

Yagho Lyonel Rosa Silva

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO COMO
SUBSTITUIÇÃO DE PARCELA DOS AGREGADOS FINOS EM DOSAGENS DE
CONCRETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade de
Santa Cruz do Sul - UNISC, na área de Estudo de
Materiais.

Orientador: Prof. M. Eng. Marco Antônio
Pozzobon.

Santa Cruz do Sul

2017

Yagho Lyonel Rosa Silva

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO COMO
SUBSTITUIÇÃO DE PARCELA DOS AGREGADOS FINOS EM DOSAGENS DE
CONCRETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade de
Santa Cruz do Sul - UNISC, na área de Estudo de
Materiais.

Prof. M. Eng. Marco Antônio Pozzobon

Professor Orientador - UNISC

Santa Cruz do Sul

2017

“Porque dele e por meio dele e para ele são todas as coisas. A ele, pois, a glória eternamente. Amém.”

Romanos 11,36

Agradecimentos

Acima de tudo agradeço ao senhor meu Deus ao qual tem me sustentado e guardado com inescrutável amor todos os dias de minha vida, ao enviar seu filho amado por amor de mim.

A minha amada mãe Midian Silva que sempre desprende todas as suas forças para auxiliar em minha jornada de vida e acadêmica, esta que tem sido meu pilar e exemplo de dedicação e persistência, a qual tenho orgulho de ter como mãe e amiga.

O meu querido pai Dimas Silva que sem medir esforços sempre me sustentou e auxiliou nos momentos mais difíceis, este que tem sido meu exemplo de vida e força, ao qual sou grato em ter como exemplo de homem e pai sábio.

A minha esposa Daniela Silva que me sustentou com seu amor e compreensão nos momentos mais difíceis e desanimadores me animando e vivendo ao meu lado todos os momentos de minha pesquisa, as vezes sem compreender mas me incentivando de uma forma que ninguém mais poderia me incentivar, me acalmando nos momentos que queria jogar tudo para o alto e me pondo no eixo nos momentos de euforia.

Aos meus avós maternos e paternos que mesmo sem compreender o assunto de minha pesquisa sempre me incentivaram a ir mais além do que outros já foram.

Aos meus primos que sem medir esforços sempre me auxiliaram no que fosse necessário mesmo sem pedir eles me amparavam em momentos difíceis de minha pesquisa

Ao meu orientador Marco Pozzobon que incansavelmente abraçou a ideia de minha pesquisa e me incentivou a expandir os horizontes desta através dos seus valiosos ensinamentos.

Ao meu irmão de fé e amigo Heitor da Rosa que viabilizou junto a Metalúrgica Venâncio o acesso para que pudesse coletar as amostras de areia para ensaio, bem como me incentivado a buscar mais.

A laboratorista e amiga Lidiane Kist que em todos os momentos me auxiliou nos ensaios e me incentivou a pesquisar outras aplicações sobre o assunto estudado.

A professora Camila Craus pelas dicas e ensinamentos passados sobre possibilidades de pesquisas futuras com areia de fundição.

Aos funcionários do laboratório de estruturas da UNISC que sempre se mostraram dispostos a auxiliar meus ensaios.

Aos laboratoristas e bolsistas do laboratórios de resíduos do curso de engenharia ambiental pelo auxílio com os ensaios de periculosidade.

A equipe do departamento acadêmico do curso de engenharia civil que sempre solicita resolveu as necessidades de ensaios auxiliares de minha pesquisa.

Ao coordenador do curso de engenharia civil Leandro Nervis que sempre se mostrou solícito para minhas necessidades.

Aos colegas de graduação que compartilharam da minha experiência sempre com votos de apoio para realização de minha pesquisa.

Resumo

A atividade industrial, que tem gerado emprego e produzido bens, também tem gerado resíduos com um potencial de prejudicar a saúde pública e/ou o meio ambiente. No cenário brasileiro, a areia de descarte de fundição (ADF) representa um dentre tantos resíduos industriais que mais gera volume de descarte. Conforme a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) são geradas cerca de três milhões de toneladas/ano. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) este resíduo pode ser classificado como Classe I ou Classe II-A, conforme as matérias primas da mistura, o que determina sua periculosidade ou não. A busca por meios adequados de reaproveitamento das ADF, além de ajudar a reduzir sua disposição em aterros, também é possibilidade de gerar economia com a substituição parcial deste insumo nos processos que utilizam areia natural, tais como a produção de concreto. Isto levaria a redução da necessidade de extração de areia natural, bem como, redução do custo na produção de concreto, além de que reduziria os custos com o transporte da areia natural da sua extração até sua utilização. Vários usos são opções de reaproveitamento das ADF. O presente estudo aponta o uso da ADF como substituição parcial do agregado miúdo, substituindo parte da areia natural na produção de concreto. Com isso uma solução que pode minimizar o descarte de ADF em aterros industriais, e ajudar a poupar recursos naturais que não seriam extraídos para a fabricação de concreto. A ADF utilizada neste estudo foi obtida na indústria de fundição Metalúrgica Venâncio LTDA, da cidade de Venâncio Aires - RS, Brasil. A ADF e os demais agregados e aglomerantes do concreto foram caracterizados em laboratório, por meio de análises físicas e granulométricas. Para análise da influência do uso da ADF no concreto, foram moldados corpos de prova com substituição de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 50% da massa de areia natural, pela areia de descarte de fundição. As propriedades avaliadas foram tanto para o concreto no estado fresco, por meio do “*slump test*”, como no concreto endurecido, por intermédio dos ensaios de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade. Os resultados demonstraram que o uso da ADF como agregado miúdo, substituindo parte da areia natural, na produção de concreto é viável tecnicamente, e que substituição de 20% apresentam os melhores ganhos de resistência no ensaio à compressão e no ensaio de módulo de elasticidade. Como um dos objetivos do estudo é apontar caminhos para a diminuição do volume de descarte, o teor que apresenta melhor desempenho é o de 20%.

Palavras-chave: Areia de Fundição, Reutilização de ADF, Concreto.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Produção anual de fundidos no Brasil entre os anos de 1970 e 2009. | 12 |
| Figura 2 – Projeção da produção brasileira de fundidos (em mil toneladas). | 13 |
| Figura 3 – Agregado miúdo..... | 17 |
| Figura 4 – Agregado graúdo..... | 18 |
| Figura 5 – Curva de Abrams..... | 27 |
| Figura 6 - Efeito dos resíduos de areia de fundição no comportamento do concreto..... | 31 |
| em estado fresco – <i>Slump</i> Test. | 31 |
| Figura 7 - Efeito dos resíduos de areia de fundição na resistência à compressão e no módulo de elasticidade..... | 32 |
| Figura 8 – Areia de descarte de fundição no frasco de Chapman para obtenção da massa específica. | 38 |
| Figura 9 – Areia natural no frasco de Chapman para determinação da massa específica. | 38 |
| Figura 10 – Balança hidrostática para obtenção da massa específica dos agregados graúdos. | 40 |
| Figura 11 – Amostra de cimento a ser ensaiada no frasco de Le Chatelier..... | 41 |
| Figura 12 –Corpos de prova moldados e identificados aguardando a cura inicial. | 44 |
| Figura 13 – Verificação do abatimento pelo ensaio de abatimento de tronco de cone “ <i>slump test</i> ”. | 44 |
| Figura 14 – Corpos de prova desmoldados e identificados prontos para a cura em imersão. | 45 |
| Figura 15 – Corpos de prova postos a cura em imersão. | 46 |
| Figura 16 – Corpo de prova retificado pronto a ser ensaiado a compressão axial. | 47 |
| Figura 17 – Equipamento de ensaio a compressão..... | 47 |
| Figura 18 – Equipamento de agitação para obtenção do extrato lixiviado..... | 49 |
| Figura 19 – Extrato lixiviado sendo filtrado após agitação. | 49 |
| Figura 20 – Argamassa com 100% de ADF. | 50 |
| Figura 21 – Argamassa com 100% de areia natural | 51 |
| Figura 22 – Corpos de prova de argamassa moldados. | 52 |
| Figura 23 – Cura dos corpos de prova de argamassa em imersão. | 52 |
| Figura 24 – Corpos de prova capeados e identificados para ensaio de compressão axial..... | 53 |
| Figura 25 – Corpo de prova de argamassa sendo ensaiado e após o ensaio a compressão axial. | 53 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Series de peneiras normais e intermediarias..... | 24 |
| Tabela 2 – Códigos dos teores de substituição e tempos de cura do concreto. | 45 |
| Tabela 3 – Tempos de cura e tolerâncias de tempo de rompimento do concreto..... | 46 |
| Tabela 4 – Traço unitário de argamassa utilizado. | 51 |
| Tabela 5 – Composição granulométrica da areia de descarte de fundição..... | 54 |
| Tabela 6 – Massa específica da areia de descarte de fundição..... | 55 |
| Tabela 7 – Composição granulométrica da areia natural. | 55 |
| Tabela 8 – Massa específica da areia natural. | 55 |
| Tabela 9 – Massa específica e demais dados aferidos da brita 0..... | 56 |
| Tabela 10 – Composição granulométrica da brita 0. | 57 |
| Tabela 11 – Massa específica e demais dados aferidos da brita 1..... | 57 |
| Tabela 12 – Composição granulométrica da brita 1. | 58 |
| Tabela 13 – Determinação da massa específica do cimento. | 58 |
| Tabela 14 – Traços unitário e em massa das substituições utilizadas. | 59 |
| Tabela 15 – Abatimento do concreto em estado fresco, aditivo e água de cada substituição. . | 59 |
| Tabela 16 – Resistências obtidas por cada substituição nas idades de ensaio..... | 60 |
| Tabela 17 – Percentual de acréscimo de resistência entre as idades de cura..... | 61 |
| Tabela 18 – Resultados e comparação com limites normativos do extrato lixiviado..... | 64 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Comparativo de resistência por idade. | 61 |
| Gráfico 2 – Módulo de elasticidade segundo ABNT NBR 8522 e NBR 6118. | 63 |
| Gráfico 3 – Comparativo de resistência da argamassa entre idades..... | 65 |
| Gráfico 4 – Comparativo do percentual de acréscimo de resistência da argamassa. | 65 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo A – Modelo de relatório de rompimento dos ensaios. | 71 |
| Anexo B –Ficha técnica do cimento utilizado..... | 72 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR Normas Brasileiras

NM Norma MERCOSUL

UNISC Universidade de Santa Cruz do Sul

ADF Areia de descarte de fundição

MME Ministério de minas e energia

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 1.1 | Área..... | 8 |
| 1.2 | Limitação do tema | 8 |
| 1.3 | Problema da pesquisa..... | 8 |
| 1.4 | Objetivos..... | 9 |
| 1.4.1 | Objetivo geral..... | 9 |
| 1.4.2 | Objetivo específico | 9 |
| 1.5 | Justificativa | 9 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 2.1 | Definição de resíduos sólidos | 11 |
| 2.2 | Classificação de resíduos sólidos | 11 |
| 2.3 | Fundição | 12 |
| 2.3.1 | Processos de fundição | 12 |
| 2.3.2 | A indústria nacional de fundição..... | 12 |
| 2.3.3 | Perspectiva do setor de fundição | 13 |
| 2.4 | Areia de fundição..... | 13 |
| 2.4.1 | Tipos de areia de fundição | 14 |
| 2.5 | Areia descartada de fundição – ADF | 15 |
| 2.5.1 | Classificação quanto a periculosidade da ADF..... | 16 |
| 2.5.2 | Volume do resíduo de ADF gerado no Brasil..... | 16 |
| 2.6 | Agregados utilizados no concreto..... | 16 |
| 2.6.1 | Agregados graúdos | 19 |
| 2.6.2 | Agregados miúdos..... | 19 |
| 2.6.3 | Propriedades dos agregados | 20 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 2.7 | Cimento..... | 25 |
| 2.7.1 | Cimento Portland Composto | 25 |
| 2.8 | Pozolana..... | 26 |
| 2.9 | Água | 26 |
| 2.10 | Concreto..... | 27 |
| 2.10.1 | Definição | 28 |
| 2.10.2 | Propriedades do concreto..... | 28 |
| 2.11 | Uso de areia de fundição em concreto..... | 31 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 36 |
| 3.1 | Caracterização da pesquisa | 36 |
| 3.2 | Materiais utilizados na pesquisa..... | 36 |
| 3.2.1 | Agregados | 36 |
| 3.2.2 | Cimento..... | 40 |
| 3.2.3 | Adição | 41 |
| 3.2.4 | Aditivo..... | 41 |
| 3.2.5 | Água | 42 |
| 3.3 | Procedimento experimental | 42 |
| 3.3.1 | Concreto..... | 42 |
| 3.3.2 | Argamassa | 50 |
| 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 54 |
| 4.1 | Caracterização dos materiais utilizados | 54 |
| 4.1.1 | Agregados | 54 |
| 4.1.2 | Cimento..... | 58 |
| 4.2 | Concreto..... | 58 |
| 4.2.1 | Traço experimental utilizado..... | 58 |
| 4.2.2 | Análise do concreto em estado fresco..... | 59 |
| 4.2.3 | Ensaio de compressão axial do concreto | 60 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 4.2.4 | Ensaio de módulo de elasticidade do concreto | 62 |
| 4.2.5 | Ensaio de lixiviação do concreto..... | 63 |
| 4.3 | Argamassa | 64 |
| 4.3.1 | Ensaio de compressão axial da argamassa | 64 |
| 5 | CONCLUSÃO | 66 |
| 5.1 | Conclusões | 66 |
| 5.2 | Sugestões para trabalhos futuros | 67 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 68 |
| 7 | ANEXOS..... | 71 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Área

O presente trabalho foi desenvolvido na área de estudo dos materiais, mais especificamente no assunto que tange a utilização de areia de descarte de fundição na substituição parcial dos agregados finos em dosagens de concretos.

1.2 Limitação do tema

Através da análise de adições parciais de areia de descarte de fundição como parcela dos agregados finos em dosagens de concretos o presente trabalho se limitou a analisar o comportamento do concreto resultante deste tipo de adição através de ensaios de compressão axial, a fim de validar sua utilização na construção civil.

1.3 Problema da pesquisa

O desenvolvimento sustentável de processos de produção industrial se tornou um dos temas mais abordados por pesquisadores e instituições de pesquisa de sistemas sustentáveis. Com o avanço dos processos industriais e tecnologias, e sua nocividade com o meio ambiente se tornado cada vez mais exponencial e prejudicial, devido aos grandes volumes de resíduos gerados pela alta demanda de produção, tem feito com que os órgãos de fiscalização e controle restringissem cada vez mais o descarte famigerado de resíduos, incentivando as empresas a buscarem novos caminhos e técnicas de tratamento de seus resíduos.

Tendo como foco o crescente interesse da sociedade em suavizar os danos provocados ao meio ambiente, esse trabalho tem como ponto central analisar e propor um destino adequado e viável tecnicamente e economicamente para um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção no Brasil: a areia de descarte de fundição (ABIFA, 2012).

Anualmente os volumes gerados são de grande proporção no cenário nacional, os volumes giram em torno de 3 milhões de toneladas de resíduo, grande parte deste volume gerado é depositado em aterros industriais enquanto uma pequena parcela é reutilizada e reintroduzida na própria cadeia de produção de fundidos ou em outros processos industriais (ABIFA, 2017).

Na mesma vertente do cenário de produção de resíduos sólidos (ADF), a produção média de areia de fundição gerada pela Metalúrgica Venâncio, Venâncio Aires – RS, é cerca de 240

toneladas por mês. Isso resulta em grandes custos de transporte e destinação adequada deste material, ao qual é feito por empresa especializada na cidade de Gravataí – RS, em decorrência dos grandes custos de implantação de um aterro para deposição deste material e da qualidade do processo de manuseio da areia de fundição utilizado que chega a reutilizar no processo de fundição um percentual de 95% de areia reutilizada, a empresa opta por destinar a areia de descarte de fundição para ser descartada por empresa especializada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento técnico da substituição de areia natural por areia de descarte de fundição como agregado miúdo na dosagem de concreto para futura produção em usinas de concreto.

1.4.2 Objetivo específico

- Caracterizar a areia de fundição (ADF);
- Avaliar a sua utilização em concretos plásticos;
- Possível aplicação da areia de fundição em usinas de concreto e comparação com os resultados obtidos em laboratório;
- Classificar o concreto com areia de descarte de fundição de acordo com sua periculosidade frente a norma reguladora;
- Avaliar as interações de elementos presentes na areia de fundição com os demais constituintes do concreto;

1.5 Justificativa

Com as estimativas de produção média de concreto de empresa da região comparadas com a produção mensal de areia de fundição gerada pela Metalúrgica Venâncio, é possível considerar aplicações possíveis para este material, tais como: agregado miúdo para produção de blocos de concreto em indústrias de pré-moldados e, também, em substituição a areias finas na produção de concreto em usina. As areias finas utilizadas nestes tipos de empresa são oriundas de extração dos rios da região. Como a areia de fundição apresenta granulometria estável se mostra como um potencial substituto das areias finas utilizadas atualmente.

Se considerarmos quantidades médias de produção podemos chegar aos seguintes comparativos: cada metro cúbico de concreto plástico dosado em central consome cerca de 1

tonelada de areia fina, se substituirmos 10% desta quantidade de areia por areia de descarte de fundição, somente esta aplicação parcial para toda quantidade de areia de fundição produzida pela Metalúrgica Venâncio, mensalmente, poder-se-ia produzir cerca de 2400 m³ de concreto. Esse consumo é facilmente atingido por usinas de concreto de porte médio da região do vale do Rio Pardo e Taquari, que segundo dados fornecidos pela empresa Conpasul, referente a unidade de Venâncio Aires, comercializam cerca de 2000 a 2500 m³ de concreto ao mês.

