

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO PATROCÍNIO
UNICERP
Graduação em Engenharia Civil

TATIELY APARECIDA RIBEIRO DE CASTRO

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA
(RCV), EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO NAS
MISTURAS PARA CONCRETO.**

PATROCÍNIO - MG
2018

TATIELY APARECIDA RIBEIRO DE CASTRO

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA
(RCV), EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO NAS
MISTURAS PARA CONCRETO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do grau
de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo
Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Profº. MSc. Goubyan Borges
Guimarães.

**PATROCÍNIO - MG
2018**



Centro Universitário do Cerrado Patrocínio
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Análise da adição de resíduos de cerâmica vermelha (RCV), em substituição parcial ao agregado miúdo nas misturas para concreto.”, de autoria do graduando Tatiely Aparecida Ribeiro de Castro, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. MSc. Goubyan Borges Guimarães – Orientador

Instituição: UNICERP

Avaliador 1 - Prof.

Instituição: UNICERP

Avaliador 2 - Prof.

Instituição: UNICERP

Data de aprovação: ____/12 /2018

Patrocínio, ____de dezembro de 2018

DEDICO esta pesquisa aos meus pais Baltazar e Osmania, que sempre me apoiaram e não mediram esforços para que eu realizasse esse grande sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser a base de todas as coisas e pela sabedoria à mim concedida, para realização deste trabalho.

Aos meus pais, Baltazar João de Castro e Osmania de Fatima Ribeiro Castro, minha irmã Marcella Ribeiro, meu namorado Bruno Cesar, que me apoiaram e compartilharam todos os momentos junto a mim, sempre com palavras e gestos que me fortaleceram e me impulsionaram a chegar até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Msc. Goubyan Borges, pela paciência, apoio e colaboração durante a realização do trabalho.

A Prof.^a Priscilla Assis Mendonça, responsável pelo laboratório de Materiais de Construção Civil pela dedicação e toda a ajuda para execução dos ensaios.

As minhas amigas, Bruna, Fabiana, Janaina, Giovana, pelo apoio, paciência, carinho e toda a ajuda para que o trabalho fosse concluído.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho, me apoiando, dando “aquela bronca”, sempre incentivando e me motivando a seguir em frente.

À todos vocês, e a quem de alguma forma esteve comigo nesse momento, muito obrigada, sem vocês eu não teria chegado até aqui.

“A felicidade pode ser encontrada inclusive nos momentos mais escuros... Só é preciso se lembrar de acender a luz.”

Harry Potter e o Prisioneiro de Askaban

RESUMO

Introdução: A construção civil é um dos setores que mais se desenvolve, com isso o número de resíduos aumentam gradativamente. A criação de novos métodos para gestão desses resíduos é de extrema importância para reduzir a quantidade de materiais depositados de maneira irregular em lixões, aterros ou locais inadequados. Segundo Filho e Sales (2014), a reutilização desses materiais na construção civil é uma solução passível, que apresentaria bons resultados. **Objetivos:** Este trabalho tem como proposta fazer o uso do resíduo da cerâmica vermelha em substituição parcial ao agregado miúdo para concreto, fazendo com que esses insumos descartados na maioria das vezes em locais inadequados, possam ser reutilizados e empregados novamente na construção civil. **Materiais e Métodos:** O resíduo foi obtido em uma cerâmica da região de Patrocínio – MG. Em seguida, o material foi triturado manualmente para que atendesse a granulometria necessária. Posteriormente foi realizado ensaios de caracterização dos materiais utilizados para produzir o concreto. A dosagem, foi realizada pelo método ACI ABCP, estabelecendo um traço padrão que foi utilizado. As análises foram desenvolvidas a partir da substituição do agregado miúdo convencional pelo resíduo de cerâmica vermelha, em proporções de 10%, 20% e 40% para composição do concreto, permitindo posteriormente uma comparação com um concreto convencional. **Resultados:** Foi possível aferir que os concretos com adição de RCV, usado em substituição ao agregado convencional nas proporções de 10% e 20%, apresentaram aumento de resistência aos 7 e 28 dias de cura, influenciando no ganho de resistência dos concretos com RCV. **Conclusão:** Com os resultados obtidos foi possível fixar o teor ótimo de substituição, equivalente à 20% ao agregado miúdo convencional. Este que, por sua vez obteve um aumento de resistência equivalente à 13% comparado ao concreto convencional aos 28 dias de cura e apresentou boa trabalhabilidade e boa consistência pelo método do abatimento do tronco de cone.

Palavras chave: Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV). Concreto. Substituição.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Local de coleta, trituração manual do resíduo e aspectos após trituração.	23
Figura 2 -	Gráfico Curva granulométrica Brita 1.....	28
Figura 3 -	Gráfico Curva granulométrica areias e RCV.....	28
Figura 4 -	Determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone (<i>Slump Test</i>)	30
Figura 5 -	Característica concreto com 40% de adição de RCV.....	30
Figura 6 -	Gráfico Resistência Compressão Axial.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resultados Ensaio de Caracterização.....	27
Tabela 2 -	Resultados Ensaio Determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone (<i>Slump Test</i>)	29
Tabela 3 -	Resultados Ensaio de Resistência à compressão axial.....	31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de resíduos da Construção Civil

ACI - American Concrete Institute

A/C – Fator Água/Cimento

Ca(OH)_2 - Hidróxido de cálcio.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Corpo-de-prova

CR – Concreto de Referência

CRCV – Concreto com resíduo de cerâmica vermelha

CO_2 – Dióxido de Carbono

DMC – Dimensão Máxima Característica

F_c – Resistência à compressão simples

F_{ck} - Resistência característica do concreto à compressão

g – Gramas

g/cm^3 - Grama por centímetro cúbico

IAP – Índice de Atividade Pozolânica

kg - Quilograma

kg/hab/ano – Quilograma por habitante por ano

kg/m^2 - Quilograma por metro quadrado

MG – Minas Gerais

mg – Miligrama

mm – Milímetro

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

RCC – Resíduos de Construção Civil

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RCV - Resíduo de Cerâmica Vermelha

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

Sd – Desvio Padrão

t – Tonelada

UNICERP – Centro Universitário do Cerrado Patrocínio

°C – Grau Celsius

µm – Micrometro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. DESENVOLVIMENTO.....	15
3.1 INTRODUÇÃO	16
3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.2.1 Resíduos gerados pela Construção Civil.....	17
3.2.2 Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV).....	19
3.2.3 Concreto produzido com resíduo de cerâmica vermelha	20
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.3.1 Caracterização dos materiais	20
3.3.2 Produção e caracterização do Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV).....	22
3.3.3 Método de dosagem.....	24
3.3.4 Produção dos Corpos-de-prova.	25
3.3.5 Ensaio realizados.....	26
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.4.1 Caracterização dos agregados.....	27
3.4.2 Ensaio Realizados	29
3.4.2.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	29
3.4.2.2 Resistência à compressão axial.....	31
3.5 CONCLUSÃO	33
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÃO.....	37
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
6. ANEXOS.....	42

1. INTRODUÇÃO

O crescimento em setores da economia, principalmente no mercado da construção civil, veio ocorrendo de maneira acelerada no decorrer dos anos, mesmo com a atual crise esse aumento se mantém. O que resulta no aumento significativo da geração de resíduos sólidos, tanto na fabricação de materiais utilizados, como no proceder de obras (JOHN, 2000).

Na maioria das vezes o descarte desses resíduos não é realizado em locais adequados, causando degradação ao meio ambiente, descumprindo assim, especificações e normas. Com isso, é aconselhável pesquisas de novos métodos para que estes resíduos não sejam um problema ambiental e que o mesmo possa ser reutilizado ainda na construção civil (PINTO, 1999).

Os resíduos provenientes das atividades da Construção Civil, manutenção e demolição possuem valores de geração variável (John, 2000). Segundo o autor referido, ao realizar pesquisas internacionais bibliográficas, os valores variam de 130 kg/hab/ano a 3000 kg/hab/ano. Porém, para Pinto (1999), no Brasil, os valores médios encontram-se entre 400 kg/hab/ano e 500 kg/hab/ano. Grande parte desses resíduos são depositados de maneira ilegal, acumulando-se nas cidades, gerando problemas urbanos, como enchentes e a paralização do tráfego ocasionando gastos.

Os resíduos provenientes da construção civil, também são definidos como resíduos de construção e demolição – RCD. A geração média de resíduos segundo Pinto e Gonzales (2005), em novas construções é de 150 kg/m².

