexões. Fissuração, desgaste da superfície e exposição a temperaturas extremas estão entre os principais causadores físicos da redução de durabilidade do concreto. Os efeitos químicos deletérios incluem a lixiviação, ataque por sulfatos, reação álcali-agregado e corrosão das armaduras (MEHTA e MONTEIRO, 2014)

Figura 13 - Porosidade no concreto

Fonte: Santos (2012)

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Pesquisa científica aplicada, de ordem quantitativa, explicativa e experimental realizada em laboratório.

3.2 Planejamento da pesquisa

Primeiramente foi abordado o motivo do tema proposto e o atual contexto sobre pesquisas nessa área. Sequencialmente fez-se o referenciamento bibliográfico para dar suporte ao entendimento da pesquisa. Para então fazer os ensaios de caracterização dos materiais, importantes para o processo de dosagem do concreto como: ensaio de granulometria, massa específica, massa unitária e módulo de finura.

Os traços de dosagem foram estipulados de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), no qual foram feitas as seguintes substituições de 5%, 10% e 15% de areia natural por areia de descarte de fundição com reduções de 5%, 10% e 15% de cimento.

Os ensaios de compressão axial foram realizados aos 7, 14, 21 e 28 dias. As análises de resistência a tração foram feita somente aos 28 dias de cada traço. Ao todo foram moldados 16 traços diferentes. A Tabela 3 nomeia os traços de acordo com sua substituição de areia natural por areia de fundição e a redução de cimento.

Tabela 3 - Percentual de substituição de ADF e redução de cimento

Red.\Sub.	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**
0%	R0S0	R0S5	R0S10	R0S15
5%	R5S0	R5S5	R5S10	R5S15
10%	R10S0	R10S5	R10S10	R10S15
15%	R15S0	R15S5	R15S10	R15S15

Fonte: Autoria própria (2015)

3.3 Caracterização dos materiais

3.3.1 Cimento

Na pesquisa foi utilizado o cimento Portland CP-IV 32 da marca VOTORAN que tem como característica principal sua resistência a ambientes com ataques químicos como: sulfato, esgotos, água do mar, etc. Foi escolhido esse cimento por ser o mais utilizado na região.

Os ensaios de caracterização física do cimento foram realizados para o cálculo do traço de acordo com o método ABCP. Foram necessários ensaios de finura passante na peneira nº 200, massa específica e determinação do início e fim de pega. O Quadro 1 refere-se aos ensaios e suas respectivas normas e a Figura 12 aos ensaios de determinação da massa específica (esquerda) e tempo de pega (direita).

Quadro 1 - Ensaios de caracterização do cimento

NBR 11579(1991)	Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm
NBR NM 23(2001)	Cimeznto Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica
NBR NM 65(2002)	Cimento Portland - Determinação do tempo de pega

Fonte: Autoria própria (2015)

Figura 14 - Determinação da massa específica e tempo de pega

Fonte: Autoria própria (2015)

Após realizados os ensaios no de caracterização do cimento Portland CP IV-RS, chegou-se aos resultados encontrados na Tabela 4. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí (LEC).

Tabela 4 - Ensaio de caracterização do cimento Portland

Características	**Resultados**
Finura # 0,075 (%)	0,28
Massa específica (g/cm³)	2,84
Massa unitária solta (kg/dm³)	0,97
Tempo de pega (hrs)	03:40

Fonte: Autoria própria (2015)

3.3.2 Agregado miúdo

A caracterização da areia necessária para a moldagem foi proveniente da cidade de Santa Maria – RS, município localizado a 180km de Ijuí (Figura 15). A empresa Tabile doou o material ao Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí (LEC), onde foram realizados os seguintes ensaios: composição granulométrica, massa específica do agregado miúdo e massa unitária solta. O Quadro 2 e a Tabela 4 demonstram respectivamente os ensaios e normas que preconizam e seus resultados.

Quadro 2 - Ensaios de caracterização da areia convencional

NBR 7217(2009)	Agregados para concreto – Especificações
NBR 9776(2003)	Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco de Chapman
NBR 7251(1982)	Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária

Fonte: Autoria própria (2015)

Figura 15 - Areia convencional

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 5 - Características da areia convencional

Características	**Resultados**
Diâmetro máx. (mm)	1,20
Módulo de finura	1,9
Massa específica (g/cm³)	2,60
Massa unitária solta (kg/dm³)	1,53

Fonte: Goecks e Santos (2015)

3.3.3 Agregado miúdo residual

A areia de descarte de fundição (Figura 16) foi cedida pela empresa FUNDIMISA, localizada no município de Santo Ângelo – RS. A escolha foi realizada pelo fato de a areia residual ser um dos maiores problemas do setor de fundidos. Para a pesquisa foi realizado a areia gerada no processo de quebra de canal, por esta areia apresentar um melhor probabilidade de gerar resultados satisfatórios de acordo com pesquisas anteriores.

Figura 16 - Areia de descarte de fundição

Fonte: Goecks e Santos (2015)

Os ensaios de caracterização feitos referente as areias de fundição foram adotados como os mesmos da areia natural devido a semelhança dos materiais. Porém como essa material é um resíduo é necessário a realização de ensaios específicos laboratoriais, ensaios de lixiviação e solubilização. Conforme laudos apresentados pela empresa a areia de fundição se apresentou dentro dos limites permitidos pelas normas para a Solubilização e para a lixiviação o resíduo foi classificado como NÃO TÓXICO de classe II B – inerte.

A Tabela 6 apresenta as características da ADF. Percebe-se que a ADF possuí uma massa específica e unitária solta menor que a natural.

