



Universidade Federal de Pernambuco

Centro Acadêmico do Agreste – Núcleo de Tecnologia

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental

Maria Victória Leal de Almeida Nascimento

**ESTUDOS DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTAÇÃO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DO POLIMENTO DO
PORCELANATO**

Caruaru

2016

MARIA VICTÓRIA LEAL DE ALMEIDA NASCIMENTO

**ESTUDOS DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTAÇÃO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DO POLIMENTO DO
PORCELANATO**

Dissertação de Mestrado para obtenção do título de Mestre, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste. Área de concentração: Estruturas e Materiais. Linha de Pesquisa: Materiais e componentes da construção civil.

Orientador (a): Prof. Dr^a. Ana Cecília Vieira da Nóbrega

Co-orientador (a): Prof. Dr^a. Érika Pinto Marinho

Caruaru - PE

Fevereiro/2016

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4-1242

- N244e Nascimento, Maria Victória Leal de Almeida.
Estudo de blocos intertravados de concreto para pavimentação de resíduo do polimento do porcelanato. / Maria Victória Leal de Almeida Nascimento. - 2016.
96f. il. ; 30 cm.
- Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega
Coorientadora: Erika Pinto Marinho
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ambiental, 2016.
Inclui Referências.
1. Blocos de concreto. 2. [Reaproveitamento \(Sobras, refugos, etc.\)](#). 3. Resíduos industriais. I. Nóbrega, Ana Cecília Vieira da. (Orientadora). II. Marinho, Erika Pinto (Coorientadora). III. Título.
- 620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-026)

*ATA DA **VIGÉSIMA NONA** DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DO CENTRO ACADÊMICO DO
AGRESTE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, NO DIA
16 DE FEVEREIRO DE 2016.*

Aos 16 (dezesesseis) dias do mês de fevereiro do ano de 2016 (dois mil e dezesesseis), às 14:00h (quatorze horas), na sala K2 do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, em sessão pública, teve início a defesa da Dissertação de mestrado intitulada **“ESTUDOS DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DO POLIMENTO DO PORCELANATO”** da aluna **MARIA VICTÓRIA LEAL DE ALMEIDA NASCIMENTO**, na área de concentração **ESTRUTURAS E MATERIAIS**, sob a orientação da Profa. Dra. **ANA CECÍLIA VIEIRA DA NÓBREGA** e coorientação da Profa. Dra. **ÉRIKA PINTO MARINHO**. A mestranda cumpriu todos os demais requisitos regimentais para a obtenção do grau de **MESTRA**, em Engenharia Civil e Ambiental. A Banca Examinadora foi indicada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em 16 de dezembro de 2015, na sua 33ª (trigésima terceira) reunião ordinária e homologada pela Diretoria de Pós-Graduação, através do Processo Nº 23076.001935/2016-09 em (20/01/2016) 20 de janeiro de 2016 composta pelos Professores: **Dra. ÉRIKA PINTO MARINHO**, Coorientadora e Presidente da Banca, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental –CAA-UFPE, **Dr. JULIO CEZAR DE OLIVEIRA FREITAS** examinador externo, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e **Dr. HUMBERTO CORREIA LIMA JÚNIOR** examinador interno, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental–CAA-UFPE. Após cumpridas as formalidades, a candidata foi convidada a discorrer sobre o conteúdo da Dissertação. Concluída a explanação, a candidata foi arguida pela Banca Examinadora que, em seguida, reuniu-se para deliberar e conceder a mesma a menção **APROVADA** da referida Dissertação. E, para constar, lavrei a presente Ata que vai por mim assinada, José Marcelo Lopes Vanderley Secretário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, e pelos membros da Banca Examinadora.

Caruaru, 16 de fevereiro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a ÉRIKA PINTO MARINHO

Prof. JULIO CEZAR DE OLIVEIRA FREITAS

Prof. HUMBERTO CORREIA LIMA JÚNIOR

*Dedico esse trabalho, aos meus pais
José Normando do Nascimento e Surizadai
Leal de Almeida Nascimento.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus Uno e Trino: Ao Pai pelo dom da vida, ao Filho, pela lição e exemplo de mestre nesta caminhada e ao Espírito Santo por ter, nos momentos mais difíceis me tranquilizado e me inspirado a cada invocação.

A toda minha família, especialmente aos meus pais, José Normando do Nascimento e Surizadai Leal de Almeida Nascimento, e ao meu irmão, Matheus Norman Leal de Almeida Nascimento, por todo carinho e amor dedicados, por sempre acreditarem na minha capacidade, pelo apoio, incentivo e palavras de conforto nos momentos mais difíceis.

A Filipe Sales de Souza, meu namorado, amigo, companheiro, por todo carinho, apoio, paciência, e por todo incentivo que foram fundamentais para que eu continuasse firme nessa caminhada.

A Prof^a. Dr^a. Ana Cecília Vieira da Nóbrega, minha orientadora, pela dedicação, paciência, por todos os ensinamentos e experiências compartilhadas. Muito obrigada, pelo carinho, amizade, e por todo incentivo que me ajudaram bastante nessa caminhada.

A Prof^a. Dr^a. Érika Pinto Marinho, minha co-orientadora, por ter me acolhido no momento decisivo, pelo incentivo e por todas as contribuições, seu apoio foi de grande valia na reta final dessa trajetória.

Aos professores do PPGECA/UFPE/CAA, por todos os ensinamentos repassados, pelo apoio e incentivo para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus amigos, que sempre estiveram presentes em todos os momentos do curso, compartilhando momentos bons e difíceis, em especial à Dannúbia Ribeiro Pires, por toda paciência, companheirismo e apoio de sempre.

Ao secretário do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, José Marcelo, por toda paciência e boa vontade em sempre ajudar.

Aos técnicos do Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA, Everton Rodrigues e Fabíola Franca, pelo apoio nas moldagens e nos ensaios realizados.

Aos alunos bolsistas de manutenção acadêmica e graduandos do curso de Engenharia Civil da UFPE/CAA, Eulina Menezes, Kalil Ruan e Vanderlan Vieira, pela forte contribuição para a realização de toda pesquisa, auxiliando em todo o processo da fabricação dos blocos intertravados de concreto.

À Fábrica Elizabeth Porcelanatos S. A., pelo resíduo do polimento do porcelanato (RPP), gentilmente cedidos para a pesquisa.

À Polimix Concreto, por ter fornecido gentilmente o cimento CP V ARI da marca MIZU, utilizado em toda a pesquisa.

À empresa JCL Lajes, pela doação dos insumos (areia e pedrisco) utilizados ao longo de toda a pesquisa.

E finalmente, a todas as pessoas que, de uma forma direta ou indireta, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

*“Você nunca sabe a força que tem,
até que a sua única alternativa é ser forte.”*

Johnny Depp

RESUMO

A utilização de resíduos em materiais cimentícios, tem sido desenvolvida para melhorar a qualidade ambiental, diminuindo os resíduos gerados. O RPP é um resíduo industrial produzido em grande escala pela indústria cerâmica, ele foi utilizado nesse trabalho sendo incorporado em blocos intertravados de concreto. Os blocos intertravados de concreto foram escolhidos dentre os materiais cimentícios, por não ter sua trabalhabilidade comprometida, quando se trata de adicionar um material pulverulento, pois é produzido por vibro-compressão. Foi realizada a otimização do empacotamento dos agregados, para a produção dos blocos intertravados de concreto, através de método matemático. Também foi otimizada, através de método experimental a relação água/cimento. O traço de referência, encontrado após as otimizações, foi 1: 2,68: 2,32 (cimento: areia: pedrisco), com relação água/cimento de 0,45, atendeu as especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013), com relação a resistência à compressão. A partir do traço de referência foi realizado o empacotamento matemático para a incorporação do RPP. O resíduo foi considerado como agregado no empacotamento, ele foi incorporado nas seguintes porcentagens: 3% de RPP, 6% de RPP, 9% de RPP, e 12% de RPP, afim de avaliar a influência do resíduo nos blocos intertravados de concreto, nas propriedades do estado endurecido. A presença do RPP, reduziu a absorção de água tendendo a trazer para o admitido pela NBR 9781 (ABNT, 2013), manteve a resistência a abrasão de acordo com as especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013), embora tenha prejudicado a resistência a compressão, sendo promissor a sua utilização, em blocos intertravados de concreto, em situações onde não há tráfego de veículos, como em: passeios públicos, praças, parques infantis, áreas que necessitem de drenagem. O traço com a incorporação do resíduo, que de uma forma geral obteve os resultados mais satisfatórios foi o traço 2 (3% RPP), que apesar da resistência à compressão média ter sido de 14,26 MPa menor que o especificado pela norma, apresentou uma taxa de absorção média de 6,60%, e em relação a resistência à abrasão apresentou uma cavidade média de 17,50 mm.

Palavras-chave: Blocos intertravados. Concreto seco. Resíduo do polimento do porcelanato.

ABSTRACT

To incorporate residues in cementitious materials has been developed to improve the environmental quality, reducing the amount of disposed residues. The ceramic porcelain industry generates a large amount of porcelain tile polishing residue. This work proposes to incorporate this tile polishing residue in concrete interlocking blocks. The concrete interlocking blocks were chosen due to the addition of a powder material not prejudice their workability, once they are molded by vibrocompression. It was determined the best packaging by a mathematical method. The water-cement ratio was also optimized by the experimental method. The achieved reference mix proportion after all optimizations was 1:2.68:2.32 (cement: sand: gravel) with ratio water-cement ratio 0.45. The compressive strength of the reference mix proportion is according to the NBR 9781 (ABNT, 2013). In the sequence, based on this reference mix, the incorporation of the residue was also mathematically optimized. The residue was considered as an aggregate on the packaging method. The residue was incorporated at the following percentages: 3%, 6%, 9% and 12% in order to evaluate its influence on the hardened state properties of the concrete interlocking blocks. The presence of the tile polishing residue reduces the water absorption, tending to bring the values to the admitted one by the NBR 9781. The abrasion resistance was in agreement with the NBR 9781 (ABNT, 2013). However, the compressive resistance was reduced, limiting the applications of the concrete interlocking blocks with the addition of tile polishing residue where there is no vehicle traffic, as in public footpaths, parks, playgrounds or areas requiring drainage. In a general way, the most satisfactory result among the evaluated mixes incorporating tile polishing residue was to the mix 2 (3% of residue). Despite the average compressive strength was 14.26 MPa lower than the specified by the standard, this mix presented the average absorption of 6.60% and 17.50 mm as a medium cavity liner in the abrasion resistance test.

Keywords: Concrete interlocking blocks. Dry concrete. Tile polishing residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Via Ápia 321 a. c.	18
Figura 2 - Infraestrutura Turística do Alto do Moura (em construção), Caruaru - PE.....	19
Figura 3 - Urbanização da Avenida Agamenon Magalhães, Caruaru - PE	20
Figura 4 - Parque Nova Caruaru, Caruaru - PE.....	20
Figura 5 - Arranjo ideal de distribuição de grãos para maior compacidade.....	25
Figura 6 - Estocagem do RPP na fábrica Elizabeth Porcelanatos	38
Figura 7 - Instalações da fábrica Elizabeth Porcelanatos	38
Figura 8 - Padrão de difração de raio X do resíduo.....	40
Figura 9 - Fluxograma esquemático da metodologia experimental	48
Figura 10 - Resíduo úmido, como foi coletado	50
Figura 11 - Resíduo seco	51
Figura 12 - Resíduo desagregado	51
Figura 13 - Resíduo passante na peneira da malha 200 mesh	52
Figura 14 – Corpos de prova cilíndricos	57
Figura 15 - Ensaio de consistência da argamassa.....	58
Figura 16 - Câmara úmida fechada, que mantém os blocos a 38°C	58
Figura 17 - Máquina Pneumática Permaq, modelo MBHD.01003	60
Figura 18 - Dispositivo para ensaio de resistência a compressão.....	62
Figura 19 - Dispositivo para ensaio de resistência a abrasão	64
Figura 20 - Distribuição discreta das matérias primas utilizadas	67
Figura 21 - Curva TG do RPP	69
Figura 22 - Difratoograma do cimento CP V ARI	70
Figura 23 - Difratoograma do RPP	71
Figura 24 - Resistência à compressão da 1ª moldagem.....	77
Figura 25 - Bloco com maior quantidade de pedrisco.....	78
Figura 26 - Resistência à compressão da 2ª moldagem.....	79
Figura 27 - Resistência à compressão da 3ª moldagem.....	80
Figura 28 - Bloco muito úmido, traço 3 (a/c = 0,50).....	81
Figura 29 - Blocos intertravados de concreto com RPP	83
Figura 30 - Resistência à compressão (MPa) e desvio-padrão amostral aos 7 e 28 dias.....	84
Figura 31 - Taxa de absorção média (%) e desvio-padrão amostral	86

Figura 32 - Cavidade (mm) e desvio-padrão amostral87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do resíduo	39
Tabela 2 - Composição química (% em massa) do resíduo.....	39
Tabela 3 - Caracterização química do cimento	49
Tabela 4 - Caracterização física do cimento.....	49
Tabela 5 - Fator multiplicativo p	62
Tabela 6 - Resistência característica à compressão	63
Tabela 7 - Critérios para resistência a abrasão	65
Tabela 8 - Massas específicas.....	66
Tabela 9 - Área Superficial por BET	68
Tabela 10 - Análise química da amostra do RPP	72
Tabela 11 - Resistência à compressão das argamassas (1º ensaio)	73
Tabela 12 - Resistência à compressão das argamassas (2º ensaio)	73
Tabela 13 - Granulometria dos agregados	74
Tabela 14 - Resultado do Mathcad (empacotamento com os 3 agregados)	75
Tabela 15 - Resultado do Mathcad (empacotamento com areia fina e pedrisco).....	76
Tabela 16 - Resultado do Mathcad (empacotamento com areia grossa e pedrisco).....	76
Tabela 17 - Resultados da 1ª moldagem.....	77
Tabela 18 - Resultados da 2ª moldagem.....	78
Tabela 19 - Resultados da 3ª moldagem.....	80
Tabela 20 - Resultado do Mathcad (empacotamento com o RPP).....	82
Tabela 21 - Traços em volume, com a incorporação do RPP.....	82
Tabela 22- Traços em massa, com a incorporação do RPP.....	82
Tabela 23 - Resistência à compressão (MPa) e desvio-padrão amostral aos 7 e 28 dias	83
Tabela 24 - Taxa de absorção de água (%) e desvio-padrão amostral	86
Tabela 25 - Cavidade (mm) e desvio-padrão amostral.....	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problemática e Justificativa	15
1.2	Objetivos Geral e Específicos.....	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Blocos Intertravados de Concreto	18
2.1.1	Histórico	18
2.1.2	Blocos Intertravados de Concreto	21
2.1.3	Propriedades dos Blocos Intertravados de Concreto	21
2.1.4	Processo de Fabricação.....	22
2.1.5	Propriedades do Concreto para Elaboração dos Blocos de Concreto.....	23
2.1.6	Concreto Seco.....	24
2.1.6.1	Empacotamento	25
2.1.6.1.1	Modelos de Empacotamento de Partículas	26
2.1.6.2	Relação água/cimento	29
2.1.6.3	Cura.....	29
2.1.7	Adições de Resíduos em Blocos Intertravados de Concreto	31
2.2	Resíduo do Polimento do Porcelanato (RPP)	36
2.2.1	Porcelanato	36
2.2.2	Geração do Resíduo.....	37
2.2.3	Características do Resíduo.....	38
2.2.4	Análise da Atividade Pozolânica	41
2.3	RPP incorporados em Materiais Cimentícios	42
2.3.1	RPP em Materiais Cimentícios.....	42
2.3.2	Materiais Ricos em Sílica, Alumínio e Magnésio, em Materiais Cimentícios...	44
3	METODOLOGIA	48
3.1	Materiais de Partida	49
3.1.1	Cimento	49
3.1.2	Agregados.....	50
3.1.3	Resíduo do Polimento do Porcelanato (RPP).....	50
3.1.4	Água	52
3.2	Caracterizações dos materiais de partida.....	52
3.2.1	Massa Específica	52
3.2.2	Granulometria.....	54
3.2.3	Área Específica por BET	55
3.2.4	Análise Térmica (TG).....	55
3.2.5	Difração de raio X (DRX)	55
3.2.6	Fluorescência de raio X (FRX).....	56
3.3	Determinação do índice de Atividade Pozolânica	56