Diante das considerações e números apresentados constata-se a viabilidade da comercialização e aplicação da areia de fundição, tanto em concretos plásticos dosados em usina quanto em fábricas de pré-moldados como blocos de concreto e pavers. Essa destinações da areia de fundição podem não somente reduzir os volumes destinados a aterros que podem contaminar o meio ambiente como agregar valor a esse resíduo industrial que até então gera somente custos na maior parte de sua utilização.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definição de resíduos sólidos

A norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004), assim como a Resolução do CONAMA 313/02 (BRASIL, 2002), definem resíduos sólidos, como aqueles em estados sólidos ou semissólidos que resultam de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição. São anexados nestas definições, os lodos oriundos de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em instalações de controle de poluição, bem como líquidos específicos, cujas particularidades inviabilizem o seu lançamento em redes públicas de esgoto ou corpos de água, ou ainda, que para este lançamento solicitem tratamentos e soluções inviáveis do ponto de vista técnico e econômico, mesmo se tangenciado pela melhor tecnologia disponível.

Como caracteriza a Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Art. 3º, Inciso XVI, os Resíduos Sólidos são considerados qualquer material, substância, objeto ou bem descartado oriundo de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido (BARROS, 2012)

2.2 Classificação de resíduos sólidos

Segundo classificação da NBR 10.004 (ABNT, 2004) se enquadram na classe de resíduos perigosos os resíduos que apresentem características que possam proporcionar risco a saúde dos seres humanos ou gerem riscos ao meio ambiente quando administrados de maneira a impropria.

No Brasil, os resíduos sólidos obedecem as seguintes normas, conforme ABNT (2004):

- NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação
- NBR 10.005 – Lixiviação de Resíduos
- NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos Sólidos
- NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos

Conforme classificação normatizada na NBR 10.004 (ABNT, 2004), a areia de fundição excedente do processo de fundição na maioria dos casos se enquadra geralmente, nas classes 1 e 2 – A (não perigosa e livre de qualquer material estranho do processo que foi submetida que modifique suas características), devido a presença de ligantes químicos e metais na sua composição (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999 apud PINTO, 2013).

2.3 Fundição

2.3.1 Processos de fundição

Diversas características do material fundido dependem do processo de fundição utilizado para vazarem o mesmo, tais como o grau de precisão dimensional, o acabamento e as propriedades mecânicas que se deseja alcançar na peça a se fabricar (CASOTTI et al, 2011).

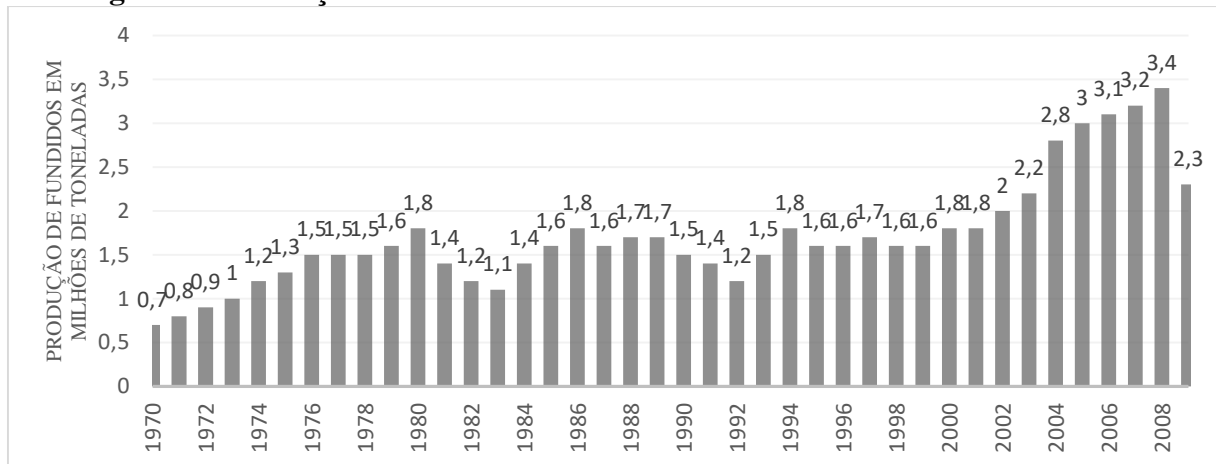
No Brasil o método mais tradicional para fundir metais ferrosos é aquele que se utiliza de moldes em areia verde. Por sua simplicidade tecnológica, baixo custo e facilidade de recuperação da areia é o mais utilizado no cenário nacional (CASOTTI et al, 2011).

2.3.2 A indústria nacional de fundição

O Brasil figura na sétima posição do ranking mundial de maiores produtores de peças fundidas, com 3 milhões de toneladas anuais de peças fabricadas. Em todo cenário nacional da indústria de fundição são gerados aproximadamente 60 mil empregos direto pela indústria de fundição brasileira (CASOTTI et al, 2011).

Conforme ilustra a figura 1, a produção nacional de fundidos teve um crescimento vertiginoso entre os anos de 1970 e 1980. Porém, durante duas décadas, entre 1980 e 2000, o volume de fundidos se manteve estável em um patamar médio de quantidade de fundidos. Esta estabilidade na quantidade de fundidos se deu principalmente em decorrência da falta de investimento em infraestrutura em decorrência da dívida externa do país que havia aumentado (CASOTTI et al, 2011).

Figura 1 – Produção anual de fundidos no Brasil entre os anos de 1970 e 2009.



Fonte: Adaptado de ABIFA, LAFIS e IPEADATA *apud* Casotti *et al.* (2011)

No período entre 1990 e 2008 o cenário nacional experimentou um crescimento médio anual de 4,2% no consumo total de fundidos (BRASIL - MME, 2009).

Novamente o cenário nacional amargou uma queda na produção de fundidos no ano de 2009, esta queda foi em decorrência de uma crise financeira mundial, que refletiu no cenário nacional com uma queda de 30% em relação a produção de 2008, a quantidade de fundidos produzidos se mostrou igual à quantidade produzida em 2003 (CASOTTI et al, 2011).

2.3.3 Perspectiva do setor de fundição

A ABIFA projeta um crescimento sólido e consistente para o setor no Brasil, com perspectiva bem abrangente com crescimento em uma faixa grande de prazo, para isto a indústria deverá investir de forma eficaz no aumento de sua capacidade produtiva para alcançar as metas descritas pela ABIFA (CASOTTI et al, 2011).

De acordo com o MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2009) apud PINTO,2013, ao analisar três cenários de projeção da economia e do consumo de fundidos, o cenário médio de consumo e produção de fundidos no Brasil terá a seguinte projeção, como ilustrado na figura 2:

Figura 2 – Projeção da produção brasileira de fundidos (em mil toneladas).

| Discriminação | 2008 | 2009 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| CONSUMO PROJETADO (pelo cenário médio) | 2724 | 2261 | 2339 | 3212 | 4580 | 6842 | 10440 |
| % ao ano | | -17% | 3,40% | 6,50% | 7,40% | 8,40% | 8,80% |
| per capita(kg) | | 11,4 | 11,7 | 15,4 | 21,2 | 31 | 46,3 |
| PRODUÇÃO PROJETADA (pelo cenário médio) | | | | | | | |
| MERCADO INTERNO | 2741 | 2261 | 2339 | 3212 | 4580 | 6842 | 10440 |
| EXPORTAÇÃO | 614 | 443 | 585 | 906 | 1368 | 2281 | 3480 |
| TOTAL PRODUÇÃO | 3355 | 2704 | 2924 | 4118 | 5948 | 9123 | 13920 |
| % EXPO/PRODUÇÃO | 18,3% | 16,4% | 20% | 22% | 23% | 25% | 25% |
| PREMISSAS OU METAS SETORIAIS DA ABIFA | | | | | | | |

Fonte: Adaptado de Ministério de minas e energia (2009) apud PINTO, 2013.

2.4 Areia de fundição

Areia de fundição ou AF em sua forma abreviada, se constitui de um produto criado pela mistura de alguns elementos. O componente principal e mais abundante na mistura é a “areia de base”, que é essencialmente constituída de sílica (óxido de silício – SiO₂), de formato sub-angular, com tamanhos de grão que variam entre 0,15mm e 0,6mm (SIDDIQUE E SINGH, 2011; SINGH E SIDDIQUE, 2012).

Além da “areia de base” também são incluídos na mistura pó de carvão, bentonita e água. Bentonita se caracteriza como um silicato de alumina hidratado, constituído por lamelas e que contem em sua composição molecular silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio (PEREIRA et al, 2005).

Os componentes da areia de fundição apresentam funções bem definidas dentro da mistura dos mesmos: a areia de sílica é a porção mais resistente ao calor que o molde é exposto, a bentonita ou argila bentonítica é a porção ligante que une os grão de areia do molde, a água serve para ativar as propriedades ligantes da bentonita e dá plasticidade a mistura para ser prensada no formato desejado o carvão e suas parcelas carbonáceas evitam que a peça fundida se una a superfície de vazamento do molde onde o metal á vazado. Os demais ingredientes e subprodutos desprezíveis da mistura absorvem a umidade e melhoram a fluidez da areia na hora de se conformar os moldes (SINGH E SIDDIQUE, 2012).

2.4.1 Tipos de areia de fundição

Cada molde para se vazar peças de ferros fundido necessita de características térmicas, refratárias e mecânicas distintas que variam de acordo com o metal a ser fundida, com essas finalidades distintas se tem dois tipos de areia para moldagem: “areia verde” e “areia ligada quimicamente”, que são definidas pelo processo ligante utilizado (COUTINHO NETO E FABRI, 2005).

2.4.1.1 Areia verde

As areia moldadas em estado úmido recebem o nome de areia verde e nestes casos, os moldes não são secos previamente ao vazamento das peças. Os moldes devem adquirir as resistências e características necessárias para o vazamento e solicitações que irão sofrer (PINTO, 2013).

De forma genérica a areia verde é constituída de elementos de extração natural, que seriam, areia de sílica de boa qualidade (85-95%), argila bentonítica (4-10%) como ligante principal, algum aditivo carbonáceo (2-10%) para garantir o acabamento das peças vazadas e água (2-5%), a mistura resulta em uma areia de cor preta devido ao teor de carbono presente na mesma (ADEGAS, 2007).

A produção mundial de fundidos utiliza em mais de 70% dos seus processos a areia verde para moldagem das peças. Este processo de fabricação de moldes permite grande variabilidade

dimensional das peças produzidas, bem como tem uma boa variação de possibilidade de trabalho com praticamente todas as ligas metálicas, sendo um dos poucos a ter essa expansibilidade de aceitação de ligas metálicas (ADEGAS, 2007).

2.4.1.2 Areia ligada quimicamente

Em peças que apresentem detalhes ou cavidades se faz necessário o uso de peças sólidas no interior do molde, denominadas machos, feitas em compatibilidade com o material a ser fundido e com dimensões aprimoradas se comparadas com a areia verde, no entanto apresentam características físicas diferentes dos moldes aos quais são incluídas, necessitando de processo de fabricação diferente do utilizado nos moldes. O sistema comumente utilizado é de peças feitas com areia ligada quimicamente, pois este confere resistência elevada a peça do macho, resistência essa suficiente para suportar os esforços exigidos nesta situação (HÖRLE, 2005 apud ADEGAS, 2007).

A areia que é ligada quimicamente se compõe de 93-99% de sílica de boa qualidade e 1-3% de ligantes químicos, ligantes esses que variam de acordo as necessidades da liga a ser fundida, dentre os vários existentes se destacam alguns tipos de aglutinantes: fenólico-uretanos, resinas epoxidicas, furfilalco-ol, e silicatos de sódio, dentre estes vários tipos de aglutinantes ainda encontramos outros tipos como: ácidos fenólicos não cozidos, resol-ester fenólicos, silicato de sódio, fosfato, resinas alquidicas (óleo) de uretano, etc (SIDDIQUE E SINGH, 2011; SINGH E SIDDIQUE, 2012).

2.5 Areia descartada de fundição – ADF

A ADF é a areia que provem do processo de fundição após seu vazamento, pode ser proveniente do descarte de areia imprópria para a reutilização no processo ou de outros pontos do processo de fabricação dos moldes para fundição, areias estas que se enquadrem conforme ABNT NBR 10004 (ABNT,2004) como classe 2 – não perigosa e livre de qualquer material estranho do processo que foi submetida que modifique suas características. Conforme indicam Singh e Siddique (2012), mais de 70% do material de subproduto do processo de fundição é areia de descarte.

De acordo com a ABNT NBR 15702 (2009), a ADF é um material composto basicamente de grãos minerais de sílica com diâmetro que varia entre 0,005mm e 4,8mm. (BARROS, 2012).

2.5.1 Classificação quanto a periculosidade da ADF

Barros (2012) aponta que a NBR 10004 (ABNT, 2004) define o grau de periculosidade dos resíduos sólidos de acordo com suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, e ao risco que podem gerar a saúde pública e ao meio ambiente. O conhecimento claro e eficaz das características da areia se mostra essencial para se definir e avaliar o resultado a que se propõe utilizar a mesma.

2.5.2 Volume do resíduo de ADF gerado no Brasil

Anualmente são descartados entre 2,8 e 3 milhões de toneladas destas areias em todo Brasil. O estado de São Paulo lidera este montante, seguido de Minas Gerais, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (ABIFA, 2009).

Cerca de 10% do volume total utilizado de areia verde é descartado em decorrência do seu processo de fundição, o que tem gerado grande polêmica pela quantidade elevada de descarte e pelos danos ambientais ocasionados por este volume de descarte que mesmo sendo um percentual baixo em relação a areia que deu entrada no processo, ainda assim é um montante considerável se visto a partir do volume total gerado (CASOTTI et al, 2011).

2.6 Agregados utilizados no concreto

Agregados são materiais granulares e inertes que quando misturados com materiais cimentícios tendem a se solidificar e gerar peças monolíticas, são utilizados na confecção de argamassas e concretos. A sua qualidade dimensional e químicas tem influência direta sobre o produto final da união destes materiais, sua qualidade influencia diretamente na durabilidade, resistência e desempenho do material gerado a partir da sua mistura. Além disso, é muito importante do ponto de vista econômico, devido ao seu reduzido custo em relação ao cimento, e também do ponto de vista técnico, ao conferir maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura (NEVILLE, 1997; MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Os agregados podem ser de origem natural ou artificial. Os naturais são aqueles que se encontram de forma particulada na natureza (areia lavada de rio, cascalho, pedregulho) e os artificiais são aqueles que são produzidos por processos industriais (pedras britadas, areias artificiais, escoria de alto-forno) (MARTINS, 2008).

Como estabelece a NBR 7211/2005 em seu item 4.4.1. Que visa definir as características dos agregados a serem utilizados em concretos, ela caracteriza agregado como:

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Os agregados utilizados em dosagens de concreto e argamassas se dividem em agregados graúdos e agregados miúdos que são definidos de acordo com suas dimensões máximas e mínimas prescritas na ABNT NBR 9935/2011.

Segundo definição da ABNT NBR 7225/1993, agregado é um material natural, de propriedades adequadas ou obtidas por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075mm. Inclui, portanto, dentro desta classificação, agregado graúdo e agregado miúdo.

A NBR 7211/2005 estabelece as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define agregado miúdo (Figura 3), como os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Define ainda agregado graúdo (Figura 4), os agregados cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm.

Figura 3 – Agregado miúdo.



Fonte: Autor

Figura 4 – Agregado graúdo.



Fonte: Autor

Como pelo menos três quartos do volume total do concreto são de agregados, sua qualidade é de considerável importância. O agregado não só pode influenciar na resistência do concreto, pois agregados com propriedades instáveis podem não apenas produzir um concreto de baixa resistência, mas também podem comprometer a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto ao longo do seu tempo de utilização (NEVILLE, 1997).

A influência do agregado graúdo na resistência do concreto normalmente não é levada em conta na hora da dosagem do concreto. Na maioria dos casos não é um fator determinante na resistência do concreto porque, com exceção dos agregados miúdos, a partícula do agregado graúdo é várias vezes mais resistente que a matriz e a zona de transição do concreto. Existem ainda outras características do agregado além da resistência, tais como o tamanho, forma e textura da superfície, granulometria, que reconhecidamente influem na resistência do concreto em vários outros níveis (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A areia utilizada como agregado miúdo deve satisfazer aos requisitos estabelecidos em normas técnicas, como resistência aos esforços mecânicos, o conteúdo máximo de substâncias nocivas, tais como torrões de argila, matérias carbonosas, material pulverulento e impurezas orgânicas. Outras características de qualidade devem ser observadas em caso de areias provenientes de jazidas pouco conhecidas, como a reatividade potencial e a resistência aos sulfatos de sódio e magnésio, que se refere às reações de interação entre o agregado e os álcalis do cimento. Aspectos importantes a serem considerados são a área específica, o módulo de finura, a composição granulométrica e a forma dos grãos (HANAI, 1992 apud ARMANGE, 2005).

2.6.1 Agregados graúdos

São definidos como agregados graúdos os pedregulhos ou britas provenientes de rochas estáveis e que seus grãos passem pela peneira com abertura de malha 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm (ABNT NBR 9935/2011).

Suas características físicas e químicas bem como as combinações de diferentes dimensões de agregados na mistura de concreto influenciam diretamente na resistência e nas características físicas do concreto em estado endurecido, bem como influenciam diretamente nas características de trabalhabilidade do concreto em estado fresco por serem os elementos de maior dimensão na mistura do concreto e gerarem mais atrito da massa de concreto (HELENE & TERZIAN, 1992).

Os ensaios de caracterização dos agregados graúdos devem ser feitos de acordo com ABNT NBR NM 248 e utilizando peneiras que obedecem a ABNT NBR NM ISO 3310-1 e 2.

2.6.2 Agregados miúdos

São definidos como agregados miúdos areia natural ou proveniente da moagem de rochas estáveis e que seus grãos passem pela peneira com abertura de malha 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m (ABNT NBR 9935/2011).

Suas características influenciam na trabalhabilidade e resistência do concreto por preencherem a porção de vazios em que o agregado graúdo não consegue preencher por suas dimensões elevadas em relação ao agregado miúdo, por preencher porções menores dos vazios o agregado miúdo agrega uma parcela de impermeabilidade ao concreto dependendo de sua finura (HELENE & TERZIAN, 1992).