Tabela 6 – Caracterização da ADF

Características	**Resultados**
Diâmetro máx. (mm)	0,6
Módulo de finura	1,16
Massa específica (g/cm³)	2,43
Massa unitária solta (kg/dm³)	1,33

Fonte: Goecks e Santos (2015)

3.3.4 Agregado graúdo

Foi utilizada Brita 1 de origem basáltica proveniente da região de Ijuí – RS. Os ensaios de caracterização (Figura 17) do agregado foram feitos no LEC. Realizou-se ensaios de composição granulométrica, massa específica, absorção de agregado graúdo e massa unitária solta. O Quadro 3 e a Tabela 7 referem-se aos ensaios e aos resultados obtidos.

Quadro 3 - Ensaios de caracterização do agregado graúdo

NBR NM 248(2001)	Agregados – Determinação da composição granulométrica
NBR NM 53 (2002)	Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água
NBR 7251 (1982)	Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 7 – Caracterização do agregado graúdo

Características	**Resultados**
Diâmetro máx. (mm)	19
Módulo de finura	6,75
Massa específica (g/cm³)	2,93
Massa unitária compactada (kg/dm³)	1,69
Absorção (%)	1,24

Fonte: Goecks e Santos (2015)

Figura 17 - Ensaios de caracterização da brita 1

Fonte: Goecks e Santos (2015)

3.3.5 Água

A água necessária para hidratação do cimento no concreto é proveniente do poço artesiano do Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí e foi adotado como unidade padrão de consumo o kg por apresentar menor probabilidade de erro nos ensaios de dosagem em comparação ao litro.

3.4 ENSAIOS DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

3.4.1 Dosagem ABCP

O objetivo da dosagem é determinar a quantidade de cada constituinte do concreto, saber a quantidade de cimento, areia natura, brita e água que comportem determinado volume de concreto. A escolha do método ABCP foi devido a este ser o método mais difundido na construção civil. Este ensaio é recomendado para concretos que precisam de uma trabalhabilidade para serem moldados *in loco*, sua consistência deve ser de semi-plástica a fluída. Os seguintes fatores devem ser determinados para o cálculo de dosagem ABCP:

- Resistência do concreto desejada aos 28 dias;
- Resistência do cimento aos 28 dias;
- Diâmetro máximo do agregado graúdo;
- Módulo de finura do agregado miúdo;
- Massa unitária compactada do agregado graúdo;
- Massa específica real do agregado miúdo;
- Massa específica do agregado graúdo;
- Abatimento do tronco de cone - SLUMP TEST;
- Massa específica do cimento.

O fator a/c foi calculado para se atingir a resistência de 25Mpa. Definido a relação a/c de 0,59 foram calculadas as substituições de 5%, 10% e 15% de areia convencional por ADF e as reduções de cimento de 5%, 10% e 15% (Tabela 8), todas as alterações foram feitas em massa. O rompimento ocorreu aos 7, 14, 21 e 28 dias, ao todo foram totalizados 10 corpos de prova por traço, 8 para os ensaios de resistência a compressão e 2 para a resistência a tração. É encontrado no APÊNDICE A, os cálculos de dosagem do concreto.

Tabela 8 - Consumo de material

Traço	Consumo dos materiais (em kg)				
	Cimento	Areia Convencional	ADF	Brita 1	Água
R0S0	8,69	14,95	0,00	32,50	5,13
R0S5	8,69	14,20	0,75	32,50	5,13
R0S10	8,69	13,45	1,50	32,50	5,13
R0S15	8,69	12,71	2,24	32,50	5,13
R5S0	8,26	14,95	0,00	32,50	5,13
R5S5	8,26	14,20	0,75	32,50	5,13
R5S10	8,26	13,45	1,50	32,50	5,13
R5S15	8,26	12,71	2,24	32,50	5,13
R10S0	7,82	14,95	0,00	32,50	5,13
R10S5	7,82	14,20	0,75	32,50	5,13
R10S10	7,82	13,45	1,50	32,50	5,13
R10S15	7,82	12,71	2,24	32,50	5,13
R15S0	7,39	14,95	0,00	32,50	5,13
R15S5	7,39	14,20	0,75	32,50	5,13
R15S10	7,39	13,45	1,50	32,50	5,13
R15S15	7,39	12,71	2,24	32,50	5,13

Fonte: Autoria própria (2015)

Como mencionado, o cimento adotado tem resistência de 32 Mpa. O abatimento de tronco de cone foi estipulado entre 80mm e 100mm. A quantidade de água estabelecida para realizar a hidratação do cimento e o abatimento de cone foi de 205l/kg. A Figura 18 representa os materiais utilizados.

Figura 18 - Materiais utilizados

Fonte: Autoria própria (2015)

Depois de separados os materiais, iniciou-se a moldagem propriamente dita. Antes de lançar os materiais era sempre umedecida a betoneira para um melhor controle da quantidade de água utilizada na moldagem, evitando assim, que parte da água da mistura fosse aderida bela betoneira. A sequência de lançamento dos materiais foi: brita, cimento, ADF e areia convencional. Gradativamente colocou-se água até que o concreto estivesse visualmente com uma boa trabalhabilidade, para então realizar o Slump Test. Primeiramente foi molhado a placa e o molde utilizados no ensaio. Foi posicionado o cone na vertical e então colocado os pés nas aletas para manter o conjunto estável. O volume do tronco de cone foi preenchido em três camadas, aplicando-se 25 golpes a cada. Após retirado o cone lentamente, mediu-se o abatimento que este sofreu. O ensaio transcorreu conforme a NBR NM 67 (1996). O ensaio da trabalhabilidade do concreto está demonstrado na Figura 19.