3.4	Dosagem.....	59
3.4.1	Determinação do Traço Padrão	59
3.4.2	Determinação dos Traços com a Incorporação do RPP	59
3.4.3	Moldagem e Cura	60
3.5	Ensaio no Estado Endurecido	61
3.5.1	Resistência à Compressão	61
3.5.2	Determinação da Absorção de Água	63
3.5.3	Resistência à Abrasão	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1	Caracterizações dos Materiais de Partida	66
4.1.1	Massa Específica	66
4.1.2	Granulometria.....	66
4.1.3	Área Específica por BET	67
4.1.4	Análise Térmica (TG).....	68
4.1.5	Difração de raio X (DRX)	70
4.1.6	Fluorescência de raio X (FRX).....	72
4.2	Determinação do Índice de Atividade Pozolânica	73
4.3	Dosagem.....	74
4.3.1	Determinação do Traço Padrão	74
4.3.2	Determinação dos Traços com a Incorporação do Resíduo	81
4.4	Ensaio no Estado Endurecido	83
4.4.1	Resistência à Compressão	83
4.4.2	Determinação da Absorção de Água	85
4.4.3	Resistência à Abrasão	87
5	CONCLUSÕES	89
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problemática e Justificativa

A utilização de resíduos, tem sido desenvolvida para melhorar a qualidade ambiental, diminuindo assim, os resíduos gerados. As empresas estão se conscientizando de que a geração de grandes quantidades de resíduos industriais gera custos, pois requer seu tratamento e disposição em locais apropriados. Elas vêm buscando opções para diminuir os custos, visando a redução dos impactos ambientais e o aumento da credibilidade perante o mercado consumidor.

Segundo Bernardin et al. (2006) a deposição de resíduos industriais em aterros além dos elevados custos econômicos pode trazer inúmeros problemas ambientais, como contaminação do solo e agressão à vegetação presente no local. Nesse sentido, a reutilização e a reciclagem são as soluções mais indicadas para o manejo da grande maioria dos resíduos industriais, tal como o resíduo do Polimento do Porcelanato (RPP).

O RPP é um resíduo industrial produzido pela indústria cerâmica, derivado da fabricação do porcelanato polido e com alto padrão de acabamento, e se apresenta como um pó muito fino e umedecido.

A incorporação do RPP, vem sendo alvo de estudos (JACOBY, 2015; MENDES, 2014; PURIFICAÇÃO, 2009; SILVA, 2005; STEINER, 2011; STEINER, 2014; SOUZA, 2007; SOUZA, 2013), como material cimentício suplementar (STEINER, 2014), em concreto (SILVA, 2005; SOUZA, 2007), em blocos de concreto (STEINER, 2011), em argamassas de revestimento (JACOBY, 2015; SOUZA, 2013), em pastas (JACOBY, 2015), em tijolos de solo-cimento (MENDES, 2014), como também em piso intertravados de concreto (PURIFICAÇÃO, 2009).

Em termos de concreto, de uma forma geral, a incorporação do resíduo do polimento do porcelanato (RPP) resulta em melhorias na resistência mecânica (STEINER, 2011; SOUZA, 2007; SILVA, 2005), diminuição da porosidade e absorção de água (SOUZA, 2007), melhora no desempenho mecânico (PURIFICAÇÃO, 2009), incremento na qualidade e durabilidade (SOUZA, 2007; SILVA, 2005), melhora nas características de trabalhabilidade (STEINER, 2011), bem como não gerou mudanças significativas no comportamento térmico, na condutividade térmica, na capacidade calorífica e na difusividade térmica, que se mantiveram basicamente constantes para concreto (SOUZA, 2007). Além disso, melhora levemente algumas propriedades da argamassa nos estados fresco e endurecido quando comparada com a argamassa de referência (SOUZA, 2013).

Dentre os materiais cimentícios disponíveis (pastas, argamassas, tijolos de solo-cimento, concretos, blocos de concreto para alvenaria estrutural, e blocos intertravados de concreto), os blocos intertravados de concreto foram escolhidos em função de não ter sua trabalhabilidade comprometida, quando se adiciona materiais pulverulentos com alta área superficial específica, uma vez que é produzido por vibro-compressão. E, além disso, os blocos têm sua fabricação em plantas industriais, sendo mais plausível a recepção de um novo material a ser incorporado, do que em atividades realizadas no canteiro de obras.

Almeida (2012) avaliou a incorporação do RPP em blocos de concreto para alvenaria estrutural. No entanto, os incrementos na resistência à compressão não foram tão expressivos quanto em Souza (2007) que trabalhou com concreto. Acredita-se que o fenômeno pode ter sido em função da quantidade de água no sistema, bem como devido ao fato de Almeida (2012) não ter pulverizado o resíduo, tratamento este que pode ajudar a obter resultados mais satisfatórios nos parâmetros tanto de absorção de água, como de resistência à compressão, evitando o surgimento de vazios, grumos e pontos de falhas.

Nesse panorama, o presente projeto visa avaliar a adição do RPP a blocos intertravados de concreto para pavimentação, empregando tratamento prévio de desagregação e/ou moagem do resíduo. Para tanto, foram moldados os blocos e avaliadas as propriedades no estado endurecido.

1.2 Objetivos Geral e Específicos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência da incorporação do resíduo do polimento do porcelanato (RPP) em blocos intertravados de concreto para pavimentação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o RPP, utilizando as técnicas de Difração de raio X, Fluorescência de raio X, Análise Térmica, além da determinação do índice de atividade pozolânica;
- Otimizar o traço em função do empacotamento (métodos matemáticos) e fator água/cimento;
- Avaliar como a incorporação do resíduo do polimento do porcelanato (RPP) influência nas propriedades do estado endurecido de blocos intertravados de concreto para pavimentação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Blocos Intertravados de Concreto

2.1.1 Histórico

O pavimento, a partir de pedras justapostas, teve origem na Grécia cerca de 3.000 a. c. Naquela época, já se utilizavam pedras justapostas, apoiadas sobre camada de areia para facilitar a fixação e acomodação dos elementos na construção de caminhos, um exemplo é a Via Ápia (Figura 1) famoso caminho com 660 km de extensão que cruza a Itália, desde a capital Roma até a cidade de Brindizi no sul daquele país.

Figura 1 - Via Ápia 321 a. c.



Fonte: Fernandes (2013)

No Brasil, esta técnica foi utilizada pelos índios nos caminhos de Beaberu São Thomé, trilhas indígenas que interligavam diversas aldeias do litoral sul do Brasil a outros povos na Bolívia e Peru (FERNANDES, 2013).

Segundo Fernandes (2013) os blocos intertravados propriamente dito, industrializados e com suas apertadas tolerâncias dimensionais, diversidade de cores e formatos, e recursos para aumento da resistência estrutural do pavimento, foram patenteados pelo alemão Fritz Von Langsdorff em 1960, como alternativa de gerar emprego e de reconstruir cidades arrasadas pela guerra. A primeira cidade pavimentada com blocos intertravados no mundo foi Stuttgart na

Alemanha em 1963, e em pouco tempo esta alternativa de calçamento alastrou-se pela Europa e Ásia, começando por Inglaterra, Itália, Austrália e Nova Zelândia, hoje grandes consumidores de blocos intertravados (FERNANDES, 2013).

Alemanha atualmente é o maior produtor mundial de bloco intertravado com mais de 200 milhões de metros quadrados por ano. A América Central, é outro grande polo de tecnologia dos equipamentos, o bloco intertravado foi adotado a partir do início da década de 70 e logo chegou ao Brasil onde se popularizou a partir de 2000.

Inclusive na cidade de Caruaru, no Agreste de Pernambuco, está sendo muito utilizado o bloco intertravado de concreto em grandes obras, são elas: Projeto Revitalino - Infraestrutura Turística do Alto do Moura (2015), Execução da Renovação Urbana e Ambiental das Avenidas da Cidade (2014), Construção do Parque Nova Caruaru (2015), entre outras.

No Projeto Revitalino (2015) localizado no Alto do Moura, Caruaru – PE, está sendo utilizado cerca de 29.780,00 m² de blocos intertravados de concreto. Como pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Infraestrutura Turística do Alto do Moura (em construção), Caruaru - PE



Fonte: Da Autora (2015)

Na Execução da Renovação Urbana e Ambiental das Avenidas da Cidade (2014) em Caruaru – PE, foi implantado 3.626,23 m². Como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Urbanização da Avenida Agamenon Magalhães, Caruaru - PE



Fonte: Da Autora (2015)

Já na Construção do Parque Nova Caruaru situado no Bairro Nova Caruaru, Caruaru – PE, foi utilizado 3.826,75 m² de blocos intertravados de concreto. Como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Parque Nova Caruaru, Caruaru - PE



Fonte: Da Autora (2015)

2.1.2 Blocos Intertravados de Concreto

No mundo existem muitos modelos de blocos intertravados de concreto, além do intertravado tradicional como calçamento, existem os pisos ecológicos, como também os pisos com finalidades específicas como os drenantes, permeáveis, segregadores de tráfego, orientação para deficientes visuais, entre outros (FERNANDES, 2013).

Os Blocos Intertravados de Concreto, segundo a NBR 9781: 2013 – Peças de Concreto para Pavimentação, são componentes pré-moldados de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado, e o pavimento intertravado é um pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justaposta sem uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção. Sua camada superficial apresenta acabamento confortável para o trânsito de pessoas e sua estrutura permite suportar o trânsito de veículos leves ou pesados, conforme a categoria e aplicação.

A pavimentação intertravada tem como principal característica o fato do bloco ser simplesmente assentado, devidamente confinado, sobre uma camada de areia que serve de regularização da base e atua na distribuição das cargas e acomodação das peças.

O intertravamento, ou seja, a transmissão de parte da carga de um bloco para o bloco vizinho através do atrito lateral entre eles, é o conceito básico desse tipo de pavimentação. Esse tipo de pavimentação também tem a função de ser levemente permeável, pois permite a passagem de uma pequena parte da água da chuva para o solo através das juntas.

O diferencial dessa técnica construtiva é que o pavimento pode ser desmanchado e reconstruído com 100% de aproveitamento das peças. A diversidade de formas, cores e modelos disponíveis permite ao bloco intertravado competitividade como opção de pavimentação de áreas de trânsito de pedestres ou veículos de passeio e carga.

2.1.3 Propriedades dos Blocos Intertravados de Concreto

A Norma Brasileira, que retrata a produção de pisos intertravados de concreto para pavimento é a NBR 9781 (ABNT, 2013) “Peças de concreto para pavimentação – especificações e métodos de ensaio”.

Algumas recomendações da NBR 9781 (ABNT, 2013):

- Comprimento (b): Maior distância entre duas faces paralelas entre si, e perpendiculares aos planos de topo e base.
- Largura (a): Menor distância entre duas faces paralelas entre si, e perpendiculares aos planos de topo e base.
- Altura (h): Distância entre dois planos paralelos entre si, e perpendiculares aos planos de topo e base.
- As variações máximas permissíveis nas dimensões são de 3mm, no comprimento e largura das peças e limita 5mm na altura das peças.

Quanto a resistência à compressão temos dois parâmetros, são eles: 35 MPa, para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha e 50 MPa, quando houver tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.

A determinação da resistência à abrasão da amostra é facultativa, mais quanto especificada deve atender as seguintes especificações, são elas: cavidade máxima de 23 mm, para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, e 20 mm, para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

O uso do piso intertravado de concreto, está crescendo pois ele tem algumas vantagens que estão descritas a seguir:

- Durabilidade: mais resistente a cargas que outros tipos de piso;
- Conforto: baixa condutividade térmica do sistema, dando mais conforto ao usuário;
- Economia de manutenção: toda vez que necessária a realização de manutenção em tubulações subterrâneas, é possível reaproveitar os mesmos blocos, que são assentados sobre areia, sem o uso de argamassa;
- Versatilidade: a variedade de tipos, cores e formatos de blocos existente permite inúmeras adequações estéticas e ambientais ao produto;

2.1.4 Processo de Fabricação

Segundo Purificação (2009) a fabricação de blocos intertravados é feita por máquinas tipo vibro prensa que são comercializadas manuais, pneumáticas e hidráulicas, estas variam de tamanho, especificação do motor, alimentação, quantidade, moldes por matriz entre outros fatores. Estes mesmos equipamentos também podem fabricar blocos de concreto de vedação, blocos de concreto estrutural, meio fio e outras peças menos convencionais.

Na fabricação manual, o que vai resultar na capacidade produtiva é a quantidade de peças, a capacidade da mão de obra e qualidade da matéria prima. O processo ocorre da seguinte forma, o concreto de consistência seca, é lançado de forma manual e a prensa faz a acomodação do concreto nos moldes da matriz que é constante e acionada por motor elétrico.

Já na fabricação, utilizando a prensa pneumática e principalmente na hidráulica, o abastecimento do concreto com consistência um pouco mais seca do que no processo manual, pode ser realizado por alimentadores ou manual, a prensagem e vibração é feita periodicamente para manter a qualidade e quantidade do produto produzido.

O processo de fabricação dos blocos intertravados mais usado no mundo e o que resulta em melhor desempenho estético do produto aplicado é o processo vibro prensado. Também é o que proporciona maiores possibilidades de cores e formatos, tem a maior produtividade e é o que requer maior investimento nos equipamentos de produção.

Nesse projeto será utilizada, no processo de fabricação dos blocos uma máquina pneumática. Os blocos serão moldados em máquina pneumática Permaq, modelo MBHD.01003, existente no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco - CAA.