O módulo de finura do agregado miúdo tem direta influencia com a trabalhabilidade do concreto em estado fresco pois dependendo do tamanho de seus grãos torna a mistura mais fluida, quando se tem um agregado miúdo com módulo de finura menor se necessita de mais água na mistura para conseguir “lubrificar” todas as parcelas de finos presentes na porção do agregado miúdo, já quando o agregado miúdo tem módulo de finura maior a mistura consome menos água mas se torna menos fluida em decorrência do aumento do atrito das partículas da porção fina da mistura, o produto final gerado por esta mistura pode apresentar uma maior número de vazios se o teor de argamassa não estiver de acordo a compatibilizar a quantidade de cimento e de agregado miúdo(HELENE & TERZIAN, 1992).

Os ensaios de caracterização dos agregados graúdos devem ser feitos de acordo com ABNT NBR NM 248 e utilizando peneiras que obedecem a ABNT NBR NM ISO 3310-1.

2.6.3 Propriedades dos agregados

2.6.3.1 Massa específica e massa unitária

Para o agregado miúdo deve-se levar em consideração o conceito de duas espécies de massa específica: a massa específica real e a massa específica aparente. A massa específica real dos grãos é a massa da unidade de volume, desconsiderando deste os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos; sua determinação é feita através do picnômetro, da balança hidrostática e do frasco de Chapman. Já a massa específica aparente é o peso da unidade de volume, considerando neste os vazios, permeáveis ou impermeáveis, contidos nos grãos (PETRUCCI, 1982).

O conhecimento da massa unitária do agregado é de grande importância, pois é por meio dela que se fazem as transformações dos traços em peso para o traço em volumes e vice-versa, bem como é um dado interessante para o cálculo do consumo do material por m³ de concreto produzido. (BAUER, 1995).

2.6.3.2 Absorção e Umidade Superficial

Os agregados podem apresentar diversos teores de umidade. Quando todos os poros permeáveis estão preenchidos e não há um filme de água na superfície, o agregado é dito estar na condição saturada superfície seca, quando o agregado está saturado e também há umidade livre na superfície, o agregado está na condição úmida ou saturada. Portanto o aumento da umidade do agregado pode ser compreendida como o aumento da massa do agregado já que os espaços vazios que tinham peso desconsiderável agora estão ocupado por água (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

O conhecimento do teor de umidade é de fundamental importância no estudo dos agregados miúdos. Como os agregados miúdos são entregues em obra mais ou menos úmidos em decorrência de sua extração ou mesmo armazenagem prévia desconhecida muitas vezes, isto obriga a determinações constantes de seu teor de umidade, normalmente pouco antes e cada utilização, para corrigir a quantidade de água que deverá ser adicionada na confecção das argamassas e concretos que se utilizaram deste agregado, levando em conta a água contida no agregado, bem como o reajuste das quantidades do material, seja medido em peso ou medido em volume, sendo neste caso da medida em volume influenciada pelo fenômeno do inchamento (PETRUCCI, 1982).

A presença de umidade no agregado necessita de correção das proporções reais da mistura: a massa de água adicionada à mistura deve ser diminuída da umidade livre do agregado e a massa do agregado úmido deve ser aumentada de igual quantidade. No caso da areia, existe um segundo efeito da presença da umidade: o inchamento, que é o aumento de volume de uma dada massa de areia devido às películas de água, que envolve os grãos, deslocando as partículas de areia, tendendo a separá-las. Embora não altere a quantidade de material quando dosado em massa, na dosagem em volume, o inchamento resulta em uma menor massa de areia ocupando o mesmo volume que outra areia com umidade menor na mesma unidade de medida. Quando esse fato ocorre a mistura se mostra com falta de agregado miúdo, aparentemente com excesso de pedra, e o concreto pode gerar o fenômeno da segregação no seu estado fresco e também fica reduzido o volume do concreto se comparado com um mistura feita com areia seca (NEVILLE, 1997).

O coeficiente de inchamento serve para medir o inchamento sofrido por uma massa de agregado quando lhe é adicionado porções de água que o tirem da umidade relativa a zero. Esse coeficiente é dado pela relação entre o volume final úmido do agregado e o volume inicial seco do agregado. A umidade crítica é aquela a partir da qual o coeficiente de inchamento é considerado constante (HELENE & TERZIAN, 1992).

2.6.3.3 Forma e textura

A forma e a textura das partículas dos agregados influenciam mais nas propriedades no concreto fresco do que no endurecido; comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento, em decorrência da área de contato que possuem, para produzir misturas trabalháveis e, portanto, aumentam o custo do concreto pelo maior consumo de cimento (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A forma diz respeito às características geométricas do agregado, tais como arredondada, angulosa ou achatada. Partículas formadas a partir do atrito tendem a ser arredondadas, pela perda de vértices e arestas no processo de decomposição de sua forma original, como por exemplo, areias de depósitos eólicos, assim como areias e pedregulhos de zonas marítimas ou leitos de rio. Agregados de rochas intrusivas britadas, como calcários estratificados e folhelho, possuem vértices e arestas bem definidos e são chamados de angulosos. As partículas cuja espessura é relativamente pequena em relação a outras dimensões, são chamadas de lamelares

ou achatadas, enquanto aquelas cujo comprimento é consideravelmente maior do que as outras duas dimensões são chamadas de alongada (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

No caso do agregado miúdo, sua forma e textura superficial têm um efeito significativo sobre a demanda de água de amassamento da mistura pela necessidade de mais ou menos água, enquanto a lamelaridade e a forma do agregado graúdo geralmente têm um efeito apreciável sobre a trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 1997).

Evidências de que nas primeiras idades a resistência do concreto, particularmente a resistência à flexão, pode ser afetada pela textura do agregado; uma textura mais áspera tende a favorecer a formação de uma aderência mecânica forte entre a pasta de cimento e o agregado. Em idades mais avançadas com uma forte aderência química entre a pasta e o agregado esse efeito não se mostra tão importante (MAIA, 2008).

2.6.3.4 Resistência a compressão e módulo de elasticidade

A resistência à compressão e o módulo de elasticidade dos agregados são propriedades inter-relacionadas que são influenciadas pela porosidade. Os agregados naturais normalmente usados para a produção de concreto “normal” são geralmente densos e resistentes; portanto, raramente são fatores que limitem a resistência e as propriedades elásticas do concreto em estado endurecido (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Andrade (1997) apud Sturmer (2007) acredita que para concretos em geral o módulo de elasticidade do agregado está ligado à retração que ocorre por secagem. Quanto menor o módulo de elasticidade do agregado maiores deformações devidas à retração de secagem o concreto apresentará. Conseqüentemente, se houver alguma restrição impedindo a descarga das tensões geradas a partir dessa deformação o concreto estará susceptível à fissuração.

2.6.3.5 Substâncias deletérias

Substâncias deletérias estão presentes como constituintes minoritários tanto nos agregados graúdos quanto nos miúdos mas que são capazes de prejudicar a trabalhabilidade, a pega, o endurecimento e as características da durabilidade do concreto dosado com estes materiais presentes na mistura. Tanto para agregados miúdos quanto graúdos, a ASTM C 33 apud MEHTA & MONTEIRO (1994) exige que:

“agregado para uso em concreto, que será submetido à imersão em água, exposição prolongada à atmosfera úmida, ou contato com solo úmido, não deve conter quaisquer materiais que sejam potencialmente reativos com os álcalis do cimento, em quantidade suficiente para causar expansão; a menos que tais materiais estejam presentes em quantidades desprezíveis, o agregado pode ser usado com um cimento contendo menos de 0,6% de álcalis ou com a adição de um material que tenha mostrado evitar a expansão nociva da reação álcali-agregado” (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Segundo NEVILLE (1997), existem três grandes categorias de substâncias deletérias que podem ser encontradas nos agregados: impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento; películas que impedem a aderência entre o agregado e a pasta de cimento e algumas partículas que são fracas ou não são o suficiente para se igualarem ao resto dos agregado a qual pertencem.

2.6.3.6 Estabilidade dimensional

As deformações no concreto que ocasionam à fissuração ocorrem como o resultado da resposta do material à carga externa e ao meio ambiente. Quando o concreto recém endurecido é exposto à temperatura e à umidade do ambiente ele sofre contração térmica e retração por secagem. Um dos parâmetros importantes que influenciam tanto a retração por secagem quanto a contração térmica é o agregado utilizado e suas características (METHA & MONTEIRO, 1994).

O consumo de cimento e água na dosagem do concreto não possui influência direta na retração por secagem, isso porque, o aumento no volume da pasta de cimento significa um decréscimo da fração de agregado, que, propicia um aumento nas deformações relativas à retração. A granulometria, dimensão máxima, forma e textura do agregado também são consideradas fatores que influenciam a retração por secagem e a fluência. O módulo de deformação do agregado tem significativa importância; as outras características do agregado influenciam indiretamente no concreto endurecido (METHA & MONTEIRO, 1994).

2.6.3.7 Composição granulométrica

Composição granulométrica é a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas, maiores ou menores, do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras, ou de porcentagens entre certos intervalos de abertura das peneiras (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A composição granulométrica, ou, a proporção relativa expressa em forma de porcentagem (%) em que se encontram os grãos de certos agregados tem vital influência sobre a qualidade dos concretos agindo na compactação e resistência (HELENE & TERZIAN, 1992).

Segundo a NBR 7211/2005, a dimensão máxima característica do agregado é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, que corresponde à abertura de malha quadrada, em milímetros, da peneira listada na tabela 1, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada, igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. A dimensão máxima do agregado é designada pela dimensão da abertura da peneira, na qual ficam retidos 15% ou menos das partículas do agregado. Geralmente quanto maior for a dimensão máxima do agregado menor será a área superficial por unidade de volume que tem de ser coberta pela pasta de cimento na mistura de concreto, para uma predefinida relação água/cimento (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A NBR 7211/2005 ainda traz a definição de módulo de finura como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. As peneiras tanto da série normal quanto da intermediária são identificadas na tabela 1.

Tabela 1 – Series de peneiras normais e intermediárias.

| Série normal | Série intermediária |
|--------------|---------------------|
| 75mm | - |
| - | 64mm |
| - | 50mm |
| 37,5mm | - |
| - | 32mm |
| - | 25mm |
| 19mm | - |
| - | 12,5mm |
| 9,5mm | - |
| - | 6,3mm |
| 4,75mm | - |
| 2,36mm | - |
| 1,18mm | - |
| 600µm | - |
| 300 µm | - |
| 150 µm | - |

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211/2005

A areia, conforme sua distribuição granulométrica e seu módulo de finura (MF) pode ser classificada de acordo com ABNT NBR 7211/1983 como: muito finas – $1,35 < MF < 2,25$; finas – $1,71 < MF < 2,78$; médias – $2,11 < MF < 3,28$; grossas – $2,71 < MF < 4,02$.

O resultado de uma análise granulométrica pode ser interpretado representado graficamente, com a curva granulométrica é possível ver se a granulometria da amostra se enquadra em uma especificação ou se é muito grossa ou muito fina ou deficiente em determinado tamanho. Nas curvas granulométricas normalmente usadas as ordenadas representam as porcentagens acumuladas passantes e as abscissas as aberturas das peneiras em escala logarítmica (NEVILLE, 1997).

2.7 Cimento

Cimento na acepção da palavra pode ser considerado todo material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto. Já no campo da construção, o significado do termo “cimento” se restringe aos materiais ligantes usados com pedra, areia, tijolos, blocos etc. Os constituintes principais deste tipo de cimento são os calcários, de modo que na engenharia civil e na construção se pensa em cimento calcário. Os cimentos que interessam no preparo do concreto têm a propriedade de endurecer mesmo dentro da água, devido às reações químicas com esse elemento, e, portanto, são denominados cimentos hidráulicos (NEVILLE, 1997).

Segundo a ASTM C 150 o cimento Portland, o mais usado na construção civil, é um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. Os clínquers são definidos como nódulos de 5 a 25mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido com uma mistura de matérias primas de composição predefinida que é aquecida a temperatura altas em um forno (MEHTA E MONTEIRO, 1994)

2.7.1 Cimento Portland Composto

O processo de fabricação do cimento Portland consiste essencialmente em moer a matéria-prima, misturá-las intimamente nas proporções adequadas e queimar essa mistura num grande forno rotativo até uma temperatura de 1450 °C. Nessa temperatura, o material sofre uma fusão incipiente formando pelotas, conhecidas como clínquer. O clínquer é resfriado e moído até um pó bem fino com a adição de um pouco de gesso, resultando o cimento Portland comercial largamente usado em todo Brasil (NEVILLE, 1997).

A ABNT NBR 11578/1991 define as características para o cimento Portland composto:

“Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados em 4.2.”

2.8 Pozolana

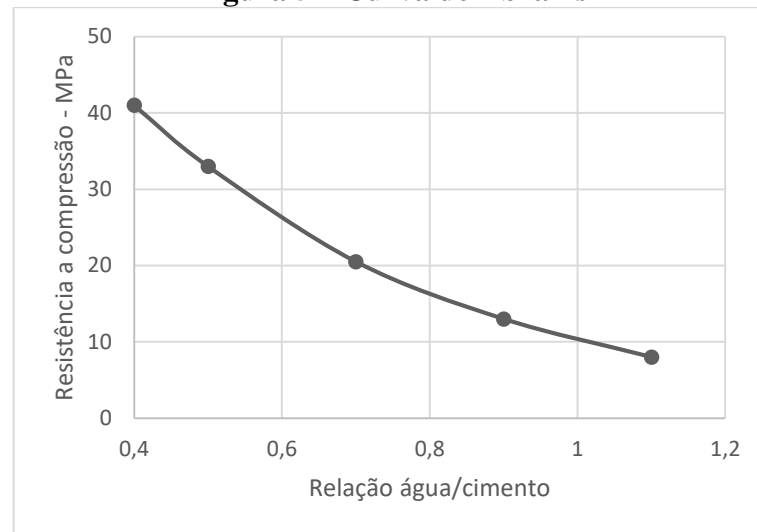
A NBR 12653/1992, a exemplo da ASTM C 618/1978, define pozolana como um material que, por si só, possui pouca ou nenhuma atividade cimentante, mas que, quando finamente dividido e em presença de água, é capaz de reagir com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, e formar compostos com propriedades cimentantes. Esta reação é chamada de reação pozolânica.

2.9 Água

A classificação da água presente na pasta de cimento hidratada é baseada no grau de dificuldade ou de facilidade com que pode ser removida. São elas, na ordem crescente de dificuldade de remoção (METHA & MONTEIRO, 1994):

- Água capilar ou água livre (presente nos vazios maiores);
- Água adsorvida (que se encontra próxima à superfície do agregado, sob influência das forças de atração dos sólidos da pasta de cimento hidratada);
- Água Inter lamelar (associada com a estrutura do C-S-H);
- Água quimicamente combinada (aquela que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento).

A razão entre a quantidade de água acrescida e a quantidade de cimento utilizada na produção do concreto é muito importante para determinar a sua resistência final. Em 1919 Abrams publicou um trabalho aonde demonstrava que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, as quais eram função do fator água/cimento da mistura, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 – Curva de Abrams

Fonte: Adaptado de NEVILLE, 1997

A relação água/cimento, estabelece ainda a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação. Desta forma, nota-se que a relação água/cimento influencia, juntamente com o grau de adensamento, no volume de vazios do concreto (NEVILLE, 1997).

2.10 Concreto

O concreto é um material da construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, pode-se ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições, (NEVILLE, 1997).

O concreto representa o segundo material mais utilizado pela humanidade, por suas propriedades adequadas e versatilidade de utilização que proporcionam a ampla utilização na construção civil. Com um baixo custo aliado a suas qualidades de versatilidade fazem do concreto um material com vantagens econômicas e sociais difíceis de serem superadas por outros matérias (ISAIA, 2005).

Com os crescentes avanços tecnológicos nos últimos anos a quantidade de materiais que podem participar da constituição do concreto tornou-se ampla. Diversas opções e variações de traços e adições são conhecidas mas todas devem ser muito bem ponderadas economicamente e socialmente para validar sua aplicação (ISAIA, 2005)

Se analisado em nível macroscópico, o concreto pode ser definido como um material unifásico com estrutura heterogênea constituído por partícula de agregados dispersos em uma matriz de cimento. Em nível microscópico é que se apresentam as complexidade da estrutura do concreto. Vários aspectos do comportamento do concreto só podem ser explicados se analisarmos a interface pasta-agregado que é denominada zona de transição, que deve ser

pesquisada separadamente do resto das características do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.10.1 Definição

Concreto de Cimento Portland pode ser definido como, entre tantas definições, como o material resultante da mistura de um aglomerante, no caso o cimento Portland, com um agregado miúdo, geralmente areia lavada, um agregado graúdo, geralmente brita, e água. Ainda pode ser acrescentado, se necessário, aditivos (tanto sólidos granulares ou líquidos). (MARTINS, 2008)

Concreto é uma mistura homogênea de cimento Portland com água e agregados, que depois de endurecida adquire estabilidade e resistência de forma a adquirir o maior monolitismo possível. Pode incorporar outros componentes na busca da melhoria de qualidades específicas que sejam exigidas pela utilização do mesmo. A produção de um concreto que atenda adequadamente a todas as características necessárias só é possível quando se utilizam materiais componentes de qualidade. A interação entre os elementos e os processos de mistura, transporte, lançamento e cura também são fundamentais. Apesar de não ser tão resistente nem tão tenaz quanto o aço, é o material mais largamente usado na engenharia. O concreto possui excelente resistência à água, ao contrário da madeira e do aço comum, possuindo uma ótima capacidade de resistir à água, sem deterioração séria. (MARTINS, 2008)

2.10.2 Propriedades do concreto

As propriedades do concreto se variam de acordo com o seu estado, se fresco ou endurecido. O concreto em estado fresco deve ter trabalhabilidade, homogeneidade, coesão e segregação da água. No estado endurecido, deve apresentar resistência à compressão, à tração e à abrasão, impermeabilidade, elasticidade e durabilidade (MARTINS, 2008).