Figura 19 - Abatimento de tronco de cone

Fonte: Autoria própria (2015)

Ao atingir a trabalhabilidade desejada (90±10) anotou-se a quantidade de água que sobrou e foi recalculado o fator água cimento. Após, foi realizado o ensaio de massa específica (Figura 20) em uma cuba de raio 12cm e altura 20cm (9,047dm³), foram adensados em três camadas de 25 golpes. Sequencialmente iniciou-se a moldagem dos corpos de prova (10x20cm). Antes do adensamento do concreto, foi aplicado uma camada de óleo mineral no molde para o concreto não endurecer e ficar preso. Nesta etapa foi colocado duas camadas com 12 golpes cada. O procedimento é preconizado pela NBR 5738 (2003) e ilustrado na Figura 21.

Figura 20 - Ensaio de massa específica

Fonte: Autoria própria (2015)

Figura 21 - Moldagem dos corpos de prova

Fonte: Autoria própria (2015)

3.4.2 Resistência a compressão e tração por compressão diametral

Após moldados, os corpos de prova foram levados para a câmara úmida (Figura 22) onde permaneceram em hidratação até o tempo de rompimento. Os ensaios de resistência a compressão (Figura 23) e a tração por compressão diametral foram avaliados por meio de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10cm de diâmetro e 20cm de altura. Foram realizados no LEC em prensa normatizada para as idades de 7, 14, 21 e 28 dias. Os corpos de prova foram alocados no centro da prensa, para que sua resultante das forças passa-se pelo eixo da amostra na compressão. O avanço ficou definido em 0,05Mpa/s. O cálculo da resistência a compressão, é extremamente simples, sendo necessário apenas dividir a força de rompimento pela área do corpo de prova (Equação 1), onde: D é o diâmetro e F a força aplicada no momento de ruptura.

Figura 22 - Câmara úmida

Fonte: Autoria própria (2015)

Equação 1 - Resistência a compressão

$$fc = \frac{4 * F}{\pi * D^2}$$

Fonte: ABNT NBR 5739 (2007)

Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão axial

Fonte: Autoria própria (2015)

O ensaio de resistência a tração por compressão diametral (Figura 24) é preconizado pela NBR 7222 (2010), para este ensaio é primeiramente colocado dois pequenos sarrafos em pontos extremos do corpo-de-prova de forma que somente ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas fiquem em contato com os pratos da máquina. O avanço da máquina foi configurado em 0,05Mpa/s, até a ruptura do corpo-de-prova. O resultado é calculado a partir da Equação 2, onde F é a força no momento da ruptura e *D* e *l* são o diâmetro e a altura do corpo-de-prova.

Quadro 4 - Resistência a tração por compressão diametral

$$Ft, D = \frac{2 * F}{\pi * D * l}$$

Fonte: ABNT NBR 7222 (2010)

Figura 24 - Ensaio de resistência a tração por compressão diametral

Fonte: Autoria própria (2015)

3.4.3 Microscopia eletrônica de varredura MEV

O microscópico eletrônico de varredura ou microscópio eletrônico de varrimento, é um tipo de microscópio eletrônico capaz de produzir imagens em alta resolução da superfície da amostra. O MEV tem a característica de produzir imagens em três dimensões e são úteis para avaliar a superfície estrutural de uma amostra.

São emitidos elétrons na amostra o que resulta em elétrons secundários, a leitura desses elétrons permite uma ampliação de até 400mil vezes com a finalidade de observar a microestrutura de pequenas cubos extraídos do concreto.

Pretendia-se fazer a análise da amostra natural, com substituição de 15% de areia de fundição, e com 15% de substituição e redução de ADF e cimento. A Figura 25 demonstra o equipamento utilizado nesse ensaio. Inicialmente é pulverizado finas camadas de ouro (1 e 2) para ocorrer os elétrons secundários. Após isso, é feito a observação no microscópio (3), assim obtém-se a microscopia e a composição química do elemento estudado. Devido a instituição não possuir os equipamentos necessários e a universidade que se pretendia realizar os ensaios estar em greve, não foi possível realizar o planejado.

Figura 25 - Ensaio de microestrutura eletrônica de varredura MEV

Fonte: Lima (2014)

4 RESULTADOS

Para apresentar os resultados e fazer as devidas comparações optou-se em excluir os traços moldados com reduções de 15% de cimento e os que não receberam ADF na mistura. Quando houve a redução de 15% o concreto perdeu trabalhabilidade, ficando difícil de compactar nos corpos de prova. Erroneamente aplicou-se golpes com a colher de pedreiro contra o molde para que o concreto preenchesse os espaços não compactados. Dessa forma o concreto foi adensado mais do que devia e apresentou valores de resistência superiores aos desejados para traços moldados com 15% menos cimento. Neville (2015) afirma que para concretos com baixa trabalhabilidade o ar na mistura pode chegar à 20% do volume total. O autor afirma que a vibração reduz a quantidade de ar na mistura, mudando o arranjos das partículas e elevando a resistência.