Filho e Sales (2014) afirmam que a reutilização desses resíduos poderá ser considerada sob duas hipóteses, no que diz respeito à área de construção civil. Sendo uma delas: a reciclagem dos resíduos para a obtenção de agregados para concretos e argamassas. E a outra: a produção do pó do material de cerâmica vermelha moída, que, quando adquirida a propriedade pozolânica, pode resultar numa adição ativa para concretos e argamassas, e assim substituir de maneira parcial o aglomerante ou o agregado, sendo este o cimento, cal ou areia nessas misturas.

A reutilização do resíduo de cerâmica vermelha em substituição ao agregado na composição do concreto é uma possível solução para evitar o descarte incorreto desse material.

E poderá substituir parcialmente a utilização de outro agregado, neste caso a areia (WADA, 2010).

Diante disso, este trabalho tem como proposta fazer o uso de resíduo da cerâmica em substituição parcial ao agregado miúdo, fazendo com que esses insumos descartados na maioria das vezes em locais inadequados, possam ser reutilizados e empregados novamente na construção civil.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade da adição de resíduos de cerâmica vermelha provenientes de sua fabricação, em substituição parcial ao agregado miúdo convencional na composição do concreto.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar a viabilidade do uso de resíduo de cerâmica vermelha obtida em uma Cerâmica da região de Patrocínio – MG, em substituição parcial ao agregado miúdo convencional.
- Realizar a caracterização física dos agregados e do resíduo de cerâmica vermelha.
- Ampliar o conhecimento das propriedades e do comportamento do concreto produzido com a adição de resíduo cerâmico, este em substituição parcial de 10%, 20% e 40% ao agregado miúdo.
- Executar uma comparação entre o concreto convencional e o concreto com a adição do resíduo de cerâmica vermelha (RCV). No estado fresco analisando a consistência, e no estado endurecido, os possíveis ganhos de resistência à compressão, aos 7 e 28 dias de cura.

3. DESENVOLVIMENTO

ANÁLISE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA (RCV), EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO NAS MISTURAS PARA CONCRETO.

TATIELY APARECIDA RIBEIRO DE CASTRO¹
GOUBYAN BORGES GUIMARÃES²

RESUMO

Introdução: A construção civil é um dos setores que mais se desenvolve, com isso o número de resíduos aumentam gradativamente. A criação de novos métodos para gestão desses resíduos é de extrema importância para reduzir a quantidade de materiais depositados de maneira irregular em lixões, aterros ou locais inadequados. Segundo Filho e Sales (2014), a reutilização desses materiais na construção civil é uma solução passível, que apresentaria bons resultados. **Objetivos:** Este trabalho tem como proposta fazer o uso do resíduo da cerâmica vermelha em substituição parcial ao agregado miúdo para concreto, fazendo com que esses insumos descartados na maioria das vezes em locais inadequados, possam ser reutilizados e empregados novamente na construção civil. **Materiais e Métodos:** O resíduo foi obtido em uma cerâmica da região de Patrocínio – MG. Em seguida, o material foi triturado manualmente para que atendesse a granulometria necessária. Posteriormente foi realizado ensaios de caracterização dos materiais utilizados para produzir o concreto. A dosagem, foi realizada pelo método ACI ABCP, estabelecendo um traço padrão que foi utilizado. As análises foram desenvolvidas a partir da substituição do agregado miúdo convencional pelo resíduo de cerâmica vermelha, em proporções de 10%, 20% e 40% para composição do concreto, permitindo posteriormente uma comparação com um concreto convencional. **Resultados:** Foi possível aferir que os concretos com adição de RCV, usado em substituição ao agregado convencional nas proporções de 10% e 20%, apresentaram aumento de resistência aos 7 e 28 dias de cura, influenciando no ganho de resistência dos concretos com RCV. **Conclusão:** Com os resultados obtidos foi possível fixar o teor ótimo de substituição, equivalente à 20% ao agregado miúdo convencional. Este que, por sua vez obteve um aumento de resistência equivalente à 13% comparado ao concreto convencional aos 28 dias de cura e apresentou boa trabalhabilidade e boa consistência pelo método do abatimento do tronco de cone.

Palavras chave: Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV). Concreto. Substituição.

¹ Autora, Graduanda em Engenharia Civil pelo UNICERP.

² Orientador, Professor do Centro Universitário do Planalto de Araxá e Centro Universitário do Cerrado de Patrocínio, Mestre em Engenharia Civil.

ABSTRACT

Introduction: Civil construction is one of the sectors that develops the most, with that the number of residues increase gradually. The creation of new waste management methods is of utmost importance in reducing the amount of material deposited irregularly in dumps, landfills or unsuitable sites. According to Filho and Sales (2014), the reuse of these materials in civil construction is a viable solution that would present good results. **Objectives:** This work proposes to make the use of the residue of the red ceramics in partial substitution to the small aggregate for concrete, making that these inputs discarded in the majority of the times in inadequate places, can be reused and used again in the civil construction. **Materials and Methods:** The residue was obtained in a ceramic from the region of Patrocínio - MG. The material was then ground by hand to meet the required granulometry. Subsequently, the characterization of the materials used to produce the concrete was carried out. The dosage was performed by the ACI ABCP method, establishing a standard trace that was used. The analyzes were developed from the substitution of the conventional small aggregate for the red ceramic residue, in proportions of 10%, 20% and 40% for the composition of the concrete, later allowing a comparison with a conventional concrete. **Results:** It was possible to verify that the concretes with addition of RCV, used in substitution to the conventional aggregate in the proportions of 10% and 20%, presented increase of resistance at 7 and 28 days of curing, influencing the resistance gain of the concretes with RCV. **Conclusion:** With the results obtained it was possible to fix the optimal substitution content, equivalent to 20% to the conventional small aggregate. This, in turn, obtained a resistance increase equivalent to 13% compared to conventional concrete at 28 days of cure and presented good workability and good consistency by the cone trunk reduction method.

Keywords: Red Ceramic Residue (RCV). Concrete. Replacement.

3.1 INTRODUÇÃO

No Brasil e em demais países, com o aumento da geração dos resíduos sólidos originários da construção civil, são necessários planos e medidas que possibilitem o descarte correto desses resíduos, visando métodos que viabilizam a reutilização dos mesmos na fabricação de novos materiais, tendo em vista a preservação do meio ambiente.

Segundo Jonh (2017), o consumo de materiais de origem mineral, rochas naturais, agregados, artefatos de minérios para produção de cerâmica e cimento, vieram crescendo no decorrer dos anos, de modo que, a demanda representa aproximadamente 40% do total extraído.

Os resíduos provenientes das atividades da Construção Civil, manutenção e demolição possuem valores de geração variável (John, 2000). Segundo o autor referido, ao realizar pesquisas internacionais bibliográficas, os valores variam de 130 a 3000 Kg/hab/ano. Porém,

para Pinto (1999), no Brasil, os valores médios encontram-se entre 400 e 500 Kg/hab/ano. Grande parte desses resíduos são depositados de maneira ilegal, acumulando-se nas cidades, e gerando problemas urbanos, como enchentes e a paralização do tráfego ocasionando gastos.

A PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei 12305 (2010) define a destinação final correta ambientalmente dos resíduos sólidos como: reutilização, compostagem, reciclagem aproveitamento energético, recuperação e outras finalidades emitidas por órgãos competentes, sendo elas a destinação final, levando em consideração normas específicas objetivando a não ocorrência de danos, impactos ambientais, riscos à saúde e a segurança. E ainda estabelece que os fabricantes sejam responsáveis pela destinação final de seu material.

A reutilização desses resíduos como agregado reciclado para concreto, é uma solução passível, que apresentaria bons resultados. (FILHO E SALES 2014).

Segundo Filho e Sales (2014), a reutilização dos resíduos de construção e demolição – RCD poderá ser considerada sob duas hipóteses no que diz respeito à área de construção civil, sendo uma delas, a reciclagem de resíduos para a obtenção de agregados para concretos e argamassas e a outra, a produção do pó do material de cerâmica vermelha moída que, quando adquirida a propriedade pozolânica, pode resultar numa adição ativa para concretos e argamassas, e assim, substituir de maneira parcial o aglomerante, sendo, cimento ou cal e o agregado, sendo areia.

Baseando nisso, o uso de resíduos de cerâmica vermelha na composição do concreto é uma das hipóteses para reutilização desse material.

Esse trabalho foi realizado através de testes, para avaliar o comportamento do concreto com uso de resíduo de cerâmica vermelha, em substituição parcial de 10%, 20% e 40% do agregado miúdo.

3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.2.1 Resíduos gerados pela Construção Civil

De maneira geral, resíduos da construção civil – RCC são materiais provenientes de construções, demolições e fabricação de materiais, resultados do manuseamento, armazenamento e transporte incorreto, gerando grande número de insumos como: cacos de

telhas, pedaços de metais, frações de tijolos, concreto, madeira, gesso, pedra, areia, sendo esses insumos também conhecidos como calça, entulho de obras ou metralha (CONAMA, 2002).

