



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS PROFESSORA MARIA DA PENHA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

KARINA DOS SANTOS FERNANDES DE SOUZA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO:
ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE
PORCELANATO NO DESEMPENHO MECÂNICO E NA DURABILIDADE DO
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

**ARARUNA/PB
2018**

KARINA DOS SANTOS FERNANDES DE SOUZA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO:
ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE
PORCELANATO NO DESEMPENHO MECÂNICO E NA DURABILIDADE DO
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas e Materiais

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra

**ARARUNA/PB
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S719a Souza, Karina dos Santos Fernandes de.
Análise da influência de adições minerais no concreto [manuscrito] : estudo da incorporação de resíduo de polimento de porcelanato no desempenho mecânico e na durabilidade do concreto de cimento portland / Karina dos Santos Fernandes de Souza. - 2018.
41 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2018.
"Orientação : Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
1. Concreto. 2. Reciclagem. 3. Concreto. I. Título
21. ed. CDD 620.136

KARINA DOS SANTOS FERNANDES DE SOUZA

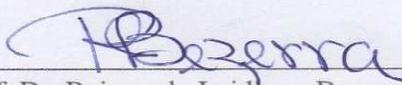
**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO:
ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE
PORCELANATO NO DESEMPENHO MECÂNICO E NA DURABILIDADE DO
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao departamento de Engenharia
Civil da Universidade Estadual da Paraíba –
Campus VIII, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

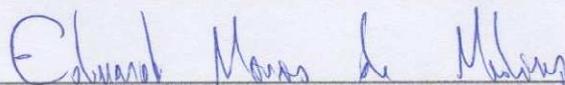
Área de Concentração: Estruturas e
materiais

Aprovada em: 28/11/18.

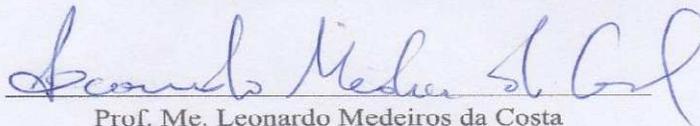
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Raimundo Leidmar Bezerra (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Eduardo Moraes de Medeiros
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

À minha avó por todo empenho e
sacrifício durante minha graduação,
por ela e para ela tudo o que sou,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor do meu destino por ter me permitido chegar até aqui e por todas as bênçãos que já realizou e está realizando em minha vida.

À minha avó, meu exemplo de mulher por toda luta e dedicação em todas as etapas de minha vida.

Aos meus pais, por todo amor e companheirismo todos os dias da minha vida.

A toda minha família, por todo incentivo e apoio incondicional durante minha caminhada.

Ao Professor Raimundo Leidimar Bezerra, pela orientação, confiança e pela oportunidade de me permitir trabalhar com um excelente mestre.

Ao Professor Eduardo Moraes de Medeiros, pelo suporte e ajuda no entendimento dos assuntos aqui referidos, por todas as correções e incentivo.

A todos os professores, por serem os principais responsáveis pela construção da minha formação acadêmica e profissional.

Ao Professor Givanildo, por disponibilizar o Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas para realização desta pesquisa.

A Elizabeth Porcelanatos S/A, por ter fornecido o material no qual desenvolvi toda a minha pesquisa e por toda disponibilidade em ajudar.

A todos os meus amigos, que me deram ombro e sempre estiveram ao meu lado durante toda minha trajetória, em especial a minha amiga Islânea.

A Diego, por ser o irmão de caminhada, dupla da faculdade, por todos os momentos vividos, pela companhia e pela parceria.

A Lucas, por todos os conselhos, pelo ombro amigo, pela paciência, pelas risadas e por deixar eu invadir o seu quarto.

Aos meus colegas de classe, minha segunda família que foram essenciais para enfrentar todos os problemas de morar longe de casa.

À Pilares, pelo crescimento profissional e pelo convívio diário com pessoas incríveis, em especial a minha assessora e irmã do coração Débora.

Ao meu amor, Felipe, que é minha base e melhor amigo que esteve sempre ao meu lado me encorajando e me incentivando a prosseguir.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, meu muito obrigada.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
	2.1 Objetivo geral	11
	2.2 Objetivos específicos	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
	3.1 Concreto: Composição e dosagem	11
	3.2 Patologias no concreto	13
	3.3 Resíduo de polimento de porcelanato	14
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	15
	4.1 Obtenção e caracterização do RPP	16
	4.2 Composição do concreto	19
	4.3 Método de dosagem	21
	4.4 Determinação das propriedades do concreto no estado endurecido	28
	4.5 Análise da durabilidade do concreto com adição de RPP	29
5	RESULTADOS	29
	5.1 Ensaio de caracterização do RPP	30
	5.2 Ensaio de caracterização dos materiais	32
	5.3 Dosagem do concreto	35
	5.4 Propriedades do concreto no estado endurecido	36
	5.5 Análise da durabilidade do concreto com adição de RPP	38
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO: ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NO DESEMPENHO MECÂNICO E NA DURABILIDADE DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Karina dos Santos Fernandes de Souza¹

RESUMO

A construção civil ao passar dos anos tem aprimorado suas técnicas construtivas e caminhando conjuntamente com o progresso tecnológico que hoje está espalhado pelo mundo. Esse mesmo ramo que cresce e se aprimora, está cercado com problemas tão grandes quanto seu crescimento. Um dos indágamentos que se faz é o que será da construção civil sem os recursos naturais, antes tidos como inesgotáveis e renováveis, porém, sua exploração excessiva e indiscriminada, tem causado graves problemas ambientais. Além disso, a indústria da construção civil é uma grande geradora de resíduos prejudiciais, resultantes dos inúmeros processos produtivos. Com isso, a reciclagem tem se tornado uma alternativa benéfica para reduzir o acúmulo desses materiais. Dessa forma, esses subprodutos industriais têm sido utilizados como adição no concreto de cimento Portland, o que acarreta melhorias nas suas propriedades no estado fresco e endurecido. O resíduo de polimento de porcelanato (RPP) é um dos resíduos derivados da indústria cerâmica, sua produção alcança toneladas e não apresenta aparente aproveitamento. Diante disso, essa pesquisa teve por finalidade analisar o emprego do RPP como material suplementar na produção do concreto avaliando sua influência nos requisitos mecânicos, econômicos, ambientais e nos aspectos de durabilidade. Assim, deseja-se gerar um destino adequado para o resíduo, por motivos ambientais, incorporando-o ao concreto, e ainda, proporcionar uma economia no consumo dos materiais constituintes do concreto. A metodologia adotada consistiu na investigação das principais características do concreto a partir da introdução de diferentes concentrações do resíduo como elemento adicional no traço. Para isso foram realizados ensaios de caracterização do RPP, ensaios de dosagem do concreto, resistência mecânica e análise da durabilidade. Os teores de RPP incorporados na composição foram de 10% e 20% em relação a massa cimento, em traços com aditivos plastificantes. O resíduo de polimento do porcelanato com teor de 10% e 20%, considerando a variação da relação água/cimento, obteve um aumento na ordem de 20% na resistência do concreto. Na análise da durabilidade, o ambiente marinho obteve a maior perda de resistência mecânica, referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63%. Ainda assim, o resíduo aumenta a impermeabilidade do concreto o que faz com que essas porcentagens sejam reduzidas quando comparadas aos concretos usuais. Dessa forma, pode ser usado na confecção de concretos com um aproveitamento satisfatório de suas propriedades mecânicas e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Construção. Reciclagem. Adições. Resistência. Vida útil.

¹Aluna de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba - Campus VIII
E-mail: karinafernandes-@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O princípio da Engenharia é tão antigo quanto a existência do homem, o saber empírico acumulado ao longo da história da civilização e a ocorrência de inúmeras construções datadas de muitos séculos, demonstram o valor de sua experiência, apesar de apenas ser reconhecida e teorizada cientificamente no século XX. A construção civil progride conforme a sociedade, as transformações e tendências permitem que alguns elementos se mantenham e outros possam ser substituídos.