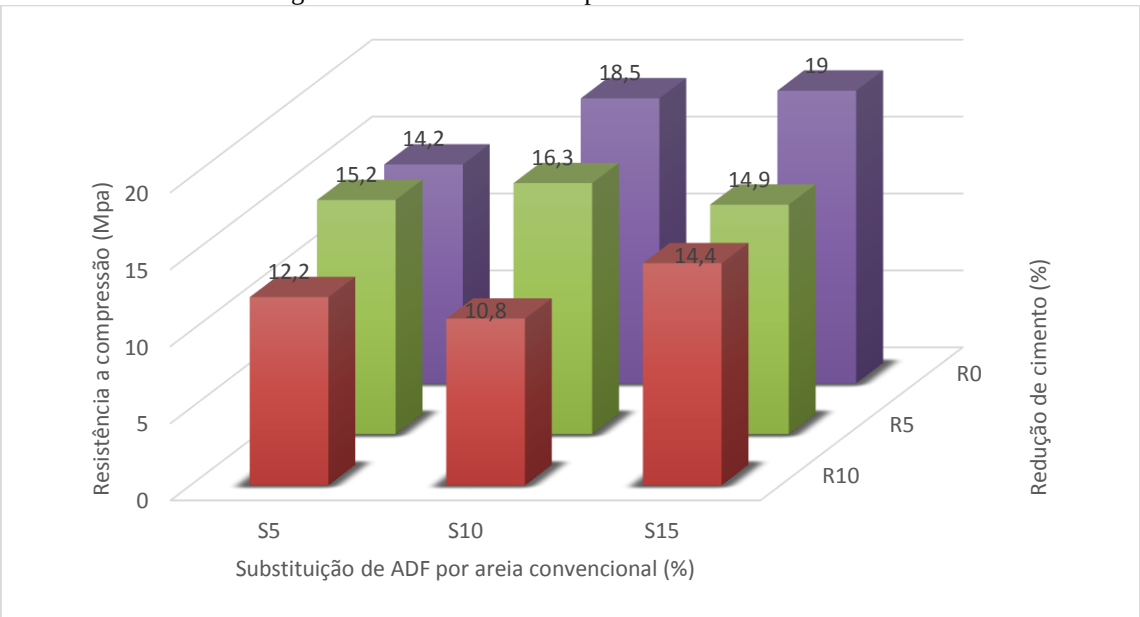
Quanto aos resultados obtidos sem areia de fundição, inclui-se o traço referência, não se sabe ao certo o que pode ter interferido negativamente nos resultados. Uma hipótese é o equívoco no instante das moldagens dos corpos de prova. Mesmo havendo reduções de 5% e 10% de cimento a resistência a compressão axial aumentou gradativamente, algo que não condiz com a literatura pois é sabido que quando em contato com a água o cimento deve auferir resistência mecânica (NEVILLE, 2015). Por tanto, os traços com 0% de adição de ADF e com redução de 15% de cimento foram descartados, passando a ser considerados os restantes para a comparação dos valores obtidos.

Deste modo, optou-se por apresentar os resultados a compressão axial em gráficos de três dimensões para os 7, 14 21 e 28 dias. No eixo das abcissas são apresentados os resultados dos traços sem redução de cimento e com reduções de 5 e 10% respectivamente nas cores roxo, verde e vermelho. Nas ordenadas estão as substituições de 5, 10 e 15% de areia natural por ADF. Em seguida é exposto o Slump Test medido em cada traço, a massa específica do concreto e o consumo de água junto com o fator água cimento recalculado. Por fim, é apresentado os resultados obtidos a tração por compressão diametral.

4.1 Resistência a compressão Axial

A Figura 26 ilustra os resultados obtidos no ensaio de compressão axial para a idade de 7 dias. Percebe-se que os resultados obtidos sem redução de cimento (roxo) obtiveram os melhores resultados, à medida que se reduz 5% (verde) e 10%(vermelho) a resistência decai consideravelmente. Esse acontecimento era esperado, uma vez que o cimento é responsável por dar resistência ao concreto. Não foi encontrado pesquisas semelhantes a esta no tocante da influência da redução de cimento em um traço moldado pelos métodos da ABCP para serem comparados com os resultados aqui obtidos.

Figura 26– Resistência a compressão aos 7 dias de idade

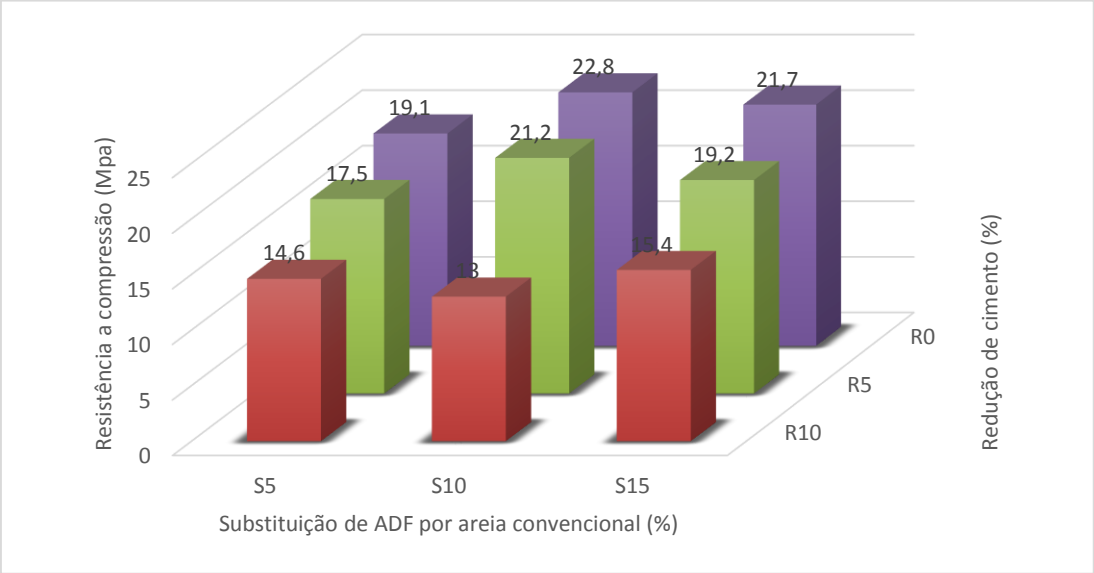


Fonte: Autoria própria (2015)

Os traço R0S10 e R0S15 obtiveram os melhores desempenhos, ficando com 18,5 e 19Mpa aos 7 dias enquanto que R10S10 e R10S5 resultaram em 12,2Mpa e 10,8Mpa respectivamente. Podemos perceber um ganho de resistência nos traços moldados com um maior teor de ADF.