A ABNT NBR 15113 (2004) respeita as disposições acima aplicando a mesma definição.

Os resíduos da construção civil também são definidos como RCD - resíduos de construção e demolição - resultados dos processos executados em obras, reformas, demolições e fabricação de materiais. Para Carneiro et al. (2001), resíduos são subprodutos gerados por processos econômicos, onde estão inclusas, atividades extrativistas, produção industrial, serviços e consumo.

Para que o resíduo possa ser reutilizado pela construção civil, ele deve atender a classificação estabelecida pelo CONAMA e pela ABNT NBR 15113 (2004), (Anexo 1).

A Resolução nº 307/2002 CONAMA (2002), estabelece importantes referências para que se realize a gestão desses resíduos e a emissão de ações para os fabricantes de diversos materiais.

No Brasil, a ABNT NBR15116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos (2004), trata sobre agregados reciclados. Permite a reutilização de frações minerais, com exceção do gesso, dos resíduos de RCD, em pavimentações e até mesmo para concreto. A criação da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil – ABRECON em 2011, foi de extrema importância para se alavancar esse novo setor.

As usinas de reciclagem do Brasil, classificam o RCD de acordo com a coloração de sua fração mineral. Para Ângulo (2005), a parcela vermelha é predominantemente formada por materiais de construção de natureza cerâmica, especialmente do tipo vermelha, utilizados em trabalhos de pavimentação, intitulados como RCV – resíduos de cerâmica vermelha. E a parcela cinza é predominantemente formada por materiais de construção com base cimentícia, podendo ser utilizada em componentes a base de cimento, como blocos de concreto, calçamento, e em bases de pavimentação. Para que os resíduos possam ser reutilizados, eles devem passar por procedimentos que viabilizem o seu uso sendo estes, separação, moagem e peneiramento.

3.2.2 Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV)

Segundo dados do SEBRAE (2008), no ano de 2005 cerca de 63,6 bilhões de peças cerâmicas foram produzidas, sendo aproximadamente 75% blocos cerâmicos/tijolos. Esse valor apresenta um aumento de mais de 100% em relação ao ano anterior.

A composição das cerâmicas consiste basicamente na queima em baixas temperaturas de 900° e 1100°C, da argila, contendo impurezas, matéria orgânica e minerais de ferro.

Para Isaia (2010), após o processo de queima, as cerâmicas apresentam coloração avermelhada, devido a presença de teor de ferro na composição da argila. A utilização desses materiais na construção civil se dão em tijolos maciços, telhas, blocos cerâmicos, entre outros.

No seu processo de produção várias peças são descartadas pelo setor de qualidade, ou fragmentadas durante o processo de armazenamento e transporte.

A quantidade total de resíduos descartados pelas cerâmicas do Brasil, apresenta por volta de 14% do valor total de toda produção. Corresponde aproximadamente 7,5 t de resíduos, sendo estes: fragmentos de peças cerâmicas provenientes das perdas no processo de produção cerâmico (SEBRAE, 2008).

No Brasil, cerca de 90 kg de resíduos cerâmico são gerados anualmente, por cada habitante, sendo a maioria desses, insumos lançados de maneira inadequada no meio ambiente. (JOHN, 2000).

Molin (2011) descreve que a maior parte das argilas das quais originam os blocos e produtos cerâmicos possuem pequena atividade pozolânica. Essa propriedade é resultado da reação da fração mineral com o Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio), gerado no período da hidratação do cimento na formação de silicato de cálcio hidratado adicional. Porém, segundo Pinto (1999) ela torna-se reativa quando queimada em temperaturas que variam de 700 a 900 °C.

O efeito pozolânico é uma das propriedades que tornam a utilização do resíduo de cerâmica vermelha interessante. Esse, depende dos processos de produção e da granulometria alcançada durante o processo de moagem ou trituração (ISAIA, 2010).

Analizando a parte técnica, as possibilidades de reciclagem dos resíduos variam a partir da sua composição. Quase toda porcentagem da fração cerâmica pode ser beneficiada como agregado, podendo oferecer diversas aplicações conforme sua composição específica (WADA, P. H, 2010).

3.2.3 Concreto produzido com resíduo de cerâmica vermelha

O concreto convencional é o material mais utilizado na construção civil, composto por uma mistura de aglomerante: cimento e agregados (miúdo e graúdo). Sendo estes agregados, respectivamente, areia, pedra (brita), e a água. Quando necessário, são utilizados aditivos e adições para melhorar a trabalhabilidade e as propriedades do concreto (BICCA, 2000).

Wada, (2010) realizou em sua dissertação o estudo da incorporação do resíduo de cerâmica vermelha no concreto para uso em estacas *in loco*. Foram realizados testes de substituição da areia natural pelo resíduo de cerâmica vermelha em proporções de 20%, 40%, 60% e 80%. Foi analisado o aumento da resistência do concreto com o uso de resíduos nos primeiros 7 dias de cura e seu aumento no decorrer das idades de cura, apresentando resultados positivos para os estudos.

Segundo Xavier et al. (2008) após realizações de pesquisas no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Fluminense. Cujo objetivo era avaliar a influência do acréscimo de resíduo de cerâmica vermelha na resistência de concretos e argamassas de cimento Portland. Foi concluído que, a substituição parcial por volta de 15%, do cimento pelo resíduo, proporcionou uma melhora significativa nas propriedades dos concretos e das argamassas, adquirindo o efeito filler (caracterizado pelas dimensões de suas partículas, que se assemelham as dimensões do cimento Portland menores de 75 μm , onde ela preenche os vazios da mistura, aumentando a compactidade). O resíduo adquiriu efeito pozolânico, entrando em contato com portlândita presente no processo hidratação, onde adquiriu-se propriedades cimentícias.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Caracterização dos materiais

O desenvolvimento desse trabalho foi possível a partir da caracterização de todo o material utilizado, inclusive a preparação do resíduo para que ele pudesse ser usado como agregado.

Os materiais foram ensaiados e as análises realizadas no laboratório de materiais de construção civil do UNICERP.

Foram utilizados para elaboração dos estudos: agregado graúdo: brita 1; agregado miúdo natural: areia; agregado miúdo industrializado: areia industrial; cimento Portland CP-II-F-32, água de amassamento, aditivo plastificante Tec Tard 110 XR e agregado miúdo artificial (RCV).

O agregado graúdo utilizado para realização do trabalho foi a brita 1 de basalto, da cidade de Uberlândia, Minas Gerais.

Como agregado miúdo foram utilizadas duas areias, a areia industrial e a areia natural. A escolha pelas duas areias se deu devido a disponibilidade no laboratório de Materiais de Construção Civil do UNICERP.

O uso da areia natural foi priorizada de início, por ser um agregado natural e comumente utilizado na construção civil. Foi utilizada a areia média-grossa dragada do Rio Quebra Anzol, retirada nas proximidades de Patrocínio - MG. O primeiro traço executado com a areia natural não apresentou resultados positivos quanto a consistência e trabalhabilidade no estado fresco.

Optou-se então pelo uso da areia industrial, sendo refeito os cálculos da dosagem. A escolha por essa areia se deu devido a mesma possuir um maior controle em sua produção, possuir uma certa uniformidade em sua granulometria e apresentar uma resistência maior que a areia natural (BARBOSA et al. 2008).

Para caracterização dos agregados foram executados os seguintes ensaios.

- Análise Granulométrica - ABNT NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (2003).
- Massa Específica agregado graúdo - ABNT NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água (2002).
- Absorção de água - ABNT NBR NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água (2001).
- Massa Específica agregado miúdo - ABNT NBR 9776 - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman (1988).
- Pulverulento - ABNT NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem (2003).
- Massa Unitária - ABNT NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios (2006).

Para aglomerante, o cimento utilizado foi o CPIIF 32 (composto por Filler), da marca CSN. Foi realizado apenas o ensaio de massa específica conforme a ABNT NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó. - Determinação da Massa Específica - (2001). Para demais fins foram utilizados os dados fornecidos pelo fabricante. A escolha pelo cimento foi devido a disponibilidade do material no laboratório.

O aditivo plastificante utilizado foi o Tec Tard 110 XR, aditivo plastificante e retardador de pega para concretos, cujo fabricante é Rheotec Aditivos de Concreto.

As principais propriedades do aditivo segundo o fabricante:

- Retarda o tempo de pega do concreto de acordo com a dosagem utilizada, permitindo o transporte a locais distantes da central;
- Aumenta as resistências finais, reduz a permeabilidade e aumenta a durabilidade devido à redução do fator água/cimento;
- Aumenta a coesão, reduz a segregação;
- Maior facilidade de acabamento e reduz o pico térmico, permitindo a execução de grandes blocos de concreto;
- O fabricante recomenda seu uso em proporções de 200 a 350 ml para cada 100 kg de cimento.