O pesquisador Hugon (2004) afirma que os materiais variam segundo as épocas, recursos locais, meios de transporte e realização, estética, entre outros fatores, o que confirmam Neufert & Neff (2003), que ensinam que a formação geológica do terreno determina as condições de construtibilidade de cada lugar.

A Construção Civil manifesta-se como um grande usuário de matérias primas naturais, contribuindo para o fomento da degradação ambiental. O paradigma vigente tem voltado a sua atenção para questões relevantes ao uso de elementos e tecnologias que possam reverter essa situação. A busca por inovações científicas permitiu o desenvolvimento e a utilização de diversos materiais em obras, com o propósito de melhoria no desempenho técnico e econômico dos empreendimentos.

Quando se trata de materiais construtivos, o concreto avança como o insumo mais consumido no mundo, estima-se que anualmente são utilizadas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água (REVISTA DO CONCRETO, 2009).

Na elaboração de sua estrutura, as peculiaridades de durabilidade dos materiais que o compõe requerem uma mesma atenção que as propriedades mecânicas e o custo inicial. Devido a isso, estudos empenham-se na busca de elementos resistentes e que forneçam um desempenho satisfatório quanto ao cunho estrutural e vida útil do concreto.

As adições minerais apresentam-se como um mecanismo importante no comportamento do concreto de cimento Portland, tanto nas propriedades do estado fresco e endurecido, como no aspecto da durabilidade. A incorporação de resíduos na formação desse material pode proporcionar economia de energia, reduzir a emissão de gás carbônico e contribuir para o desenvolvimento sustentável, além de ser uma

alternativa para economizar os agregados naturais, com a utilização de resíduos industriais acrescentados à massa total do concreto com o objetivo de aumentar o volume final do traço.

A quantidade de subprodutos industriais, que contém ou não traço pozolânico, gerados em todo o mundo, é muito elevada. A reciclagem tem sido uma alternativa desenvolvida para beneficiar o ambiente, diminuindo a produção desses.

Sendo assim, empresas estão compreendendo que a formação de resíduos gera custos, pois necessita de tratamento e destinação em locais apropriados. Esse fato faz com que elas busquem possibilidades que objetivem reduzir as despesas em conjunto com a diminuição dos impactos ambientais. Conseqüentemente essa atitude colabora para o aumento da credibilidade perante o mercado consumidor. É importante observar que a reciclagem vem sendo aplicada, alcançando grandes resultados no aspecto econômico, social e ambiental, porém, sua demanda é muito inferior em relação à quantidade de subprodutos fabricados.

O setor de materiais cerâmicos para revestimentos internos e externos, usados na construção civil, também é responsável pela produção de uma grande quantidade de resíduos. Uma fração é reaproveitada no próprio setor e a outra é descartada. O processo de fabricação do porcelanato origina uma quantidade significativa de resíduo não reaproveitado pelas indústrias. Um dos subprodutos de porcelanato é oriundo do polimento, fundamental para dar acabamento à peça produzida.

O volume total do resíduo de polimento de porcelanato (úmido) produzido gira em torno de 8 m³ por dia (\pm 20 toneladas) tomando como base a fábrica da Cecrisa em Santa Luzia, Minas Gerais. Este material é depositado em caçambas e, posteriormente, transportado e lançado em aterros sanitários da prefeitura (SILVA, 2005).

O porcelanato é popular por ser resistente ao desgaste superficial, à compressão, ao congelamento, ao ataque de agentes químicos, pela absorção de água mínima, dureza superficial, elevada resistência mecânica, pelo isolamento a descargas elétricas estáticas e ótimo grau de higiene dos pavimentos.

Assim, esse trabalho tem como finalidade principal a incorporação de resíduo resultante de polimento do porcelanato como adição mineral na produção de concretos, a fim de analisar seu desempenho quanto às características mecânicas que atenda às especificações de resistências e durabilidade em comparativo ao concreto sem adição mineral, promovendo a criação de um material que contribua para um desenvolvimento industrial sustentável e favoreça o progresso ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo realizar a incorporação do resíduo de polimento de porcelanato na confecção do concreto e analisar a sua influência como adição mineral no comportamento mecânico e nos aspectos de durabilidade da composição.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo físico-químico do RPP e implementar suas características à utilidade na construção civil como adição mineral;
- Analisar a influência do RPP no comportamento do concreto endurecido;
- Analisar a influência do RPP nos aspectos de durabilidade quando submetido ao ataque de agentes agressivos;
- Determinar o teor ótimo de adição do RPP na composição do concreto;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Concreto: Composição e dosagem

O concreto é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Frequentemente esse meio é o produto da reação entre um cimento hidráulico e a água. O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também pode conter pozolanas, como a cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. Para este fim, será considerado concreto como a mistura de cimento, agregados e aditivo (NEVILLE, 2013).

Aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume do concreto são ocupados pelos agregados, então sua qualidade é de extrema importância. Os agregados não só limitam a resistência do concreto, como também suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto. Do ponto de vista econômico, é vantajoso produzir misturas com o maior teor de agregados e a menor quantidade de cimento possível, mas a relação custo/benefício deve ser contrabalanceada com as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido (NEVILLE, 2013).

A qualidade da água é definida por uma cláusula que estabelece que a água potável é adequada para o uso em concreto. Porém esse critério não é absoluto, pois a água potável pode ser inadequada como água de amassamento quando contiver uma alta concentração de sódio e potássio, existindo o risco da ocorrência da reação álcali-agregado. Como regra, qualquer água com pH entre 6,0 e 8,0, sem sabor salobro ou salino é adequada ao uso, e a coloração escura ou odor não necessariamente implicam em dizer que existem substâncias dialéticas (NEVILLE, 2013).

Além dos componentes essenciais, podem-se incorporar elementos que visem aumentar o desempenho e durabilidade do concreto, apresentando comportamento de preenchimento ou efeito pozolânico. Adições minerais inertes, também conhecidas como filers, são agregados muito finos, compreendidos entre 5 a 75 μm .

Segundo NEVILLE (1997), um filer é um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland que, devido às suas propriedades físicas, melhora as propriedades do concreto, como trabalhabilidade, densidade, segregação, permeabilidade, capilaridade, exsudação ou tendência à fissuração.

Conforme consta em GRIGOLI e HELENE (2001), as partículas muito finas ou moídas que apresentam diâmetro médio de 5 a 50 μm , podem ser classificadas como adição filer, e contribuem para um melhoramento da matriz cimentícia, para um maior preenchimento dos vazios deixados pelos produtos de hidratação do cimento ou pela não hidratação do cimento. Já o efeito pozolânico não depende apenas da reação pozolânica, mas também do efeito físico ou de preenchimento de pequenas partículas na mistura.

A ação física da pozolana melhora a densidade, a homogeneidade da pasta. Segundo KIHARA (1986), a substituição de 15% de massa de cimento por sílica ativa adicionará aproximadamente 2.000.000 de partículas para cada grão de cimento substituído, preenchendo os vazios com produtos de hidratação mais resistentes, melhorando a ligação com os agregados.

No Brasil, a atividade de uma pozolana é determinada pelo índice de atividade pozolânica com cimento (NBR 5752, ABNT 1992) ou com cal (NBR 5751, ABNT 1992). A determinação do índice de atividade pozolânica consiste na comparação entre duas argamassas, uma de referência (sem adição de pozolana) e uma outra com a substituição de 35% do volume do cimento ou da cal pela suposta pozolana. O índice de atividade é a relação entre a resistência à compressão axial aos 28 dias da argamassa com e sem pozolana (SILVA, 2005).

$$IAP (\%) = \frac{f_{c_{28}CP}}{f_{c_{28}SP}} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo: IAP = Índice de Atividade Pozolânica (%), $f_{c_{28}CP}$ = resistência à compressão axial aos 28 dias com pozolana e $f_{c_{28}SP}$ = resistência à compressão axial aos 28 dias sem pozolana.

A dosagem do concreto consiste em selecionar os componentes e determinar suas quantidades relativas, a fim de se obter, da maneira mais econômica, características mínimas de consistência, resistência e durabilidade (NEVILLE, 1997).