2.1.5 Propriedades do Concreto para Elaboração dos Blocos de Concreto

A consistência do concreto utilizada para a produção de blocos é seca e levemente umedecida, sendo assim existe a necessidade da utilização de máquinas que conferem compacidade à mistura para a retirada do ar aprisionado. O uso do cimento de alta resistência inicial é recomendado para acelerar a desmoldagem do material (ALMEIDA, 2012).

Segundo Buttler (2007) a umidade alcançada na produção das unidades deve ser a maior possível (6% a 8%), quanto mais água puder ser incorporada à mistura para certa quantidade de cimento maior será a compacidade, resistência e plasticidade facilitando a prensagem do material nas fôrmas da máquina, porem se a quantidade for excessiva poderá ocorrer problemas de desforma e deformações indesejadas nas peças durante o transporte.

Tango (1994 apud ALMEIDA, 2012) relatou que a principal fonte de variabilidade no ato do proporcionamento é a variação da umidade dos agregados, sendo que esse fato afeta a compacidade da mistura e a resistência à compressão.

A maioria das fábricas utilizam vibroprensas requerendo concretos de consistência seca e coesão suficiente para se manterem íntegros até seu endurecimento, sem sofrer desmoronamentos ou quebra de arestas. Segundo Abreu (2002 apud CRUZ, 2003) a coesão da

mistura é obtida principalmente em função da correta quantidade de finos em conjunto com a vibração e pressão de adensamento exercidas pelo equipamento no momento da moldagem dos blocos.

Abreu (2002 apud CRUZ, 2003) relata que a dosagem dos concretos secos é geralmente executada pelo método do menor volume de vazios, ou seja, consiste em encontrar a melhor proporção entre os agregados de maneira a proporcionar o menor volume de vazios possíveis entre os agregados e demais componente do concreto. Além disso, é conseguido um ganho de resistência para uma mesma energia de vibração e compactação, através do aumento relativo do teor de água na mistura, beneficiando a acomodação das partículas, e redução no volume de vazios.

2.1.6 Concreto Seco

A tecnologia do concreto seco é diferente do chamado concreto convencional ou concreto plástico, onde a quantidade de água adicionada à mistura é a mínima possível para que o cimento seja hidratado e adquira a resistência necessária para o concreto (OLIVEIRA, 2004).

Quanto mais água é adicionada na mistura até o seu “ponto ótimo”, maior a sua resistência, fato oposto ao que ocorre no concreto convencional, que seguem a “Lei de Abrams” onde a resistência do concreto é proporcional a relação água/cimento. Isto ocorre porque maiores quantidades de água melhoram consideravelmente a trabalhabilidade da mistura, diminuindo o atrito interno entre os grãos e facilitando a compactação da mesma (OLIVEIRA, 2004).

Segundo Juvas (1993 apud MOTA 2014) no concreto seco a água tem a função prioritária de participar das reações de hidratação do cimento, enquanto no concreto convencional a pasta ocupa os espaços deixados pelos agregados, no concreto seco existe uma presença significativa de ar.

No estado fresco, as características mais importantes do concreto seco são a trabalhabilidade e a coesão. Segundo Downson (1980 apud MOTA 2014) a trabalhabilidade é definida como a propriedade que determina o esforço mínimo exigido para manipular uma quantidade de concreto, com perda mínima de homogeneidade e depende do teor de umidade, do formato, da textura dos agregados e do empacotamento das partículas.

Segundo Fernandez (2008 apud MOTA) a coesão entre as partículas deve ser suficiente para que, após a moldagem, o concreto permaneça íntegro desde a prensagem à desforma. Essa coesão é obtida pelo emprego adequado de cada material, e depende do teor de finos, do formato

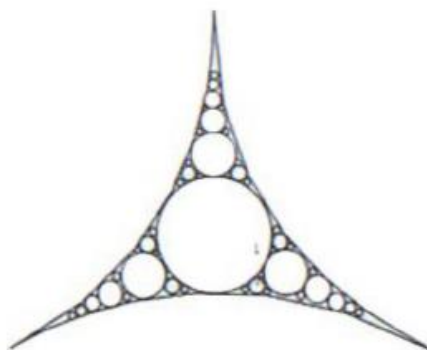
e porosidade dos agregados. A coesão da mistura pode ser melhorada através do aumento do teor de finos da mistura, onde o responsável pela maior contribuição é o próprio cimento. Esta propriedade também depende do formato das partículas, onde aquelas que são arredondadas e com bordas suaves resultam em melhor coesão. Os finos têm a característica de formar a pasta que preenche os vazios entre os grãos maiores.

No estado endurecido as principais características a serem observadas no concreto seco são a resistência mecânica e a durabilidade. Segundo Mota (2014), o crescimento da resistência do concreto depende do tipo e do consumo de cimento e ainda do processo de cura utilizado, que devem ser adequados ao processo. A resistência mecânica também é diretamente relacionada à capacidade de compactação do equipamento e ao teor de umidade da mistura, e também da distribuição granulométrica dos agregados. Já a durabilidade está relacionada com a capacidade do concreto em resistir à ação da água e a ataques químicos.

2.1.6.1 Empacotamento

Segundo Duran (2000 apud MOTA) entende-se por empacotamento a distribuição cumulativa de tamanhos ideais de partículas buscando a densidade máxima da mistura. Sabe-se que os materiais sólidos empregados na produção do concreto são, basicamente, os agregados e o cimento. Assim, sendo o concreto um material compósito, além de buscar as melhores relações a/c para favorecer as reações químicas de hidratação, devemos buscar os arranjos de grãos mais compactos possíveis para que se aproxime da proposta de Apolônio de Perga, apresentada em 200 a.C., mostrada na Figura 5 promovendo assim uma maior compacidade do produto final.

Figura 5 - Arranjo ideal de distribuição de grãos para maior compacidade



Fonte: Duran (2000 apud MOTA 2014).

Segundo Castro (2009) um fator que pode alterar a condição de empacotamento é a morfologia das partículas. Quanto menos esférica for a partícula, menor será a densidade de empacotamento de uma distribuição que a contenha, pois se verifica o atrito entre as partículas a partir do contato de suas superfícies irregulares. Quanto menor o tamanho das partículas irregulares, maior será esse efeito, devido à maior área superficial específica.

Empacotamentos com menor porosidade podem ser obtidos se os vazios existentes entre as partículas de uma dispersão forem preenchidos por partículas menores que os mesmos, caso sejam introduzidas partículas maiores que os vazios existentes, essas promoverão o surgimento de novos vazios, levando a um aumento na porosidade e redução da eficiência do empacotamento. Assim, a sequência de preenchimento dos vazios existentes entre as partículas, ou melhor, a distribuição granulométrica do sistema determina o aumento ou não da densidade de empacotamento (CASTRO, 2009).

Teoricamente, para alcançar um empacotamento perfeito, ou seja, 100% de densidade, não precisaríamos de adição de água na mistura. A correlação do perfeito empacotamento com boa trabalhabilidade é um mito, pois a ausência total de porosidade em meio heterogêneo formado por partículas com tamanhos e formas variadas desfaz qualquer possibilidade de ocorrência do empacotamento perfeito, levando-nos desta forma a buscar como tarefa principal a diminuição da quantidade de água e o aumento da densidade no desenvolvimento tecnológico dos blocos a base de cimento (VANDERLEI, 2004).

Assim, para o desenvolvimento de produtos de concreto, material cerâmico, é necessário o estudo da distribuição granulométrica, visto ser determinante de uma série de propriedades dos mesmos. Entre estas propriedades destacamos a resistência mecânica e a densidade de empacotamento (MOTA, 2014).

2.1.6.1.1 Modelos de Empacotamento de Partículas

Segundo McGeary (1966 apud BITTENCOURT, 2008) os estudos de empacotamento de partícula podem ser definidos como o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente.

Os primeiros e principais estudos teóricos e experimentais relacionados a empacotamento de partícula foram publicados por Furnas e Andreasen. Esses estudos diferem-

se pelo tipo de abordagem que se dá com relação à distribuição granulométrica, que pode ser considerada discreta e contínua (BITTENCOURT, 2008).

O modelo proposto por Furnas define a distribuição granulométrica, por exemplo, entre duas malhas sucessivas de peneiras. Furnas mostrou que as proporções de vários tamanhos de partículas envolvidas na elaboração de uma distribuição de máximo empacotamento seguem uma progressão geométrica e dessa forma generalizou sua teoria para uma distribuição contínua de partículas, infinitos tamanhos discretos. A partir dessas considerações desenvolveu a equação (1):

$$CPFT = \left(\frac{D_P^{\log r} - D_S^{\log r}}{D_L^{\log r} - D_S^{\log r}} \right) * 100 \quad (1)$$

na qual: CPFT é a porcentagem acumulada de finos menor que D_P , em volume; D_P é o diâmetro da partícula; D_S é o diâmetro da menor partícula; D_L é o diâmetro da maior partícula; e r é a razão entre o volume das partículas em uma malha, pelo da malha imediatamente inferior.

Em uma distribuição real de partículas Andreasen avaliou que todos os tamanhos estão envolvidos em uma distribuição de partículas caracterizando como uma distribuição contínua. Em seu estudo definiu a distribuição de tamanhos de partícula em termos de uma lei de potências, conforme a equação (2). Essa definição partiu de uma consideração de similaridade que ele avaliou existir em torno de duas partículas específicas com tamanhos muito diferentes. Essa condição de similaridade foi muito questionada na época e originalmente foi considerada somente empírica. Mais tarde essa teoria passou a ser embasada por uma teoria matemática consistente, a teoria dos fractais (BITTENCOURT, 2008).

$$CPFT = \left(\frac{D_P}{D_L} \right)^q * 100 \quad (2)$$

na qual: CPFT é a porcentagem acumulada de finos menor que D_P , em volume; D_P é o diâmetro da partícula; D_L é o diâmetro da maior partícula; e q é o módulo ou coeficiente de distribuição.

Andreasen mostrou com estudos experimentais que o expoente de sua equação devia estar entre 0,33 e 0,5. Mais tarde, Dinger e Funk (1992) mostraram através de simulações computacionais, que o expoente com valor de 0,37 é o que proporciona a máxima densidade de empacotamento.

Através de um estudo extenso comparativo entre os modelos propostos por Furnas e Andreasen, Funk e Dinger (1992) provaram que esses modelos podem ser visualizados como duas formas distintas de se expressar uma mesma coisa e que ambas as equações propostas convergem matematicamente para a seguinte equação (3):

$$CPFT = \left(\frac{D_P^q - D_S^q}{D_L^q - D_S^q} \right) * 100 \quad (3)$$

na qual: CPFT é a porcentagem acumulada de finos menor que D_P , em volume; D_P é o diâmetro da partícula; D_L é o diâmetro da maior partícula; D_S é o diâmetro da menor partícula; e q é o módulo ou coeficiente de distribuição.

Esse modelo, usualmente conhecido como equação de Alfred, além de introduzir o conceito de tamanho mínimo para a menor partícula na equação de Andreasen faz também uma revisão matemática do modelo de Furnas.

Apesar da natureza semi-empírica, tendo, inclusive maior precisão apenas quando as partículas têm formas similares, uma vez que não requer nenhum fator de forma, a simplicidade da aplicação associada ao fato de estar consolidado na literatura, fez como que o modelo de Andreasen e Andersen (1930) fosse escolhido como método indireto no presente estudo. A eficiência dos métodos de Andreasen e Andersen (1930) comparado Dinger and Funk (1992) para maximizar o empacotamento para obtenção de micro concretos de alta resistência foram avaliados em Mesquita (2005 apud MOTA, 2014), de forma que os melhores resultados foram obtidos quando da utilização de Andreasen e Andersen (1930) tanto em termos de maiores resistências à compressão como maiores massas específicas.

Além disso, a fim de validar o método de Andreasen e Andersen (1930) para sistemas de concreto seco moldados sob pressão, Mota (2014) realizou medidas experimentais que levaram em conta a inserção de materiais, conforme módulos de finura decrescentes em volumes conhecidos, com e sem processos de adensamento, bem como dados de resistência à compressão, comparativos para o método experimental e o método teórico. O método matemático de Andreasen (1930) respondeu positivamente para os empacotamentos realizado por Mota (2014) utilizando as matérias-primas regionais, otimizaram as propriedades do sistema.

2.1.6.2 *Relação água/cimento*

O concreto é o produto resultante da mistura equilibrada de um aglomerante hidráulico, agregados miúdo e graúdo, água, adições e eventualmente aditivos. A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros solúveis em água em compostos hidratados.

Segundo Marchioni (2012) com a função de participar de hidratação do cimento, a água de amassamento tem importância fundamental na resistência do concreto seco, e antes de mais nada deve ser garantida a sua qualidade evitando assim efeitos negativos na resistência do concreto ou manchamentos à sua superfície. A água utilizada não deve conter matérias orgânicas e teores excessivos de substâncias inorgânicas, sendo recomendado basicamente a utilização de água potável, ainda que águas não potáveis nem sempre são prejudiciais ao concreto (NEVILLE 1997 apud MARCHIONI, 2012).

Segundo Gomá (1979 apud MOTA 2014) relata que pastas hidratadas com fator água/cimento da ordem de 0,4, são compactas e teoricamente sem poros capilares, logo podemos entender que para conseguir a hidratação completa do cimento é necessário 40% de água em relação à massa do cimento, destes 40%, em torno de 22% a 32% são necessários para a hidratação química completa ficando de 15% a 25% presa ao gel servindo de meio de comunicação e transporte de compostos para a continuidade da hidratação.

Segundo Metha (1994) o fator mais importante que influencia na resistência à compressão dos concretos é a relação água/cimento, que atua sobre a porosidade, na pasta e no concreto na zona de transição entre a pasta e o agregado, com atração entre as partículas tipo forças de Van Der Waals que são tanto mais intensas quanto menores as distâncias entre as partículas, o que resulta no aumento da resistência mecânica com a diminuição da porosidade.

2.1.6.3 *Cura*

A cura de blocos intertravados de concreto, existe para proporcionar condições adequadas de umidade e temperatura para a perfeita hidratação do cimento e o desenvolvimento da resistência do concreto. Fernandes (2013) sugere que o ideal seria termos compartimentos com umidade acima de 80% e temperaturas de 20 a 65°C; mas isto demandaria muitos custos.

O concreto é um material de construção versátil, durável e resistente. Assim a realização de uma boa cura, é essencial para produzir estruturas de concreto duráveis e resistentes. Quanto

mais bem realizada for a cura do concreto, melhor será o seu desempenho mecânico e a sua capacidade de resistir aos agentes agressivos do meio ambiente.

O objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante até uma condição desejável (NEVILLE 1997 apud MOTA, 2014).

A escolha do melhor método de cura está ligada ao tipo e condições da obra, ao tipo de estrutura ou peça a ser curada, bem como aos requisitos de propriedades a que essas estão submetidas. Podem-se citar alguns exemplos de métodos de cura: por irrigação (que se caracteriza pela contínua aspersão da superfície exposta do concreto em intervalos frequentes), por submersão (que mantém as peças de concreto submersas em água, idealmente saturada com cal para simular o ambiente alcalino do concreto), e por recobrimento (mais utilizado em obras, caracteriza-se pela proteção do concreto com recobrimento para evitar a ação direta do sol e do vento).