Os materiais acima citados foram cedidos pelo laboratório de materiais de construção civil do UNICERP, bem como todos os itens necessários para realização dos ensaios.

3.3.2 Produção e caracterização do Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV).

O resíduo de cerâmica vermelha foi obtido em uma cerâmica da região de Patrocínio – MG. A cerâmica produz peças para construção civil como tijolos e lajotas. Os resíduos são compostos por peças com defeitos descartados pelo setor de qualidade, desperdiçados no armazenamento ou fragmentados no transporte.

A coleta do material foi realizada com cautela de modo a garantir a melhor utilização dos insumos e efetuada a separação de qualquer tipo de matéria orgânica, ou outro material. Foram escolhidas peças com dimensões menores para facilitar a moagem do material.

Logo em seguida o material foi submetido a processos de trituração para que ele chegasse a granulometria estipulada pela ABNT NBR 7211 (2005), (Anexo II Limites da

distribuição granulométrica do agregado miúdo). Os processos foram executados de maneira manual, pois não foi possível o acesso a britadores ou outros equipamentos.

Inicialmente os resíduos foram separados em pequenas quantidades, e submetidos à golpes com um “soquete”. Em seguida foram peneirados com peneira com abertura de malha de 4,75 mm, e reservados para realização dos ensaios de caracterização (Figura 1).



Figura 1 – Local de coleta, trituração manual do resíduo e aspectos após trituração.

Fonte: Autora

O resíduo de cerâmica vermelha foi submetido aos seguintes ensaios de caracterização:

- Análise Granulométrica – ABNT NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (2003).
- Massa Específica - ABNT NBR NM 23 - Cimento Portland e outros materiais em pó. Determinação da Massa Específica (2001).
- Massa Unitária - ABNT NBR NM 45 - Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios (2006).
- Absorção de água – ABNT NBR NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água (2001).
- Pulverulento – ABNT NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem (2003).

Não foi possível realizar o ensaio de atividade pozzolânica, ABNT NBR 5752 - Materiais Pozzolânicos: Determinação da Atividade Pozzolânica – Índice de Atividade Pozzolânica com Cimento Portland (1992), devido à falta de acesso aos materiais necessários para realizar o ensaio.

O ensaio de massa específica foi realizado de acordo com a ABNT NM 23 Cimento Portland e outros materiais em pó. - Determinação da Massa Específica - (2001), foi necessária a realização deste ensaio devido a finura do resíduo não permitir sua realização pelo método de Chapman. Para realizar o ensaio, a querosene que é o líquido mais utilizado, foi substituído pela água, pois a mesma não é reagente com o resíduo.

3.3.3 Método de dosagem

Foram elaborados dois traços de concreto, pelo método de dosagem ACI ABCP: o primeiro realizado com a areia dragada, e para o segundo foi utilizado a areia industrial, sendo feitos ajustes no traço.

O método ACI ABCP é um método de dosagem realizado pelo proporcionamento dos materiais a partir de gráficos e tabelas Helene e Terzian (1992). Contudo existe a recomendação que o ajuste final das quantidades seja feito por tentativa e erro, ou seja, se necessário o traço pode ser corrigido no momento de sua execução, assim como ocorreu com a dosagem do segundo traço.

Para realizar os cálculos deste método são necessários algumas propriedades dos agregados sendo elas:

- Para agregados: massa específica, DMC, módulo de finura, massa específica aparente ou massa unitária solta ou compactada.
- Para aglomerante: Massa específica.

O fator água cimento A/C, foi fixado em 0,5 devido à resistência do cimento CP II 32. E o f_{ck} - resistência do concreto - de 25 MPa. O desvio padrão – Sd, equivalente à 4,0 Mpa para quando o cimento e os agregados são medidos em massa. E o fator de segurança de 1,65. A resistência mecânica do concreto aos 28 dias é calculado a partir da seguinte equação:

$$F_c = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

A resistência do concreto aos 28 dias (F_c) resultou em 32 Mpa, ou seja, aos 28 dias, o concreto deverá apresentar 32 Mpa em laboratório e 25 Mpa em campo. A inserção do coeficiente de segurança e do desvio padrão é necessário para que se tenha uma garantia no

alcance do valor desejado em campo, de acordo com ABNT NBR 12655 - Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento (2015).

Para este trabalho, como foi executado em laboratório a resistência do concreto aos 28 dias deveria alcançar 32 Mpa.

A quantidade de água de amassamento foi definida a partir do abatimento requerido de 80mm a 120 mm. Com esses dados e os resultados de caracterização dos agregados e do aglomerante foi possível determinar a quantidade restante dos outros materiais.

Como dito anteriormente, foram calculados dois traços distintos, um com areia natural dragada do Rio Quebra Anzol e o outro com a areia industrial. O memorial de cálculo das dosagens estão dispostos no Anexo III.

Os traços em massa, resultado do método ACI ABCP para a areia natural foi 1:1,75:2,61, sendo em proporção, cimento, areia e brita e A/C 0,5.

Para areia industrial, o traço resultante, foi 1:2:2,5, em massa e fator A/C de 0,5, porém foi realizado ajuste de 10% na quantidade do cimento e da água, sendo fixado um novo traço equivalente à 1:1,8:2,3. A quantidade de aditivo utilizado foi fixado para todos os traços com os teores de substituição e o de referência, equivalente à 17,3 g.

3.3.4 Produção dos Corpos-de-prova

O concreto foi produzido com o auxílio de uma betoneira. A água de amassamento utilizada para preparar os traços de concreto conforme especificação da ABNT NBR 15900-1 - Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos (2009), obtida diretamente da rede pública de abastecimento de Patrocínio – MG.

O primeiro concreto executado foi com a areia natural, foram rodados quatro traços, onde o concreto de referência (CR) apresentou boa consistência, porém os concretos com os teores de substituição de 10%, 20% e 40% não apresentaram a consistência nem trabalhabilidade necessária para moldar os corpos-de-prova, resultando em uma mistura pouco semelhante ao concreto.

Optou-se então pelo uso da areia industrial. Foram rodados quatro traços para essa areia, um para CR, e os outros três, com os teores de substituição de 10%, 20% e 40%. O CR e os concretos com substituição de 10% e 20% apresentaram boa consistência, porém o de 40% não

apresentou a consistência nem trabalhabilidade necessária para a moldagem dos corpos-de-prova, é possível analisar essa propriedade nos resultados de consistência.

Foram moldados dois corpos-de-prova cilíndricos 10 x 20 cm, para cada idade de cura, sendo elas 7 e 28 dias, conforme a ABNT NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova (2015). Após 24 horas, estes foram retirados das fôrmas e submetidos ao processo de cura. No total foram moldados 12 corpos de prova, 4 para o concreto de referência, 4 para o concreto com 10% de substituição e 4 para o de 20%. O concreto de 40% não apresentou consistência e nem trabalhabilidade para moldar os corpos de prova, resultando em uma mistura pobre em compacidade não apresentando aspecto de concreto, nos resultados dos ensaios de consistência é possível analisar essa propriedade.

3.3.5 Ensaios realizados

No concreto no estado fresco foi realizado o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*). Esse ensaio é realizado para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de abatimento, em laboratório e obra ABNT NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (1998).

No concreto no estado endurecido, após o tempo de cura de 7 e 28 dias foi realizado o ensaio de resistência à compressão, segundo a ABNT NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (2009). A prensa utilizada para rompimento possui capacidade para 100 toneladas.

Anterior aos rompimentos, foi realizado o capeamento dos corpos de prova com enxofre conforme a ABNT NBR 5738 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (2016). Em alguns corpos-de-prova foi necessário fazer a retificação, devido à problemas no laboratório impossibilitando a realização do capeamento com enxofre. Ambos os procedimentos com a finalidade de deixar as faces do corpo-de-prova paralelas e planas. Para realizar os rompimentos dos corpos-de-prova retificados foi necessário utilizar dois discos de neoprene.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Caracterização dos agregados

Executar a caracterização dos materiais é de extrema importância, para que se obtenha um conhecimento adequado do desempenho dos agregados, antes de usa-los para concreto.

Na tabela 1 estão expressos os resultados obtidos com os ensaios de caracterização.

Tabela 1. Resultados ensaios de caracterização

Material	Brita 1	Areia Natural	Areia Industrial	RCV
Massa Específica	2,9 g/cm ³	2,54 g/cm ³	2,65 g/cm ³	2,54 g/cm ³
Massa Unitária	1,601 g/cm ³	1,446 g/cm ³	1,608 g/cm ³	1,079 g/cm ³
Pulverulento	-	0,87%	3,52%	19,6%
Absorção de água	-	6,68%	2,61%	14,36%
Modulo de finura	6,86	2,78	3,14	1,95
DMC	19 mm	4,75 mm	4,75 mm	4,75mm

Fonte: Dados da pesquisa.