Para a idade de 14 dias (Figura 27) podemos perceber que as constatações feitas anteriormente ficam mais evidentes, principalmente sobre o baixo ganho de resistência obtidos com traços moldados com reduções de 10% de cimento. Quando reduzido 5% de cimento houve uma queda de resistência média de 2Mpa, enquanto que nas reduções de 10% notou-se uma perda de 7Mpa. Através desses dados podemos perceber que a perda de resistência não se comporta linearmente com a redução de cimento.

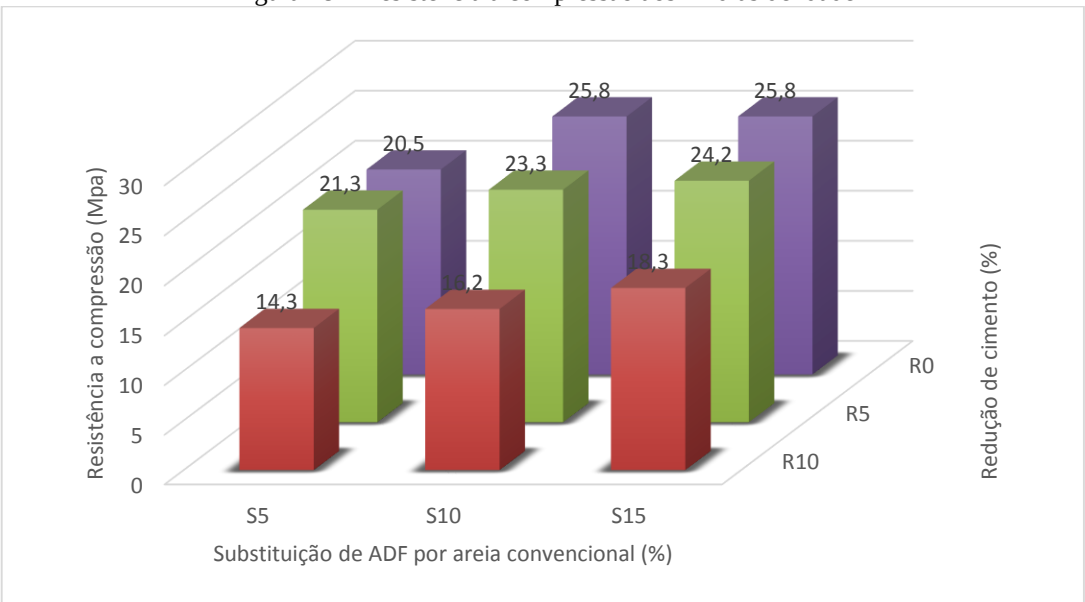
Figura 27– Resistência a compressão aos 14 dias de idade



Fonte: Autoria própria (2015)

Na figura 28 estão os resultados aos 21 dias. Os traços sem redução de cimento e com 10 e 15% de areia de descarte de fundição chegaram a 25,8Mpa enquanto que os moldados com redução de 10% de cimento pouca evolução tiveram entre os 7 e 21 dias. As moldagens realizadas com redução de 5% de cimento mantiveram a resistência próxima dos moldados sem redução, havendo apenas um pequeno decréscimo médio. É possível constatar que reduções de 10% ou mais no cimento prejudicam consideravelmente a resistência do concreto.

Figura 28 – Resistência a compressão aos 21 dias de idade



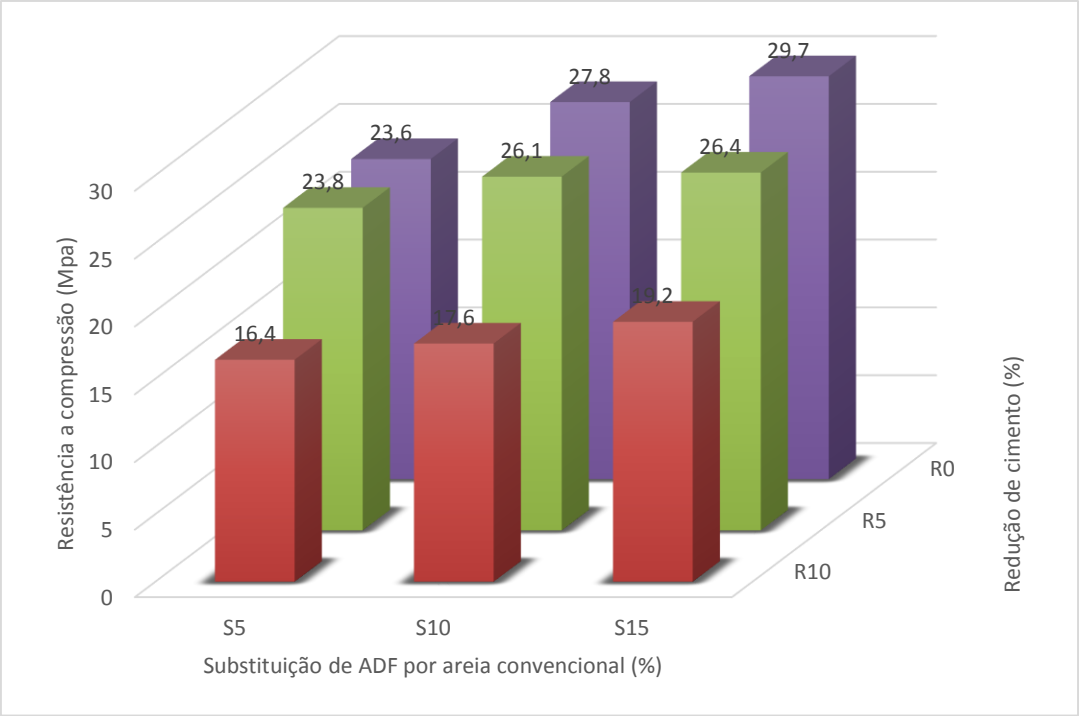
Fonte: Autoria própria (2015)