A trabalhabilidade define a facilidade de lançamento do concreto e sua aptidão de adensar-se em função das condições do local onde foi lançado. A homogeneidade, garante a manutenção das características do concreto em toda a massa, durante seu manuseio sem variações acentuadas. A coesão é a propriedade que mantém a composição nas etapas de transporte, lançamento e adensamento, já que o concreto é composto de materiais com características físicas muito diferentes, e há uma tendência de separação entre eles. A segregação de água garante a eliminação rápida, em um teor adequado, do excesso de água do

amassamento. Esse excesso de água tem função transitória, apenas para o início da concretagem (MARTINS, 2008).

Depois de endurecido o concreto, a resistência mecânica é uma das propriedades mais importantes, que abrange a resistência à compressão e a resistência à abrasão. A impermeabilidade define a resistência do concreto à penetração de água e agentes agressivos. E a elasticidade determina o comportamento elástico do concreto face à atuação de forças externas, esta elasticidade é determinada pelo módulo de elasticidade, que poderá ter diversas variações em função da atuação dos esforços e suas naturezas. Por fim, a durabilidade se confirma quando o concreto mantém suas propriedades fundamentais ao longo do tempo (MARTINS, 2008).

2.10.2.1 Comportamento em estado fresco

Duas razões para se controlar as propriedades do concreto no estado fresco, para que ele apresente bom desempenho tanto em estado fresco como endurecido, podem ser definidas como: ele deve ser facilmente lançado para facilitar o manuseio, e, se as propriedades do concreto no estado fresco são rigorosamente controladas, suas propriedades no estado endurecido serão as melhores possíveis se bem controladas (AÏTCIN, 2000).

As principais propriedades do concreto em estado fresco são: a segregação, a homogeneidade e a trabalhabilidade. As duas primeiras propriedades estão diretamente ligadas à terceira podendo-se considerar que a segregação e homogeneidade fazem parte da propriedade trabalhabilidade. A segregação está na propriedade de estabilidade que por sua vez é componente da, propriedade mais geral, trabalhabilidade (ALVES, 1987)

2.10.2.1.1 Consistência e trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a característica fundamental para que o concreto seja bem adensado, ou seja, é a adequação da consistência ao processo utilizado para o lançamento e adensamento. (GIAMUSSO, 1992)

Alves (1993) define como trabalhabilidade do concreto, a propriedade de o concreto ser misturado, transportado, lançado e vibrado, sem mudança considerável na sua homogeneidade.

Andriolo (1984) cita que a trabalhabilidade do concreto é a facilidade de mistura, manuseio, transporte, colocação e compactação com a menor perda de homogeneidade.

A segregação do concreto no estado fresco é a perda de homogeneidade a partir do momento em que os seus componentes se redistribuem na mistura de modo heterogêneo acarretando em problemas como: perda de resistência e retração do concreto (KAEFER, 2002).

A consistência é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco e pode ser medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (METHA e MONTEIRO, 1994).

2.10.2.1.2 Exsudação

Exsudação é apresentada como o surgimento de água na superfície, após o concreto ter sido lançado e adensado. Quando há falta de finos, o concreto não consegue manter a água dentro da mistura homogênea de sua matriz, acumulando-se essa água na superfície livre do concreto ainda fresco (GIAMUSSO, 1992).

A quantidade e a velocidade da exsudação dependem da dosagem do concreto, do teor de água, da temperatura, da finura do cimento, da granulometria do agregado e da ação de certos aditivos (ANDRIOLO, 1984).

2.10.2.2 Comportamento em estado endurecido

2.10.2.2.1 Massa específica

A massa específica pode ser entendida como o volume do concreto, incluindo os vazios, sobre o seu peso dado em massa. Concreto com massa específica normal, que não sejam dotados de algo que altere sua massa, podem ter massa específica compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 . Para fins de cálculo de estruturas de concreto se adota 2400 kg/m^3 para concretos ditos simples e 2500 kg/m^3 para concretos do tipo armado (ABNT NBR 6118/2014)

2.10.2.2.2 Resistência a compressão

A resistência à compressão é importante pela qualidade que adere a si como também pela influência que ela exerce sobre outras propriedades do concreto endurecido. Ela dá uma ideia geral da qualidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada. Propriedades como módulo de elasticidade, impermeabilidade e resistência às intempéries são diretamente relacionadas com a resistência à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

A resistência de um material é dada como a capacidade de resistir à tensão sem se romper. No concreto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, definida

como tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar sobre um carregamento axial direto (METHA e MONTEIRO, 1994).

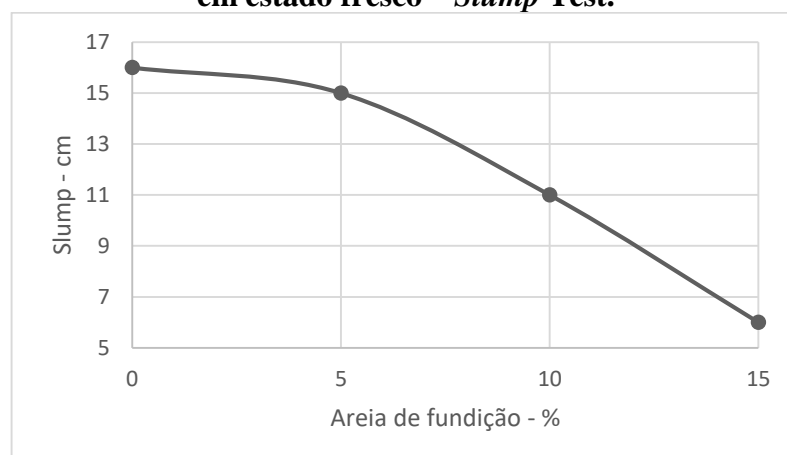
A qualidade potencial do concreto depende da relação água/cimento e do grau de hidratação. Através da evolução da hidratação do cimento, que ocorre com o aumento da idade, influencia na resistência à compressão (GIAMUSSO, 1992).

2.11 Uso de areia de fundição em concreto

Vários autores utilizaram diferentes métodos e dosagens de estudo da adição de areia de fundição no concreto, criando diferentes caracterizações desta pratica de acordo com a realidade do local de estudo. Todos encontraram quantidades de dosagem ideais para que a mistura de concreto não perdesse as características da mistura controle que não contava com nenhum percentual de adição de areia de fundição.

No uso de areia de fundição em concreto, menciona-se Guney *et al.* (2010) que ensaiaram a substituição de porções de 5%, 10% e 15% de massa da areia natural fina por areia de fundição. O consumo de cimento utilizado foi fixado em 500 kg/m³, e proporção das misturas de 0,45 em massa de concreto a ser exposto ao congelamento-descongelamento em condições úmidas. Os resultados do concreto no estado fresco revelaram as intervenções dos resíduos de areia de fundição na mistura no ensaio de abatimento consistência, como mostrado na figura 6, em que se observa que os resíduos de areia de fundição diminuíram a fluidez e o abatimento do concreto fresco. Isto foi atribuído pelos autores (*op. cit.*), provavelmente devido à presença de argilas finas nos resíduos de areia de fundição, que influenciam na diminuição da fluidez do concreto fresco.

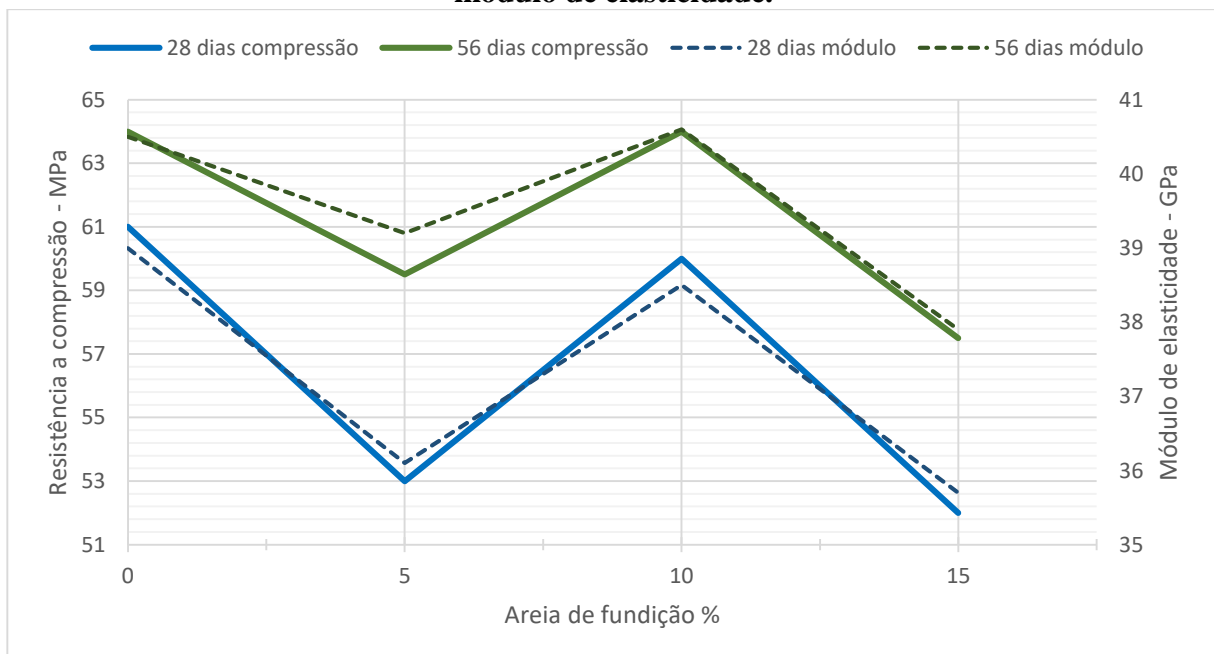
Figura 6 - Efeito dos resíduos de areia de fundição no comportamento do concreto em estado fresco – Slump Test.



Fonte: traduzido e adaptado de Guney *et al.* (2010).

Os resultados encontrados por Guney *et al.* (2010) no cálculo dos módulos de elasticidade são apresentados na Figura 7, na qual observa-se, que a resistência à compressão aumentou com a idade, para todas as traços estudados. Segundo os autores, foi possível também verificar que a mistura com a dosagem de 10% de resíduos de areia de fundição apresentou maior resistência à compressão com a idade de 56 dias e que a resistência à compressão diminuiu proporcionalmente com o aumento da quantidade de areia de fundição na mistura. O concreto, com 10% de resíduos de areia de fundição apresentou quase a mesma resistência do que a mistura de concreto controle que não contava com nenhum percentual de mistura de areia de fundição, enquanto que todas as outras misturas de resíduos de fundição apresentaram valores mais baixos do que a do controle. Guney *et al.* (2010) atribuíram isso ao fato de que a distribuição de tamanho das partículas na mistura com 10% de resíduos de areia de fundição possui aderência suficiente para se ligarem com o restante dos elementos de forma uniforme o que as outras misturas não possuem por apresentarem uma disparidade de tamanhos de partículas se comparadas com a mistura de 10% de areia de fundição.

Figura 7 - Efeito dos resíduos de areia de fundição na resistência à compressão e no módulo de elasticidade.



Fonte: traduzido e adaptado de Guney *et al.* (2010).

Segundo Siddique *et al.* (2009), os valores de resistência a compressão aumentaram com o acréscimo da adição de areia de fundição, no qual o agregado miúdo foi substituído por três percentagens (10%, 20% e 30% em peso) de areia de fundição. Foram realizados testes para as

propriedades do concreto no estado fresco, bem como no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à flexão, módulo de elasticidade, etc.) com idade de cura de 28, 56, 91 e 365 dias. Segundo os autores, os resultados dos testes apresentaram um aumento na resistência à compressão, com a inclusão de areia de fundição, provavelmente, devido ao fato da areia de fundição ser mais fina do que a areia regular, resultando em uma matriz de concreto mais densa, e também devido ao teor de sílica presente na areia de fundição auxiliar na qualidade das ligações.

Singh e Siddique (2012) também observaram que as misturas de concreto feitas com areia de fundição apresentaram resistência à compressão maior do que o concreto de controle, sem adição da areia de fundição. A resistência à compressão do concreto controle foi de 40 MPa a 28 dias. Os autores também avaliaram que com o aumento da idade de cura de 28 para 91 dias, houve aumento na porcentagem da resistência à compressão das misturas. Estudos comparativos de resistência à compressão aos 28 e 91 dias, indicam que a porcentagem de aumento na resistência à compressão decresce com o aumento do teor de adição de areia de fundição aos 91 dias em comparação a 28 dias, que foi reduzida em 7% a 1,98%.

Basar e Aksoy (2012) desenvolveram uma pesquisa na qual a areia normal foi substituída por areia de fundição com cinco concentrações (0%, 10%, 20%, 30%, 40%) em peso, cuja aplicação de processo fora para todos os traços de concreto. Três aspectos foram investigados: resistência mecânica, a lixiviação e as propriedades micro estruturais. Os resultados dos autores (*op. cit.*) indicaram que a adição de areia de fundição como substituição parcial de areia levou à redução no desempenho de resistência e densidade, e também aumentou a proporção de absorção de água do concreto. No entanto, o concreto com 20% de adição de areia de fundição apresentou resultados quase semelhantes com o concreto controle. Por sua vez, as características de lixiviabilidade de todas as amostras de concreto em diferentes condições de pH simulando casos naturais variantes, também foram observados. Além disso, as investigações micro estruturais, tanto na combinação controle e na mistura de concreto com 20% de areia de fundição foram realizadas usando técnicas DRX, FRX, MEV e EDS. Segundo Basar e Aksoy (2012), os resultados desta pesquisa indicaram que a areia de fundição pode ser efetivamente utilizada (na substituição parcial de areia de boa qualidade) como um substituto parcial de agregados finos, sem impactos adversos nas características mecânicas, ambientais e micro estruturais, no entanto, a substituição parcial não deve exceder 20%.

Segundo estudo de Khatib *et al.* (2013), em que o agregado miúdo natural foi substituído com 0%, 30%, 60% e 100% de areia de fundição, e a proporção do conteúdo de água, agregado

grosso, cimento e a água para a mistura permaneceram constantes, com os concretos sendo curados em 1, 7, 28 e 90 dias. Investigando as propriedades nos vários tempos de cura, sendo elas: absorção de água por capilaridade, resistência à compressão e velocidade do pulso ultrassônico (VPU). Os resultados dos autores (*op. cit.*) indicaram que houve um aumento sistemático na absorção de água por capilaridade, uma diminuição na resistência à compressão e velocidade do pulso ultrassônico (VPU), à medida que a quantidade de areia de fundição no concreto aumentou.

Khatib *et al.* (2013) estabeleceram que parece haver uma relação linear entre a resistência e a absorção de água por capilaridade, assim como também existe uma relação exponencial entre a resistência e a velocidade do pulso ultrassônico (VPU). Geralmente, segundo os autores (*op. cit.*), existe uma maior quantidade de absorção de água com o aumento do teor de areia de fundição, no final do período de ensaio. Existiu uma pequena diferença na absorção de água, no trabalho de Khatib *et al.* (2013), entre as diferentes misturas após 1 dia de cura e esta diferença tornou-se perceptível após 7 dias de cura e dias seguintes. As misturas contendo 60% e 100% de areia de fundição como substituto de areias naturais apresentam uma maior absorção de água no final do período de ensaio, em comparação com as misturas que continham 0 e 30% de areia de fundição. Os autores (*op. cit.*) exemplificaram que aos 90 dias de cura, a absorção de água no final do período de ensaio por meio da mistura, contendo 100% de areia de fundição foi cerca de 3 vezes mais do que a mistura de referência (0% de areia de fundição). Também, após 1 dia de cura de quase todas as misturas, estas não aparentaram absorver mais água em direção ao fim do período de ensaio, ao passo que em outros tempos de cura das amostras ainda absorveram mais água. A hidratação contínua de concreto além de 1 dia após a cura pode causar o bloqueio dos poros e a água iria demorar mais tempo para ser absorvida.

Guney *et al.* observaram que a absorção de água do concreto com 5% de resíduos de areia de fundição é mais elevado do que o concreto sem resíduos de areia de fundição (mistura controle), com a idade de 56 dias. Entretanto, a proporção de absorção de água diminuiu para as amostras que continham resíduos de areia de fundição, de 10% e de 15%. Isto pode ser explicado segundo os autores (*op. cit.*), que os resíduos de areia de fundição diminuem os espaços vazios no concreto por sua finura, que conseguem preencher os espaços que a areia de granulometria maior não consegue preencher. Por conseguinte, os valores de absorção de água tem uma tendência para diminuir nas amostras com resíduos de areia de fundição em proporção maiores que 5%. Os autores (*op. cit.*) observaram também que as proporções de absorção de água das amostras com 10% de resíduos de areia de fundição e as amostras sem

resíduos de areia de fundição estavam próximas umas das outras. Portanto, as amostras fornecidas com resíduos de areia de fundição possuíam uma capacidade de absorção inferior aos de controle.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho analisou os efeitos da adição parcial da areia de descarte de fundição como substituição dos agregados finos utilizados em concretos, e avaliou quais características foram influenciadas por esta substituição. Foram tomados como parâmetros para obtenção dos resultados, análises mecânicas e químicas do concreto.

3.1 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa teve como característica central uma análise descritiva dos resultados da adição de areia de descarte de fundição na substituição parcial dos agregados finos na dosagem de concreto. Visando descrever as características apresentadas pela areia de fundição em sua forma natural ao ser retirada do processo de fundição, descrever os métodos a serem utilizados para acrescentar a mesma na dosagem de concreto e as características apresentadas no concreto resultante da mistura. Todas as análises e resultados tiveram a intenção de avaliar quantitativamente os resultados obtidos nas análises realizadas, com poucos pontos de análise qualitativa em relação a fatores restritos que foram descritos no presente trabalho.