Para os resultados do RCV, a quantidade de material pulverulento presente no agregado reciclado foi de 19,6%, indicando a presença de grande porcentagem de material fino, ou seja, de pó. Esse valor excede o estipulado pela ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação (2005), equivalente à 5%.

O resultado do ensaio de absorção de água do RCV também foi superior à dos outros agregados, indicando a necessidade de consumo maior de água, que foi suprida pelo aditivo plastificante neste caso. O teor de absorção pode ser justificado devido a quantidade de material fino. A ABNT NBR 7211 (2005), deixa a critério do consumidor os limites para massa específica, massa unitária, e absorção de água.

A granulometria é fator de grande importância no desempenho do concreto (Araujo et al. 2000), e possui influência na qualidade final dos concretos, pois age na compacidade da mistura (HELENE; TERZIAN, 1992).

Pode-se analisar na Figura 2 que a granulometria da brita 1 está dentro da zona utilizável, ou seja está em condições segundo a NBR 7211 (2005), para ser utilizada como agregado graúdo.

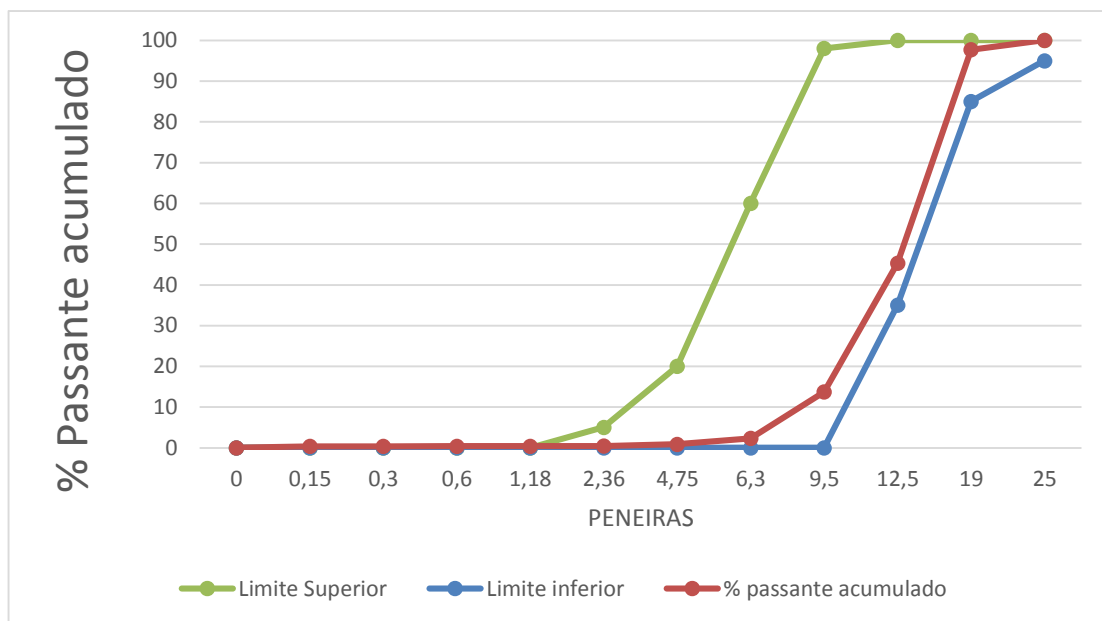


Figura 2. Gráfico Curva granulométrica Brita 1

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 3, apresenta a curva granulometrica da areia natural, da areia industrial e do resíduo de cerâmica vermelha.

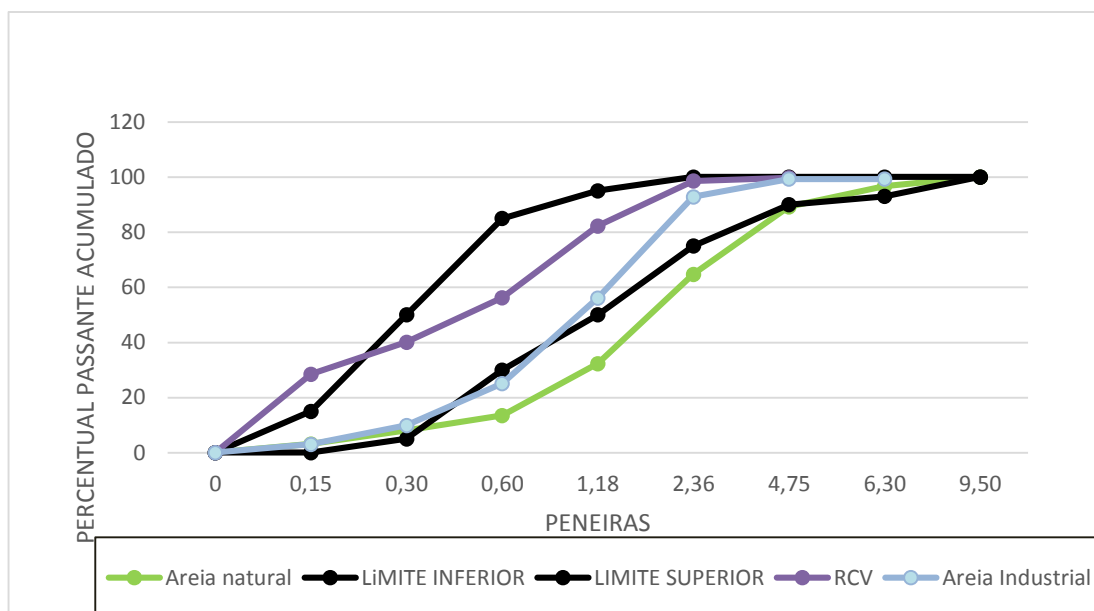


Figura 3. Gráfico Curva granulométrica areias e RCV

Fonte: Dados da pesquisa.

Pode ser observando que a areia natural, em partes, está fora da zona utilizável, apresentando uma granulometria maior, justificando a falha da tentativa de substituição, devido a deficiência dessa areia em grãos mais finos, não proporcionando compacidade a mistura e quando em junção com o RCV, exigiu uma quantidade maior de água, resultando na má consistência do concreto no estado fresco.

A areia industrial está em boas condições quanto a granulometria, se encaixando quase que totalmente dentro da zona utilizável.

Já o RCV, apresenta grande teor de material fino, passante pela peneira de 150 μm , e grande porcentagem de material com dimensões inferior a 75 μm , seja apresenta pequena quantidade de material com efeito filler. Uma grande proporção de material fino exige mais água na mistura. Portanto quanto maior o teor de substituição, maior será o consumo de água.

3.4.2 Ensaios Realizados

3.4.2.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Na primeira dosagem, para a determinação da consistência do concreto, os resultados obtidos não foram positivos, pois os concretos com os teores de substituição não adquiriram a plasticidade, consistência e trabalhabilidade para que se pudesse realizar o ensaio.

A segunda dosagem utilizando a areia industrial, apresentou bons resultados de consistência, porém o concreto com o teor de substituição de 40% não apresentou consistência, coesão e trabalhabilidade necessária para a realização do ensaio. Os resultados dos demais concretos com os teores de substituição estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados ensaio de Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test).

Teor de Substituição (%)	Abatimento (mm)
REF 0%	173
10 %	148
20%	88
40%	-

Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo Araújo et al. (2000), concretos com abatimento de 20 mm a 80 mm podem ser usados para bloco sobre estaca, sapata, laje maciça e nervurada, de 20 mm a 100 mm para vigas, paredes armadas e pilares de edifício.

Analizando a Tabela 2 e a Figura 4, o concreto de referência e o de substituição de 10% furaram o slump desejável na dosagem, enquanto o com substituição de 10% apresentou o abatimento desejável.



Figura 4. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test).

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 5, é possível observar a consistência do concreto com substituição de 40%, onde o mesmo não criou aspecto de concreto, resultante em uma mistura pobre, sem compacidade, coesão, trabalhabilidade e nem consistência.



Figura 5. Característica concreto com 40% de adição de RCV

Fonte: Dados da pesquisa.

3.4.2.2 Resistência à compressão axial.

A resistência esperada a partir do método de dosagem ACI ABCP era de 32 Mpa aos 28 dias de cura.

A Tabela 3, apresenta os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão dos concretos com a areia convencional, sendo este o concreto de referência intitulado como CR, e o concreto com o resíduo de cerâmica vermelha, CRCV.

Tabela 3. Resultados ensaios de resistência a compressão.