Aos 28 dias (Figura 29) fica claro o ganho de resistência obtido com maiores teores de ADF, em ambos os três grupos de reduções de cimento os maiores resultados foram obtidos com 15% de substituição de ADF por areia convencional. Os traços R0S15, R5S10 e R10S15 chegaram a respectivamente 29,7, 26,4 e 19,2Mpa.

Lima (2014) em sua pesquisa sobre resíduos realizou substituições de 5 a 50% de areia natural por areia de fundição. Todos os seus traços obtiveram um ganho de resistência, sendo que a substituição de 5% obteve o melhor resultado, elevando a resistência em 28%. Nesse trabalho não se pode comparar o ganho direto pois não houve exatidão no traço referência, contudo foi observado um ganho de resistência maior com substituições de 15% de ADF.

Furquim (2006) *apud* Mehta e Aïtcin (1990) estudaram substituições parciais de cimento Portland por adições minerais e explicam que esse aumento de resistência é causada por efeito físico. Partículas muito pequenas preenchem os espaços vazios e melhoram os efeitos na zona de transição, elevando a resistência do concreto. Essa teoria pode ser confirmada nessa pesquisa pois a ADF obteve um módulo de finura de 1,16 enquanto a areia convencional 1,9.

Figura 29 – Resistência a compressão aos 28 dias de idade



Fonte: Autoria própria (2015)

Na Tabela 9 estão presentes as propriedades do concreto no estado fresco. O Slump Test foi definido entre 8 e 10cm mas em sua maioria obteve-se valores entre 9 e 10cm. Pouca variação foi observada na massa específica real, ficando os valores em torno de 2500kg/m³. O consumo de água foi maior nos traços sem redução de cimento, à medida que se reduzia o cimento uma menor quantia de água era necessária para se atingir o Slump necessário entretanto o quociente entre a água e o cimento aumentou devido a diminuição da quantidade de cimento. Uma possível causa para que o Slump Test tenha alcançado o valor estipulado mas com uma menor quantia de água é o fato de que quando retirado o cimento o concreto perdeu parte de sua coesividade, ficando mais instável e adquirindo consequentemente um abatimento alto.

Tabela 9 – Propriedades do concreto fresco

Propriedades\traço	R0S5	R0S10	R0S15	R5S5	R5S10	R5S15	R10S5	R10S10	R10S15
Slump (cm)	9,5	8,5	9	10	9,5	9,5	9,8	9,5	10
γ real (kg/m³)	*	2556,6	2516,9	2544,5	2526,8	2546,7	2524,6	2537,9	2509,1
Consumo de água (kg)	4,59	4,5	4,64	4,49	4,48	4,48	4,47	4,43	4,45
a/c recalculado	0,53	0,52	0,53	0,54	0,54	0,54	0,57	0,57	0,57

*Ausência de medição

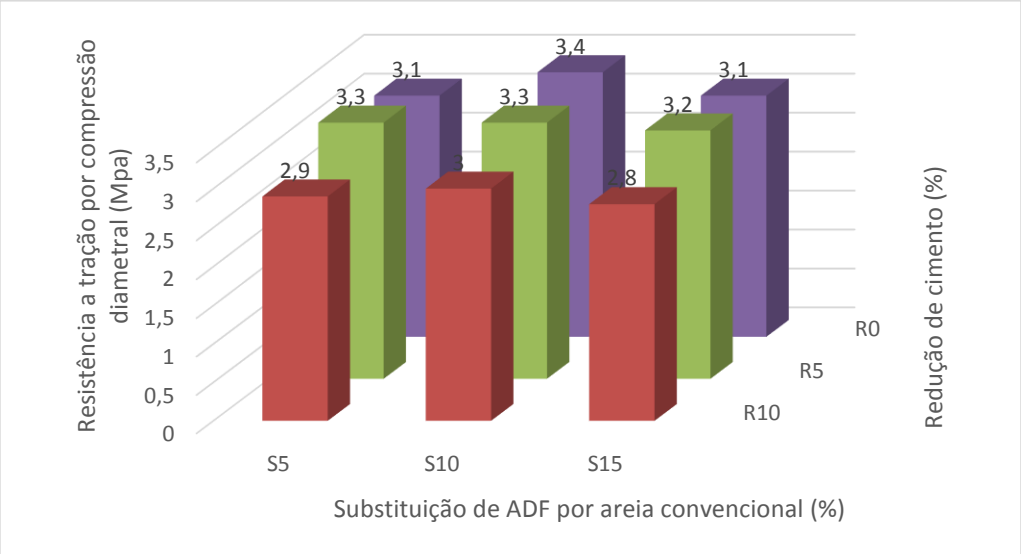
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2 Resistência a tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado somente aos 28 dias. Na Figura 30 estão dispostos os resultados seguindo o mesmo padrão dos resultados a compressão. Podemos perceber que houve pouca variação nos resultados obtidos. Os valores encontrados para os traços ficaram entre 2,8Mpa (R10S15) e 3,4Mpa (R0S10).