3.2 Materiais utilizados na pesquisa

3.2.1 Agregados

Os agregados utilizados, tanto miúdos como graúdos, foram caracterizados previamente a sua utilização para se obter um ajuste adequado dos mesmos dentro da mistura de concreto a ser utilizada.

3.2.1.1 Areia de descarte de fundição e areia natural

A areia de descarte de fundição utilizada na pesquisa, foi coletada junto ao setor de descarte da empresa Metalúrgica Venâncio, situada na cidade de Venâncio Aires-RS, após concessão de coleta para os ensaios junto ao setor ambiental da empresa, as amostras foram transportadas em baldes metálicos até a seu armazenamento em recipientes plásticos vedados.

A areia natural lavada de rio, foi coletada junto ao setor de armazenamento da unidade de Santa Cruz do Sul da empresa Conpasul, areia esta oriunda da cidade de Rio Pardo extraída do Rio Jacuí, após a coleta a areia foi transportada e armazenada em sacos plásticos até a sua utilização.

3.2.1.1.1 Caracterização da areia de descarte de fundição (ADF) e areia natural

Foram coletadas duas amostra de areia com cerca de 2kg cada uma, posteriormente a isso elas foram postas a secar em estufa a temperatura constante de 105° durante 24h para se obter a estabilidade de massa seca das amostras para a realização do ensaio de composição granulométrica e ensaio de determinação da massa específica. A areia de descarte de fundição foi ensaiada da mesma forma que foi coletada sem nenhum tratamento ou peneiramento prévio, esta decisão foi tomada no intuito de simular o comportamento da sua utilização sem nenhum tratamento.

Os ensaios realizados para caracterização da areia de descarte de fundição foram os mesmos utilizados para caracterização de areia natural em virtude da falta de normas específicas para este tipo de material. Foi realizado o ensaio de composição granulométrica da areia de descarte de fundição conforme parâmetros e métodos prescritos na ABNT NBR NM 248/2003 que normatiza o ensaios de composição granulométrica de agregados miúdos utilizados em concretos, as peneiras utilizadas nos ensaios de determinação da composição granulométrica seguiram parâmetros determinados na ABNT NBR NM ISO 3310-1 e 2, também foram realizados ensaios de caracterização da massa específica segundo os métodos prescritos na ABNT NBR 9776/1987 que normatiza os ensaios para obtenção da massa específica dos agregados miúdos através do frasco de Chapman. O ensaio de caracterização da massa específica orientado pela NM52/2009, que é a atual norma vigente, também foi realizado a fim de se ter uma contraprova de resultados, pelo fato dos resultados obtidos terem sido idênticos ao ensaio do frasco de Chapman seu valores não foram apresentados nos relatórios.

O ensaio de composição granulométrica consistiu em pesar 300g de amostra de areia, passar a amostra por uma série de peneiras a fim de se verificar a quantidade de agregado miúdo que ficava retido em cada abertura de peneira.

O ensaio de massa específica consistiu em pesar 500g de amostra e adicioná-la ao frasco de Chapman que continha 200ml de água, e após aguardar a liberação de todas as bolhas se verificou o volume deslocado de líquido como mostram as Figuras 8 e 9. O cálculo da massa específica foi realizado através da relação do volume de líquido deslocado com a massa de agregado miúdo adicionado no frasco.

As amostras de areia de descarte de fundição também foram analisadas sensorialmente e comparadas com a areia natural, onde apresentaram odor característico de matérias oriundas de resinas ligantes, textura extremante fina, alto teor de material pulverulento, presença de grande parcela de glóbulos de metal oriundos do processo de vazamento da peça fundida, grande

presença de material carbonáceo e presença de pequenos cristais de resina do ligante utilizado na conformação dos moldes.

Figura 8 – Areia de descarte de fundição no frasco de Chapman para obtenção da massa específica.



Fonte: Autor

Figura 9 – Areia natural no frasco de Chapman para determinação da massa específica.



Fonte: Autor

3.2.1.2 Brita 0 e 1

Os agregados graúdos utilizados na pesquisa foram brita 0 e 1 de origem basáltica, coletadas junto ao setor de armazenamento de agregados graúdos da unidade de Santa Cruz do Sul da empresa Conpasul, brita esta oriunda da cidade de Vera Cruz-RS de jazida localizada na

localidade de Linha Andreas, após concessão de coleta a brita foi transportada e armazenada em sacos plásticos até a sua utilização.

3.2.1.2.1 Caracterização das britas 0 e 1

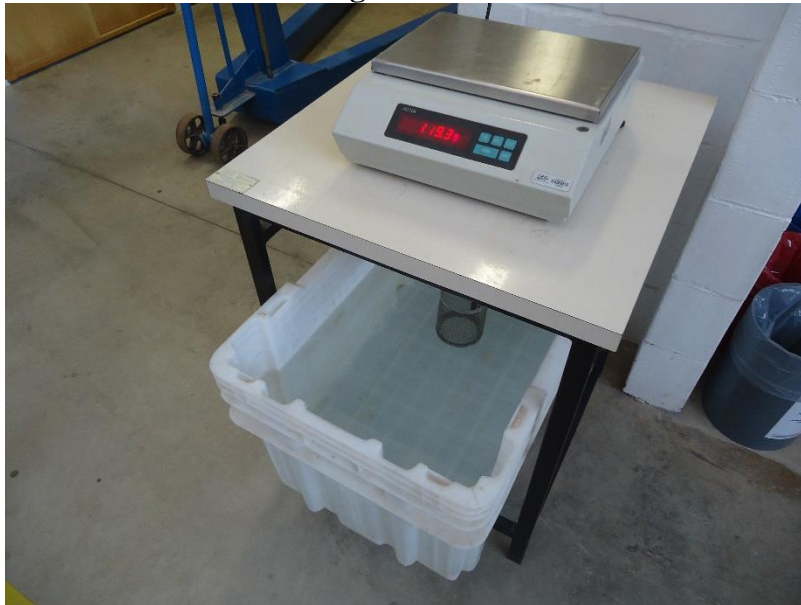
As britas 0 e 1 foram separadas cada uma em duas amostras de cerca de 7 kg, uma amostra de cada foi posta a secar em estufa a 105°C para se obter a massa seca da amostra a fim de se realizar o ensaio de granulometria, a outra amostra foi posta sob imersão em água durante 24h para que a brita alcançasse o seu estado saturado para a realização do ensaio de caracterização da sua massa específica.

O ensaio de obtenção da composição granulométrica foi realizado seguindo as normativas indicadas na ABNT NBR NM248/2003 que indica os métodos de ensaio e análise dos resultados da composição granulométrica de agregados. O ensaio de determinação da massa específica da brita foi realizado segundo o que determina a ABNT NBR NM53/2009 que estabelece as normas de ensaio e determinação da massa específica de agregados graúdos. As peneiras utilizadas nos ensaios de determinação da composição granulométrica seguiram os parâmetros determinados na ABNT NBR NM ISO 3310-1 e 2.

O ensaio de composição granulométrica consistiu em pesar 5kg de amostra de cada brita e passar a amostra por uma série de peneiras a fim de se verificar a quantidade de agregado que fica retido em cada abertura de peneira.

O ensaio de massa específica consistiu em pesar três amostras de brita em imersão através de uma balança hidrostática, como mostra a Figura 10, a fim de se obter o peso da brita sem o efeito da gravidade, posterior a isso cada amostra pesada na balança hidrostática foi pesada na condição de saturada com superfície seca, após ser seca com pano para retirada da sua umidade superficial, após ser pesada na condição saturada superfície seca cada amostra foi posta a secar em estufa até se obter a massa seca da amostra, após este processo se calculou a massa específica do agregado seco, massa específica do agregado saturado com superfície seca, massa específica aparente seca e teor de absorção de água.

Figura 10 – Balança hidrostática para obtenção da massa específica dos agregados graúdos.



Fonte: Autor

3.2.2 Cimento

O cimento utilizado nos ensaios foi fornecido pela empresa Conpasul na forma a granel, coletado diretamente do silo de armazenamento de cimento da empresa, foi transportado em toneis plásticos vedados a fim de se mantê-lo em estado seco até sua utilização. O cimento utilizado foi do tipo CP II F-40 da marca Itambé, o mesmo utilizado nas dosagens de concreto da empresa concedente da amostra.

3.2.2.1 Caracterização do cimento

Para o cimento utilizado se realizou o ensaio de caracterização da massa específica a fim de se obter a massa específica real para o ajuste do traço, os outros parâmetros foram coletados junto a ficha de características do cimento fornecida pela concedente do cimento.

Foi coletado uma amostra com cerca de 1kg de cimento para realização do ensaio, amostra esta que foi posta a secar em estufa a 105°C durante 24h para se ter a amostra em estado totalmente seco. Para realização do ensaio de determinação da massa específica do cimento foram seguidos os métodos determinados pela ABNT NBR23/2000 que determina os parâmetro e métodos de ensaio do cimento Portland para a obtenção da massa específica através do frasco de Le Chatelier como mostra a Figura 11.

O ensaio consistiu em adicionar 60g de cimento em um volume pré-definido no frasco que estava preenchido de querosene, para que o cimento não hidratasse e endurecesse durante o ensaio, e após adicionar o cimento se verificou o deslocamento do líquido presente no frasco. O cálculo da massa específica através do frasco de Le Chatelier foi realizado pela relação entre o volume de líquido deslocado e a massa de cimento adicionado no frasco.

Figura 11 – Amostra de cimento a ser ensaiada no frasco de Le Chatelier.



Fonte: Autor

3.2.3 Adição

A pozolana utilizada como adição nos ensaios também foi fornecida pela empresa Conpasul na forma a granel, pozolana esta oriunda da cidade de Candiota/RS fornecida pela Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica classificada como cinza seca F/C, coletada diretamente do silo de armazenagem, foi transportada em toneis plásticos vedados a fim de se manter a amostra em estado seco.

3.2.4 Aditivo

Foi utilizado na dosagem do concreto, aditivo plastificante para ajustar o abatimento do concreto com o intuito de se obter um valor de abatimento próximo ao utilizado em centrais de dosagem de concreto.

O aditivo plastificante utilizado nos ensaios foi o modelo Eucon PL350 S da marca Viapol que é um aditivo plastificante de pega normal para concretos de cimento Portland, fornecido pela empresa em frascos de 1 litro, que foram mantidos em boas condições de acondicionamento até sua utilização.

3.2.5 Água

A água utilizada nas dosagens de concreto foi proveniente da rede de abastecimento de água da UNISC, não foram realizados ensaios de determinação das características da água por se julgar a mesma de uma qualidade satisfatória de acordo com o histórico de sua utilização.

3.3 Procedimento experimental

3.3.1 Concreto

3.3.1.1 Obtenção do traço experimental

O traço utilizado na pesquisa de forma experimental foi baseado em traços de concreto auto bombeável utilizados em empresas de concreto da região, ajustado de acordo com os agregados utilizados, o método de dosagem utilizado foi o método determinado pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), onde os valores foram ajustados para os agregados utilizados. Foi determinado que o concreto a ser pesquisado deveria ter resistência de 30MPa, abatimento inicial de 50mm (+ - 10mm) e posterior a ajuste com aditivo plastificante deveria ficar com abatimento compreendido entre 160-190mm (+-20mm).

Para a análise do comportamento do concreto com presença de areia de descarte de fundição, foram determinadas 5 teores de substituição dos agregados finos por areia de descarte de fundição a serem comparados com o concreto referência que não continha areia de descarte de fundição, sendo estas: 5%, 10%, 15%, 20% e 50% de areia de descarte de fundição substituídos da porção de areia natural da mistura de concreto.

3.3.1.2 Preparação dos agregados

Os agregados utilizados, grãos e miúdos, foram preparados previamente a sua utilização de forma que simulassem as condições usuais de utilização, ou seja, foram postos a secar ao ar a fim de utilizá-los com umidade na condição de seco ao ar simulando assim a mesma condição encontrada no seu uso habitual.

Os agregados permaneceram secando ao ar por 12h onde em intervalos de 3h horas eram agitados para que secassem igualmente, pelo fato da umidade dos agregados ser diferente bem como a taxa de velocidade que cada um seca ao ar certas amostras necessitaram de mais tempo expostas ao vento para secar.

3.3.1.3 Moldagem dos corpos de prova de concreto

Os corpos de prova cilíndricos utilizados na pesquisa tinham as dimensões de 200mm de altura por 100mm de diâmetro segundo o que determina a ABNT NBR5738/2015, previamente a moldagem dos corpos de prova os moldes receberam uma camada interna de óleo para tornar mais fácil a sua desmoldagem após a cura inicial.

Os corpos de provas foram moldados em lotes, como mostra a Figura 12, onde cada lote representava cada teor de substituição, lote este composto de 13 corpos de prova onde 11 foram moldados para serem ensaiados a compressão e módulo de elasticidade e 2 ficaram de reserva, cada betonada foi executada com cerca de 60Kg de concreto, com o tempo de mistura para cada moldagem de 5 min, onde após se verificar o abatimento, como mostra a Figura 13, e realizar as correções do valor de abatimento com plastificante cada corpo de prova foi moldado com 2 camadas adensadas com 12 golpes cada uma segundo prescrito na ABNT NBR5738/2015, posterior a moldagem os corpos de prova foram cobertos a fim de se evitar a perda de água por evaporação. A sequência de colocação dos materiais na mistura foi a seguinte:

- a) 100% do agregado graúdo (brita 0 e 1)
- b) 100% do cimento
- c) 100% da pozolana
- d) 85% da água
- e) 100% da areia natural
- f) 100% da areia de descarte de fundição (quando utilizada)
- g) 15% da água
- h) Aditivo plastificante em proporção preestabelecida

O aditivo plastificante utilizado foi acrescido a mistura de forma a respeitar o teor máximo de 1,2% da massa de cimento da mistura, o aditivo foi inserido na mistura em proporções de 0,6%, 0,3% e 0,3% até se atingir o abatimento desejado, a cada adição de aditivo foi verificado o abatimento obtido entre as execuções de mistura após a adição do aditivo.

Os corpos de prova foram identificados, como mostra a Figura 14, segundo o teor de adição de areia de descarte de fundição e a idade de ensaio de cada corpo de prova, os títulos são os apresentados na Tabela 2.

Figura 12 –Corpos de prova moldados e identificados aguardando a cura inicial.



Fonte: Autor

Figura 13 – Verificação do abatimento pelo ensaio de abatimento de tronco de cone “*slump test*”.



Fonte: Autor

Figura 14 – Corpos de prova desmoldados e identificados prontos para a cura em imersão.



Fonte: Autor

Tabela 2 – Códigos dos teores de substituição e tempos de cura do concreto.

| Teor de substituição | |
|----------------------|----|
| Código | % |
| A | 0 |
| B | 5 |
| C | 10 |
| D | 15 |
| E | 20 |
| F | 50 |

| Tempo de cura | | |
|---------------|------|------------|
| Código | Dias | Tolerância |
| 1 | 3 | 2h |
| 2 | 7 | 6h |
| 3 | 28 | 24h |
| 4 | 56 | 35h |

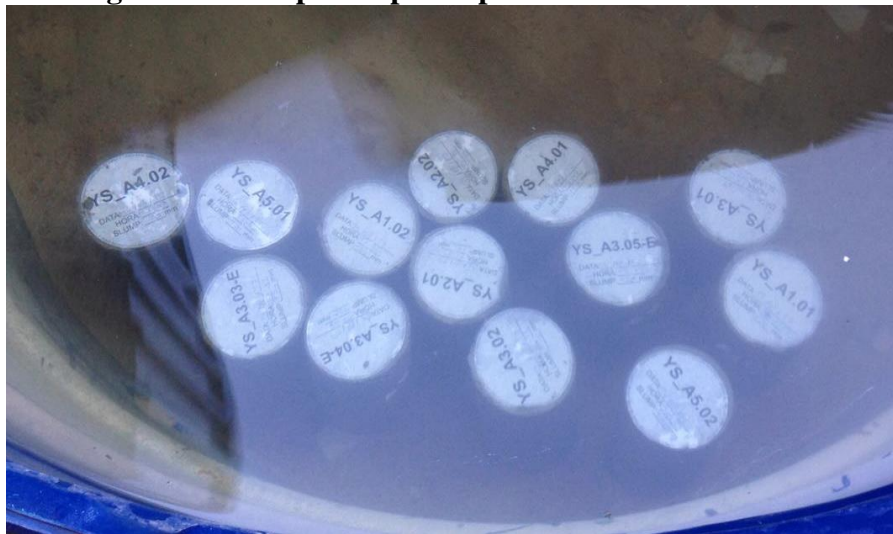
Fonte: Autor

3.3.1.4 Cura dos corpos de prova de concreto

Após a cura inicial de 24 h e desmoldagem, os corpos de prova foram imersos em solução saturada de água e cal (hidróxido de cálcio), como mostra a Figura 15, onde ficaram até a idade de cura estabelecida para serem rompidos, a mistura ficou em temperatura ambiente, tampada e isenta da ação de fatores que pudessem alterar a sua concentração de cal.

O tempo de cura dos corpos de prova são apresentados na Tabela 3, onde os corpos de prova com 3, 7 e 28 dias foram curados para serem ensaios a compressão axial e aos 56 dias seriam ensaiados os corpos de prova tanto a compressão axial como a módulo de elasticidade.

Figura 15 – Corpos de prova postos a cura em imersão.



Fonte: Autor

Tabela 3 – Tempos de cura e tolerâncias de tempo de rompimento do concreto

| Tempo de cura | |
|---------------|------------|
| Dias | Tolerância |
| 3 | 2h |
| 7 | 6h |
| 28 | 24h |
| 56 | 35h |

Fonte: Autor

3.3.1.5 Rompimento dos corpos de prova de concreto

O rompimento dos corpos de prova tanto para verificação da compressão axial quanto para a obtenção do módulo de elasticidade foram feitos seguindo as normas ABNT NBR 5739/2007 para compressão axial e ABNT NBR 8522/2008 para o módulo de elasticidade, ambas em conformidade com as necessidades exigidas de cada ensaio.