% de Substituição	Média da resistência a compressão (Mpa)	
	7 dias	28 dias
CR	30,4	35,75
10% CRCV	29,61	39,09
20% CRCV	34,89	40,10
40% CRCV	-	-

Fonte: Dados da pesquisa.

Com base na tabela 3 pode-se concluir que o CRCV com 10% de substituição apresentou uma queda de resistência equivalente à 2,6% aos 7 dias quando comparado ao CR. Porém aos 28 dias ele apresentou um acréscimo de 25%, em relação à sua resistência aos 7 dias e 15% comparado ao CR. Dessa forma, pode-se notar que com 7 dias houve uma pequena queda de resistência, esse fato pode ter ocorrido devido a problemas de moldagem, pois a queda de resistência foi pequena. E aos 28 dias houve um acréscimo significativo de resistência para os concretos de CRCV, ultrapassando o CR.

Relacionado ao concreto com substituição de 20%, aos 7 dias ele apresentou um aumento de 13% comparado ao CR, e aos 28 dias continuou com o acréscimo de 13%. É possível notar com isso, que no CRCV de 20% manteve constante o aumento de 13% em 7 e 28 dias.

Não foi realizado o ensaio de resistência a compressão do concreto com substituição de 40%, pois a consistência do mesmo, como citado anteriormente não permitiu a moldagem dos corpos-de-prova.

Com os resultados obtidos expressos na tabela 3 e a partir da Figura 6, é possível aferir que o RCV quando usado em substituição ao agregado convencional nas proporções de 10 e

20%, apresentou aumento de resistência, tanto na idade de 7 dias, quanto à idade de 28 dias, influenciando no ganho de resistência dos concretos de CRCV.

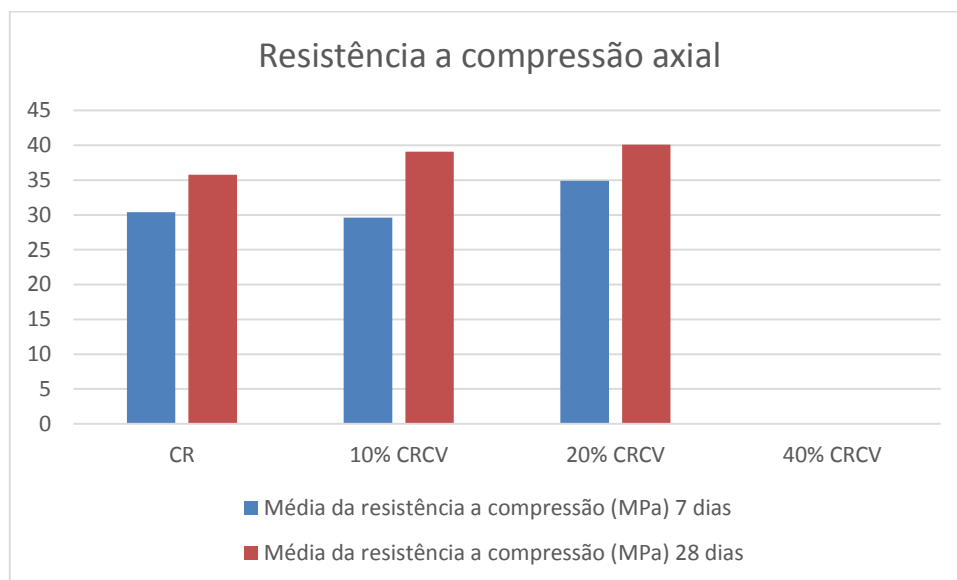


Figura 6. Gráfico Resistência Compressão Axial

Fonte: Dados da pesquisa.

Como não foi possível realizar ensaio de atividade pozolânica - IAP, não se pode garantir que este influenciaria ou não na resistência do concreto. Porém para Wada (2010), assim como citado anteriormente, em seus estudos obteve resultado de 48,15% de atividade pozolânica do material em 28 dias. Segundo a ABNT NBR 12653 (1992), o índice de atividade pozolânica deve ser de no mínimo 75%.

Portanto, neste caso o resultado do material ensaiado não se encaixa nas exigências para ser considerado pozolânico. Segundo Winkler e Muller (1998), apud Wada (2010), isso pode ser justificado pelo fato de o IAP depender de diversos fatores, tais como, o modo como foram produzidas as peças de cerâmica e a argila que foi utilizada.

Portanto a adição de RCV, influência diretamente na resistência do concreto.

Diante dos resultados obtidos nos ensaios de consistência e resistência à compressão, foi encontrado o teor ótimo de substituição, de 20%, este que apresentou um aumento significativo da resistência quando comparado ao concreto convencional e boa consistência por meio do abatimento do tronco de cone.

3.5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como estudo, a viabilidade da adição de resíduos de cerâmica vermelha descartados pelas cerâmicas, em substituição ao agregado miúdo nas misturas para concreto.

Com os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização e feito o método de dosagem ACI ABCP, foram realizados posteriormente, testes com traços diferentes de concreto com substituições parciais de RCV, para se estabelecer o teor ótimo de substituição, que se fixou em 20% ao agregado miúdo convencional. Este que, por sua vez apresentou um aumento de resistência equivalente à 13% comparado ao concreto convencional nos 28 dias de cura e apresentou boa consistência pelo método do abatimento do tronco de cone.

Apesar da perda da trabalhabilidade na medida em que se aumenta o teor de substituição, o concreto com 20% apresentou boa consistência, trabalhabilidade e boa coesão.

Essa perda de trabalhabilidade certamente ocorreu devido a quantidade de material fino presente no resíduo de cerâmica vermelha, como consta nos resultados de absorção e pulverulento. Devido a isso, o material absorve uma maior quantidade de água.

Sendo assim fica inviável a adição de resíduo de cerâmica vermelha em substituição com teores acima de 20%.

A granulometria do RCV provavelmente teve influência nos resultados.

O aumento na resistência pode ter ocorrido devido a presença de material com efeito filler presente no resíduo. Este que por sua vez atuou em toda estrutura do concreto, preenchendo os espaços vazios deixados pelos grãos de tamanho maiores.

Não foi possível confirmar a presença da atividade pozolânica, porém a partir da bibliografia usada neste trabalho, este fator é inconclusivo para avaliar sua relação a resistência do concreto com RCV.

Portanto foi possível obter o traço de concreto utilizando o resíduo de cerâmica vermelha em substituição parcial na mistura, fixando o teor ótimo de substituição, viabilizando a reutilização destes resíduos, e com isso reduzindo os danos ambientais e sociais causados pela destinação incorreta desses insumos que são descartados pelas cerâmicas.

O método para triturar o resíduo foi todo e completo manual, desde sua separação até a moagem, porém há outros métodos que facilitam essa etapa, como trituradores e britadores, onde é possível ter um controle maior da granulometria.

A partir da avaliação dos resultados obtidos com os ensaios realizados, foi possível afirmar de maneira positiva sobre a viabilidade da utilização do RCV em substituição parcial ao agregado miúdo convencional.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 45: **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 46: **Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 1998.

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

_____. NBR 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 15113-1: **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15900-1: **Materiais pozolânicos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 12653: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5752: Materiais Pozolanicos: Determinacao da Atividade Pozolânica – Índice de Atividade Pozolanica com Cimento Portland.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1988.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção civil e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** (Tese Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 230 p.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Normalização dos agregados graúdos de resíduo de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. 12 p.

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção.** Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 2000.

BARBOSA, M. T. G.; COURA C. G.; MENDES, L. O. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol.8, p. 51-60, 2008.

BICCA, I. S. **Estudo da viabilidade de utilização do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais.** 2000. 98 f. (Dissertação Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

CARNEIRO, A. P.; CASSA, J. C. S.; BRUM, I. A. S.; COSTA, D. B.; **Entulho bom.** 1. ed. Salvador: EDUFA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil.** Artigo 2º Inciso de I a IV, Artigo 3º Inciso de I a IV da resolução 307 de 05/07/2002.

FILHO, A. S. R; SALES, C. T. A. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v. 14, 2014.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Brasília: PINI, 1992. 353 p.

ISAIA, G.C. **Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2 ed. São Paulo: IBRACON, São Paulo, 2010.

JOHN, V. M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: Isaia. C. G. (org). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017. Cap 4. p. 02-35.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MOLIN, D. C. C. D., Adições minerais, in: ISAIA, G. C. G. C. Isaia (org). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011.cap 8, 261-309.

PNRS – POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Lei nº 12305/2010.

PINTO, T. P.; GONZALES, J. L. R. **Manejo de resíduos da construção civil**, Brasília: CEF. V. 1, 196 p, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo. 1999. 218 f. (Tese doutorado) – Escola Politécnica, USP, São Paulo.

SEBRAE/ESPM. **Cerâmica Vermelha**. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM – Relatório Completo. Sebrae Nacional, São Paulo, 2008.