Da mesma forma que nos ensaios de compressão os resultados sem redução de cimento e com reduções de 5% ficaram muito próximos, enquanto que com redução de 10% houve uma maior perda de resistência. Esse dado condiz com os resultados a compressão axial e corrobora para a ideia de que 10% de redução de cimento se torna muito prejudicial ao concreto

Figura 30 – Resistência a tração por compressão diametral aos 28 dias



Fonte: Autoria própria (2015)

5 CONCLUSÃO

Como não houve exatidão em alguns traços, incluindo o referência, base para as comparações, não se pode ter noção do real ganho de resistência que a areia de descarte de fundição proporcionou nas amostras. O correto seria refazer tais traços para então os dados serem confrontados. Visto que é um Trabalho de Conclusão de Curso e que há a exigência de um prazo para ser entregue, não se pode repeti-los devido ao tempo exíguo.

Considerando que também é objetivo deste trabalho questionar a possibilidade da diminuição do insumo cimento em vista do aumento da resistência que a substituição de areia natural por ADF proporciona ao concreto, pode-se concluir que o traço com redução de 5% de cimento e substituição de 15% de areia convencional por ADF (R5S15) apresenta resultados melhores do que um traço sem redução de cimento e com 5% de ADF (R0S5), Figura 29. Trazendo assim, ganhos econômicos e ambientais.

Levando em conta o quesito ambiental, o traço R5S15 pode reaproveitar uma quantia de 15% da ADF, o que em valores de consumo, corresponde a reutilização de aproximadamente 9kg de ADF a cada um metro cúbico de concreto. Visto que a ADF é proveniente da Santo Ângelo, e que a empresa vê necessidade de se desfazer dela, pressupõem-se que o seu custo será menor do que a areia aluvial provinda de Santa Maria, hoje a mais barata no mercado e que associada a redução de 5% de cimento torne a produção de concreto menos onerosa.

Para o ensaio a tração por compressão diametral do traço citado, pode se concluir, que este também possuí boas características mecânicas, atingindo a força de 3,2Mpa na ruptura. Valor próximo do máximo encontrado nas amostras estudadas.

Como é sabido que a produção de cimento é uma das grandes responsáveis pelos gases poluentes lançados na atmosfera(NEVILLE, 2015), a possibilidade de se poder reutilizar tal resíduo dos processos de fundição no traço citado anteriormente também pode ser justificado pela diminuição da pegada de carbono gerada por esse setor. No mesmo âmbito, ocorreria a diminuição da exploração das jazidas de areia, visto que se estará reutilizando uma parcela de um resíduo que é originalmente destinada a aterros industriais.

REFERÊNCIAS

ADEGAS, R. G.; BERNARDES, A. M. Avaliação do gerenciamento das areias geradas nas fundições de ferro do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **fepam em revista**, Porto Alegre, v. 2, p. 34, jan./dez. 2008.

ALVES, B. S. Q. **Estudo da viabilidade ambiental da reutilização das areias de descarte de fundição**. 2012. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico do concreto**. São Paulo: [s.n.], 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto**. São Paulo: ABCP, 2013. Disponível em: < http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto>. Acessado em 28 de outubro, 2015.

_____. **A versatilidade do cimento brasileiro.** São Paulo: ABCP, 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro>. Acessado em 30 de outubro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **Anuário**. São Paulo: [s.n.], 2014. 217 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779:** argamassa e concreto enturecidos - determinação de absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: [s.n.], 1995. 3 p.

_____. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 4 p.

_____. **NBR NM 43**: Cimento portland – determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 17 p.

_____. **NBR NM 65**: Cimento portland – determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 6 p.

_____. **NBR NM 67**: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 11p.

_____. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 6 p.

_____. **NBR 7217**: Agregados para concreto – especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 5 p.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassas – determinação da

_____. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 3 p.

_____. **NBR 9776**: Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 8 p.

_____. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 77 p.

_____. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 16 p.

_____. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 3 p.

_____. **NBR 11579**: Cimento portland – determinação da finura por meio da peneira 75µm. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 5 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**: novos materiais para a construção civil. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

BIOLO, S. M. **Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 162 f. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/594>. Acesso em: 03 de novembro 2015.

MELLO, O. J. **Estudo da viabilidade da reutilização de resíduos de areia verde de fundição em argamassa colante enfoque ambiental**. 2004. 160 p. Experimental (Mestrado no curso de

Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade Regional de Blumenau, 2004, Blumenau.

CARMEZ, J.; CAMARGO, R. X.; DINI, C. R. **Frente parlamentar de apoio a mineração:** Relatório I. São Paulo: [s.n.], 2009. 84 p.

ECIVIL, **Clínquer**. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-clinquer.html>. Acesso em: 20 de outubro 2015

FURQUIM, P. R. V. **Estudo estatístico de produção de concretos com adições minerais**. 2006. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2016.

GHISLENI, G. **Estudo da viabilidade na reutilização de areia de fundição na produção de blocos de concreto**. Ijuí: UNIJUÍ, 2014. 98 f.

IBRACON. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e Construções**, São Paulo, p,14-10, jan./mar. 2009

KELM, T. A. **Análise da resistência e microestrutura em concretos com substituição parcial de cimento por microssílica de cinza de casca de arroz**. [S.l.]: [s.n.], 2011. 56 p.

LIMA, G. T.S. **Análise de resistência e microestrutura em concretos com substituição parcial de areia natural por areia de fundição.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Ijuí, 2014.