Helene e Terzian (1993) citam que a dosagem representa o proporcionamento adequado dos materiais constituintes para que sejam atendidas as exigências do projeto (características do concreto nos estados fresco e endurecido, as condições de exposição e operação das estruturas, o tipo de agregado disponível, as técnicas de execução, e o custo).

Os métodos de dosagem para concretos convencionais podem ser empíricos, no caso de obras de pequeno porte, ou experimentais, os quais podem ser baseados na granulometria dos agregados ou no teor de argamassa. Os métodos baseados no teor de argamassa são os mais empregados, destacando-se o método da ABCP e o do IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1993). Para os fins desta pesquisa, utilizou-se o método ABCP.

3.2 Patologias no concreto

As características de durabilidade dos concretos e argamassas devem ser avaliadas com a mesma atenção que as propriedades mecânicas. Os custos de manutenção e recuperação das obras de concreto têm-se tornado cada vez mais elevados em um mercado consumidor a cada dia mais exigente, levando os engenheiros a tomarem consciência dos aspectos de durabilidade, avaliando melhor as implicações econômicas e os impactos causados no meio ambiente. A produção de materiais mais resistentes e duráveis contribui para a não exploração de recursos materiais, preservando a natureza (SILVA, 2005).

Os processos principais que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados, de acordo com sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos. Na realidade a deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos. São processos

complexos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e da forma como está exposto. Os processos de degradação alteram a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se manifestam visualmente. Os três principais sintomas que podem surgir isoladamente ou simultaneamente são: a fissuração, o destacamento e a desagregação (LAPA, 2008). Para fins da pesquisa serão estudados os seguintes agentes agressivos: chuvas ácidas, água do mar e microrganismos.

O contato do concreto com ácidos em altas concentrações não é habitual. Já a ação de chuvas ácidas nos grandes centros e nas áreas industriais é mais frequente. Os ácidos sobre o concreto atuam destruindo seu sistema poroso e produzindo uma transformação completa na pasta de cimento endurecida. O resultado destas ações é a perda de massa e uma redução da seção do concreto. Esta perda acontece em camadas sucessivas, a partir da superfície exposta, sendo a velocidade da degradação proporcional à quantidade e concentração do ácido em contato com o concreto (ANDRADE, 2003).

A água do mar contém sulfatos e ataca o concreto. Além da ação química, a cristalização dos sais nos poros do concreto pode provocar a degradação devido à pressão exercida pelos cristais salinos, nos locais onde há evaporação, acima da linha de água. O ataque só ocorre quando a água pode penetrar no concreto, portanto, o nível de impermeabilização é muito importante neste processo (LAPA, 2008).

A biodeterioração é a mudança indesejável nas propriedades do material, devido à ação de microrganismos. O concreto é considerado um material bioreceptivo ao ataque microbiológico, devido às condições de rugosidade, porosidade, umidade e composição química, que combinadas com as condições ambientais, como umidade, temperatura e luminosidade, podem promover a biodeterioração do concreto (LAPA, 2008).

3.3 Resíduo de polimento de porcelanato

O porcelanato é produzido por um processo altamente tecnológico caracterizado por excelentes características técnicas. A composição química das matérias-primas é de grande importância em sua fabricação, principalmente aquelas relacionadas com o ciclo de queima. Grês-Porcelanato é um material cerâmico com estrutura compacta, característica de uma fase cristalina imersa em uma fase vítrea (SILVA, 2005).

A produção nacional gira em torno de 4,1 milhões de m² por ano. Os produtores nacionais são: Eliane – SC, Cecrisa – MG, Portobello – SC e Cerâmica Elizabeth – PB.

Sabendo-se que o porcelanato é fabricado nas mais diversas cores, sendo importante observar que o resíduo acompanha a tonalidade da peça, ou seja, quando o porcelanato estiver sendo produzido na cor branca, o resíduo apresentará uma tonalidade clara, e quando esta cor for a preta, a tonalidade do resíduo será um cinza claro (SILVA, 2005).

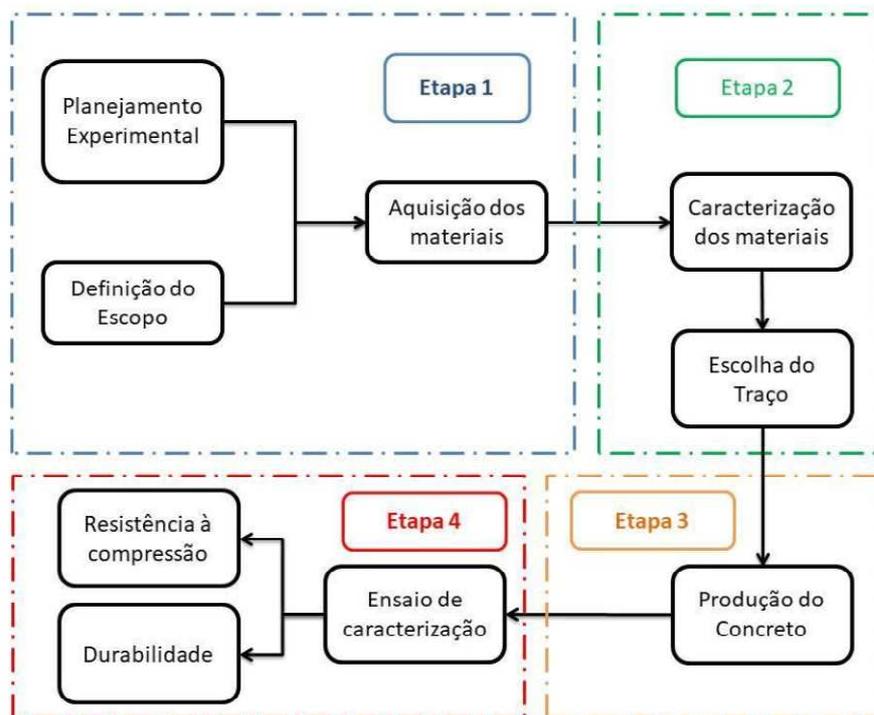
O processo de polimento do porcelanato ocorre em um equipamento que possui várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos, que em contato com as peças em alta rotação e velocidade controlada em presença de água executam o polimento utilizando gradativamente uma granulometria mais fina, até conseguir-se o resultado desejado. O porcelanato pode ser submetido a um processo de polimento superficial removendo alguns décimos de milímetros de material da superfície da peça cerâmica. Esse produto é um revestimento cerâmico impermeável, totalmente vitrificado, esmaltado ou não, cuja peça queimada é branca ou artificialmente colorida (SILVA, 2005).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A caracterização dos materiais constituintes do concreto, dosagem e confecção dos corpos de prova utilizados na pesquisa foi realizada no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba. Os ensaios de caracterização executados nesse trabalho são tipicamente abordados em estudos de Engenharia de Materiais, mas outros são mais comuns à pesquisa em Engenharia Civil.

O procedimento experimental seguido nesse trabalho foi realizado seguindo as Normas Técnicas referentes aos ensaios de caracterização e resistência mecânica do concreto, que serão apresentadas nos tópicos a seguir. A Figura 1 representa, de maneira resumida, todo planejamento experimental usado na pesquisa.

Figura 1 – Procedimento Experimental



A metodologia teórico-experimental adotada consistiu na caracterização do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) e no estudo da influência desta incorporação nas principais propriedades do concreto, tomando como referência um material sem adição de RPP.

4.1 Obtenção e caracterização do RPP

O resíduo de porcelanato foi fornecido pela Elizabeth Porcelanatos S/A que é uma empresa especializada exclusivamente em pisos cerâmicos do tipo porcelanato e possui uma área de produção superior a 40.000 m², localizada no Distrito Industrial Conde-PB, BR 101, km 98. Estima-se que a produção diária desse resíduo está entre 30 a 35 toneladas por dia. Na Figura 2 estão representados o local no qual é produzido o resíduo e onde esse é armazenado.