TEC TARD 110 XR: Aditivo Plastificante e Retardador de Pega para Concretos. Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/produtos/TEC_TARD_110_XR200893084622.pdf>. Acesso em: 15 de Agosto de 2018.

XAVIER, G. C.; BAHIANSE, A. V.; MANHÃES, R. T.; ALEXANDRE, J.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. **Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica em argamassas para obtenção da capacidade de retenção de água**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense: Darcy Ribeiro, 2008. 9 p.

WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduo de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas *in loco***. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

WINKLER, A., MÜELLER, H. A. Reciclagem de materiais de construção de detritos finos. In:DHIR, R.K; HENDERSON, N.A.; LIMBACHIYA, M.C. (Ed.) **Construção sustentável: uso de agregado de concreto reciclado**. Londres: Thomas Telford, 1998. p. 157-168.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÃO

Este trabalho teve como estudo, a viabilidade da adição de resíduos de cerâmica vermelha descartados pelas cerâmicas, em substituição ao agregado miúdo nas misturas para concreto.

Com os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização e feito o método de dosagem ACI ABCP, foram realizados posteriormente, testes com traços diferentes de concreto com substituições parciais de RCV, para se estabelecer o teor ótimo de substituição, que se fixou em 20% ao agregado miúdo convencional. Este que, por sua vez apresentou um aumento de resistência equivalente à 13% comparado ao concreto convencional nos 28 dias de cura e apresentou boa consistência pelo método do abatimento do tronco de cone.

Apesar da perda da trabalhabilidade na medida em que se aumenta o teor de substituição, o concreto com 20% apresentou boa consistência, trabalhabilidade e boa coesão.

Essa perda de trabalhabilidade certamente ocorreu devido a quantidade de material fino presente no resíduo de cerâmica vermelha, como consta nos resultados de absorção e pulverulento. Devido a isso, o material absorve uma maior quantidade de água.

Sendo assim fica inviável a adição de resíduo de cerâmica vermelha em substituição com teores acima de 20%.

A granulometria do RCV provavelmente teve influência nos resultados.

O aumento na resistência pode ter ocorrido devido a presença de material com efeito filler presente no resíduo. Este que por sua vez atuou em toda estrutura do concreto, preenchendo os espaços vazios deixados pelos grãos de tamanho maiores.

Não foi possível confirmar a presença da atividade pozolânica, porém a partir da bibliografia usada neste trabalho, este fator é inconclusivo para avaliar sua relação a resistência do concreto com RCV.

Portanto foi possível obter o traço de concreto utilizando o resíduo de cerâmica vermelha em substituição parcial na mistura, fixando o teor ótimo de substituição, viabilizando a reutilização destes resíduos, e com isso reduzindo os danos ambientais e sociais causados pela destinação incorreta desses insumos que são descartados pelas cerâmicas.

O método para triturar o resíduo foi todo e completo manual, desde sua separação até a moagem, porém há outros métodos que facilitam essa etapa, como trituradores e britadores, onde é possível ter um controle maior da granulometria.

A partir da avaliação dos resultados obtidos com os ensaios realizados, foi possível afirmar de maneira positiva sobre a viabilidade da utilização do RCV em substituição parcial ao agregado miúdo convencional.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 45: **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 46: **Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 1998.

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

_____. NBR 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 15113-1: **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15900-1: **Materiais pozolânicos — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 12653: **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5752: **Materiais Pozolanicos: Determinacao da Atividade Pozolânica – Índice de Atividade Pozolanica com Cimento Portland.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 9776: **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1988.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção civil e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. (Tese Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 230 p.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Normalização dos agregados graúdos de resíduo de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. 12 p.

ARAÚJO, R, C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 2000.

BARBOSA, M. T. G.; COURA C. G.; MENDES, L. O. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol.8, p. 51-60, 2008.

BICCA, I. S. **Estudo da viabilidade de utilização do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais**. 2000. 98 f. (Dissertação Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

CARNEIRO, A. P.; CASSA, J. C. S.; BRUM, I. A. S.; COSTA, D. B.; **Entulho bom**. 1. ed. Salvador: EDUFA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil**. Artigo 2º Inciso de I a IV, Artigo 3º Inciso de I a IV da resolução 307 de 05/07/2002.

FILHO, A. S. R; SALES, C. T. A. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 14, 2014.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Brasília: PINI, 1992. 353 p.

ISAIA, G.C. **Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2 ed. São Paulo: IBRACON, São Paulo, 2010.

JOHN, V. M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: Isaia. C. G. (org). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017. Cap 4. p. 02-35.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MOLIN, D. C. C. D., Adições minerais, in: ISAIA, G. C. G. C. Isaia (org). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011.cap 8, 261-309.

PNRS – POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Lei nº 12305/2010.

PINTO, T. P.; GONZALES, J. L. R. **Manejo de resíduos da construção civil**, Brasília: CEF. V. 1, 196 p, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo. 1999. 218 f. (Tese doutorado) – Escola Politécnica, USP, São Paulo.

SEBRAE/ESPM. **Cerâmica Vermelha**. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM – Relatório Completo. Sebrae Nacional, São Paulo, 2008.

TEC TARD 110 XR: Aditivo Plastificante e Retardador de Pega para Concretos. Rio Grande do Sul. Disponível em: <
http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/produtos/TEC_TARD_110_XR200893084622.pdf>. Acesso em: 15 de Agosto de 2018.

XAVIER, G. C.; BAHIANSE, A. V.; MANHÃES, R. T.; ALEXANDRE, J.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. **Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica em argamassas para obtenção da capacidade de retenção de água**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense: Darcy Ribeiro, 2008. 9 p.

WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduo de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas *in loco***. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

WINKLER, A., MÜELLER, H. A. Reciclagem de materiais de construção de detritos finos. In:DHIR, R.K; HENDERSON, N.A.; LIMBACHIYA, M.C. (Ed.) **Construção sustentável: uso de agregado de concreto reciclado**. Londres: Thomas Telford, 1998. p. 157-168.

6. ANEXOS

ANEXO I– TABELA: Classificação dos resíduos da construção civil

Classe	Definição
I - CLASSE A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Sendo eles: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
II - CLASSE B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
III - CLASSE C	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.
IV - CLASSE D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Nova redação dada pela Resolução nº 348/04).

Fonte: Resolução 307/2002 (CONAMA) e ABNT NBR 15113:2004.

ANEXO II – TABELA: LIMITES DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizavel
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTAS 1 O modulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. 2 O modulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. 3 O modulo de finura da zona utilizável varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: ABNT NBR 7211:2005

ANEXO III: Dosagem de concreto pelo método da ABCP.

Dosagem para areia natural

1 – Valores determinados

Resistência do cimento aos 28 dias	32 MPa
Dimensão máxima característica agregado graúdo	19 mm
Módulo de finura agregado miúdo	2,78
Massa unitária compactada agregado graúdo	1,601 g/cm ³
Massa específica agregado miúdo	2,54 g/cm ³
Massa específica agregado graúdo	2,9 g/cm ³
Abatimento do tronco de cone (<i>slump test</i>)	80 mm ± 100 mm
Massa específica do cimento	2,88 g/cm ³

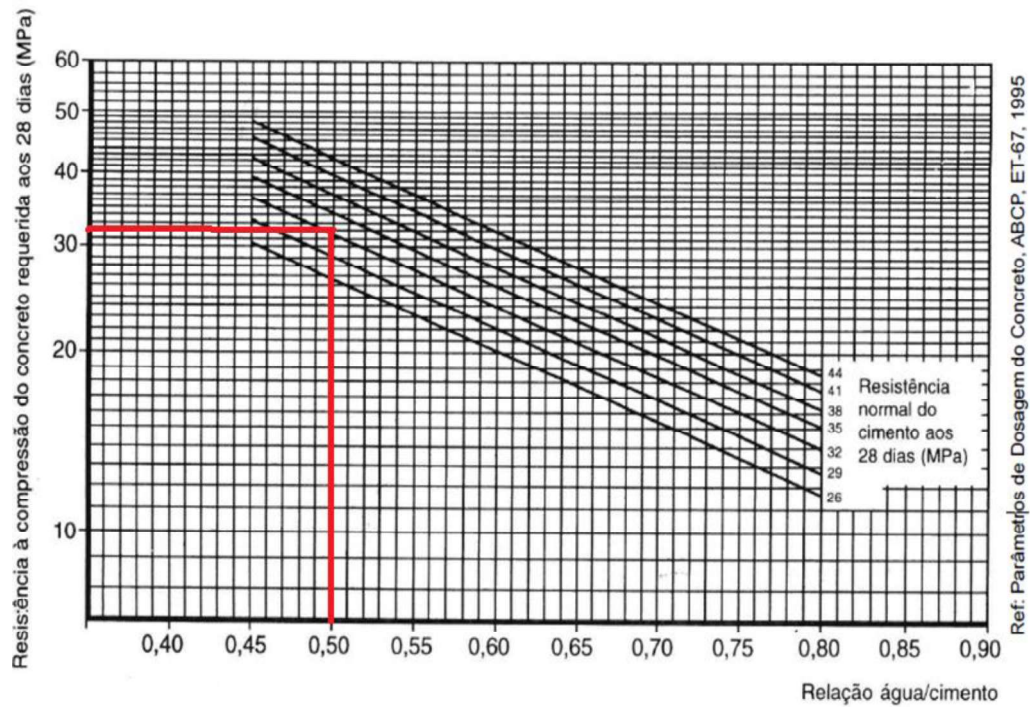
2 – Determinação consumo de água (Ca)