Artefatos de concreto são curados pelos processos convencionais de molhagem com mangueira, aspersão de água através de sistemas de irrigação de jardim, cobertura com lona plástica, saturação da umidade por meio de bicos do tipo splinklers ou ventiladores pressurizados. Outros processos mais sofisticados e que oferecem melhores resultados são o aquecimento através de queimadores de gás conjugados com umidificadores para manter a umidade, chamados de “cura ao bafo”. Já a principal e mais eficiente forma de cura é a aplicação do vapor de água à pressão atmosférica. (FERNANDES, 2013).

Mota (2014) comparou três metodologias de cura diferentes, para o estudo da produção de concreto seco moldado sob pressão analisando qual a mais eficiente em termos de ganho de resistência dos corpos de prova. Os tipos de cura avaliados foram: a cura por imersão em solução a cal, a cura úmida por aspersão, e a cura ao ar em ambiente coberto. Os melhores resultados foram encontrados no processo de cura por imersão; vindo em seguida os métodos de aspersão e cura ao ar, respectivamente.

Após a análise dos resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados para a escolha do tipo de cura padrão a ser utilizado por Mota (2014) nota-se que para os corpos-de-prova moldados e curados ao ar e por aspersão houve queda nos valores de resistência à compressão, comparativamente com os corpos-de-prova moldados e curados com a cura úmida com solução de cal. As perdas nos valores de resistência à compressão podem ter sido em função da baixa relação a/c, apresentando alta retração inicial devido a evaporação da água de amassamento na cura ao ar, reduzindo ainda mais a quantidade de água necessária

para a hidratação do cimento, o que não ocorre nos corpos imersos totalmente em água. Processo semelhante, mas com menor intensidade, ocorre na cura sob aspersão.

2.1.7 Adições de Resíduos em Blocos Intertravados de Concreto

A utilização de resíduos em materiais cimentícios, tem sido desenvolvida para melhorar a qualidade ambiental, diminuindo os resíduos gerados. A demanda por materiais de construção civil e novas tecnologias é cada vez maior, com o contínuo aumento do desenvolvimento socioeconômico, as indústrias vêm gerando cada vez mais resíduos.

Nesse sentido, a reutilização e a reciclagem são as soluções mais indicadas para o manejo da grande maioria dos resíduos industriais. Segundo Santos (2005 apud ALCANTARA, 2015) a construção civil é o maior gerador de resíduos de toda a sociedade, além, de ser responsável por cerca de 40% do consumo de recursos naturais extraídos do planeta, e com isso, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas nas áreas da construção civil e principalmente na utilização de resíduos em diversos materiais cimentícios, utilizados na própria construção civil.

Vem crescendo cada vez mais no mercado, a implantação de pisos intertravados de concreto, e com isso surge a necessidade de estudos relacionados a sua melhoria. Já existem pesquisas relacionadas ao reaproveitamento de resíduos industriais em blocos intertravados de concreto. Encontra-se na literatura estudos com a incorporação de: agregados reciclados (BAOJIAN, 2013; UYGUNOGLU, 2012; PURIFICAÇÃO, 2009; SIMIELI et al., 2007; SOUTSOS et al., 2011), resíduos da construção civil (MATTIAS et al., 2015; CAVALCANTI et al., 2011; POON et al., 2006), areia de fundição (AMARAL et al., 2013; PIOVESAN et al., 2008), resíduos de cerâmica vermelha (ALCANTARA, 2015), resíduos de óxido de alumínio (FARINHA, 2011), resíduo de copolímero de etileno-acetato de vinila – EVA (LYRA, 2007), resíduo de pó de vidro (CHIDIAC et al., 2011), resíduo de borracha de pneu (FIORITI, 2007; LINTZ et al., 2010; SANTOS et al., 2007), e RPP juntamente com agregados reciclados de concreto (PURIFICAÇÃO, 2009).

Simieli et al. (2007) estudaram propriedades de consistência e viscosidade, densidade, teor de ar incorporado, resistência à compressão e módulo de elasticidade de blocos intertravados de concreto, com substituição parcial dos agregados naturais por resíduos provenientes da britagem de blocos de concreto. Os resultados foram satisfatórios em termos de resistência mecânica e de módulo de elasticidade para os concretos produzidos com 40% de

agregados reciclados, sempre com valores de resistência a compressão simples superiores aos 35 MPa recomendados pela normalização brasileira. Obtiveram-se peças com excelente acabamento, possibilitando a execução de um pavimento diferenciado e de aspecto arquitetônico bastante agradável, ideal para confecção de calçadas, pavimentação de quintais e espaços urbanos.

Soutsos, Tang e Millard (2011) estudaram a incorporação de agregados reciclados de demolição, em substituição aos agregados miúdo e graúdo de forma isolada e simultâneo em blocos intertravados de concreto. As propriedades estudadas foram resistência à compressão e à tração. Os resultados desta pesquisa indica que os agregados de demolição reciclados pode ser utilizado em blocos intertravados de concreto, pois é viável substituição dos agregados em determinados teores, gerando peças com propriedades mecânicas similares aos padrões sem aumentar o consumo de cimento.

Poon e Chan (2006) desenvolveram blocos intertravados de concreto com a incorporação de resíduos de tijolos moído. Os resultados indicam que a incorporação de tijolo moído reduziu a densidade, resistência à compressão e resistência à tração dos blocos. Devido à elevada absorção de água das partículas de argila dos tijolos moídos, a absorção de água dos blocos foram maiores do que os blocos de pavimentação de que não incorporam tijolo moído. Embora se tenha descoberto que tijolos de barro prejudicada a qualidade dos blocos de pavimentação resultante até um certo ponto, os blocos de pavimentação, utilizando 50% de argila de tijolo moídos atenderam as exigências mínimas normativas para áreas de pedestres. Além disso, ele era viável para a produção de blocos de pavimentação preparadas com 25% esmagado tijolo de barro que satisfaziam o requisito de resistência à compressão para blocos de pavimentação.

Uygunoglu, Topcu e Gencel (2012) estudaram a influência do teor de cinzas volantes e substituição de agregados reciclados de concreto e de mármore em substituição total ao agregado miúdo em pisos intertravados de concreto. A incorporação dos resíduos prejudicou as propriedades físicas e mecânicas dos blocos intertravados de concreto, entretanto, o uso do cinza volante em substituição ao cimento em baixos teores teve um efeito significativo na melhoria de importantes outras propriedades.

Mattias e Cavalcante (2015) produziram blocos intertravados de concreto com adição de resíduos da construção civil, como componente do traço. O resíduo da construção civil, foi triturado e entra na composição do concreto em substituição parcial da areia, recurso natural não renovável utilizado como insumo. Os blocos produzidos atenderam a norma técnica que estima em 35MPa a resistência a compressão, desta forma estão aptos à utilização em

pavimentação de vias urbanas com consequente, redução dos resíduos descartados no ambiente e da extração de areia.

Cavalcanti, Amorim e Junior (2011) estudaram a aplicabilidade da utilização do resíduo de construção e demolição, na fabricação e assentamento de blocos intertravados de concreto. Foi estudada uma composição de materiais com 100% de agregados reciclados, para confecção de concreto. Observou-se que os blocos intertravados de concreto resultantes têm grande potencial para serem empregados em calçadas, ruas de baixo movimento e em condomínios, aumentando a absorção das águas pluviais pelo solo, evitando com isso a impermeabilização e favorecendo a sustentabilidade.

Amaral et. al (2013) avaliaram o desempenho de blocos intertravados de concreto, utilizando areia de fundição em substituição parcial à areia fina, em quesitos como a absorção de água e a resistência à compressão, a fim de trazer uma solução para a reutilização desse resíduo industrial que pode afetar o meio ambiente. Como resultado dessa pesquisa, tem-se que os blocos intertravados com a substituição de parte da areia natural, adição de areia de fundição, vêm dando resultados significativos não só quanto a absorção de água, mas principalmente quanto a resistência à compressão, possuindo uma absorção menor e uma resistência superior que o bloco intertravado natural.

Piovesan et. al (2008) estudaram a utilização de um resíduo como substituto ao agregado miúdo na fabricação de blocos de concreto para pavimentação. A fim de analisar o desempenho da areia de fundição em substituição à areia fina nos blocos. Através dos resultados do ensaio de compressão simples e ensaios ambientais aos 28 dias pode-se concluir que é possível a utilização da areia de fundição em substituição à areia fina na fabricação destes blocos uma vez que os mesmos atingiram resistências acima de 25 MPa.

Alcantara (2015) estudou o efeito do pigmento e do resíduo de cerâmica vermelha em blocos intertravados de concreto. Foi avaliado nessa pesquisa a resistência à compressão, absorção de água e também a resistência à abrasão. De uma maneira geral, adições de apenas pigmento (2% e 4%) reduziram em até 73% a resistência à compressão do bloco intertravado padrão cinza (sem adições). As substituições de areia média pelo resíduo de cerâmica vermelha também foram prejudiciais a esse sistema. Já as adições de apenas resíduo de cerâmica vermelha, bem como as de resíduo de cerâmica vermelha concomitantemente com pigmento foram positivas em ganhos ou manutenção de propriedades (resistência à compressão, absorção de água, resistência à abrasão e cor) em relação ao bloco intertravado padrão colorido (4% de pigmento), destacando-se a formulação 2% de pigmento e 50% de resíduo de cerâmica vermelha. Assim, a adição de resíduo de cerâmica vermelha é uma possibilidade técnica

promissora, sustentável e economicamente viável na fabricação de blocos intertravados avermelhados.

Farinha (2011) estudou a destinação de um subproduto da indústria siderúrgica que atualmente vem sendo descartado em aterros sanitários. O produto incorporado é denominado sinter, e nada mais é do que óxido de alumínio proveniente da fabricação de ferro titânio. A incorporação do material apresentado foi efetuada em porcentagens de substituição dos agregados utilizados para fabricação de pavimentos intertravados de concreto. Após todas as análises, foi constatado através do rompimento dos corpos de prova, que a adição do óxido de alumínio nas diferentes porcentagens altera proporcionalmente para maior a resistência a compressão das peças na medida que essa porcentagem de substituição aumenta.

Lyra (2007) desenvolveu blocos intertravados de concreto com resíduos de copolímero de etileno-acetato de vinila – EVA, para pavimentação de calçadas e passeios públicos. A partir do processo convencional de produção desses blocos, foi estudado as consequências da incorporação de resíduos de EVA moído e pó de EVA. As análises indicaram que a incorporação de EVA Moído, nas dosagens, é mais eficiente porque permite uma maior quantidade de resíduos na mistura, com menor perda da resistência à compressão dos blocos. Lyra (2007) concluiu que a incorporação de resíduos de EVA moído na fabricação de blocos intertravados de concreto é viável, desde que, seja destinado ao uso em pavimentação de calçadas e passeios públicos.

Chidiac e Mihaljevic (2011) produziram blocos de concreto com até 25% do cimento substituído com pó de vidro de resíduos (WGP) ou até 15% da areia substituído com polietileno de alta densidade (HDPE), ou polietileno de baixa densidade (PEBD). Com base em análise estatística, os blocos com 10% de substituição do cimento com o pó de vidro se comportaram de forma semelhante aos blocos padrão. As propriedades de blocos eram sensíveis ao uso de qualquer tipo de polietileno, o que resultou numa diminuição da força e um aumento na absorção de água.

Fioriti (2007) estudou os blocos intertravados de concreto com substituição parcial do agregado por resíduos de pneus provenientes de recauchutagem. Os teores de incorporação do resíduo foram de até 20% em volume. Houve queda nos valores de resistência à compressão quando da incorporação do resíduo, entretanto os outros parâmetros não foram afetados negativamente. De uma maneira geral, os resultados mostraram ser possível o uso dos resíduos de pneus na fabricação das peças.

Santos e Borja (2007) estudaram a viabilidade da utilização de resíduos de pneus reciclados em blocos intertravados para calçadas. Investigaram nas amostras os parâmetros de

Massa Específica e Resistência à Compressão. Verificaram que até o limite de 30% de resíduo de pneu, a mistura apresentou trabalhabilidade e coesão, atingindo uma resistência à compressão de 12MPa. Tal valor pode ser considerado elevado em se tratando de blocos que serão usados apenas em calçadas, onde o tráfego será exclusivo de pedestres.

Lintz e Gachet-Barbosa (2010) estudaram o comportamento de concreto contendo borracha de pneus inservíveis para utilização em pisos intertravados. As propriedades avaliadas foram resistência à compressão e à tração, sendo também medidas as taxas de absorção de água dos compósitos. Eles verificaram a viabilidade técnica do concreto a ser empregado na fabricação de pisos intertravados com a substituição parcial da massa de agregado miúdo natural pelo agregado reciclado de borracha.

Purificação (2009) estudou a produção de pisos intertravados de concreto com utilização de 100% de agregados reciclados originados de rejeitos de concretos das concreteiras da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (volume de perda de 10%) e substituição de 10%, 20% e 30% do volume do cimento CPV-ARI por Resíduo de Polimento de Porcelanato RPP. Os ensaios realizados para avaliação da resistência à compressão, apresentaram resultados satisfatórios, indicando que as utilizações de agregados reciclados atuam de forma eficiente, sendo que a substituição de 20% do volume de cimento por RPP apresentou o melhor desempenho.

Já se encontram bons estudos na literatura com incorporação de resíduos em blocos intertravados de concreto, tais exemplos afirmam a potencialidade de viabilidade técnica desses estudos. Outros estudos precisam ser realizados para conhecer mais minuciosamente essas incorporações e suas influências nas propriedades mecânicas e de durabilidade desses blocos intertravados de concretos. Como por exemplo, o estudo de blocos intertravados de concreto com a incorporação do RPP, utilizando os agregados que as próprias indústrias da região utilizam para a fabricação desses blocos, com intuito de observar a influência da incorporação apenas do resíduo, além de realizar ensaio de abrasão que é pouco utilizado.

2.2 Resíduo do Polimento do Porcelanato (RPP)

2.2.1 Porcelanato

O Porcelanato é um produto cerâmico declarado pela Norma ISO 13006 (1998) / NBR 13818 (ABNT, 1997) com especificação B1a significando material prensado com absorção de água menor ou igual a 0,5%. Possui altíssima resistência mecânica, ao risco e ao ataque químico.

Normalmente podemos encontrar no mercado a classificação de esmaltado ou técnico (polido ou não) sendo que para o esmaltado admite-se uma absorção de água de até 0,5% e para o técnico menor ou igual que 1%. Uma massa de porcelanato é composta por mistura de argilas, feldspatos, areias feldpáticas e algumas vezes caulins, filitos e aditivos.