Os corpos de prova foram retirados da imersão em água saturada de cal 24h antes do rompimento, previamente ao seu ensaio os corpos de prova tiveram suas faces retificadas, como mostra a Figura 16, ainda assim foram utilizados discos de Neoprene para o ajuste exato do corpo de prova, a fim de garantir que a superfície de contato do corpo de prova com a prensa de ensaio fosse uniforme e com isso a carga exercida pelo ensaio se distribuisse da mesma forma em toda área do corpo de prova.

O ensaio de compressão axial e de módulo de elasticidade foram realizados em uma prensa da marca Emic modelo DL30000N com capacidade de carga de compressão de 2000kN, como mostra a Figura 17, os valores obtidos foram apresentados em relatórios que

demonstravam a carga aplicada e o tempo de aplicação de carga no caso de compressão axial e carga aplicada e deformação no caso do módulo de elasticidade, como mostra o Anexo A.

Figura 16 – Corpo de prova retificado pronto a ser ensaiado a compressão axial.



Fonte: Autor

Figura 17 – Equipamento de ensaio a compressão.



Fonte: Autor

3.3.1.6 Periculosidade do concreto com ADF

Para a realização do ensaio de obtenção do extrato lixiviado de resíduos foram utilizadas amostras de concreto endurecido com idade de 56 dias e substituições de 0% e 50% de areia de descarte de fundição. Foi utilizado um corpo de prova de cada substituição foi quebrado ao meio e moído até que a amostra passasse pela peneira 9,5mm como determina a ABNT NBR 10005/2004.

3.3.1.6.1 Ensaio de lixiviação

Previamente a obtenção do extrato de lixiviado da amostra se realizou o ensaio para determinação da solução de extração do extrato lixiviado, os passos e resultados da determinação da solução de extração foram semelhantes para as duas amostras de concreto, que eram as amostra do concreto referência e do concreto com 50 % de areia de descarte de fundição.

Foram adicionadas 5g de amostra do concreto moído em um béquer de vidro onde se adicionou 96,5ml de água deionizada, amostra foi imediatamente colocada em agitação mecânica vigorosa durante 5 min, após o tempo de agitação o Ph da mistura foi verificado, a mostra apresentou um Ph=12 (básico) o que segundo ABNT NBR 10005/2004 leva a se adicionar 3,5ml de HCl a fim de assim obter a solução de extração da amostra, posterior a essa adição a amostra permaneceu por 10 min sob agitação vigorosa a uma temperatura de 50°C para assim se realizar novamente a análise do Ph, que apresentou valor de Ph=11, o que segundo norma leva a se utilizar a solução de extração n°2, solução que já estava preparada.

Foram pesados 10g da amostra de concreto, que foi colocado no frasco do agitador juntamente com 200ml da solução de extração n°2, o frasco ficou em agitação por 18 horas ininterruptas, como mostra a Figura 18, posterior a agitação o extrato obtido foi filtrado em filtro de papel para a retirada de todas as partículas solidas que pudessem danificar o equipamento de análise, como mostra a Figura 19.

Figura 18 – Equipamento de agitação para obtenção do extrato lixiviado.



Fonte: Autor

Figura 19 – Extrato lixiviado sendo filtrado após agitação.



Fonte: Autor

3.3.1.6.1.1 Leitura do extrato lixiviado

A leitura do extrato lixiviado foi realizada com a finalidade de se ter a lista de concentrações dos metais presentes na amostra, realizada pela Central Analítica presente na Universidade de Santa Cruz do Sul, a análise do extrato foi realizado pelo método de varredura de metais segundo método ICP, onde foram coletados os valores de concentração dos seguintes metais: Alumínio, Antimônio, Bário, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo Total, Ferro, Magnésio, Manganês, Níquel, Potássio, Prata, Sódio e Zinco

3.3.2 Argamassa

3.3.2.1 Traço experimental da argamassa

O traço de argamassa utilizado, apresentado na Tabela 4, para se obter a resistência da argamassa utilizada no concreto e se criar um parâmetro de análise de como a areia de descarte de fundição se comporta interagindo diretamente com o cimento, foi retirado do mesmo traço estabelecido para o concreto utilizado na pesquisa, onde apenas se retirou a parcela de agregado graúdo da mistura sem realizar outras alterações no traço de argamassa do concreto utilizado. Realizou-se uma substituição de 100% da areia natural por areia de descarte de fundição, como mostra a Figura 20, que foi comparada a argamassa referência que não continha areia de descarte de fundição, como mostra a Figura 2.

Pode se verificar grande diferença de cor e odor característico da argamassa que continha somente areia de fundição quando comparada com a argamassa que continha somente areia de descarte de fundição.

Figura 20 – Argamassa com 100% de ADF.



Fonte: Autor

Figura 21 – Argamassa com 100% de areia natural.

Fonte: Autor

Tabela 4 – Traço unitário de argamassa utilizado.

| Cimento | Pozolana | Areia | Água |
|---------|----------|-------|------|
| 1 | 0,25 | 3,3 | 0,67 |

Fonte: Autor

3.3.2.2 Moldagem dos corpos de prova de argamassa

Os corpos de prova para ensaio da argamassa foram moldados segundo o que prescreve a ABNT NBR 7215/1996 para a determinação de resistência a compressão do cimento Portland onde a metodologia de ensaio sofreu alterações para atender a análise desejada a fim de se verificar a resistência da argamassa com areia de descarte de fundição.

Foram moldados 9 corpos de prova para cada traço, como mostra a Figura 22, onde foram ensaiados 3 corpos de prova para cada idade de cura, idades estas que eram de 3, 7 e 28 dias. Os corpos de prova foram identificados de acordo com a substituição de cada um, onde o código A representava o traço com 100% de areia de descarte de fundição e o código B representava o traço com 100% de areia natural. Cada corpo de prova com dimensões de 50mm de diâmetro por 100mm de altura, foi moldado com 4 camadas de argamassa adensadas com 30 golpes cada uma de acordo com a ABNT NBR 7215/1996.

Figura 22 – Corpos de prova de argamassa moldados.



Fonte: Autor

3.3.2.3 Cura dos corpos de prova de argamassa

Após cura inicial de 24h e desmoldagem os corpos de prova foram imersos em solução saturada de água e cal (hidróxido de cálcio) como mostra a Figura 23 e mantido em temperatura ambiente até atingirem sua idade de cura para o ensaio de compressão axial.

Figura 23 – Cura dos corpos de prova de argamassa em imersão.



Fonte: Autor

3.3.2.4 Rompimento dos corpos de prova de argamassa

Após atingidos os tempos de cura da argamassa os corpos de prova foram capeados com gesso a fim de se obter uma superfície plana para que as cargas de ensaio fossem distribuídas por igual no corpo de prova no momento do ensaio a compressão axial.

Os corpos de prova foram identificados de acordo com o teor de adição, a sigla ADF representava os corpos de prova com 100% de areia de descarte de fundição, enquanto a sigla AN identificava os corpos de prova com 100% de areia natural como mostra a Figura 24.

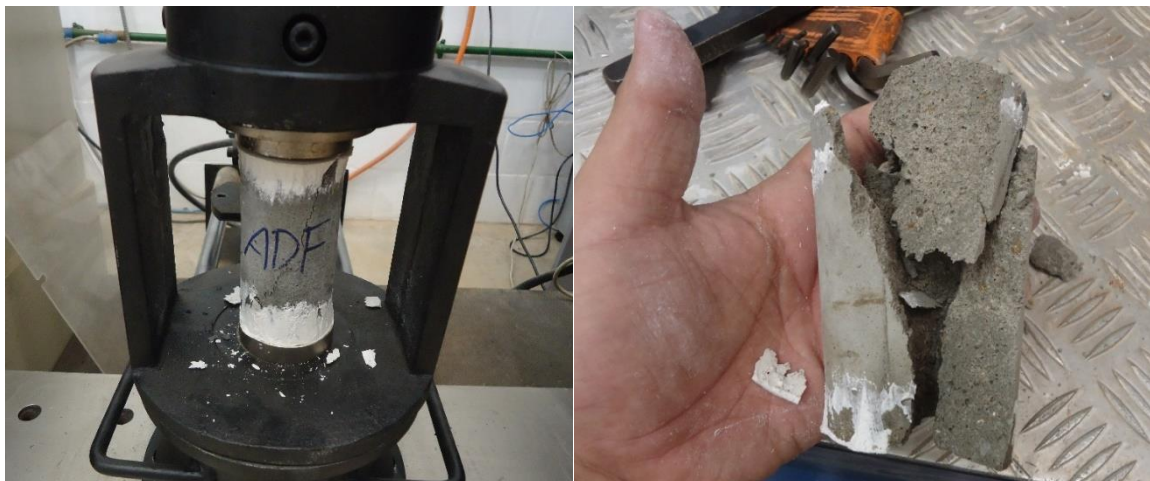
Após ajustes no aparelho de ensaio os corpos de prova foram alocados de forma reta e centrada dentro do guia para rompimento de corpo de prova de argamassa, então foram rompido por compressão axial como mostra a Figura 25.

Figura 24 – Corpos de prova capeados e identificados para ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor

Figura 25 – Corpo de prova de argamassa sendo ensaiado e após o ensaio a compressão axial.



Fonte: Autor

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização dos materiais utilizados

4.1.1 Agregados

4.1.1.1 Areia de descarte de fundição

Os resultados obtidos nos ensaios de granulometria, expressos na Tabela 5, e de massa específica da areia de descarte de fundição, expressos na Tabela 6, demonstram que a areia de descarte de fundição mesmo contendo partículas de ferro na sua composição tem uma distribuição granulométrica bem adequada ao analisarmos seu módulo de finura de 2,48 que é próximo de 2,50, valor considerado o valor ideal de distribuição granulométrica para areias utilizadas em concretos. A massa específica obteve um valor de 2666,7 Kg/m³ valor este que é bem semelhante a areias naturais comercialmente utilizadas na região demonstrando que seu ajuste em traços de concreto pode ser facilmente feito tomando como base as massas específicas das areias utilizadas na empresa de concreto.

Tabela 5 – Composição granulométrica da areia de descarte de fundição.

| Granulometria segundo ABNT NM 248/2003 | | | | |
|--|--------------|-------------|----------|--------------------|
| Peneira | M retido (g) | M acumulado | % retida | % retida acumulada |
| 4,75mm | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| 2,36mm | 3,6 | 3,6 | 1,2 | 1,3 |
| 1,18mm | 46,1 | 49,7 | 15,3 | 16,7 |
| 600µm | 11,9 | 61,6 | 3,9 | 20,7 |
| 300µm | 38,1 | 99,7 | 12,7 | 33,4 |
| 150µm | 162,6 | 262,3 | 54,2 | 87,6 |
| FUNDO | 36,4 | 298,7 | 12,1 | 87,6 |

| | |
|--------|-----|
| MF | 2,4 |
| D máx. | 2,3 |

Fonte: Autor

Tabela 6 – Massa específica da areia de descarte de fundição.

| Amostra 1 | | | Amostra 2 | | |
|------------------|--------|-------------------|------------------|--------|-------------------|
| Massa Específica | 2673,8 | Kg/m ³ | Massa Específica | 2659,5 | Kg/m ³ |
| Massa Específica | 2666,7 | Kg/m ³ | | | |

Fonte: Autor

4.1.1.2 Areia natural

Os resultados obtidos nos ensaios de granulometria, expressos na Tabela 7, e de massa específica da areia natural, expressos na Tabela 8, mostram que os valores são praticamente similares a areia de descarte de fundição, onde, os resultados de massa específica são bem próximos a areia de descarte de fundição com variação de apenas 100 kg/m³, já na análise granulométrica os valores do módulo de finura tem grande variação, esta variação se deve a escolha de uma areia natural um pouco mais grossa que a areia natural utilizada nas dosagens de concretos, escolha esta que foi feita para se ter uma distribuição de dimensões melhor no concreto analisado criando um arranjo de granulometrias melhor.

Tabela 7 – Composição granulométrica da areia natural.

| Granulometria segundo ABNT NM 248/2003 | | | | |
|--|--------------|-------------|----------|--------------------|
| Peneira | M retido (g) | M acumulado | % retida | % retida acumulada |
| 4,75mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2,36mm | 29,5 | 29,55 | 9,8 | 9,8 |
| 1,18mm | 34,7 | 64,3 | 11,5 | 21,4 |
| 600µm | 55,9 | 120,2 | 18,6 | 40,1 |
| 300µm | 108,6 | 228,8 | 36,2 | 76,3 |
| 150µm | 66,2 | 295,1 | 22,1 | 98,3 |
| FUNDO | 4,8 | 299,9 | 1,6 | 98,3 |

| | |
|--------|-----|
| MF | 3,4 |
| D máx. | 2,3 |

Fonte: Autor

Tabela 8 – Massa específica da areia natural.

| Amostra 1 | | | Amostra 2 | | |
|------------------|--------|-------------------|------------------|--------|-------------------|
| Massa Específica | 2604,1 | Kg/m ³ | Massa Específica | 2604,1 | Kg/m ³ |
| Massa Específica | 2604,1 | Kg/m ³ | | | |

Fonte: Autor

4.1.1.3 Brita 0

O ensaio de caracterização da massa específica apresentados na Tabela 9, e o ensaio de composição granulométrica apresentados na Tabela 10, demonstram as características básicas da brita 0 para o ajuste feito no traço do concreto, valores estes dentro do esperado segundo parâmetros já analisados em ensaios anteriores com materiais similares.

Tabela 9 – Massa específica e demais dados aferidos da brita 0.

| | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| Massa específica do agregado seco | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|

| | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
| 2928,6 | Kg/m ³ | 2923,1 | Kg/m ³ | 2918,1 | Kg/m ³ |

Média: 2923Kg/m³

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| Massa específica do agregado com superfície seca | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|

| | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
| 2830,8 | Kg/m ³ | 2829,6 | Kg/m ³ | 2825 | Kg/m ³ |

Média: 2828,4Kg/m³

| | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|--|
| Massa específica aparente | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|--|

| | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
| 2780,1 | Kg/m ³ | 2781 | Kg/m ³ | 2776,5 | Kg/m ³ |

Média: 2779,2Kg/m³

| | | | | | |
|------------------|--|--|--|--|--|
| Absorção de água | | | | | |
|------------------|--|--|--|--|--|

| | | | | | |
|-----------|---|-----------|---|-----------|---|
| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
| 1,8 | % | 1,7 | % | 1,7 | % |

Fonte: Autor

Tabela 10 – Composição granulométrica da brita 0.

| Granulometria segundo ABNT NM 248/2003 | | | | |
|--|--------------|-------------|----------|--------------------|
| Peneira | M retido (g) | M acumulado | % retida | % retida acumulada |
| 25mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9,5mm | 2,1 | 2,1 | 0,2 | 0,2 |
| 4,75 mm | 997,9 | 1000 | 99,7 | 99,7 |
| FUNDO | | | 0 | 0 |

| |
|-------------------|
| Dmax 9,5mm |
|-------------------|

Fonte: Autor

4.1.1.4 Brita 1

O ensaio de caracterização da massa específica apresentados na Tabela 11, e o ensaio de composição granulométrica apresentados na Tabela 12, demonstram as características básicas da brita 0 para o ajuste feito no traço do concreto, valores estes dentro do esperado segundo parâmetros já analisados em ensaios anteriores.

Tabela 11 – Massa específica e demais dados aferidos da brita 1.

| |
|-----------------------------------|
| Massa específica do agregado seco |
|-----------------------------------|

| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| 2972,7 | Kg/m ³ | 2991,7 | Kg/m ³ | 2958,6 | Kg/m ³ |

Média: 2974,33Kg/m³

| |
|--|
| Massa específica do agregado com superfície seca |
|--|

| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| 2847,4 | Kg/m ³ | 2860,1 | Kg/m ³ | 2836,3 | Kg/m ³ |

Média: 2856,93Kg/m³

| |
|---------------------------|
| Massa específica aparente |
|---------------------------|

| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| 2783,8 | Kg/m ³ | 2794,1 | Kg/m ³ | 2773,9 | Kg/m ³ |

Média: 2783,93Kg/m³

| | |
|------------------|--|
| Absorção de água | |
|------------------|--|

| | | | | | |
|-----------|---|-----------|---|-----------|---|
| Amostra 1 | | Amostra 2 | | Amostra 3 | |
| 2,2 | % | 2,3 | % | 2,2 | % |

Fonte: Autor

Tabela 12 – Composição granulométrica da brita 1.

| Granulometria segundo ABNT NM 248/2003 | | | | |
|--|--------------|-------------|----------|--------------------|
| Peneira | M retido (g) | M acumulado | % retida | % retida acumulada |
| 25mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19mm | 132,1 | 132,1 | 13,2 | 13,2 |
| 12,5mm | 3711,8 | 3843,9 | 371,1 | 371,1 |
| 9,5mm | 1062,6 | 4906,5 | 106,2 | 106,2 |
| 4,75 mm | 0 | 4906,5 | 0 | 0 |
| FUNDO | 83,4 | | 8,3 | 8,3 |

| |
|------------------|
| Dmax 19mm |
|------------------|

Fonte: Autor

4.1.2 Cimento

O cimento foi analisado a fim de se obter a massa específica real da amostra coletada, para ser comparada com a massa específica fornecida pelo fabricante do cimento no Anexo B, ao comparar com a Tabela 13 que mostra os valores obtidos nos ensaios do cimento pode se constatar que a massa real da amostra ensaiada possui uma massa um pouco maior que a declarada pelo fabricante, mas ainda dentro de níveis aceitáveis para utilização e ajuste no traço.