Consumo de água aproximado (L/m ³)					
Abatimento (mm)	D _{máx.} Agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

3 – Determinação de consumo agregado graúdo (Vb)

MF	Dimensão máxima dos agregados (mm)					
	9,5	19,5	25,0	32,0	38,0	
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845	V
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825	O
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805	L.
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785	
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765	B
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745	R
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725	I
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705	T
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685	A
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665	S

4 - Curva de Abrams do Concreto



Cálculos da dosagem

1º Determinação do fator a/c:

a/c: 0,50

2º Determinação do consumo de água:

205 l/m³; determinado pela relação entre o diâmetro máximo do agregado graúdo e o abatimento do tronco de cone.

3º Determinação do consumo de Cimento

$$C_c = \frac{C_a}{a/c}$$

$$C_c = 410 \text{ kg/m}^3$$

Onde:

Cc= Consumo de Cimento

Ca= Consumo de água

a/c= Fator água /cimento

4º Determinação do consumo de agregado Graúdo (Cb)

Cb = MCU (Massa unitária compactada) x Vb

Cb = 1601 x 0,670

Cb = 1072,67 kg/m³/concreto

Onde:

Cb= Consumo de Brita

Vb= Volume de brita, determinado pela relação entre o modulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo.

MUC= Massa unitária compactada do agregado graúdo

4º Determinação do volume de areia.

$$V_{areia} = 1 - \left(\frac{cimento}{\delta_{cimento}} + \frac{brita}{\delta_{brita}} + \frac{água}{\delta_{água}} \right)$$

$$Va = 1 - \left(\frac{410}{2880} + \frac{1072,67}{2900} + \frac{205}{1000} \right)$$

$$Va = 0,283 m^3$$

$$C_{areia} = V_{areia} \cdot \delta_{areia}$$

$$C_{areia} = 0,283 \times 2540$$

$$C_{areia} = 718,82$$

Onde: V_{areia}: volume de areia

Cimento: consumo de cimento

Brita: consumo de brita

Água: consumo de água

C_{areia} : consumo de areia

$\delta_{cimento}$: massa específica do cimento

δ_{brita} : massa específica da brita

δ_{agua} : massa específica da água

δ_{areia} : massa específica da areia

5 ° Apresentação do traço

CIMENTO : AREIA : BRITA : A/C

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{areia}}{C_c} : \frac{C_{brita1}}{C_c} : \frac{C_{brita2}}{C_c} : \frac{C_{água}}{C_c}$$

$$\frac{410}{410} : \frac{718}{410} : \frac{1072,67}{410}$$

1:1,75:2,61

Dosagem para areia industrial

1 – Valores determinados

Resistência do cimento aos 28 dias	32 MPa
Dimensão máxima característica agregado graúdo	19 mm
Módulo de finura agregado miúdo	3,14
Massa unitária compactada agregado graúdo	1,601 g/cm ³
Massa específica agregado miúdo	2,55 g/cm ³
Massa específica agregado graúdo	2,9 g/cm ³
Abatimento do tronco de cone (<i>slump test</i>)	80 mm ± 100 mm
Massa específica do cimento	2,88 g/cm ³

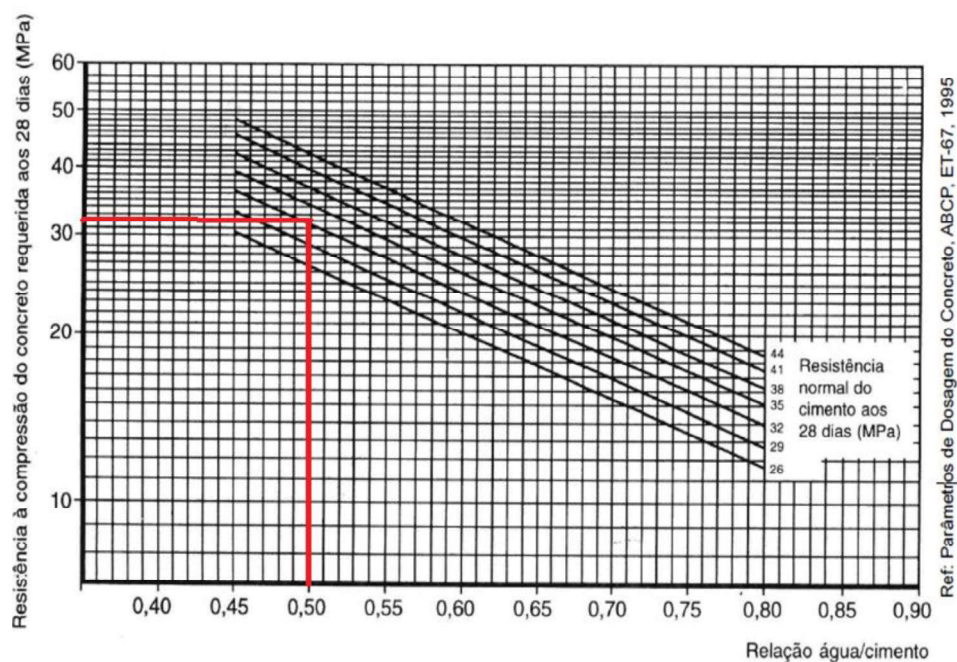
2 – Determinação consumo de água (Ca)

Consumo de água aproximado (L/m³)					
Abatimento (mm)	D _{máx.} Agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

3 – Determinação de consumo agregado graúdo (Vb)

MF	Dimensão máxima dos agregados (mm)					
	9,5	19,5	25,0	32,0	38,0	
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845	V
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825	O
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805	L.
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785	
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765	B
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745	R
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725	I
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705	T
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685	A
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665	S

5 - Curva de Abrams do Concreto



Cálculos da Dosagem

1º Determinação do fator a/c:

a/c: 0,50

2º Determinação do consumo de água:

205 l/m³; determinado pela relação entre o diâmetro máximo do agregado graúdo e o abatimento do tronco de cone.

3º Determinação do consumo de Cimento

$$C_c = \frac{C_a}{a/c}$$

$$C_c = 410 \text{ kg/m}^3$$

Onde:

Cc= Consumo de Cimento

Ca= Consumo de água

a/c= Fator água /cimento

4º Determinação do consumo de agregado Graúdo (Cb)

$$C_b = MUC \text{ (Massa unitária compactada)} \times V_b$$

$$C_b = 1601 \times 0,630$$

$$C_b = 1008,63 \text{ kg/m}^3/\text{concreto}$$

Onde:

Cb= Consumo de Brita

Vb= Volume de brita, determinado pela relação entre o módulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo.

MUC= Massa unitária compactada do agregado graúdo

4º Determinação do volume de areia.

$$V_{areia} = 1 - \left(\frac{cimento}{\delta_{cimento}} + \frac{brita}{\delta_{brita}} + \frac{água}{\delta_{água}} \right)$$

$$V_a = 1 - \left(\frac{410}{2880} + \frac{1008,63}{2900} + \frac{205}{1000} \right)$$

$$V_a = 0,305 \text{ m}^3$$

$$C_{areia} = V_{areia} \cdot \delta_{areia}$$

$$C_{areia} = 0,305 \times 2650$$

$$C_{areia} = 808,25 \text{ kg}$$

Onde: V_{areia} : volume de areia

Cimento: consumo de cimento

Brita: consumo de brita

Água: consumo de água

C_{areia} : consumo de areia

$\delta_{cimento}$: massa específica do cimento

δ_{brita} : massa específica da brita

$\delta_{água}$: massa específica da água

δ_{areia} : massa específica da areia

5º Apresentação do traço

CIMENTO : AREIA : BRITA : A/C

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{areia}}{C_c} : \frac{C_{brita1}}{C_c} : \frac{C_{brita2}}{C_c} : \frac{C_{água}}{C_c}$$

$$\frac{410}{410} : \frac{808,25}{410} : \frac{1008,63}{410}$$

$$1:2:2,5$$