Rosso et al. (2005) mostraram os tipos de porcelanatos de acordo com as características de produção:

- Monocolores: que são obtidos a partir da coloração da barbotina ou do pó atomizado;
- Granitados (Sal e Pimenta): são obtidos a partir da mistura de pós atomizados de diferentes cores (em processo automático que dosa as quantidades);
- Macrogranitados: são obtidos através da mistura de pós atomizados com grânulos de grandes dimensões (1 a 8 mm) coloridos;
- Duplo Carregamento: são obtidos através da mistura de pós micronizados de diferentes cores, que através de oportunos carregamentos nas prensas, são distribuídos casualmente, originando nuances superficiais; e
- Sais solúveis: consiste na decoração superficial do produto com sais que desenvolvem cor. Este tipo de decoração só é perfeitamente visível após o polimento.

Segundo Souza (2007) os fabricantes de porcelanato oferecem ao mercado consumidor uma grande variedade de produtos, seja no tamanho das peças ou nas cores e estilos apresentados. Porém, o porcelanato polido, independente do estilo escolhido pelo consumidor é o mais consumido na construção, fazendo com que a produção desses tipos de porcelanato resulte num impacto significativo na geração de resíduos decorrentes do polimento.

2.2.2 Geração do Resíduo

De acordo com, Rosso et al. (2005) o processo de polimento, consiste em um equipamento dotado de várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos, que em contato com as peças em rotação alta, velocidade controlada em presença de água executam o polimento. À medida em que a peça passa pela máquina, os abrasivos usados apresentam gradativamente uma granulometria mais fina, até conseguir-se o resultado desejado (brilho).

O processo de polimento do porcelanado foi descrito por Bittencourt e Benincá (2002) da seguinte forma: consiste em um equipamento dotado de várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos, que em contato com as peças em rotação alta, velocidade controlada em presença de água executam o polimento, sendo que à medida que a peça passa pela máquina os abrasivos usados apresentam gradativamente uma granulométrica mais fina, até conseguir-se o resultado desejado.

A quantidade de água usada diariamente em uma unidade de polimento é muito grande, podendo chegar a mais de 4.000 litros, por isso é necessário à recirculação desta água em circuito fechado para o reaproveitamento. Com este procedimento, torna-se necessário um tratamento químico / físico na água para posterior decantação dos resíduos do polimento (abrasivos, porcelanato) e filtro-prensagem. A água é distribuída na máquina em cada cabeça polidora e retira os resíduos gerados que poderiam ficar sobre as peças causando riscos e arranhões (SILVA, 2005).

O porcelanato polido é o mais produzido comercialmente, requerendo uma etapa de polimento durante sua produção a fim de nivelar, retirar riscos e defeitos e dar brilho a superfície do produto final. No entanto, essa etapa do processamento gera grande quantidade de resíduo, particularmente com o aumento da produção que vem ocorrendo nos últimos anos, trazendo, assim, um novo custo aos produtores do setor, que necessitam gerenciar e descartar adequadamente esse resíduo (MARQUES et al., 2007). A Figura 6 mostra a estocagem do resíduo do polimento do porcelanato.

Figura 6 - Estocagem do RPP na fábrica Elizabeth Porcelanatos



Fonte: Cerâmica Elizabeth (2007)

Todo o resíduo utilizado na pesquisa foi coletado na Fábrica Elizabeth Porcelanatos S. A. (Figura 7) que possui uma área de produção de mais de 40.000 m², gerando mais de 30 toneladas de resíduo do polimento do porcelanato por dia, e se situa na rodovia BR 101, Km 98, Distrito Industrial, Conde - PB.

Figura 7 - Instalações da fábrica Elizabeth Porcelanatos



Fonte: Cerâmica Elizabeth (2013)

2.2.3 Características do Resíduo

O porcelanato é formado por uma cerâmica de baixa porosidade cuja produção está dividida nas seguintes etapas: dosagem, moagem, atomização, prensagem, secagem, queima e polimento. O resíduo do polimento é composto por uma mistura de material cerâmico proveniente do polimento de porcelanato e material abrasivo desprendido durante o polimento.

Bernardin et al. (2007) apresenta os resultados da análise química por espectrometria de fluorescência de raios X do resíduo de polimento de massa porcelânica e do abrasivo à base de carbeto de silício, conforme mostra a Tabela 1:

Tabela 1 - Análise química do resíduo

Resíduo	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P.F.
Polimento	59,50	17,30	0,70	0,30	1,60	5,30	2,80	3,60	5,60
Abrasivo	10,50	1,60	1,60	0,10	4,10	34,80	0,10	6,30	40,20

Fonte: Bernardin et al. (2007)

A análise realizada por Marques et al. (2007) mostra a composição química do RPP, conforme mostra na Tabela 2:

Tabela 2 - Composição química (% em massa) do resíduo

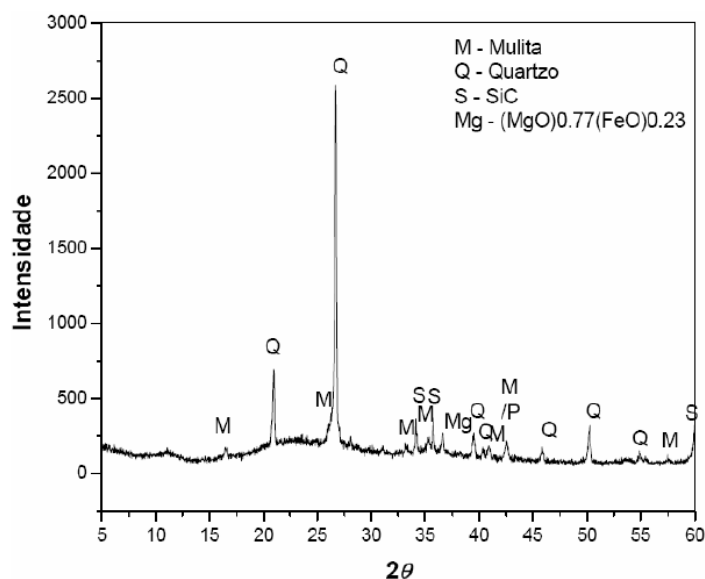
Amostra	PR ^a	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	RI ^b
Resíduo	7,53	55,16	18,75	0,80	-	10,00	0,17	0,54	4,90

Fonte: Marques et al. (2007)

O resíduo apresenta elevada quantidade de sílica, alumina e óxidos de magnésio, e baixa quantidade de óxidos fluentes (Óxido de Ferro, Óxido de Titânio, Óxido de Cálcio, Óxido de Potássio e Óxido de Sódio), como mostra na Tabela 2.

A Figura 8 apresenta os resultados da difração de raio X do RPP.

Figura 8 - Padrão de difração de raio X do resíduo



Fonte: Marques et al. (2007)

Em termos de fases cristalinas, o RPP é formado por: mulita, quartzo, carbetto de silício e o periclase (MARQUES et. al., 2007).

Segundo Souza (2007) a mulita e o quartzo são provavelmente oriundos do porcelanato, enquanto que a presença do carbetto de silício e do óxido de magnésio no resíduo está relacionado ao abrasivo utilizado no processo de polimento. Pode-se afirmar que a sílica presente na composição do resíduo é oriunda do porcelanato e do abrasivo, que a alumina advém do porcelanato, enquanto que o óxido de magnésio está associado ao cimento presente no abrasivo.

A atividade pozolânica do RPP, vem sendo alvo de estudos (JACOBY, 2015; SILVA, 2015; STEINER, 2011; STEINER, 2014). A resistência à compressão aos 84 dias determinados para argamassas mostrou um aumento de 18%, e através de análise termogravimétrica revelou que o portlandita formado por cimento foi consumido pela sílica presente no resíduo, formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), o que caracteriza uma reação pozolânica (JACOBY, 2015). O cimento CPV não é um cimento pozolânico, entretanto quando misturado com o RPP, apresentou característica de cimento pozolânico, comprovando que o RPP contribui para a atividade pozolânica (SILVA, 2005). Nos resultados de resistência a compressão, foi observado um aumento significativo com adição de 20% do RPP, aumento superior na idade de 28 dias (36,77 MPa) e ainda maior, na idade de 56 dias (41,25 MPa), indicando efeito da reação pozolânica entre o cimento hidratado e o RPP (STEINER, 2011). Os índices de atividade

pozolânica encontrados foi de 85%, 101% e 104% nas idades de 28, 100 e 120 dias, respectivamente, para utilização de 25% de RPP, atendendo o estabelecido pelas normas NBR 5752 (2012) e que é de 75% (STEINER, 2014).

2.2.4 Análise da Atividade Pozolânica

As pozolanas são definidas como substâncias constituídas de sílica e alumina que combinam com o hidróxido de cálcio na presença de água e com os diferentes componentes do cimento formando compostos estáveis à água e com propriedades aglomerantes.

Uma descrição mais formal, está descrita na Norma NBR 12653 (ABNT, 2012) – Materiais Pozolânicos – Requisitos. Materiais Pozolânicos, são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

A atividade de uma pozolânica, pode ser determinada pelo índice de atividade pozolânica com cimento NBR 5752 (ABNT, 2012) ou com cal NBR 5751 (ABNT, 2012). 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 um determinado volume do cimento ou da cal pela suposta pozolana.

Como o RPP não vai interagir com cal, e sim com cimento, optou-se por realizar o ensaio conforme a NBR 5752 (ABNT, 2012) – Materiais Pozolânicos – Determinação de Atividade Pozolânica com Cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento – Método de Ensaio.

O índice de atividade pozolânica com cimento Portland, é a relação entre resistência à compressão média dos três corpos de prova da argamassa B (com o material supostamente pozolânico), e da argamassa A (sem o material pozolânico), aos 28 dias. Conforme a equação (4):

$$I = \left(\frac{f_{CB}}{f_{CA}} \right) * 100 \quad (4)$$

na qual: I é o índice de atividade pozolânica com cimento Portland, expresso em porcentagem (%); f_{CB} é a resistência média, aos 28 dias, dos corpos de prova moldados com cimento e material pozolânico (argamassa B), expressa em megapascals (MPa); e f_{CA} é a resistência

média, aos 28 dias, dos corpos de prova moldados só com cimento (argamassa A), expressa em megapascals (MPa).

2.3 RPP incorporados em Materiais Cimentícios

2.3.1 RPP em Materiais Cimentícios

A utilização do RPP, incorporado em materiais cimentícios, vem sendo alvo de estudos. Encontra-se na literatura estudos com a incorporação do RPP em materiais cimentícios, como: solo cimento, argamassas, pastas, concreto, blocos de concreto estrutural e blocos intertravados de concreto.

Mendes (2014) avaliou a possibilidade de aproveitamento do resíduo de porcelanato para a produção de tijolos de solo-cimento. Foram realizados ensaios de laboratório de caracterização do solo, composição do resíduo, absorção de água e resistência a compressão. Os ensaios realizados indicaram que o aproveitamento do resíduo na fabricação do tijolo solo-cimento é uma alternativa sustentável preservando os recursos não renováveis.

Steiner (2014) estudou o RPP como material cimentício suplementar (SCM), potencializando o efeito do cimento Portland em materiais cimentícios. Para estudo da mistura, foram utilizadas seis composições de argamassa, de traço 1:3:0,60 substituindo o cimento por resíduo em teores de 0, 10, 20, 25, 30 e 40% em massa, sendo avaliadas por meio de ensaios de índice de consistência (flow-table), resistência a compressão, índice de atividade pozolânica (IAP), análise térmica (TG), Calorimetria e de forma qualitativa, a microscopia eletrônica de varredura (MEV). O RPP apresentou excelente desempenho como um material cimentício suplementar. Isto fica evidenciado pela análise das características físicas e químicas, manutenção da resistência à compressão e aos índices de atividade pozolânica. O estudo apresentou o potencial e a viabilidade do uso do rejeito em produtos à base de cimento Portland, mas necessita de mais estudos que possam ampliar sua aplicação em escala industrial e comercial.

Jacoby (2015) avaliou o RPP em argamassa de cimento e pastas usando substituições de 5%, 10% e 20% em relação ao cimento. A análise termogravimétrica revelou que o portlandita formado por cimento foi consumido pela sílica presente no resíduo, formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), o que caracteriza uma reação pozolânica. Este efeito contribuiu para o estudo e para as aplicações de materiais cimentícios suplementares, além de

otimizar a utilização de cimento Portland e reduzindo o impacto ambiental as emissões de dióxido de carbono originando a sua produção.

Souza (2013) estudou o reaproveitamento do RPP em argamassas de revestimentos, através da avaliação das propriedades da argamassa tanto no estado fresco como no estado endurecido, com acréscimo de resíduo em relação à massa de cimento. Foi possível incorporar até 20% do resíduo, mantendo a consistência na faixa 260 ± 5 mm, bem como outras propriedades nos estados fresco e endurecido. A aplicação e o retorno das impressões tátil-visuais de um mestre de obras durante a aplicação das argamassas com até 20% de adição de RPP em campo ratificam a manutenção das propriedades das argamassas.

Silva (2005) estudou a caracterização física e química do RPP e a influência do seu uso em concretos de cimento Portland em quantidades de 10 e 20% em relação à massa de cimento. Foram avaliadas as propriedades do concreto fresco (trabalhabilidade e consistência), as propriedades do concreto endurecido (resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral), os aspectos de durabilidade (índice de poros por porosimetria de mercúrio), atividade pozolânica (método de Fratini) e imagens da microestrutura do concreto através da microscopia eletrônica de varredura. A pesquisa visou constatar a possibilidade do uso do RPP como adição mineral ao concreto, melhorando seu desempenho e contribuindo para a preservação do meio ambiente. A análise dos resultados permitiu concluir que o RPP pode ser usado como adição em concretos trazendo benefícios às propriedades mecânicas e aos aspectos de durabilidade, e que 10% de adição é o teor que apresentou os melhores resultados.

Souza (2007) pesquisou o emprego do RPP para a produção de concreto por motivos econômicos e ambientais. Os teores de resíduo incorporados ao traço variaram de 10% a 50% em relação à massa de cimento, em traços com aditivo plastificante e sem aditivo plastificante. O acréscimo do resíduo do porcelanato alterou significativamente a consistência do concreto fresco. A utilização do resíduo no concreto resultou em um aumento de até 40% na resistência a compressão, sendo proporcional a concentração do resíduo de porcelanato no traço. A microestrutura também foi favorecida, à medida que a porosidade e a absorção do concreto diminuíram com a utilização do resíduo. Esses parâmetros atestaram a qualidade e a durabilidade do concreto produzido com o resíduo. A utilização do RPP na composição do concreto não gerou mudanças significativas no comportamento térmico.

Steiner (2011) estudou o RPP avaliando seu efeito sinérgico (ou aglomerante) potencializando o efeito do cimento Portland para fabricação de blocos de concreto para vedação. Para caracterizar física e quimicamente o RPP, foram realizados ensaios de granulometria a laser, fluorescência de raio-X (FRX) e absorção atômica. Foram utilizadas

quatro composições de argamassa, de traço 1:3 adicionando 0%, 5%, 10%, e 20% do resíduo em massa de cimento. Os resultados mostraram que o resíduo melhora as características de trabalhabilidade e consistência das argamassas, tem participação na hidratação, acelerando e/ou reagindo com os compostos do cimento, indicando atividade pozzolânica da sílica presente com hidróxido de cálcio e comprovado pelo ganho de resistência a compressão, em média 50 % para uma adição de 30% do resíduo.