Tabela 13 – Determinação da massa específica do cimento.

| | | | | | |
|------------------|---------|-------------------|------------------|---------|-------------------|
| Amostra 1 | | | Amostra 2 | | |
| Massa Específica | 3174,60 | Kg/m ³ | Massa Específica | 3076,92 | Kg/m ³ |
| Massa Específica | 3125,76 | Kg/m ³ | | | |

Fonte: Autor

4.2 Concreto

4.2.1 Traço experimental utilizado

O traço utilizado no concreto analisado teve seu valor de consumo de cimento, teor de argamassa, fator água/cimento e consumo de agregado graúdo fixados, onde a única variação que ocorreu foi na substituição da areia natural por areia de descarte de fundição. Pequenas variações na água inicial de amassamento foram admitidas a fim de se ajustar o abatimento

inicial que posteriormente foi ajustado para o valor de abatimento predefinido. Os traços utilizados no procedimento experimental são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Traços unitário e em massa das substituições utilizadas.

| | Dosagem para 60kg de concreto | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------|-----------|---------------|-------|------|------|------|-------------|------|------|
| | Kg | | | | | | | Aditivo (g) | | |
| | Cimento | Pozzolana | Areia natural | ADF | B 01 | B 00 | Água | 0,6% | 0,9% | 1,2% |
| Referência | 7 | 1,75 | 23,12 | 0 | 17,5 | 7,5 | 4,75 | 44 | 66 | 88 |
| 5% | 7 | 1,75 | 21,96 | 1,16 | 17,5 | 7,5 | 4,75 | 44 | 66 | 88 |
| 10% | 7 | 1,75 | 20,81 | 2,31 | 17,5 | 7,5 | 4,75 | 44 | 66 | 88 |
| 15% | 7 | 1,75 | 19,65 | 3,47 | 17,5 | 7,5 | 4,75 | 44 | 66 | 88 |
| 20% | 7 | 1,75 | 18,50 | 4,62 | 17,5 | 7,5 | 4,75 | 44 | 66 | 88 |
| 50% | 7 | 1,75 | 11,56 | 11,56 | 17,5 | 7,5 | 4,75 | 44 | 66 | 88 |
| Traço unitário | 1 | 0,25 | 3,3 | -- | 3,5 | | 0,67 | | | |

Fonte: Autor

4.2.2 Análise do concreto em estado fresco

O concreto em estado fresco foi analisado segundo os métodos descritos na ABNT NM 67/1998 que determina os procedimentos para análise do concreto em estado fresco pelo ensaio de abatimento de tronco de cone ou “*slump test*”, os valores obtidos estão expressos na Tabela 15. Com o aumento do teor de substituição de areia natural por areia de descarte de fundição os valores de abatimento foram alcançados com quantidades menores de aditivo em relação a mistura do concreto referência, isso teoricamente se deve ao fato do concreto obter melhor trabalhabilidade quando se tem uma distribuição de agregados adequada dentro de sua mistura, ou seja, o teor de substituição de 20% de areia de descarte de fundição atingiu uma mistura ideal para trabalhabilidade do concreto.

Tabela 15 – Abatimento do concreto em estado fresco, aditivo e água de cada substituição.

| Referência | | | |
|------------|-----------|------------|---------|
| Tentativa | Slump(mm) | Aditivo(g) | Água(l) |
| 1° | 50 | 44 | 4,75 |
| 2° | 110 | 22 | |
| 3° | 110 | 22 | |
| 4° | 170 | 0 | |

| 5% de Areia de descarte de fundição | | | |
|-------------------------------------|-----------|------------|---------|
| Tentativa | Slump(mm) | Aditivo(g) | Água(l) |
| 1° | 110 | 44 | 4,75 |
| 2° | 190 | 0 | |
| 3° | | | |
| 4° | | | |

| 10% de Areia de descarte de fundição | | | |
|--------------------------------------|-----------|------------|---------|
| Tentativa | Slump(mm) | Aditivo(g) | Água(l) |
| 1° | 40 | 44 | 4,75 |
| 2° | 110 | 22 | |
| 3° | 160 | 0 | |
| 4° | | | |

| 15% de Areia de descarte de fundição | | | |
|--------------------------------------|-----------|------------|---------|
| Tentativa | Slump(mm) | Aditivo(g) | Água(l) |
| 1° | 60 | 44 | 4,5 |
| 2° | 160 | 0 | |
| 3° | | | |
| 4° | | | |

| 20% de Areia de descarte de fundição | | | |
|--------------------------------------|-----------|------------|---------|
| Tentativa | Slump(mm) | Aditivo(g) | Água(l) |
| 1° | 50 | 44 | 4,5 |
| 2° | 130 | 22 | |
| 3° | 170 | 0 | |
| 4° | | | |

| 50% de Areia de descarte de fundição | | | |
|--------------------------------------|-----------|------------|---------|
| Tentativa | Slump(mm) | Aditivo(g) | Água(l) |
| 1° | 60 | 44 | 4,75 |
| 2° | 160 | 0 | |
| 3° | | | |
| 4° | | | |

Fonte: Autor

4.2.3 Ensaios de compressão axial do concreto

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial obtiveram os valores apresentados na Tabela 16, onde se verificou o que anteriormente Guney *et al.* (2010) havia levantado como hipótese de comportamento do concreto com resíduos de areia de descarte de fundição, o concreto com areia de descarte de fundição apresentou acréscimo de resistência com o aumento do teor de substituição, até certo teor de substituição, pelo arranjo de dimensões dos agregados que tornaram a matriz de concreto mais densa, e após se atingir o valor ótimo de adição e continuar adicionando areia de descarte de fundição os valores de resistência do concreto vão caindo em decorrência do teor de argamassa estar sendo grandemente influenciado pela areia de descarte de fundição e por sua finura influenciar na quantidade de água necessária para a mistura, onde maiores quantidade de areia de descarte de fundição necessitavam de mais água na mistura.

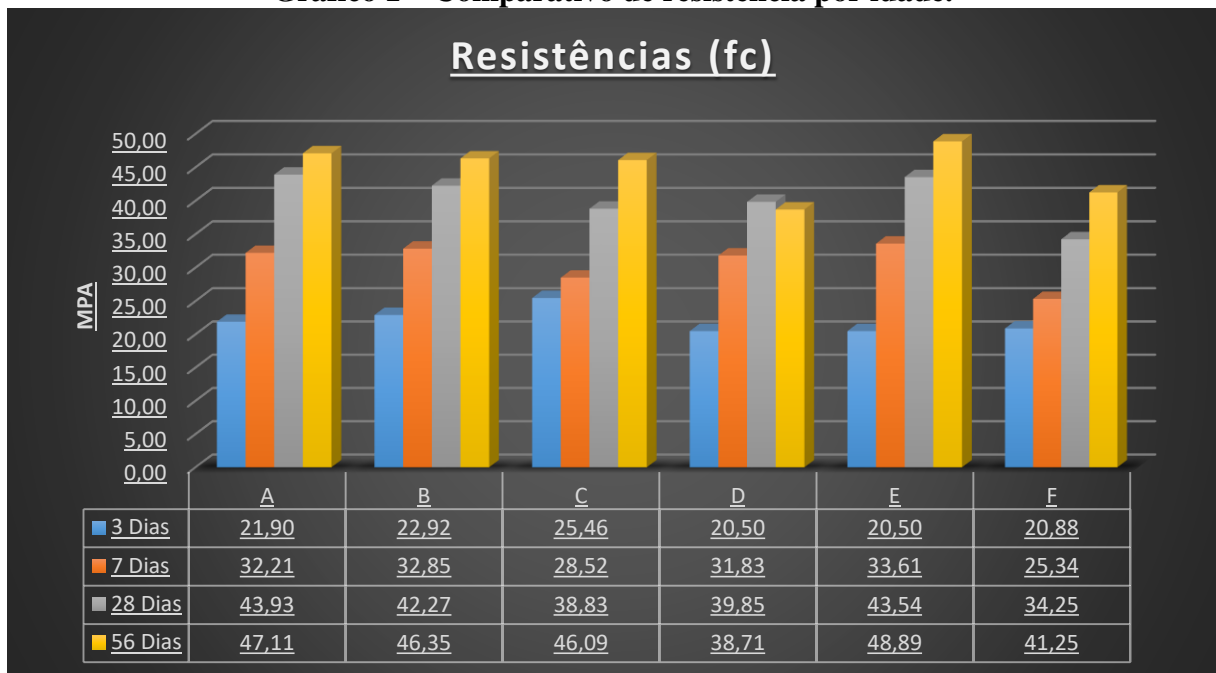
Tabela 16 – Resistências obtidas por cada substituição nas idades de ensaio.

| 3 dias | | 7 dias | | 28 dias | | 56 dias | |
|--------|-------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Adição | fc | Adição | fc | Adição | fc | Adição | fc |
| A | 21,90 | A | 32,21 | A | 43,93 | A | 47,11 |
| B | 22,92 | B | 32,85 | B | 42,27 | B | 46,35 |
| C | 25,46 | C | 28,52 | C | 38,83 | C | 46,09 |
| D | 20,50 | D | 31,83 | D | 39,85 | D | 38,71 |
| E | 20,50 | E | 33,61 | E | 43,54 | E | 48,89 |
| F | 20,88 | F | 25,34 | F | 34,25 | F | 41,25 |

Fonte: Autor

No Gráfico 1 onde é apresentado o comparativo de resistências por idades de cura pode se verificar que com o aumento da idade o concreto com areia de descarte de fundição apresenta porcentagens de acréscimo de resistência diferentes do concreto referência, valores estes apresentados na Tabela 17, onde se pode verificar que o comportamento do concreto com areia de descarte de fundição é diferente do concreto referência no quesito de ganho de resistência com o aumento no tempo de cura.

Gráfico 1 – Comparativo de resistência por idade.



Fonte: Autor

Analisando o valor de 10% de adição que segundo Guney *et al.* (2010) foi o valor que supostamente teria o melhor resultado de resistência, verificou-se que para as idades iniciais de 3 dias realmente apresenta valores de resistência acima do concreto referência, mas ao decorrer dos ensaios em idades mais avançadas, o valor de 20% de adição se mostrou mais resistente que o concreto referência como mostrado no Gráfico 1.

Tabela 17 – Percentual de acréscimo de resistência entre as idades de cura

| A | | B | | C | |
|--------------|------|--------------|------|--------------|------|
| Idade | % | Idade | % | Idade | % |
| 3 a 7 dias | 47,0 | 3 a 7 dias | 43,3 | 3 a 7 dias | 12 |
| 7 a 28 dias | 36,3 | 7 a 28 dias | 28,6 | 7 a 28 dias | 36,1 |
| 28 a 56 dias | 7,2 | 28 a 56 dias | 9,6 | 28 a 56 dias | 18,6 |

| D | |
|--------------|------|
| Idade | % |
| 3 a 7 dias | 55,2 |
| 7 a 28 dias | 25,2 |
| 28 a 56 dias | -2,8 |

| E | |
|--------------|------|
| Idade | % |
| 3 a 7 dias | 63,9 |
| 7 a 28 dias | 29,5 |
| 28 a 56 dias | 12,2 |

| F | |
|--------------|------|
| Idade | % |
| 3 a 7 dias | 21,3 |
| 7 a 28 dias | 35,1 |
| 28 a 56 dias | 20,4 |

Fonte: Autor

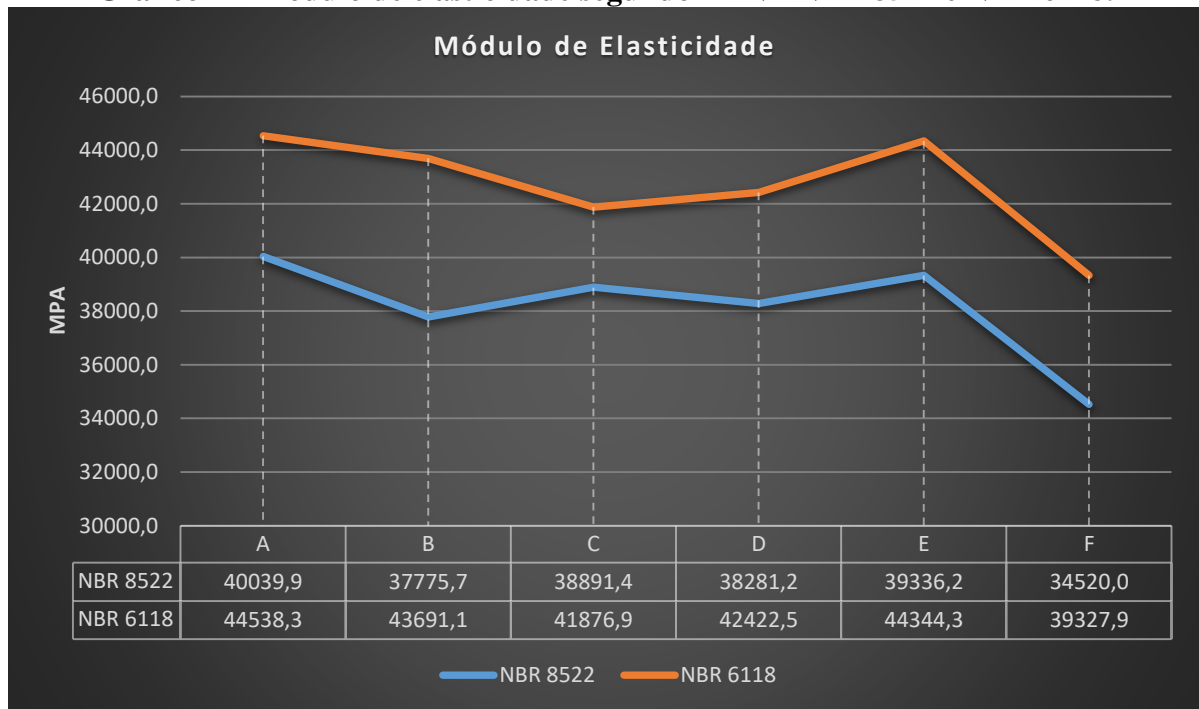
Ao analisar o teor de 50% de substituição de areia e comparar com os resultados de 20% de substituição se confirmou o que foi dito por Singh e Siddique (2012), que constataram que ao aumentar os valores de adição de areia de descarte de fundição a resistência do concreto com adição comparado com o concreto referência decaiu.

Os outros valores de substituição se comportaram de forma não linear aos valores analisados e tiveram o comportamento diferente entre os teores de substituição analisados levando a se considerar que não se pode fazer uma análise linear do dados, pois a areia de descarte de fundição tem um comportamento diferente da areia natural.

4.2.4 Ensaio de módulo de elasticidade do concreto

Os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade realizados aos 56 dias de idade para realização do cálculo definido pela ABNT NBR8522/2008 comparados aos resultados obtidos por cálculo determinado pela ABNT NBR 61118/2014 aos 28 dias de idade, representados no Gráfico 2, demonstram que da mesma forma que a resistência aumenta em certas adições o módulo de elasticidade também aumenta demonstrando que o módulo de elasticidade do concreto com areia de descarte de fundição tem comportamento praticamente similar ao concreto referência. Se comparados aos valores do concreto com adições em relação ao concreto referência pode se verificar que não ocorreram mudanças drásticas no módulo de elasticidade do concreto, ou seja, a areia de descarte de fundição não influenciou o módulo de elasticidade do concreto de forma diferente de sua influência sobre a resistência a compressão.

Gráfico 2 – Módulo de elasticidade segundo ABNT NBR 8522 e NBR 6118.



Fonte: Autor

4.2.5 Ensaio de lixiviação do concreto

Os ensaios de obtenção e análise do extrato lixiviado do concreto referência e do concreto com 50% de areia de descarte de fundição, apresentaram os valores expressos na Tabela 18, que demonstram claramente que o cimento tem a capacidade de deixar a areia de fundição inerte quando feita a mistura de concreto assim como dito por Pinto (2008), onde após o mesmo ensaio obteve valores que evidenciavam a capacidade do cimento de “encapsular” qualquer agente residual nocivo presente na areia de descarte de fundição.

Tabela 18 – Resultados e comparação com limites normativos do extrato lixiviado.

| Extrato lixiviado (mg L) NBR 10004/2004 | | | |
|---|-----------|------------|-----|
| | 0% de ADF | 50% de ADF | VMP |
| Alumínio | 2,69 | 1,14 | -- |
| Antimônio | 0,012 | <0,005 | -- |
| Bário | 0,739 | 0,464 | 70 |
| Cádmio | <0,001 | <0,001 | 0,5 |
| Cálcio | 2005 | 2039 | -- |
| Chumbo | 0,005 | 0,005 | 1 |
| Cobalto | 0,013 | 0,004 | -- |
| Cobre | <0,02 | <0,02 | -- |
| Cromo Total | <0,050 | <0,050 | 5 |
| Ferro | 0,27 | 0,18 | -- |
| Magnésio | 67,33 | 65,62 | -- |
| Manganês | 1,17 | 0,49 | -- |
| Níquel | 0,05 | 0,02 | -- |
| Potássio | 15,2 | 15,31 | -- |
| Prata | 0,157 | 0,156 | 5 |
| Sódio | 22,42 | 21,91 | -- |
| Zinco | 0,11 | 0,06 | -- |
| VMP: Valor máximo permitido segundo ABNT NBR 10004/2004 | | | |

Fonte: Autor

4.3 Argamassa

4.3.1 Ensaio de compressão axial da argamassa

Os ensaios realizados na argamassa do concreto utilizado a fim de verificar qual a interação da areia de descarte de fundição diretamente com o cimento, feitos com a intenção de se verificar se os percentuais de acréscimo de resistência em idades mais avançadas seriam pela interação da areia de descarte de fundição com o agregado miúdo ou se seriam da interação da areia de descarte de fundição com o cimento, mostraram que o acréscimo de resistência, apresentado no Gráfico 3, com percentual diferente da argamassa sem areia de descarte de fundição, apresentado no Gráfico 4, ocorre sem a influência do agregado miúdo natural na mistura de concreto, ou seja, o ganho de resistência de forma diferente ao decorrer das idades se deve pelas interações criadas entre a areia de descarte de fundição com o cimento, no momento em que a areia de fundição, composta de sílica, e seus materiais carbonáceos criam ligações pozolanica com o cimento e conferem maior resistência a mistura. Mas, ainda assim o arranjo de diferentes granulometrias tem efeitos benéficos para a argamassa ou concreto quando combinadas a areai de descarte de fundição com areia natural.