LIMA, G S.; AMARAL, M.; GHISLENI, G.; PUFAL, L.; POZZOBON, C. E.; DONATO, L. **Estudo da utilização de areia de fundição em blocos de pavimentos intertravados**. In: SALÃO DO CONHECIMENTO, 21, 2013, Ijuí. Anais. Ijuí: Ed. Unijuí, 2013. 4 p. Disponível em: < https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/viewFile/1945/1610>. Acesso 05 novembro 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

MÖNNINF, E.; LEONHARDT, F. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 305 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Técnico 61:** Perfil da fundição. Brasília: [s.n.], 2009. 41 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 390 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 888 p.

PEREIRA, R. L. et al. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas**. São Paulo: Congresso, 2005. 10 p.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Globo S. A., 1978 307 p.

RESDIL. **Tipos de cimento**. [s.l.], 2013. Disponível em: <http://resdil.com.br/tipos-de-cimento/>. Acesso em: 29 de outubro 2015

SANTOS, M. R. G. D. **Deterioração das estruturas de concreto armado:** estudo de caso. Belo Horizonte: UFMG, 2012. 109 p. Disponivel em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/88.pdf>. Acesso em: 12 maio 2015.

SOARES, G. D. A. **Fundição:** mercado, processos e metalurgia. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. 53 p.

APÊNDICE A

Método de dosagem ABCP

Caracterização dos materiais

Concreto	Cimento	Areia	Brita
25Mpa	CP IV 32 RS	γ=2600kg/m³	γ=2930kg/m³
Abat. 90±10mm	γ=2840kg/m³	δ=1530kg/m³	δ=1690kg/m³
		MF=1,9	Dmáx=19mm

γ = massa específica, δ = massa unitária solta, MF= módulo de finura

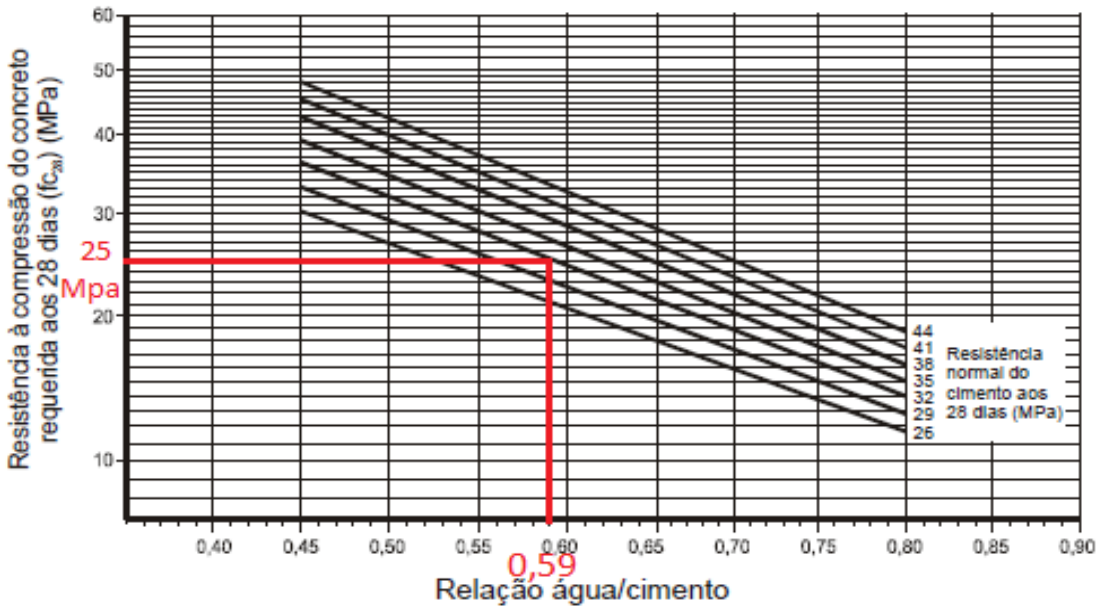
$$Fcj=Fck+1,65xSd$$

$$Fcj=20+1,65x3$$

$$Fcj=25Mpa$$

Determinação do fator água/cimento

Curva de Abrams



Determinação do consumo de água (Ca)

Consumo de água aproximado (l/m³)					
	Dmáx aagado graúdo (mm)				
Abatimento (mm)	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	**205**	200	195	190

Consumo determinado de 205 litros por metro cúbico.

Determinação do consumo de cimento (Cc)

$$a/c = \frac{Ca}{Cc}$$

$$0{,}59 = \frac{205}{Cc}$$

$$Cc = 347{,}46Kg$$

Determinação do consumo de agregado graúdo (Cb)

MF	Diâmetro Máximo Agregado Graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	**0,77**	0,795	0,82	0,845
2	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
m3	0,525	0,65	0,675	0,7	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

$$Cb = 1690 \text{ x } 0{,}770$$

$$Cb = 1301{,}3Kg$$

Determinação do consumo de agregado miúdo (Cm)

$$Vm = 1 - (Cc + Cb + Ca)$$

$$Vm = 1 - \left(\frac{347{,}46}{2840} + \frac{1301{,}3}{2930} + \frac{205}{1000}\right)$$

$$Vm = 0{,}23m^3$$

$$Cm = 0{,}23 \text{ x } 2600 = 598kg$$

Determinação do traço

Cimento : Areia : Brita : Água

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Cm}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : \frac{Ca}{Cc}$$

$$1 : \frac{598}{347{,}46} : \frac{1301{,}3}{Cc347{,}46} : \frac{205}{347{,}46}$$

$$1 : 1{,}72 : 3{,}75 : 0{,}59$$