Almeida (2012) avaliou a incorporação do RPP na fabricação de blocos de concreto em substituição parcial em massa do pó de pedra (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) moldados com base em um traço comercial e curados nas condições de uma fábrica de pré-moldados. A fim de não introduzir energia ao processo e viabilizar a aplicação prática do resíduo saindo da indústria de porcelanato e sendo reutilizado diretamente na indústria de pré-moldados de blocos estruturais, não houve nenhum pré-tratamento no resíduo. Os blocos com substituições do RPP ao pó de pedra de 75 e 100% não atingiram resultados satisfatórios em termos de resistência à compressão e absorção de água; e, por esse motivo, não podem ser utilizados como blocos de alvenaria estrutural. Os melhores resultados foram encontrados nos blocos com 50% de pó de porcelanato para todas as características ensaiadas, atingindo a classificação A, sendo superior à classificação do bloco de referência, condição essa provavelmente ocasionada pelo efeito filler, que além de melhorar a compacidade e absorção de água, também melhorou a resistência à compressão.

Purificação (2009) estudou a produção de pisos intertravados de concreto (paver-pavimentação) com utilização de 100% de agregados reciclados originados de rejeitos de concretos das concreteiras da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (volume de perda de 10%) e substituição de 10%, 20% e 30% do volume do cimento CPV-ARI por RPP. Os ensaios realizados para avaliação da resistência à compressão, apresentaram resultados satisfatórios, indicando que as utilizações de agregados reciclados atuam de forma eficiente, sendo que a substituição de 20% do volume de cimento por RPP apresentou o melhor desempenho.

2.3.2 Materiais Ricos em Sílica, Alumínio e Magnésio, em Materiais Cimentícios

O RPP que está sendo estudado nessa pesquisa, apresenta elevada quantidade de sílica, alumina e óxidos de magnésio. Se encontra na literatura estudos com outros resíduos, ricos em sílica, alumina e/ou óxidos de magnésio, incorporados em materiais cimentícios. Alguns dos

resíduos encontrados na literatura, são: sílica ativa, cana de açúcar, cinza de casca de arroz, resíduo de vidro, cinza de casca de castanha de caju, resíduo de bauxita, cinza pesada da indústria de alumínio, fibras de carbono, entre outros. Esses resíduos, estão sendo incorporados em materiais cimentícios, como: pastas de cimento, cimento-madeira, argamassas, e concretos.

Santos (2013) avaliou a formação das fases C-S-H e α -C₂SH em diferentes formulações de pastas cimentícias, quando submetidas a altas temperaturas após serem formuladas com os aditivos minerais de resíduo de porcelanato, biomassa da cana-de-açúcar e metacaulinita. Todas as formulações foram comparadas a uma pasta de cimento puro de referência e outra com uma composição a base de 40 % de *sílica flour*, material utilizado na indústria de petróleo como aditivo anti-retrogressão. Os resultados mostraram que a adição de minerais alternativos como aditivos pozolânicos em pastas de cimento Portland irá gerar uma economia significativa durante o processo de cimentação de poços de petróleo, podendo chegar a 40% em proporção à massa de cimento.

Sugamoto (2007) analisou o desempenho de dois tipos de sílica ativa nas propriedades do concreto fresco e endurecido. Estas são comercializadas no Brasil como: sílica ativa em pó e sílica ativa em suspensão aquosa ou forma de lama. Foram produzidos cinco concretos, um concreto referência sem adição, dois com adição de sílica ativa em pó e dois com adição de sílica ativa em forma de lama. Os teores de sílica ativa adotados foram de 5% e 10% de substituição de massa de cimento, sendo descontada a parcela de água presente na sílica em lama e considerado apenas seu teor de sólidos. Os resultados mostram que os concretos com sílica ativa em pó possuem, aos 28 dias, resistências ligeiramente superiores aos concretos com sílica ativa em lama.

Lima e Iwakiri (2010) avaliou o potencial de utilização do resíduo do desdobro de toras de *Pinus* spp e de substituições parciais do cimento Portland por sílica ativa e cinza de casca de arroz, em compósito cimento-madeira. As avaliações das características físicas (massa específica, índice de vazios e absorção de água) e mecânicas (resistência à compressão e a tração) dos compósitos, foram realizadas conforme normas da ABNT. Foram testadas substituições do cimento Portland por teores de 5% a 20% de sílica ativa e 5% a 40% de cinza de casca de arroz. Em ambos os casos foram utilizados, também, aditivos químicos para acelerar a pega do cimento ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) e superplastificante, a fim de manter inalteradas as características reológicas do compósito no estado fresco. Os resultados das análises multivariadas demonstraram viabilidade técnica da utilização do resíduo de *Pinus* spp e das substituições parciais do cimento Portland no compósito, em proporções de 10% de sílica ativa e de até 30% de cinza de casca de arroz.

Netto (2006) estudou as características dos principais materiais pozolânicos utilizados atualmente, ou que estejam sendo pesquisados, bem como os processos vinculados aos mesmos, necessários a uma compreensão mais abrangente. Foram consideradas as pozolanas artificiais (cinza de casca de arroz, metacaulim, cinza volante e sílica ativa), e as pozolanas naturais. Foram estudadas as propriedades de concretos e argamassas com adição de pozolanas, e os aspectos relacionados, através da análise de estudos de caso. A utilização de pozolanas nos concretos e argamassas de cimento Portland apresentaram inúmeros benefícios às propriedades do concreto, tanto em relação à sua reologia no estado fresco e, principalmente, ao comportamento mecânico e de durabilidade no estado endurecido.

Duart (2008) analisou a microestrutura soa concretos dosados com adição de cinza de casca de arroz residual sem controle de quem e sem moagem (CCAN), em substituição parcial de cimento em concretos convencionais. Foram estudados traços de concretos: 2 traços com CCAN em teores de 15 e 25 % de substituição parcial de cimento, 2 traços com CCA moída (CCAM) em teores de 15 a 25 % de substituição parcial do cimento, para comparação, e um traço de referência, ou seja sem substituição do cimento. Os resultados demonstraram que a utilização da CCAN é viável para teores de 15% de substituição de cimento. Devido à combinação pozolânica e efeito filler das partículas de CCAC e CCAM, os concretos com adição de CCA apresentaram modificações de microestrutura como: refinamento dos poros, redução da porosidade total, formação de silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) a partir da reação pozolânica. Partículas inertes de CCA criaram também, espaços para a nucleação aumentando a formação de cristais hidratados.

Cota (2013) estudou a utilização de resíduos de vidro como substituto de 7,5% e 15% de agregado de sílica em formulações típicas de telhas de concreto com (7,5 e 15%) e sem adição de metacaulim. Três faixas granulométricas foram investigadas, entre elas [4 – 10 US-Tyler], [10 – 20 US-Tyler] e [20 – 60 US-Tyler]. Os resultados revelaram que a reação de álcali-agregado pode ser inibida pela adição do material pozolânico. As propriedades físico-mecânicas avaliadas foram densidade volumétrica, porosidade aparente, permeabilidade, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Os resultados também mostraram que a substituição de 7,5% de partículas de vidro, em combinação com 7,5% de metacaulim, permite alcançar um desempenho equivalente ao referencial de concreto pré-fabricado.

Lima e Rossignolo (2010) avaliaram as características físicas e químicas da cinza da casca da castanha de caju (CCCC), por meio dos seguintes ensaios: análise química, massa unitária, massa específica, extratos lixiviado e solubilizado, difratometria de raios X (DRX), superfície específica (BET) e análise da pozolanicidade com o cimento Portland e com a cal. O

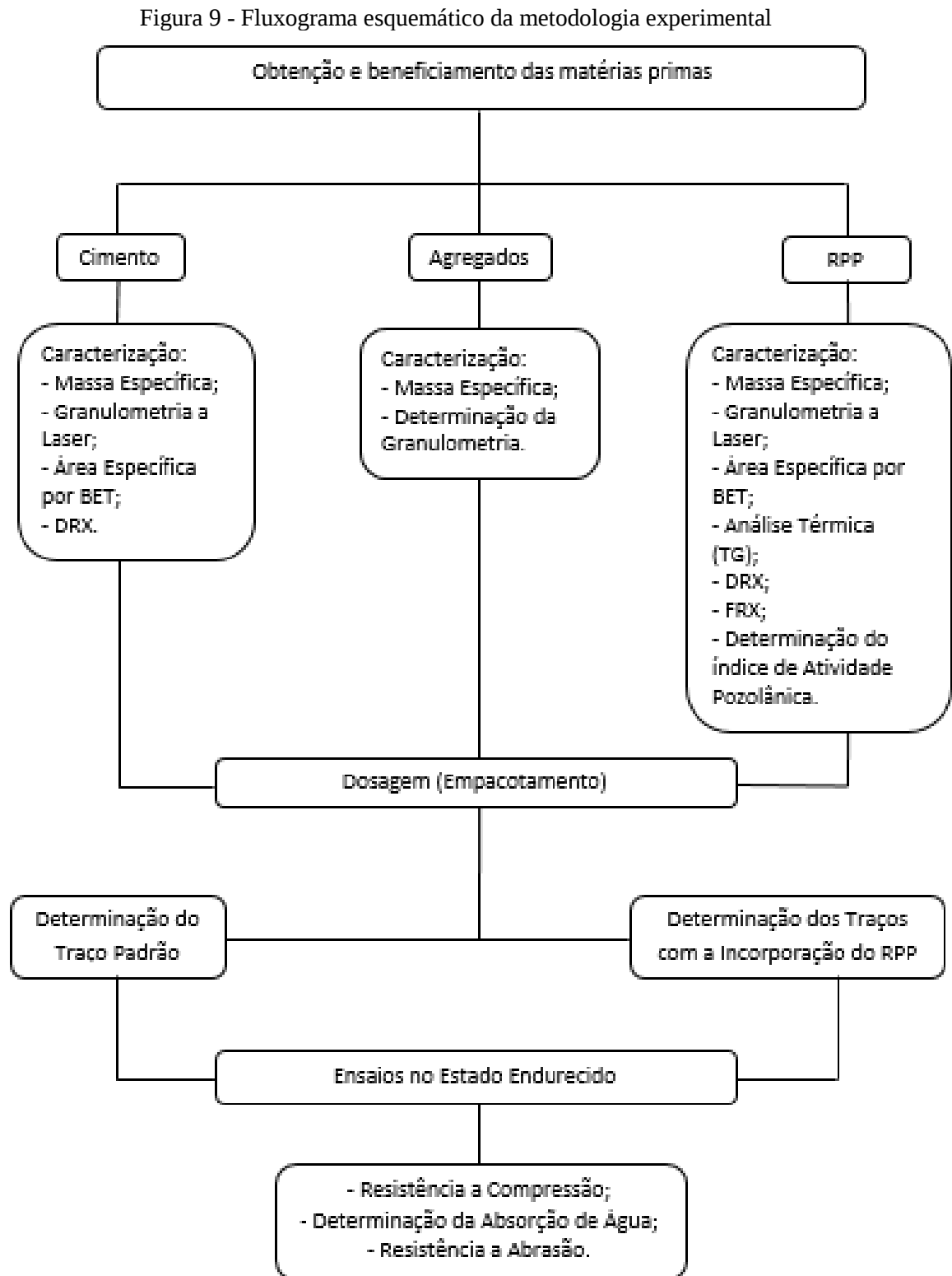
conjunto de análises deste trabalho indica a restrição ao uso da CCCC em matrizes cimentícias em função da baixa reatividade com o hidróxido de cálcio (CH) e dos altos teores de álcalis, dos metais pesados e do fenol detectados nessa cinza.

Montini (2009) estudou a adição de cinza pesada e resíduo de bauxita (in natura e calcinado), resíduos sólidos gerados durante o processo de produção do alumínio, em formulações de cimento Portland como aditivo pozolânico. Adicionalmente, foi avaliado o uso do resíduo de bauxita como matéria-prima para o clínquer Portland. Os resultados de atividade pozolânica e dos ensaios físicos-mecânicos (tempo de pega, expansibilidade e resistência à compressão) mostraram que ao adicionar até 46 % de cinza, a qualidade dos cimentos Portland produzidos não foi afetada negativamente. Entretanto, o resíduo de bauxita não foi considerado um material pozolânico, pois não apresentou atividade pozolânica (cal e cimento) abaixo das exigências das normas brasileiras. Os clínqueres produzidos com o resíduo de bauxita obtiveram características mineralógicas semelhantes aos clínqueres industriais.

Panzer (2010) estudou o efeito da adição de fibra de carbono em compósitos cimentícios de resíduos de esteatito visando à recuperação de peças confeccionadas com este mineral, popularmente conhecido como “pedra-sabão”. As propriedades físico-mecânicas tais como, densidade volumétrica e resistência mecânica à flexão foram investigadas neste experimento. Concluiu-se que a adição de fibra de carbono aumenta significativamente a resistência mecânica dos compósitos além da redução de seu peso específico, permitindo o reaproveitamento de um maior percentual de resíduos de esteatito no compósito final.

3 METODOLOGIA

Na Figura 9, segue o fluxograma esquemático da metodologia experimental empregada.



Fonte: Da Autora (2015)

3.1 Materiais de Partida

3.1.1 Cimento

Segundo Fernandes (2013) para a produção de blocos intertravados de concreto, em razão da necessidade de manuseio no dia seguinte, são mais indicados os cimentos dos tipos II (composto) e do tipo V (ARI), por apresentarem maior resistência nas primeiras idades, quando comparado com os outros tipos de cimento (tipos III e IV). O cimento CP V ARI, nas idades iniciais, pode alcançar o dobro da resistência do cimento CP II, apesar do cimento tipo II quando comparado com os demais cimentos (tipos III e IV), tenha uma boa resistência inicial. Por esses motivos neste trabalho foi escolhido o cimento CP V ARI, da marca MIZU, para a confecção dos blocos intertravados.

As características químicas, do cimento CP V ARI, fornecidas através de boletim técnico da empresa de cimento, para o lote utilizado se encontra apresentada na Tabela 3. E as características físicas, do cimento CP V ARI, se encontra apresentada na Tabela 4

Tabela 3 - Caracterização química do cimento

Caracterização Química	Resultado (%)
Perda ao Fogo	3,99
Resíduo Insolúvel	0,84
SO₃	3,10
CaO Livre	1,71

Fonte: MIZU (2015)

Tabela 4 - Caracterização física do cimento

Caracterização Física	Unidade	Resultado
Início de Pega	Minuto	86,67
Fim de Pega	Minuto	134,26
Resistência à Compressão (1 dia)	MPa	21,00
Resistência à Compressão (3 dias)	MPa	31,96
Resistência à Compressão (7 dias)	MPa	39,43
Resistência à Compressão (28 dias)	MPa	49,26

Fonte: MIZU (2015)

3.1.2 Agregados

Os agregados naturais empregados foram areia e pedrisco fornecidos pela empresa de pré-moldados JCL Lajes, localizada na cidade de Caruaru-PE. A empresa trabalha no mercado local com produção de pré-moldados, e a coleta dos materiais de partida foi realizada nessa empresa para se aproximar dos materiais que são utilizados atualmente na região, para moldar blocos intertravados de concreto. A areia e o pedrisco não tiveram nenhum tratamento prévio para utilização nos blocos intertravados de concreto.