Gráfico 3 – Comparativo de resistência da argamassa entre idades.

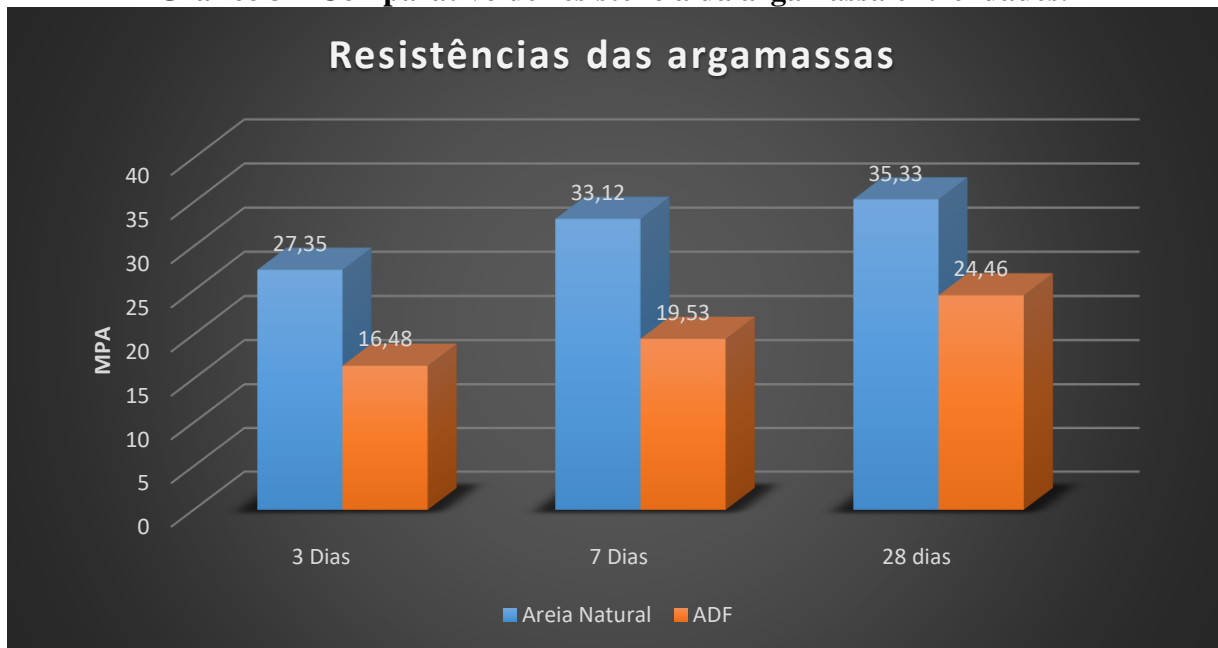
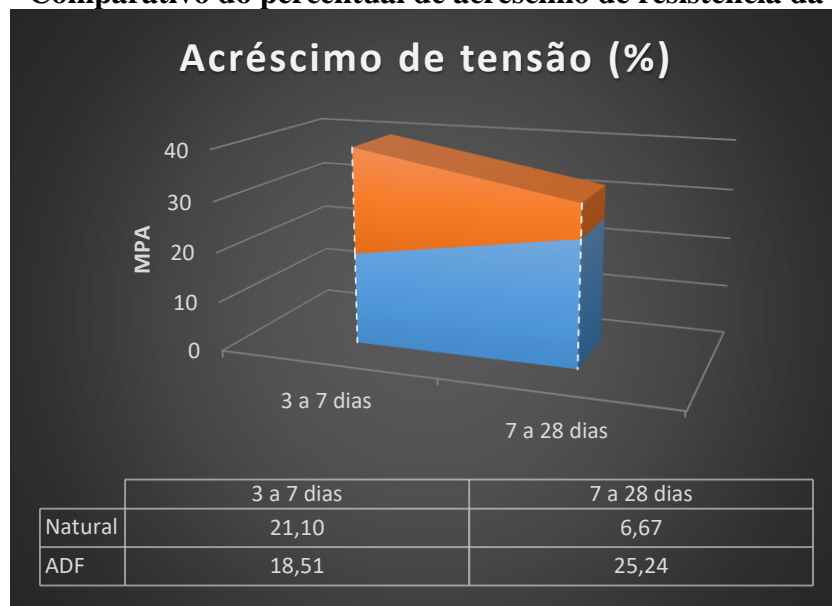


Gráfico 4 – Comparativo do percentual de acréscimo de resistência da argamassa.



5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusões

A areia de descarte de fundição pode ser utilizada como parcela dos agregados miúdos em dosagens de concreto, se utilizada sem um correto ajuste de proporções de areia de descarte de fundição com areia natural pode influenciar negativamente na resistência. A areia de descarte de fundição quando analisada após sua adição no concreto se mostrou inerte a liberação de componentes nocivos ao meio ambiente, bem como, mostrou atender os valores máximos permitidos por norma de classificação de resíduos. Com os dados obtidos pode se classificar conforme anexo G da ABNT NBR 10004/2004, com certa adequação dos parâmetros normativos, o concreto com 50% (maior adição analisada) como um produto de Classe II – B (inerte), e conforme anexo H da ABNT NBR 10004/2004 pode se utilizar o código A016 para sua identificação, após estas análises pode se definir que não a periculosidade de contaminação do meio ambiente ao se utilizar concretos com areia de descarte de fundição.

O concreto que continha areia de descarte de fundição, com qualquer teor de substituição, apresentou características em estado fresco igual ao concreto referência que não continha areia de descarte de fundição, com isso pode se dizer que a areia de descarte de fundição não influencia drasticamente na trabalhabilidade do concreto.

Em estado endurecido o teor de adição que mostrou melhor desempenho, no ensaio de compressão axial e módulo de elasticidade, foi o teor de 20% de substituição de areia natural por areia de descarte de fundição. A resistência do concreto com 20% de substituição apresentou valores de resistência a compressão maiores que o concreto referência, mas, ao se analisar estatisticamente os dados eles teriam o mesmo valor de resistência se levado em consideração variações e desvios, com isso pode se afirmar que a areia de descarte de fundição no caso das análises realizadas não apresenta influência negativa na resistência do concreto.

O concreto produzido com areia de descarte de fundição supostamente teria a capacidade de ser produzido em usinas de concreto após análises de disponibilidade de material e análises para adequação do material aos equipamentos utilizados nas usinas, durabilidade do concreto produzido e desempenho a intempéries, ou seja, todas as análises que um concreto usinado necessita para ser produzido.

Ao analisar sensorialmente e visualmente o concreto produzido pode se perceber que os concretos que continham areia de descarte de fundição não sofriram nenhuma alteração exponencial em relação ao concreto referência, a não ser no concreto que continha 50% de

substituição que apresentou um tom mais escuro em relação ao referênciã, tom este que não pode ser percebido nas outras substituições. Com isso pode se dizer que não existem influências visuais em concretos com até 50% de areia de descarte de fundição.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Análise de tores de substituição entre 20% e 50% de areia fundição;

Análise através de microscopia das interações da areia de descarte de fundição com o cimento e comparação com as interações da areia natural;

Ensaio de aderência de barras de concreto com areia de descarte de fundição;

Obtenção da massa específica de composições de areia natural com areia de descarte de fundição;

Determinação do módulo de finura de composições de areia de descarte de fundição com areia natural;

Desempenho frente a perda ao fogo de concreto com areia de descarte de fundição;

Verificação que viabilizem normativamente a utilização da areia de descarte de fundição como agregado miúdo;

Análise de sua utilização combinada com outros resíduos do setor industrial;

Teste de sua utilização em argamassas para verificação de sua possível capacidade refratária, capacidade esta levada em consideração para a fundição de metais;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA: Associação Brasileira de Fundição. Disponível em <<http://www.abifa.org.br>>.

ADEGAS, Roseane Gonçalves. Perfil Ambiental dos Processos de Fundição Ferrosa que utilizam Areias no Estado do Rio Grande do Sul. 108 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia, UFRGS, 2007.

AITCIN, P.C. Concreto de Alto Desempenho. São Paulo: Pini, 2000.

ALVES, J.D. Materiais de construção. 2º ed. Goiânia: Editora Universidade Federal de Goiás, 1987.

ALVES, J.D., Manual de Tecnologia do Concreto. 3º ed., Goiânia, Editora UFG, 1993.

ANDRADE, T; HELENE, P. Concreto de cimento Portland. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON. São Paulo, 2007.

ANDRIOLO, F. R. Construções de concreto. São Paulo, Ed. Pini, 1984. 738p.

ARMANGE, L. C. Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa. Joinville, 2005. 41p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade do Estado de Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 10005: Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. 10006: Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993.

_____. NBR 9935: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BARROS, Regina Mambeli. Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade / Regina Mambeli Barros. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012

BASAR, H. MERVE; AKSOY, NURAN DEVECI. The effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical, leaching and micro-structural characteristics of ready-mixed concrete. *Construction and Building Materials*, vol. 35, 2012, p. 508–515

BAUER, L. A. F. *Materiais de Construção*. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1995. 529p.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 313/2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. *Diário Oficial da União*, nº 226, Seção I, p. 85-91. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_313.pdf> Acesso em 20 de abril de 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. 2016. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/ANUÁRIO+METALURGICO+2016_verão+3.pdf/9595d304-7072-4313-a190-b5b97a10e7a5> Acesso em 20 de abril de 2017.

CASOTTI, Bruna Pretti; BEL FILHO, Egmar Del; CASTRO, Paulo Castor. P.C. Indústria de Fundição: Situação Atual e Perspectivas, *Metalúrgica, BNDS Setorial*, nº 33, p-121-162. Rio de Janeiro, 2011.

COUTINHO NETO, B; FABBRI, G.T.P. Avaliação da reutilização da areia de fundição em misturas asfálticas densas do tipo CAUQ. *Revista Transportes*, vol.XII, 2004, pg.50-57.

GIAMUSSO, S. E. *Manual do concreto*. São Paulo, Ed. Pini, 1992.

GUNEY, YUCEL; SARI, YASIN DURSUN; YALCIN, MUHSIN; TUNCAN, AHMET; DONMEZ, SENAYI. Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. *Waste Management*, Vol. 30, n. 8–9, 2010, p. 1705–1713

HELENE, P. R. L.; TERSIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. São Paulo: PINI; Brasília: SENAI, 1992. 349p.

ISAIA, G. C. (Ed.). *CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005, v-1.

KAEFER, L.F. *Considerações sobre a microestrutura do concreto*. Notas de aula Escola politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

Khatib, J, Herki, B A, Kenai, S. Capillarity of Concrete Incorporating Waste Foundry Sand. 2013. 13p

MAIA, L. V. S. *Ensaio Tecnológicos*. Joinville, 2008. 45p.

- MARTINS, P. B. M. Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto. Feira de Santana, 2008. 93p. Monografia (Graduação) – Universidade Estadual de Feira de Santana.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Trad. Salvador e. Giammusso. 2. Ed, São Paulo: Pini, 1997.
- PETRUCCI, E. Concreto de cimento Portland. Porto Alegre: Ed. Globo, 1982. 307p.
- PINTO, F. B. O uso de areia descartada de fundição (areia de descarte de fundição) na produção de concreto. Itajubá, 2013. 84p. Dissertação (Mestrado) - Universidade federal de Itajubá
- SIDDIQUE, R.; SCHUTTER, G.; NOUMOWE, A. Effect of used foundry sand on the mechanical properties of concrete. Construction and Building Materials, vol. 23, 2009, Pages 976-980, ISSN 0950-0618.
- SIDDIQUE, RAFAT; SINGH, GURPREET. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling, Vol.55, p. 885-892, 2011
- SINGH, GURPREET; SIDDIQUE, RAFAT. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. Construction and Building Materials, Vol. 26, 2012, p. 416–422
- STURMER, M. R. Retração do Concreto: Avaliação do Estado da Arte. Belo Horizonte, 2007. 63p. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.



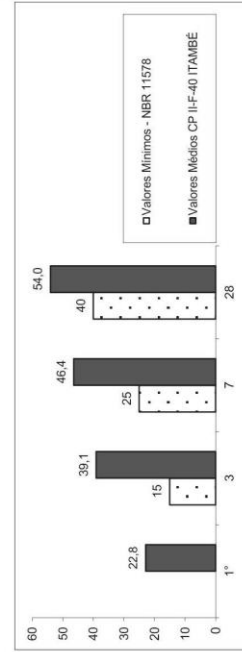
TIPO / CLASSE : **CP II-F-40**

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO

PERÍODO : jun/17
EMISSÃO : 01/08/17

| Data | Químicos | | | | | | | | | | Físicos | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|----------------------|-------------------|--------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Perda Fogo | CaO Livre | Resid. Insol. | Equiv. Alcal. | Exp. Quente | Tempo de Pega Início | Tempo de Pega Fim | Cons. Normal | Blaine | # 200 | # 325 | 1 dia | 3 dias | 7 dias | 28 dias |
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | mm | h : min | h : min | % | cm ² /g | % | % | MPa | MPa | MPa | MPa |
| 01 | 4,18 | 18,06 | 2,77 | 60,34 | 3,95 | 3,29 | 5,09 | 0,56 | 0,84 | 0,65 | 0,50 | 03:20 | 04:00 | 29,8 | 4,550 | 0,04 | 0,40 | 22,5 | 39,9 | 46,0 | 54,2 |
| 05 | 4,15 | 18,05 | 2,75 | 60,24 | 3,93 | 3,26 | 5,16 | 0,42 | 0,75 | 0,64 | 0,50 | 03:15 | 04:00 | 29,8 | 4,560 | 0,02 | 0,30 | 23,0 | 38,7 | 45,9 | 53,6 |
| 07 | 4,00 | 17,91 | 2,74 | 60,76 | 3,33 | 3,34 | 5,27 | 0,56 | 0,83 | 0,68 | 0,00 | 03:20 | 04:00 | 29,8 | 4,500 | 0,03 | 0,30 | 24,0 | 40,7 | 46,5 | 54,4 |
| 09 | 4,04 | 17,91 | 2,82 | 61,08 | 3,41 | 3,31 | 5,22 | 0,56 | 0,77 | 0,66 | 1,00 | 03:25 | 04:15 | 29,7 | 4,480 | 0,02 | 0,20 | 23,8 | 40,1 | 47,2 | 54,8 |
| 13 | 4,08 | 18,04 | 2,76 | 60,74 | 3,33 | 3,20 | 5,23 | 0,59 | 0,91 | 0,67 | 0,00 | 03:30 | 04:15 | 29,8 | 4,590 | 0,02 | 0,20 | 23,2 | 39,2 | 47,0 | 55,0 |
| 16 | 4,04 | 18,18 | 2,82 | 60,99 | 3,58 | 3,20 | 5,14 | 0,56 | 0,92 | 0,66 | 0,00 | 03:10 | 04:00 | 29,5 | 4,430 | 0,02 | 0,30 | 23,1 | 38,8 | 46,6 | 54,1 |
| 20 | 4,04 | 18,13 | 2,81 | 60,64 | 3,76 | 3,27 | 5,15 | 0,53 | 0,85 | 0,66 | 0,50 | 03:25 | 04:15 | 29,5 | 4,450 | 0,06 | 0,40 | 22,0 | 37,6 | 46,0 | 53,5 |
| 22 | 4,08 | 18,08 | 2,83 | 61,05 | 3,00 | 3,33 | 5,21 | 0,56 | 0,94 | 0,68 | 0,50 | 03:20 | 04:00 | 29,1 | 4,410 | 0,02 | 0,20 | 22,5 | 38,4 | 46,2 | 54,4 |
| 26 | 4,10 | 18,15 | 2,91 | 61,14 | 3,08 | 3,31 | 5,15 | 0,56 | 0,75 | 0,69 | 0,00 | 03:10 | 04:00 | 29,1 | 4,430 | 0,05 | 0,30 | 22,9 | 38,6 | 46,1 | 53,2 |
| 28 | 4,17 | 18,24 | 2,84 | 60,62 | 3,86 | 3,28 | 5,23 | 0,56 | 1,06 | 0,68 | 0,50 | 03:05 | 04:00 | 29,4 | 4,380 | 0,03 | 0,30 | 22,1 | 40,1 | 46,1 | 53,4 |
| 30 | 4,09 | 18,03 | 2,87 | 60,11 | 3,79 | 3,29 | 5,17 | 0,53 | 0,86 | 0,69 | 0,00 | 03:15 | 04:00 | 29,8 | 4,420 | 0,04 | 0,40 | 22,1 | 37,7 | 46,7 | 53,9 |
| Média | 4,09 | 18,07 | 2,82 | 60,70 | 3,55 | 3,28 | 5,18 | 0,54 | 0,86 | 0,67 | 0,32 | 03:18 | 04:04 | 29,6 | 4,473 | 0,03 | 0,30 | 22,8 | 39,1 | 46,4 | 54,0 |
| Sd | 0,06 | 0,10 | 0,06 | 0,35 | 0,34 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,09 | 0,02 | 0,34 | 00:08 | 00:07 | 0,3 | 69,01 | 0,01 | 0,08 | 0,7 | 1,0 | 0,4 | 0,6 |
| Min | 4,00 | 17,91 | 2,74 | 60,11 | 3,00 | 3,20 | 5,09 | 0,42 | 0,75 | 0,64 | 0,00 | 03:05 | 04:00 | 29,1 | 4,380 | 0,02 | 0,20 | 22,0 | 37,6 | 45,9 | 53,2 |
| Max | 4,18 | 18,24 | 2,93 | 61,14 | 3,95 | 3,34 | 5,27 | 0,59 | 1,06 | 0,69 | 1,00 | 03:30 | 04:15 | 29,8 | 4,590 | 0,06 | 0,40 | 24,0 | 40,7 | 47,2 | 55,0 |

Obs.: A Norma da ABNT não prevê a determinação da Resistência à Compressão a um dia para o CP II-F-40.
A massa específica média do CP II-F-40 ITAMBÉ é 3,08 g/cm³ (NBR NM 23).
As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.



carimbo/assinatura