Figura 2- A) Reciclagem de água e obtenção do RPP B) Depósito de RPP
Cerâmica Elizabeth



A quantidade de amostra recolhida para pesquisa foi de 50 kg com a finalidade de avaliar o seu desempenho como componente do concreto. O material utilizado nos experimentos foi submetido ao processo de secagem e destorroamento, não tendo passado por nenhum beneficiamento preliminar, conforme mostrado na Figura 3. Este procedimento justifica-se pelo custo adicional que qualquer tipo de tratamento ou seleção implicaria no processo.

Figura 3 – Resíduo seco em estufa e destorroado



O comportamento de um material depende de características que são parâmetros para determinar aspectos tais como a composição química, impurezas presentes, as fases presentes, porosidade, distribuição e tamanho das partículas, massas específicas, entre outros. O desempenho final do concreto com adição de resíduo de polimento de

porcelanato irá depender das características das matérias-primas iniciais desse e de todo o processo de produção utilizado.

Para utilização do RPP como adição em concreto é muito importante que suas partículas possuam uma granulometria que permita preencher os espaços vazios entre os grãos de cimento, contribuindo para um maior desempenho dos concretos, o que caracteriza seu efeito filler. A análise da distribuição de tamanho das partículas foi realizada por granulometria a laser.

A análise química dos elementos presentes no RPP foi realizada a partir da fluorescência de Raios X, identificando os elementos presentes em maiores quantidades.

Ademais, fez-se necessário também determinar a massa específica do resíduo em estudo, para isso utilizou-se do ensaio de Le Chatelier seguindo as orientações da norma técnica NBR 6474 (ABNT, 1994).

No ensaio de Le Chatelier foi utilizado um frasco preenchido com líquido de alta molhabilidade, com auxílio do funil de haste longa, sendo adotado neste estudo o querosene. Até uma marca entre 0 e 1cm³, secou-se o colo do frasco volumétrico na parte acima do nível do líquido com papel absorvente; feito isso a leitura inicial V1 foi efetuada. Na etapa seguinte, acrescentou-se a massa $m = 60$ gramas de amostra a ser ensaiada, que foi suficiente para causar um deslocamento do líquido entre as marcas 18 cm³ e 24 cm³. A amostra de resíduo foi colocada dentro do frasco, utilizando o funil de haste curta. Por fim, o frasco foi submetido a movimentos pendulares até que, voltando-se o frasco à posição vertical não subam mais borbulhas de ar e efetuou-se a leitura final V2. A Figura 4 apresenta o funil, o frasco e a amostra do RPP que foram utilizados no ensaio.

Figura 4 – Materiais para o ensaio Le Chatelier.



Para determinação do teor de umidade da amostra foi utilizado o método da estufa padrão. Primeiro, pesou-se 400 gramas do material que foi levado para estufa onde permaneceu por 24 horas a 105° C até a constância em massa. Em seguida, pesou-se novamente o material para determinar a quantidade água que evaporou. Com esses dados em mão, fez-se um cálculo da diferença da massa total antes de ir para estufa e da massa após retirar da estufa, obtendo assim a quantidade e percentual de água existente na amostra, como mostra a Equação 2.

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad \text{Equação(2)}$$

Onde:

h – teor de umidade, em porcentagem;

Ph - peso do material úmido;

Ps - peso do material seco em estufa a 105° C, até constância em massa.

Dessa forma, após a determinação das propriedades do resíduo foi possível partir para etapa de caracterização dos agregados e dosagem do concreto.

4.2 Composição do concreto

Para o concreto o cimento utilizado foi o Cimento Portland CP V ARI, pois apresenta pouca adição mineral e não é considerado pozolânico, para os agregados utilizou-se areia média lavada e a brita de origem calcária, e o RPP seco em estufa, destorroado e homogeneizado. Sucederam-se os ensaios de composição granulométrica do agregado miúdo (areia) e graúdo (brita), nos quais foram determinados:

- dimensão máxima característica e módulo de finura fundamentados na NBR 7217/(ABNT,1987) (Figura 5);
- massa específica do cimento, segundo a norma ABNT – NBR 6474 (ABNT,1994) (Figura 6);
- massa específica e massa unitária dos agregados baseados na ABNT – NBR NM 45 (ABNT, 2006) (Figura 7).

Figura 5 – Agregado graúdo e peneiras para ensaio granulométrico.



Figura 6 – Massa específica do cimento.

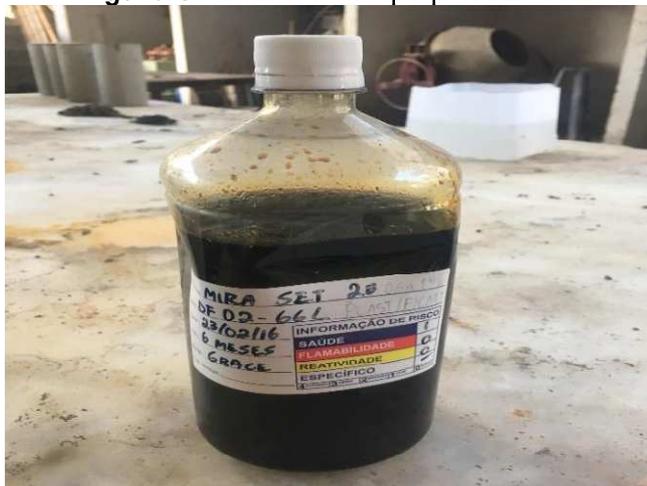


Figura 7 – Ensaio de massa unitária (A) e massa específica (B) do agregado miúdo.



Usou-se aditivo do tipo plastificante MIRA, com concentrações de 1% em relação a massa do cimento representado na Figura 8

Figura 8 – Aditivo do tipo plastificante.



4.3 Método de dosagem

O procedimento de dosagem de concreto utilizado foi o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em que é necessário obter as informações de entrada a respeito do módulo de finura, diâmetro máximo e massa específica dos agregados, como também a resistência esperada à compressão do cimento aos 28 dias.

Inicialmente foi necessário calcular a resistência de dosagem (f_{cj}) que depende da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) e do desvio padrão de dosagem (S_d), relacionados pela fórmula a seguir:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad \text{Equação(3)}$$

Onde:

f_c = Resistência média do concreto

j = Idade do concreto (geralmente 28 dias)

f_{ck} = Resistência característica do concreto à compressão

S_d = Desvio padrão de dosagem

Para se calcular o valor do f_{cj} é necessário definir o valor de S_d , visto que o f_{ck} é estabelecido em projeto. O desvio padrão de dosagem é determinado em função da

condição de preparo do concreto adotada na obra. As condições estabelecidas para o cálculo de resistência de dosagem em concretos a serem utilizados em obras que não possuem desvio padrão conhecido estão descritas na NBR-12655 (ABNT, 2015).

A resistência característica determinada na pesquisa foi de 30 MPa, dessa forma a condição A é a que melhor se enquadra no processo de confecção do concreto, por ser aplicável às classes C10 até C80, onde o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.

Após determinada a resistência de dosagem, parte-se para o cálculo da relação água/cimento. De acordo com a Lei de Duff Abrams a resistência do concreto é inversamente proporcional ao fator água/cimento, ou seja, o fator água/cimento é o principal responsável, apesar de não ser o único, pela resistência do concreto.

Para definir o fator água/cimento que permitirá alcançar a resistência pretendida utilizam-se curvas de resistência ou a fórmula de Bolomey. As curvas de resistência são obtidas através da execução de vários traços de concreto elaborados com o mesmo tipo e marca de cimento, com fator água/cimento diferenciado. Os resultados de resistência à compressão nas várias idades de teste são correlacionados com o fator água/cimento respectivo.