3.1.3 Resíduo do Polimento do Porcelanato (RPP)

O RPP foi fornecido pela Elizabeth Porcelanatos S/A, situada na rodovia BR 101, Km 98, Distrito Industrial, Conde – PB. O RPP, fica armazenado no pátio da empresa, e quando foi coletado verificou-se que o mesmo se encontrava muito úmido e aglomerado em torrões (Figura 10).

Figura 10 - Resíduo úmido, como foi coletado



Fonte: Da Autora (2015)

Como o resíduo estava úmido, o mesmo não destorroava bem no moinho de bolas, por isso, foi realizada uma secagem em estufa antes da etapa de moagem. A secagem foi realizada em a uma temperatura de 100 °C, por um período de 24 h (Figura 11).

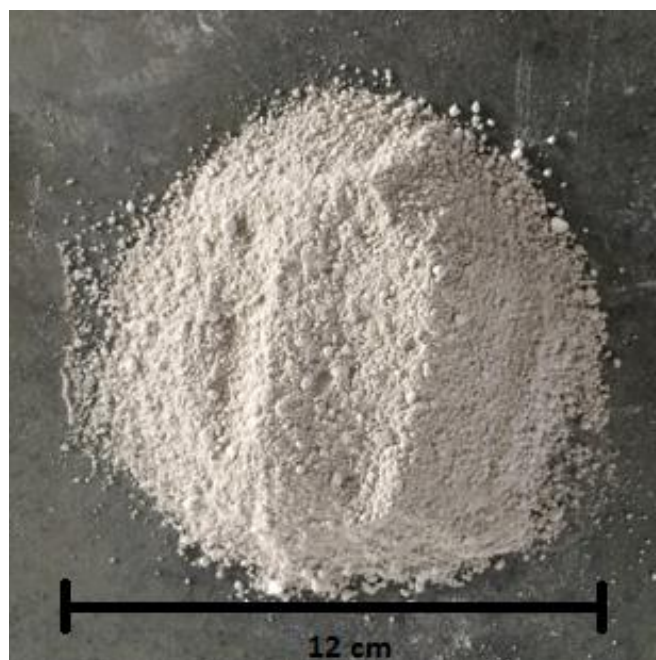
Figura 11 - Resíduo seco



Fonte: Da Autora (2015)

Logo depois, o resíduo foi desagregação em moinho de bolas (Figura 12).

Figura 12 - Resíduo desagregado



Fonte: Da Autora (2015)

E por fim, o resíduo foi classificação na peneira de malha 200 mesh (Figura 13).

Figura 13 - Resíduo passante na peneira da malha 200 mesh



Fonte: Da Autora (2015)

3.1.4 Água

Foi utilizada água potável, presente no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA.

3.2 Caracterizações dos materiais de partida

3.2.1 Massa Específica

A massa específica do CP V ARI, foi fornecida através de boletim técnico, pela empresa de cimento. O valor de massa específica do cimento utilizado é de $3,03 \text{ g/cm}^3$.

Para determinação da massa específica dos agregados foi utilizada a NBR 9776 (ABNT, 1987) – Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco Chapman, e para agregado graúdo foi utilizada a Proveta, seguindo os mesmos procedimentos da Norma. A areia e pedrisco foram secos em estufa a 100°C por 24 horas, antes da realização do ensaio.

O ensaio para a determinação da massa específica dos agregados é realizado da seguinte forma: Coloca-se água no frasco, e marca sua leitura inicial, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorram totalmente; em seguida introduzir, cuidadosamente, 500 g de agregado seco no frasco o qual deve ser devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no frasco indica o volume, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo, alertando-se para que as faces internas que devem estar completamente secas e sem grãos aderentes.

A massa específica do agregado é calculada pela expressão (5):

$$\gamma = \frac{500}{L - L_i} \quad (5)$$

na qual: γ é a massa específica do agregado (g/cm^3); L é a leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado); e L_i é a leitura do frasco (volume ocupado pela água).

O ensaio para a determinação da massa específica do RPP é realizado conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2000), da seguinte forma: Inicialmente, enche o frasco com auxílio de um funil de haste longa com água, até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a zero e 1 cm^3 . Em seguida, seca o interior do frasco acima do nível do líquido, e registra a primeira leitura (V_1) com aproximação de 0,1 cm^3 . Logo após, pesa uma massa conhecida do material em ensaio, com aproximação de 0,01 g, que provoque o deslocamento do líquido no intervalo compreendido entre as marcas de 18 cm^3 e 24 cm^3 , da escala graduada do frasco de “Le Chatelier”, e introduz o material em pequenas porções no frasco, com o auxílio do funil de haste curta, atentando para que não ocorra aderência de material nas paredes internas do frasco, acima do nível do líquido. Pode ser utilizado um aparelho vibrador para acelerar a introdução do material em ensaio no frasco. Depois, tampa o frasco e girá-lo em posição inclinada, ou suavemente em círculos horizontais, até que não subam borbulhas de ar para a superfície do líquido, e registra a leitura final (V_2) com aproximação de 0,1 cm^3 .

A massa específica do resíduo é calculada pela expressão (6):

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (6)$$

na qual: ρ é a massa específica do material ensaiado (g/cm^3); M é a massa do material ensaiado (g); e V é o volume deslocado pela massa do material ensaiado ($V_2 - V_1$), (cm^3).

Os ensaios de Determinação da Massa Específica do RPP e dos Agregados foram realizados no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA.

3.2.2 Granulometria

Para a caracterização granulométrica dos agregados, foram seguidos a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Seguindo as determinações da NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados miúdos e graúdo utilizados foram classificados como areia média e pedrisco (brita 0), respectivamente.

Para determinação da granulometria dos agregados é necessário: secar a amostra em estufa a 110°C, até constância de peso, em seguida, encaixar as peneiras da série normal e intermediária, previamente limpas, com abertura de malha em ordem crescente, da base para o topo, juntamente com o fundo, logo depois, colocar a amostra sobre a peneira superior do conjunto, tampar e agitar, até a completa classificação do material. Esta agitação deve ser feita por um tempo razoável, que permita a separação e classificação da amostra, logo após, destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após um minuto de agitação contínuo, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado, em seguida, retira as peneiras e remove o material retido para uma cápsula, determinando sua massa. Ter o cuidado de remover todo o material aderido à tela, utilizando escova de nylon. Repetir o procedimento, para outra amostra do mesmo material. Caso, não seja possível utilizar a agitação mecânica do conjunto, classificar manualmente toda a amostra em uma peneira (maior malha), para depois passar a peneira seguinte; Agitar cada peneira com a amostra, ou porção desta, por tempo não inferior a 2 minutos;

O ensaio de Determinação da Granulometria dos Agregados, foi realizado no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA.

O ensaio de Granulometria a Laser, foi realizado para caracterizar a granulometria média das partículas das amostras do CP V ARI e do RPP, e definir o diâmetro médio das suas partículas.

Para utilização do RPP como adição em concretos é muito importante que suas partículas possuam uma granulometria que possa preencher os espaços vazios entre os grãos de cimento, contribuindo para um maior desempenho dos concretos, o que caracteriza seu efeito

filler Nesse ensaio as partículas apresentam-se dispersas atravessando momentaneamente um feixe de laser causando difração, sendo as partículas de tamanho compatível com o comprimento de onda da luz. A intensidade da luz difratada é proporcional ao quadrado do tamanho da partícula e o ângulo de difração varia inversamente com o tamanho da partícula.

O ensaio de Granulometria a Laser do CP V ARI e do RPP, foram realizados no Laboratório de Nanotecnologia do Centro de Tecnologia Estratégicas do Nordeste (CETENE) em Recife-PE.

3.2.3 Área Específica por BET

A área específica do cimento CP V ARI e do RPP, foram determinadas através do método Brunauer- Emmett-Teller, por adsorção de nitrogênio, também chamados de ensaios de condensação capilar. Neste método, mede-se a quantidade de gás adsorvido ou desorvido em uma superfície sólida, em alguma pressão de vapor de equilíbrio, pelo método volumétrico estático. A quantidade de gás adsorvido na pressão de equilíbrio é a diferença entre a quantidade de gás admitida ou removida e a quantidade requerida para preencher o espaço ao redor do adsorvente (espaço vazio).

O ensaio de BET do cimento CP V ARI e do RPP, foram realizados no Laboratório de Nanotecnologia do Centro de Tecnologia Estratégicas do Nordeste (CETENE) em Recife-PE.

3.2.4 Análise Térmica (TG)

Para esta análise, as amostras foram passadas em peneira ABNT nº 200 (0,074mm), e não passaram por etapa de secagem. Foi utilizada uma termobalança RB – 300, da BP Engenharia, utilizando velocidade de aquecimento de 12,5°C/min até a temperatura máxima de 1000°C.

A análise de TG do RPP, foram realizadas na Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande- PB.

3.2.5 Difração de raio X (DRX)

O ensaio de DRX do cimento CP V ARI e do RPP foram realizados, pois ele permite identificar as fases presentes na estrutura das amostras.

O resultado da técnica é um difratograma contendo, na ordenada, a intensidade dos picos de difração das fases químicas da amostra e, na abscissa, o ângulo ou a distância interplanar dos mesmos. A intensidade de picos característicos de cada mineral é proporcional a sua quantidade. A identificação das fases é feita pela comparação dos espaçamentos interplanares (ou ângulos de difração) da amostra com dados conhecidos para materiais cristalinos, disponíveis em um banco de dados JCPDS. É importante determinar a forma apresentada no difratograma mostrando que os compostos químicos presentes no RPP se apresentam na forma cristalina ou amorfa, relacionando com suas características pozolânicas.

As análises de DRX foram realizadas pelo método convencional (pó seco), através do Difratorômetro de raio X Bruker D8 Advance Davinci. As condições de operação foram fixadas em: radiação de $\text{CuK}\alpha$ (40 kV/40 mA), leitura de 2θ , variando de 10° a 70° , com passo de 0,02 a cada 0,5 segundo.

As análises de DRX do CP V ARI e do RPP, foram realizadas no Laboratório de Nanotecnologia do CETENE em Recife-PE.

3.2.6 Fluorescência de raio X (FRX)

A determinação da composição química foi realizada por FRX. Para essa técnica foi utilizado o equipamento EDX 720 da Shimadzu, em atmosfera de nitrogênio (N_2). Foram determinadas as constituições de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O e resíduo insolúvel, como sendo as determinações usuais. As matérias-primas tradicionais, bem como os resíduos foram previamente peneirados em malha ABNT n° 200 (74 μm) e secos em estufa a 110°C durante 24 horas para realização dos ensaios relativos a análise química.

O ensaio de FRX do RPP, foi realizado na Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande- PB.

3.3 Determinação do índice de Atividade Pozolânica

Para avaliar a potencialidade pozolânica do resíduo, que é uma propriedade química, foi empregada a NBR 5752 (ABNT, 2012), com a finalidade de se determinar se o resíduo apresenta atividade pozolânica. Esse direcionamento é importante também para avaliar se há necessidade de acompanhamento da resistência em idades superiores a 28 dias.

Determinou-se o índice de atividade pozolânica do RPP, definido pela NBR 5752 (2012), a fim de classificá-las como sendo um material pozolânico ou não. Para a determinação do índice de atividade pozolânica, foram preparadas 2 (duas) argamassas, sendo: uma de referência contendo apenas o cimento Portland CP V ARI, e uma com a substituição, em volume, do cimento pelo RPP. Para cada argamassa foram moldados 3 (três) corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 50 mm de diâmetro de base e 100 mm altura. Como mostra a Figura 14.

Figura 14 – Corpos de prova cilíndricos



Fonte: Da Autora (2015)

O preparo das argamassas seguiu os procedimentos da NBR 7215 (ABNT, 1996). A quantidade de água adicionada em cada argamassa foi suficiente para produzir um abatimento de 225 ± 5 mm, segundo ensaio de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Na Figura 15 pode ser visualizado o ensaio de consistência da argamassa.

Figura 15 - Ensaio de consistência da argamassa



Fonte: Da Autora (2015)

Os corpos-de-prova foram curados inicialmente, em temperatura ambiente, e após 24 h, foram colocados em uma câmara úmida fechada (Figura 16), a 38°C, durante 27 dias, e logo após foram rompidos à compressão.

Figura 16 - Câmara úmida fechada, que mantém os blocos a 38°C



Fonte: Da Autora (2015)

A câmara úmida, foi construída no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da UFPE/CAA, utilizando um aquário hermeticamente fechado, uma lâmpada que aquecia o aquário, um termostato que garantia o controle da temperatura, e um termômetro para verificar se a temperatura estava constante.

Os índices de atividade pozolânica são, então, definidos pela razão entre a resistência à compressão média dos corpos de prova das argamassas contendo o resíduo e dos corpos de prova da argamassa de referência, sendo o seu valor em porcentagem. Para que o resíduo seja classificado como material pozolânico, a NBR 12653 (ABNT, 2012) estipula que seu índice de atividade pozolânica não deve ser inferior a 75%. A relação entre a quantidade de água adicionada nas argamassas contendo as cinzas e a argamassa de referência, em porcentagem, também é um fator avaliado pela NBR 12653 (ABNT, 2012), não podendo ser superior a 115% às pozolanas de classe N e a 110% às de classe C e E.

O ensaio de Determinação do Índice de Atividade Pozolânica do RPP foi realizado no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA.

3.4 Dosagem

3.4.1 Determinação do Traço Padrão

Foi realizado um estudo pormenorizado para o traço padrão a ser utilizado, por meio de método de empacotamento matemático. Inicialmente, foi realizada a classificação granulométrica de todos os agregados utilizados (areia fina, areia grossa, e pedrisco), para a partir daí definir qual a ordem de entrada de cada material na otimização do empacotamento.

Andreasen mostrou com estudos experimentais que o expoente de sua equação “n” devia estar entre 0,33 e 0,5, e Mota (2014), descobriu em sua pesquisa que o valor de “n” que proporciona máxima densidade de empacotamento é 0,37. Com isso, optou nessa pesquisa, variar “n” de 0,35 a 0,40.

Depois de definido o valor de “n”, que corresponde o melhor empacotamento, foi alterado a relação água/cimento, como também a relação cimento:agregado, com o intuito que encontrar um traço padrão que atendesse as exigências mínimas da NBR 9781 (ABNT, 2013).

3.4.2 Determinação dos Traços com a Incorporação do RPP

A partir do traço padrão determinado, optou-se por incorporar o RPP, empacotado o resíduo como agregado, através do empacotamento já realizado no Mathcad. Nesse caso, o resíduo já iria entrar no empacotamento com a areia fina e o pedrisco, no traço padrão encontrado, complementando o empacotamento.