Na impossibilidade de se utilizar curvas de resistência, visto que as mesmas variam de cimento para cimento e, em algumas marcas, variam até em função da época de produção, ocorrendo oscilações periódicas que obriga a constantes atualizações, tornando-a inviável operacionalmente para os profissionais e empresas que não dispõem de laboratório e estrutura adequada para realização de testes, recomenda-se o emprego da fórmula de Bolomey, descrita a seguir:

$$f_{c_{28}} = K \left(\frac{1}{A/C} - 0,5 \right) \quad \text{Equação(4)}$$

Onde:

$f_{c_{28}}$ = Resistência média de dosagem, aos 28 dias;

K = Coeficiente de atividade do cimento, aos 28 dias;

A/C = Fator água/cimento.

Para se determinar o fator água/cimento do concreto, tem-se que definir, em primeiro lugar, o coeficiente de atividade do cimento. O valor do coeficiente de atividade do cimento pode ser calculado de duas maneiras, a saber:

1) Coeficiente de atividade teórico ($K_{teórico}$)

Leva em consideração apenas a resistência nominal do cimento, ou seja, a resistência mínima prevista na normalização, equivalente à classe do cimento. Neste caso a fórmula será:

$$K_{teórico} = \frac{\text{Classe do cimento}}{1,5833} \quad \text{Equação(5)}$$

2) Coeficiente de atividade real (K_{real}).

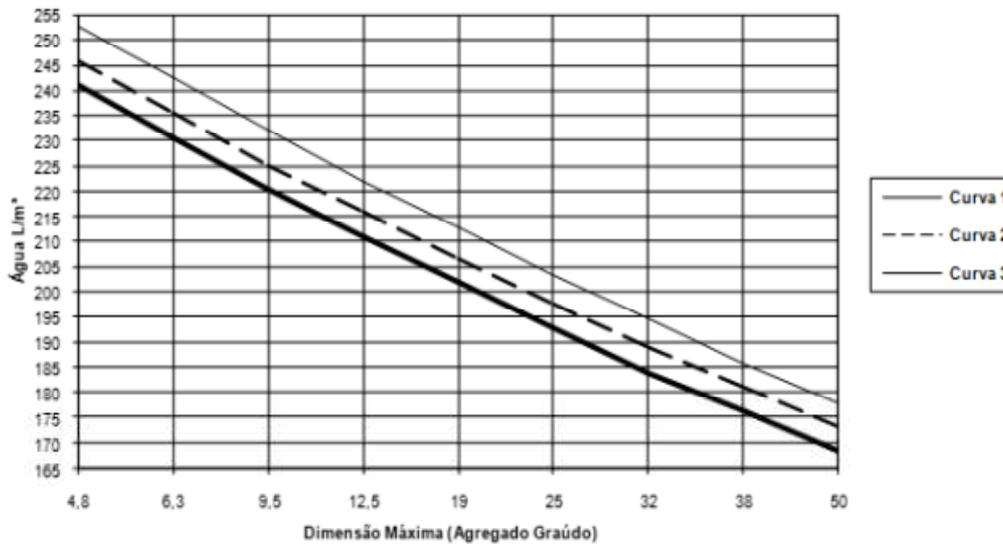
Leva em consideração a resistência real do cimento, obtida através de ensaios de resistência à compressão, aos 28 dias de idade, nesse caso a fórmula será:

$$K_{real} = \frac{\text{Resistência real do cimento}}{1,5833} \times 0,9 \quad \text{Equação(6)}$$

Como a maioria das obras não dispõem de resultados constantes e atualizados de resistência à compressão do cimento, utilizou-se nessa pesquisa o K teórico.

A determinação do consumo de água em um determinado traço depende de vários fatores como: dimensão máxima do agregado graúdo, o módulo de finura do agregado miúdo, a plasticidade do concreto, o teor de argamassa do traço, entre outros. De posse desses dados foi possível determinar o consumo de água, encontrado por meio do Gráfico 1, exposto a seguir.

Gráfico 1- Curva para determinação do consumo de água



Curva I - Módulo de Finura da Areia = 2,00 a 2,49

Curva II - Módulo de Finura da Areia = 2,50 a 2,84

Curva III - Módulo de Finura da Areia = 2,85 a 3,20

O cálculo do consumo de cimento/m³ de concreto é obtido dividindo o consumo de água pela relação água/cimento, como mostra a equação a seguir:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad \text{Equação(7)}$$

Feito isso, partiu-se para o proporcionamento dos agregados que é considerado um dos passos mais importantes no dimensionamento do concreto. Alguns fatores, portanto, deverão ser levados em consideração, tais como: consumo de cimento e dimensão máxima do agregado graúdo. Definido o consumo de cimento, determina-se o ponto correspondente no eixo das ordenadas e traça-se uma paralela ao eixo das abcissas até encontrar com a reta correspondente a dimensão máxima do agregado graúdo (19 mm). Em seguida, traça-se uma perpendicular ao eixo das abcissas e encontra-se o valor de **S** que representa a relação entre o percentual de agregado graúdo e o percentual de agregado miúdo. O Ábaco experimental para determinação de areia (E.P. França) foi utilizado para chegar aos resultados, apresentado no Gráfico 2.

O percentual de agregado miúdo e agregado graúdo é determinado a partir das fórmulas 8 e 9:

$$A\% = \frac{100}{1+S} \quad \text{Equação(8)}$$

Onde:

$A\%$ é o percentual de areia;

S é a relação entre o percentual de agregado graúdo e o percentual de agregado miúdo.

$$B\% = 100 - A\% \quad \text{Equação(9)}$$

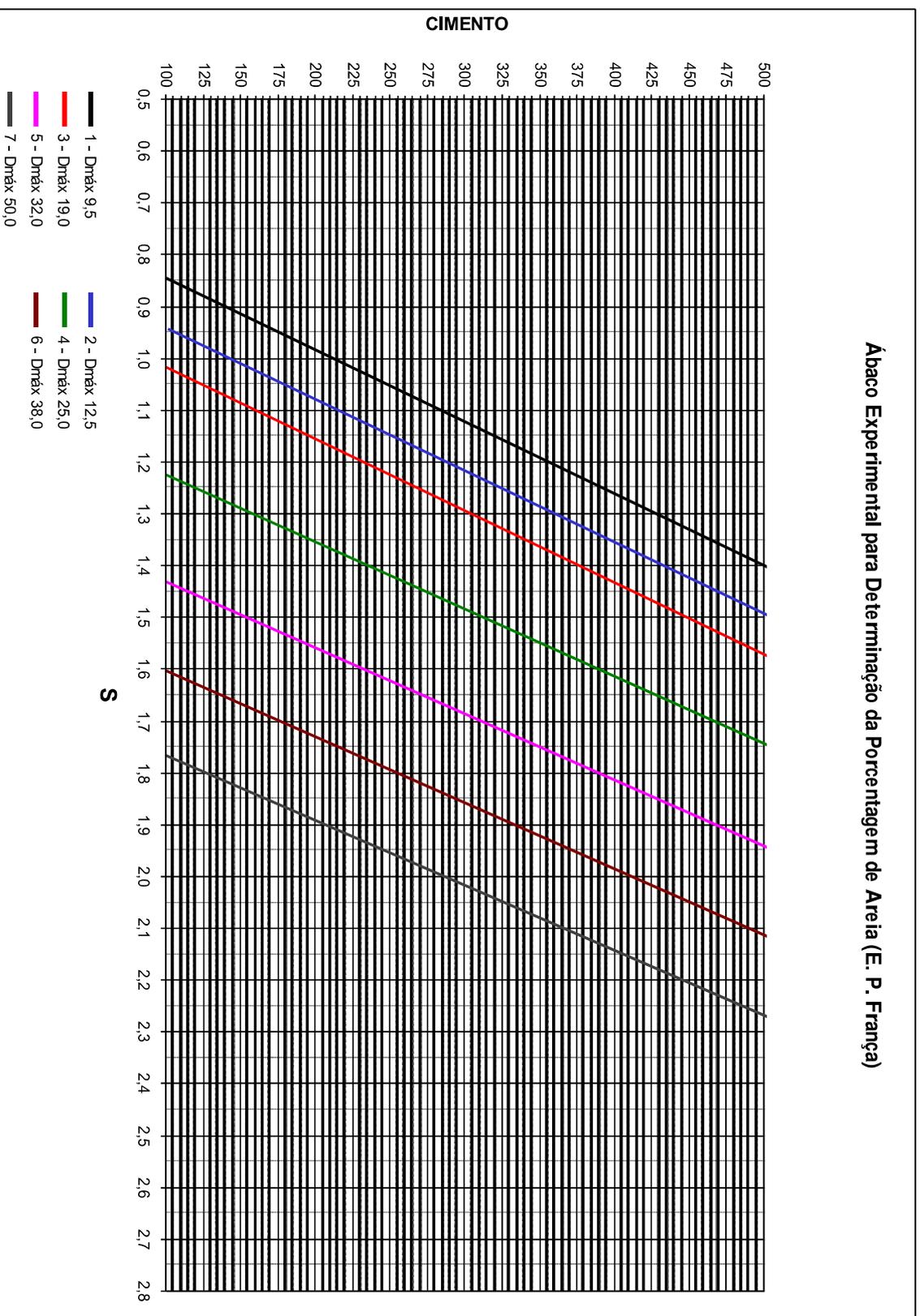
Onde:

$B\%$ é o percentual de brita;

S é a relação entre o percentual de agregado graúdo e o percentual de agregado miúdo.

Gráfico 2 – Ábaco experimental.

Ábaco Experimental para Determinação da Porcentagem de Areia (E. P. França)



Quando se dimensiona um traço de concreto, o cálculo é sempre executado para se obter volume de 1 m³, ou seja, a somatória dos volumes absolutos de todos os componentes do concreto deverá proporcionar a obtenção de 1000 litros.

$$V_{cimento} + V_{areia} + V_{brita} + V_{\acute{a}gua} = 1000 \quad \text{Equação(10)}$$

A massa específica real é determinada a partir da Equação 11, grandeza fundamental para composição do traço.

$$\text{Massa Específica Real} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} \quad \text{Equação(11)}$$

Assim, isolando a incógnita volume, conforme a Equação 12, é possível determinar o volume de cada componente do concreto. Logo,

$$\text{Volume} = \frac{\text{Massa}}{\text{M.E.R}} \quad \text{Equação(12)}$$

$$V_{cimento} = \frac{M_{cimento}}{M.E.R_{cimento}} \quad \text{Equação(13)}$$

$$V_{areia} = \frac{M_{areia}}{M.E.R_{areia}} \quad \text{Equação(14)}$$

$$V_{brita} = \frac{M_{brita}}{M.E.R_{brita}} \quad \text{Equação(15)}$$

$$V_{\acute{a}gua} = \frac{M_{\acute{a}gua}}{M.E.R_{\acute{a}gua}} \quad \text{Equação(16)}$$

A massa específica real é a massa da unidade de volume, excluindo deste os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos.

Substituindo a Equação 12 na Equação 10 chega-se a seguinte expressão

$$\frac{M_{cimento}}{M.E.R_{cimento}} + \frac{M_{areia}}{M.E.R_{areia}} + \frac{M_{\acute{a}gua}}{M.E.R_{\acute{a}gua}} = 1000 \quad \text{Equação(17)}$$

Para definir a massa de areia e brita é necessário antes calcular a massa de agregado total. Através das porcentagens A e B é possível correlacionar as massas específicas individuais para originar a massa específica do agregado total.

$$\gamma_{ag.total} = A \times M.E.R \text{ areia} + B \times M.E.R \text{ brita} \quad \text{Equação(18)}$$

Dessa forma, a Equação 17 torna-se:

$$\frac{M_{cimento}}{M.E.R_{cimento}} + \frac{M_{ag.total}}{M.E.R_{ag.total}} + \frac{M_{\acute{a}gua}}{M.E.R_{\acute{a}gua}} = 1000 \quad \text{Equação(19)}$$

A partir dessa equação encontra-se o traço para confecção do concreto.

4.4 Determinação das propriedades do concreto no estado endurecido

Nessa etapa foram verificadas as propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido, especificamente a análise da resistência à compressão axial. Para o estudo da influência da adição de RPP na resistência à compressão axial foram moldados 56 corpos-de-prova cilíndricos 10 cm x 20 cm (Figura 9) com diferentes idades de ensaio, seguindo as orientações da norma técnica NBR 5739 (ABNT, 1994). O resumo dos ensaios realizados, bem como a quantidade de Cp's e suas respectivas idades estão apresentados no Quadro 1.

Figura 9 - Moldagem dos corpos de prova.



Quadro 1 – Ensaio realizados.

Ensaio	Quantidade de corpos de prova (un)	Idade do ensaio (dias)
Dosagem experimental para verificação do traço	4	7
Dosagem experimental com percentual de adições	12	7
Dosagem real	28	28
Análise patológica	12	120

4.5 Análise da durabilidade do concreto com adição de RPP

As características de durabilidade dos concretos e argamassas devem ser avaliadas com a mesma atenção que as propriedades mecânicas. Dessa forma, essa etapa visou analisar a vida útil do concreto com adição de RPP quando submetido à agentes agressivos. Os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 10 cm x 20 cm e submetidos a simulações patológicas por um período de 120 dias. Os ambientes reproduzidos foram: o marinho, solo em contato com as fundações e exposição ao gás carbônico, e são apresentados na Figura 9 a seguir.

Figura 9 – Simulação de ambientes agressivos. A) Contato com solo, B) Marinho e Gás carbônico



5 RESULTADOS

A obtenção dos resultados contemplados nesse tópico está baseada no cumprimento de uma série de processos normativos, critério de dosagem do concreto e confecção dos

corpos de prova, todos regidos por um controle tecnológico que visou a obtenção de conclusões satisfatórias da presente pesquisa.

5.1 Ensaio de caracterização do RPP

Primeiramente, foi feito um ensaio de granulometria para conhecer o tamanho das partículas do RPP. Com isso, constatou-se que o resíduo possui um diâmetro médio de 3,74 μm e apresenta uma granulometria apropriada para preencher os vazios deixados pelos grãos de cimento. A partir das curvas de distribuição granulométrica foram obtidos os parâmetros D10 e D90, que estão relacionados aos diâmetros de corte da curva de distribuição acumulada em 10% e 90%, respectivamente, enquanto que, o parâmetro D50 está relacionado à mediana da distribuição e corresponde ao diâmetro médio de partícula (Dm).

Quadro 2- Ensaio de granulometria.

Porcentagem Acumulada	Tamanho das Partículas
Diâmetro a 10%	0,10 μm
Diâmetro a 50%	1,94 μm
Diâmetro a 90%	11,19 μm
Diâmetro Médio	3,74 μm

Em seguida, como consta no Quadro 3, foi feito o ensaio de fluorescência em Raio-X, onde os resultados para a análise química apresentaram teores altos de SiO_2 , médios de Al_2O_3 , baixos de MgO e traços de Fe, Ca, K, P e Na. A presença do ZrO_2 está relacionada com o grau de brancura do porcelanato.

Quadro 3- Resultado da Fluorescência de Raio X.

Elementos	Porcentagem
SiO ₂	71,8058 %
Al ₂ O ₃	14,1325 %
MgO	4,3522 %
Na ₂ O	2,6220 %
K ₂ O	2,5405 %
CaO	1,7225 %
Fe ₂ O ₃	0,9199 %
Cl	0,7423 %
SO ₃	0,4663 %
TiO ₂	0,2304 %
P ₂ O ₅	0,1935 %
MnO	0,0901 %
ZnO	0,0712 %
ZrO ₂	0,0355 %
Rb ₂ O	0,0257 %
Cr ₂ O ₃	0,0132 %
SrO	0,0087 %
NiO	0,0085 %
NbO	0,0052 %

É possível observar que os índices de óxido de magnésio (parte derivada do abrasivo utilizado no polimento do porcelanato) e óxido de cálcio, que provocam reações expansivas na hidratação, aparecem em quantidades inofensivas para uso no

concreto com base na NBR 5732 (ABNT, 1991) Cimento Portland Comum. Concluiu-se que grande parte do resíduo é formada por sílica e alumina, o que pode provocar uma melhor trabalhabilidade (dispersão das partículas), refinamento dos poros e maiores resistências (microestrutura mais densa).

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1991), norma esta que classifica as pozolanas em classes conforme sua origem e exigências mínimas quanto à sua composição, observa-se que o RPP aparece na classe N como uma argila calcinada, apresentando uma quantidade de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$ superior a 70%. Com relação aos outros componentes, o óxido SO_3 está abaixo de 4%, o álcali Na_2O aparece um pouco acima de 1,5% o que pode provocar a reação álcali-agregado e a perda ao fogo abaixo da porcentagem máxima de 10%.

Os resultados dos ensaios de massa específica e teor de umidade do resíduo estão apresentados no Quadro 4, ambos os ensaios foram realizados em triplicata para garantir a veracidade dos resultados.

Quadro 4- Ensaios físicos do RPP

Massa específica NBR 6474 (ABNT, 1964)	2,385 g/cm ³
Teor de umidade – Estufa padrão	22,53%

5.2 Ensaios de caracterização dos materiais

Para confecção dos corpos de prova foram estabelecidos ensaios de caracterização dos materiais a serem utilizados na composição do concreto, com finalidade de obter os dados necessários para obtenção da dosagem ideal e, assim, chegar à resistência desejada do concreto.

As variáveis escolhidas para a análise da adição do RPP no concreto associam-se com suas propriedades no estado endurecido (resistência à compressão) e os aspectos de durabilidade (análise patológica).

Os agregados empregados na confecção do concreto foram de origem natural. A areia utilizada foi a média lavada, quartzosa, encontrada no comércio local. As propriedades físicas e a distribuição granulométrica estão apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5- Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras	Peso retido (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)
4,75 mm	42,30	4,23	4,23
2,36 mm	73,7	7,37	11,6
1,18 mm	148,1	14,81	26,41
600 µm	334,6	33,46	59,87
300 µm	278,5	27,85	87,72
150 µm	107,3	10,73	98,45
RESÍDUO	15,5	1,55	100
Dmáx. Caract. (mm)	4,75		
Módulo de finura	2,88		
Massa específica	2,50 g/cm ³		
Massa unitária	1,45 kg/dm ³		

A brita utilizada foi de origem calcária, adquirida em comércio local, cujas características físicas e de distribuição granulométrica estão disponíveis no Quadro 6.

Quadro 6 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Peneiras	Peso retido (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)
75 mm	0	0	0
63 mm	0	0	0
37,5 mm	0	0	0
31,5 mm	0	0	0
25 mm	0	0	0
19 mm	30,50	6,10	6,10
12,5 mm	3180,20	63,60	69,70
9,5 mm	983,00	19,66	89,36
6,3 mm	531,80	10,63	100
4,75 mm	0	0	100
2,36 mm	0	0	100
1,18 mm	0	0	100
600 µm	0	0	100
300 µm	0	0	100
150 µm	0	0	100
RESÍDUO	0	0	100
Dmáx. Caract. (mm)	19		
Módulo de finura	6,95		
Massa específica	2,54 g/cm ³		
Massa unitária	1,37 kg/dm ³		

De acordo com os quadros apresentados anteriormente, o agregado miúdo foi caracterizado como areia média e o graúdo como brita 1 atendendo às limitações de utilização na confecção de concreto.

O cimento utilizado foi adquirido na fábrica da Cimentos Elizabeth, localizada em Alhandra-PB, sua densidade de 3,1 g/cm³ foi verificada através do Frasco de Chapman NBR 6474 (ABNT, 1994), conforme mostrado anteriormente na Figura 6.

5.3 Dosagem do concreto

Após a caracterização dos agregados, foram realizados os procedimentos de cálculos para alcançar um traço ideal para o desempenho mecânico solicitado na pesquisa. A resistência característica esperada foi de 30 MPa, sendo a Condição A a que melhor se adequa à situação, com base na ABNT NBR 12655 (ABNT, 2015). A partir da Equação 2 foi possível obter valor de resistência de dosagem encontrado, exposto no Quadro 7.

Quadro 7 – Procedimentos e resultados para obtenção do traço final.

Determinação da resistência da dosagem do concreto em função do desvio padrão	$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \times Sd$ $f_{c28} = 36,6 \text{ MPa}$
Determinação do K teórico	21,47
Água/cimento	0,453
Consumo de água (Ca)	202 l/m ³
Consumo de cimento (Cc)	445,92 kg/m ³
Determinação da massa total de agregado	2,59 kg/dm ³
Traço final para 0% de adição	1 : 1,52 : 1,82 : 0,453

Para o traço padrão foram realizadas adições de 10% e 20% do resíduo, alterando assim o consumo de cimento para cada dosagem, sendo o traço que necessita de menos cimento aquele que apresenta maior porcentagem de resíduo. Após a dosagem, os corpos de prova foram rompidos com idades de 7 dias, com a finalidade de analisar experimentalmente o traço pré-estabelecido e a necessidade de alteração dos materiais componentes do concreto. Avaliados os resultados, escolheu-se o teor de adição que apresentou maior resistência mecânica, tornando-o ponto central para interpolação das variáveis, sendo esse teor de 10% e relação água/cimento de 0,4. As respectivas variações serão apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 8 – Variação dos teores de RPP e a/c para o traço.

Adição	a/c
0%	0,34
20%	0,34
0%	0,4
20%	0,4
10%	0,37

As interpolações foram realizadas com um valor de $\pm 0,3$ da relação água/cimento obtida no teor ideal e com os percentuais de variação de 0, 10 e 20% do resíduo. Com esses dados, pode-se confeccionar os corpos-de-prova para realização do ensaio de compressão axial.

5.4 Propriedades do concreto no estado endurecido

Os resultados da dosagem experimental com idade de ensaio de 7 dias por meio da compressão axial (Figura 10), permitiram concluir que os corpos de prova com adição de 10% apresentaram um aumento na resistência de 23,61% em relação aos corpos de prova de referência. Já os corpos de prova com adição de 20% não apresentaram influência na resistência mecânica do concreto. Os resultados estão dispostos no Quadro 9.

Figura 10 – Corpos-de-prova em ensaio destrutivo.



Quadro 9- Resultados compressão axial da dosagem experimental com 7 dias.

Adição RPP	Resistência (MPa)
0%	30,70
10%	37,95
20%	27,95

Após a verificação da correta dosagem variou-se os teores de adição bem como da relação água/cimento a fim de encontrar um traço ideal. Passados 28 dias de cura os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial. Os resultados estão dispostos no Quadro 10.

Quadro 10 – Resultados da compressão axial aos 28 dias.

Adição de RPP	Água/cimento	Resistência (MPa)
0	0,34	45,38
20	0,34	47,74
0	0,4	32,24
20	0,4	39,63
10	0,37	45,92

Com essa variação foi possível concluir que o teor de adição de 20%, com relação água/cimento de 0,34, foi o que apresentou maior resistência mecânica. Dessa forma, encontrou-se um teor ideal tanto para a adição de 10% como para a de 20% viabilizando a implantação do resíduo como material aditivo no concreto.

OLLIVIER (1998) afirma que a presença de partículas inertes na zona de transição do concreto nas primeiras idades atua como pontos de nucleação desorientando a formação preferencial do hidróxido de sódio, dificultando a formação de planos de fraturas contíguos, que enfraquecem o concreto. Sabe-se que RPP possui pouca atividade pozolânica, entretanto a sua alta finura atuou como fíler nos poros e na zona de interface matriz/agregado, agindo como agente densificador destas regiões do concreto durante o processo de hidratação, garantindo uma maior resistência à compressão.

Percebe-se que há um ganho substancial de resistência à medida que aumenta o teor de adição para 10%, onde a densificação da pasta diminui a tendência de formação de microfissuras que levam à ruptura do material. Esse ganho está relacionado também com o efeito fíler responsável pelo preenchimento dos interstícios e a atividade pozolânica, proporcionando uma maior quantidade de produtos hidratados.

Para os concretos produzidos com adição de 20% de RPP, as partículas de fíler também funcionam como agentes de nucleação, acelerando o processo de hidratação, entretanto devido a maior quantidade de partículas de RPP na pasta de cimento, provavelmente há diminuição da ligação entre os produtos hidratados, enfraquecendo o concreto.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), a resistência à tração apresenta ser muito mais influenciada pelas características da zona de transição que a resistência à compressão. Isto acontece porque, na resistência à compressão, o concreto chega ao estágio de ruptura já em um estado de fissuração completa, onde existem numerosas fissuras espalhadas por todo o corpo-de-prova. Já na resistência à tração, as fissuras se

propagam em direção transversal à aplicação da tensão e a ruptura é função da união apenas de algumas fissuras.

5.5 Análise da durabilidade do concreto com adição de RPP

Por último, comprovado o ganho de resistência do concreto com a adição do resíduo foi preciso verificar o comportamento desse frente a ação de agentes agressivos. A análise patológica foi verificada através de ensaios de resistência mecânica à compressão após a exposição dos corpos-de-prova a ambientes agressivos, a partir do resultado com o teor ótimo de adição, ou seja, aquele que apresentou o maior ganho de resistência.

Os resultados do desempenho mecânico dos corpos de provas submetidos a simulação de ambientes agressivos encontram-se no Quadro 11.

Quadro 11- Análise da resistência mecânica em ambientes agressivos

Ambiente simulado	Resistência mecânica (MPa)
Corpo-de-prova de referência	43,60
Marinho	36,23
Subsolo	39,88
Exposição ao gás carbônico	42,89

O ambiente marinho obteve a maior perda de resistência referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63% na resistência mecânica.

A perda reduzida na exposição ao gás carbônico foi devido ao ambiente ao qual foram expostos os corpos-de-prova. Esse situa-se no campus da UEPB localizado na cidade de Araruna, município de pequeno porte e por isso produz pouca emissão de gás carbônico.

O ambiente marinho por ser o mais agressivo obteve uma queda de resistência maior, porém esse valor é reduzido quando comparado a concretos usuais visto que a adição de RPP torna o concreto mais impermeável e assim reduz o efeito negativo do ataque de cloretos.

6 CONCLUSÃO

A reciclagem é de fundamental importância para a redução do impacto ambiental e vem mostrando ser uma alternativa interessante para utilização dos resíduos industriais no setor da construção civil, desenvolvendo materiais que atendam aos padrões técnicos, melhorando suas propriedades e não oferecendo riscos ao meio ambiente.

Vários resíduos são usados na confecção de concretos, contribuindo com suas propriedades mecânicas e aspectos de durabilidade. É nesse sentido que esse trabalho procurou avaliar o comportamento de concretos produzidos com a adição do resíduo de polimento do piso porcelanato.

Os concretos com 10% e 20% de adição obtiveram um ganho médio de resistência quando variando suas relações de água/cimento. A variação da relação água/cimento de 0,37% e 10% do teor de RPP obteve uma resistência mecânica de 45,92 MPa, apresentando-se como teor ótimo de adição tanto em termos mecânicos como em execução.

O comportamento do concreto com teor ótimo de adições submetido a agentes patológicos apresentou influência em relação a diminuição da permeabilidade, dificultando a penetração de meios de deterioração e assim contribui para o aumento da vida útil da estrutura.

O resíduo de polimento do porcelanato pode ser usado na confecção de concretos com um aproveitamento satisfatório de suas propriedades mecânicas e dos aspectos de durabilidade, desenvolvendo, portanto, um material com melhor desempenho e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

A realização de trabalhos futuros para aprofundar e melhorar o desempenho do RPP no concreto é fundamentada em quesitos como a exploração de novos teores de adições, realização de ensaios específicos de durabilidade, estudo da microestrutura do concreto, ensaios de porosidade e absorção e medições térmicas.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MINERAL ADDITIONS IN THE
CONCRETE: STUDY OF THE INCORPORATION OF PORCELANATE POLYMER
RESIDUE IN THE MECHANICAL PERFORMANCE AND DURABILITY OF
PORTLAND CEMENT CONCRETE

ABSTRACT

Civil construction over the years has improved its constructive techniques and has gone hand in hand with the technological progress that is now spread throughout the world. This same branch that grows and improves, is surrounded with problems as big as its growth. One of the inquiries that is made is what will be of civil construction without natural resources, once considered as inexhaustible and renewable, but its excessive and indiscriminate exploitation has caused serious environmental problems. In addition, the construction industry is a major generator of harmful waste, resulting from the numerous production processes. With this, recycling has become a beneficial alternative to reduce the accumulation of these materials. Thus, these industrial by-products have been used as additives in concrete Portland cement, which leads to improvements in its properties in the fresh and hardened state. The porcelain polishing residue (RPP) is one of the residues derived from the ceramic industry, its production reaches tons and presents no apparent use. The purpose of this research was to analyze the use of RPP as a supplementary material in the production of concrete, evaluating its influence on mechanical, economic, environmental and durability aspects. Thus, it is desired to generate a suitable destination for the residue, for environmental reasons, incorporating it to the concrete, and also, to provide an economy in the consumption of the constituent materials of the concrete. The methodology adopted consisted of investigating the main characteristics of the concrete from the introduction of different concentrations of the residue as an additional element in the trace. For this purpose, RPP characterization tests, concrete dosing tests, mechanical resistance and durability analysis were performed. The RPP contents incorporated in the composition were 10% and 20% in relation to the cement mass, in traces with plasticizing additives. The 10% and 20% porcelain tile polishing residue, considering the variation of the water / cement ratio, obtained an increase in the order of 20% in the resistance of the concrete. In the analysis of the durability, the marine environment obtained the greatest loss of mechanical resistance, referring to 16.9%, followed by the underground with 8.53% and the exposure to carbon dioxide with a decrease of 1.63%. Even so, the residue increases the impermeability of the concrete, which means that these percentages are reduced when compared to the usual concrete. In this way, it can be used in the preparation of concrete with a satisfactory use of its mechanical properties and contributing to the preservation of the environment.

Keywords: Construction. Recycling. Additions. Resistance. Lifespan.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.J.O. et al. **Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química**. In: Congresso Brasileiro do Concreto–REIBRAC, 45, 2003, Vitória - ES. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003 (CD Rom).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7217: Agregados – determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados- Determinação da Massa Específica Chapman**. Rio de Janeiro: Copyright, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados- Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro: Copyright, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6474 NM 23: Cimento Portland determinação da densidade**. Rio de Janeiro: Copyright, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais Pozolânicos**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica – Índice de atividade pozolânica com cal: NBR 5751**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento: NBR 5752.** Rio de Janeiro, 1992.

GRIGOLI, Ademir Scobin - HELENE, Paulo. **Comportamento das Adições Minerai Inertes em Poros e Zona de Transição em Concretos.** II Encontro Tecnológico de Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá - Paraná, 2001.

HELENE, P.R.L.;TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** São Paulo: Pini; Brasília: SENAI, pp.349, 1993.

HUGON, A. Técnicas de construção. São Paulo: Hemus/Imagem Digital, 2004.

KIHARA, Y., **O estudo das cinzas volantes brasileiras, Cerâmica**, 32 (193), pp. 31-38, 1986.LAPA, José Silva. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.** 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2008.

LAPA, José Silva. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.** 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2008.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo, Ed. Pini, p.573, 1994.

NEUFERT, Peter; NEFF, Ludwig. **Casa, apartamento, jardim, projetar com conhecimento, construir corretamente.** Barcelona: Ed. Gustavo Gilli, 2003.

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

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** 2. ed. São Paulo: PINI, 1997. 738p.

OLLIVIER, J. P., Durability of concrete. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil, BT/PCC/192. 129p. São Paulo. 1998.

REVISTA DO CONCRETO. São Paulo: Copyright, 2009.

SILVA, Guilherme Jorge Brigolini. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato.** 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005