3.4.3 Moldagem e Cura

Os blocos foram moldados em máquina pneumática Permaq, modelo MBHD.01003 (Figura 17), existente no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco - CAA. Os blocos têm dimensões 20 cm x 10 cm x 6 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), e a máquina tem a capacidade de moldar 8 blocos por vez.

Figura 17 - Máquina Pneumática Permaq, modelo MBHD.01003



Fonte: Da Autora (2015)

Os materiais empregados na fabricação: cimento e agregados foram armazenados no próprio laboratório, após coletados em indústria de pré-moldados parceira, e foram pesados em balança com capacidade de 50 kg. O RPP foi seco, destorroado e peneirado como descrito anteriormente, depois pesado separadamente e também armazenado no laboratório.

Para a mistura dos traços, utilizou-se uma betoneira de 400 L (pela falta de um misturador). Para a sequência de introdução individual dos materiais dentro da betoneira foi seguida a sugestão de Helene e Terzian (1992 apud ALCANTARA, 2015), obedecendo a seguinte ordem: água (80%), pedrisco (100%), areia fina (100%); após a homogeneização inicial dos agregados miúdos e gráudo com a porção de água, lança-se o cimento (100%) e o

restante da água (20%), esta última em pequenas frações pouco a pouco. O RPP foi incorporado no traço, previamente misturado com o cimento. Após a colocação de todos os materiais na betoneira inclusive a água, iniciou-se a contagem do tempo de mistura. O tempo de mistura utilizado foi de 4 minutos (com rápida parada intermediária para limpeza das pás da betoneira). Com o traço pronto, a massa era levada até a vibroprensa para a moldagem das peças. O tempo de vibroprensagem foi determinado durante os procedimentos de moldagem, sendo 60 segundos, distribuídos da seguinte forma, 30 segundos, dava um intervalo de uns 15 segundos, depois mais 30 segundos.

Logo, após a moldagem, todos os blocos ficaram 24 h dentro do galpão do Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco - CAA, sendo borrifados por água, logo após a moldagem e em intervalos de 8 h até completar as 24 h.

Em seguida, os mesmos foram colocados para cura úmida, um tanque com água e cal. A cura úmida foi escolhida, pois segundo Mota (2014), a melhor resistência média à compressão é para os corpos-de-prova de concreto seco curados em imersão, em solução saturada com cal.

3.5 Ensaios no Estado Endurecido

A caracterização do estado endurecido foi realizada pelos ensaios de Resistência à Compressão, Absorção de Água, e Resistência à Abrasão.

Para cada traço foram moldados 12 corpos de prova, 6 para o ensaio de Resistência à Compressão, 3 corpos de prova para o ensaio de Absorção de Água e 3 para o ensaio de Abrasão, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013).

3.5.1 Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em prensa hidráulica servo controlada da marca Shimadzu, e modelo UH – 2000KNI, com capacidade de 200 toneladas (Figura 18), disponível no Laboratório de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA, com o auxílio de duas placas metálicas de espessura 20 mm, confeccionadas em aço.

Figura 18 - Dispositivo para ensaio de resistência a compressão



Fonte: Da Autora (2015)

Para todos os traços, foram confeccionados 6 corpos-de-prova que foram rompidos nas idades de 7 e 28 dias, em 7 dias foi realizado o ensaio em 3 blocos, e em 28 dias nos outros 3 blocos.

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator p , função da altura da peça, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Fator multiplicativo p

Espessura nominal da peça (mm)	P
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: ABNT (2013)

A resistência característica à compressão deve e atender às especificações da Tabela 6.

Tabela 6 - Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}), aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	Maior ou igual a 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	Maior ou igual a 50

Fonte: ABNT (2013)

3.5.2 Determinação da Absorção de Água

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

Para a determinação da absorção de água, inicialmente deve-se imergir os corpos de prova em água à temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por 24 h, logo em seguinte pesar individualmente cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca, que é obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1 min e removendo a água superficial visível com um pano úmido. Anotar o valor encontrado. Repetir este procedimento a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa saturada m_2 . Em seguida, levar os corpos de prova saturados à estufa, com temperatura a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, mantendo esta condição por 24 h.

Logo, depois pesar individualmente cada corpo-de-prova na condição seco em estufa. Anotar o valor encontrado. Repetir este procedimento a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa seca m_1 . A operação de pesagem e anotação do valor deve ser de no máximo 10 min, com o corpo de prova fora da temperatura da estufa.

Os testes de absorção foram realizados para todos os traços, com 3 corpos-de-prova por traço na idade de 28 dias. O valor da absorção de água foi calculado através da Equação (7).

$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} * 100 \quad (7)$$

na qual: A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%); m_1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g); e m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

As peças de concreto deverão apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 %.

3.5.3 Resistência à Abrasão

Para determinação da resistência à abrasão, cada corpo de prova – fixo em um suporte que, por sua vez, era puxado por um contrapeso –, foi pressionado, durante 60 segundos, contra um disco de aço de 200 mm de diâmetro e 70 mm de espessura em rotação a 75 RPM, de modo que o atrito entre eles gerasse uma cavidade na superfície da amostra. Entre o disco em rotação e a amostra, era derramado, a partir de um funil de escoamento, um material abrasivo (óxido de alumínio fundido branco grana F80) a uma vazão de $(100 \pm 0,05)$ g a cada (100 ± 5) rotações do disco, contra um padrão de calibração (vidro comum), ajustando-se o contrapeso de maneira que, após 75 rotações em (60 ± 3) s, fosse produzida uma cavidade de $(17,0 \pm 0,5)$ mm de comprimento. Na Figura 19 pode ser visto o dispositivo para o ensaio.

Figura 19 - Dispositivo para ensaio de resistência a abrasão



Fonte: Da Autora (2015)

A determinação da resistência à abrasão da amostra é facultativa, quando especificada, deve atender às especificações da Tabela 7.

Tabela 7 - Critérios para resistência a abrasão

Solicitação	Cavidade Máxima (mm)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	Menor ou igual a 23
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	Menor ou igual a 20

Fonte: ABNT (2013)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterizações dos Materiais de Partida

4.1.1 Massa Específica

A massa específica do cimento foi fornecida através de boletim técnico, da empresa de fabricação de cimento. Para a determinação da massa específica da areia e do pedrisco foi utilizada a Equação (5), descrita no item 3.2.1. E Para a determinação da massa específica do RPP foi utilizada a Equação (6), descrita no item 3.2.1. Os resultados das massas específicas estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Massas específicas

Amostras	γ (g/cm ³)
Cimento	3,03
RPP	2,46
Areia	2,56
Pedrisco	2,54

Fonte: Da Autora (2015)

A maior massa específica entre as matérias primas, envolvidas nesse trabalho é a do cimento, e a menor é a massa específica do RPP. A massa específica da areia e do pedrisco tem valores intermediários, quando comparadas as outras matérias primas (cimento e RPP) presentes nos blocos intertravados de concreto.

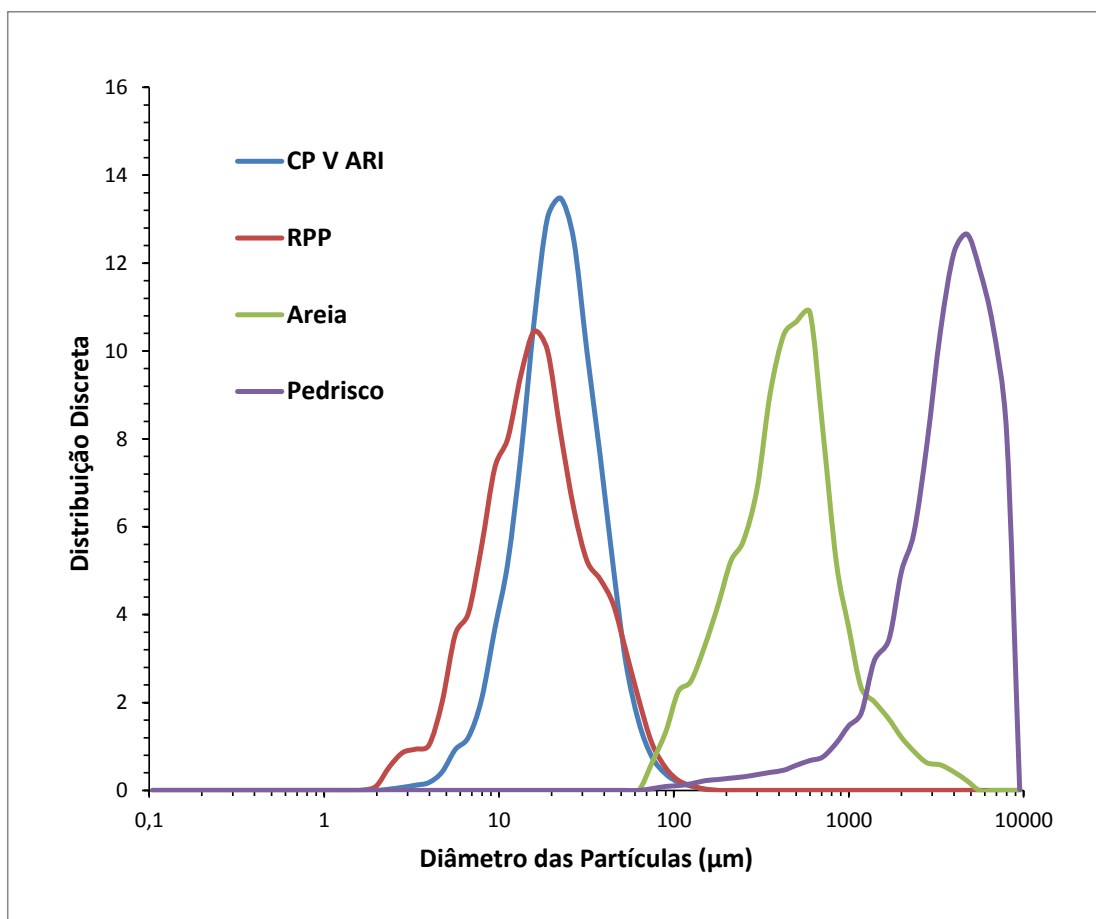
Com isso, os blocos com a incorporação do RPP, serão mais leves, o que facilita o transporte, e o armazenamento dos blocos intertravados de concreto estudados.

4.1.2 Granulometria

Foi realizado o ensaio de granulometria a laser em uma amostra do cimento CP V ARI e RPP. E para os agregados (areia e pedrisco), a determinação da granulometria foi realizada através do ensaio nas peneiras da série normal, como descrito no item 3.2.2.2. Na Figura 20 são

apresentados os dados de distribuição discreta das matérias primas utilizada nesse trabalho: CP V ARI, RPP, areia e pedrisco.

Figura 20 - Distribuição discreta das matérias primas utilizadas



Fonte: Da Autora (2015)

De acordo com a Figura 20, o RPP e o cimento CP V ARI têm uma granulometria semelhante, sendo o RPP é um pouco mais fino que cimento. Já a areia apresenta uma granulometria maior do o RPP e o CP V ARI, e o pedrisco apresenta uma maior granulometria quando comparado a todas as outras matérias primas empregadas nesse trabalho.

4.1.3 Área Específica por BET

A área superficial do cimento CP V ARI e do RPP, foi obtida através do ensaio de BET. A Tabela 9 apresentada as áreas superficiais encontradas.

Tabela 9 - Área Superficial por BET

Amostras	Área Superficial (m ² /g)
CP V ARI	52,88
RPP	71,28

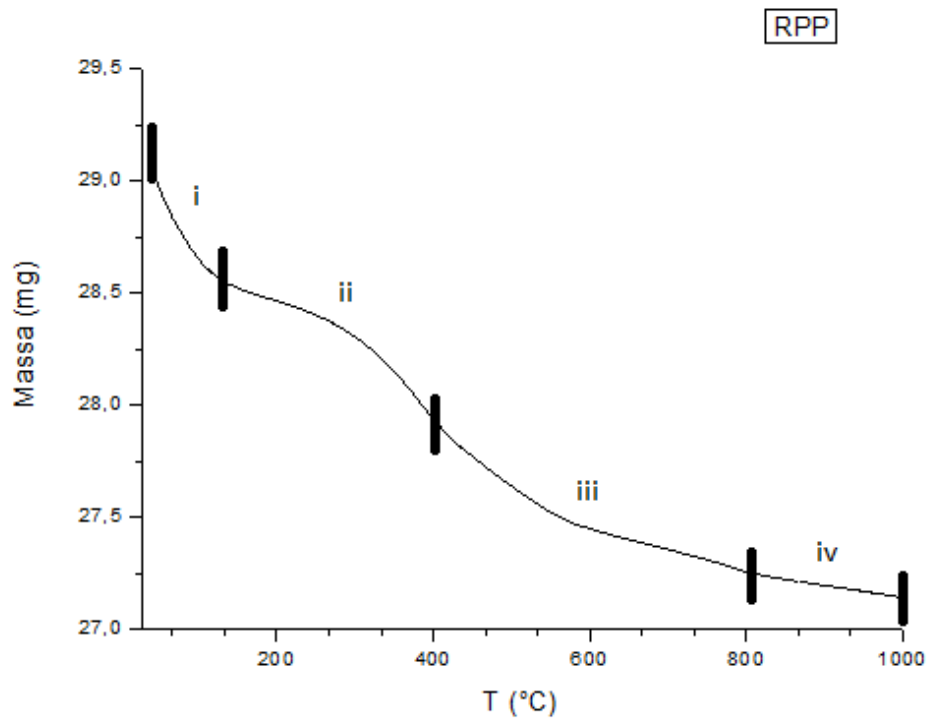
Fonte: Da Autora (2015)

De acordo com a Tabela 9, a área superficial do RPP é maior que a do cimento. Com isso, entendesse que o RPP, tende a absorver mais água do sistema do que o cimento, que tem uma área superficial menor.

4.1.4 Análise Térmica (TG)

Foi realizado o ensaio em uma amostra do RPP. Na Figura 21 pode ser observada a curva de TG para a composição do RPP, e essa possui quatro etapas distintas de decomposição: i) No intervalo de temperatura até 136,15 ° C, ocorreu uma perda de massa no valor de 0,68 mg (2,33%), referente à evaporação de água; ii) Na temperatura de 136,15 ° C até 402,62 ° C, ocorreu outra perda de massa no valor de 0,62 mg (2,12%), há uma perda de matéria orgânica; iii) Entre as temperaturas de 402, 62 ° C e 804,49 ° C, ocorreu perda de massa no valor de 0,67 mg (2,29%), que é referente a um fenômeno de desidroxilação; e iv) Entre 804,49 ° C e 1001,83 ° C (temperatura final do ensaio), ocorreu uma perda de massa de 0,11 mg (0,38%), correspondente aos óxidos de magnésio e de potássio. O que representa uma perda total de massa de 2,08 mg, que corresponde a 7,12%. Resultados semelhantes foram encontrado por Silva (2012).

Figura 21 - Curva TG do RPP



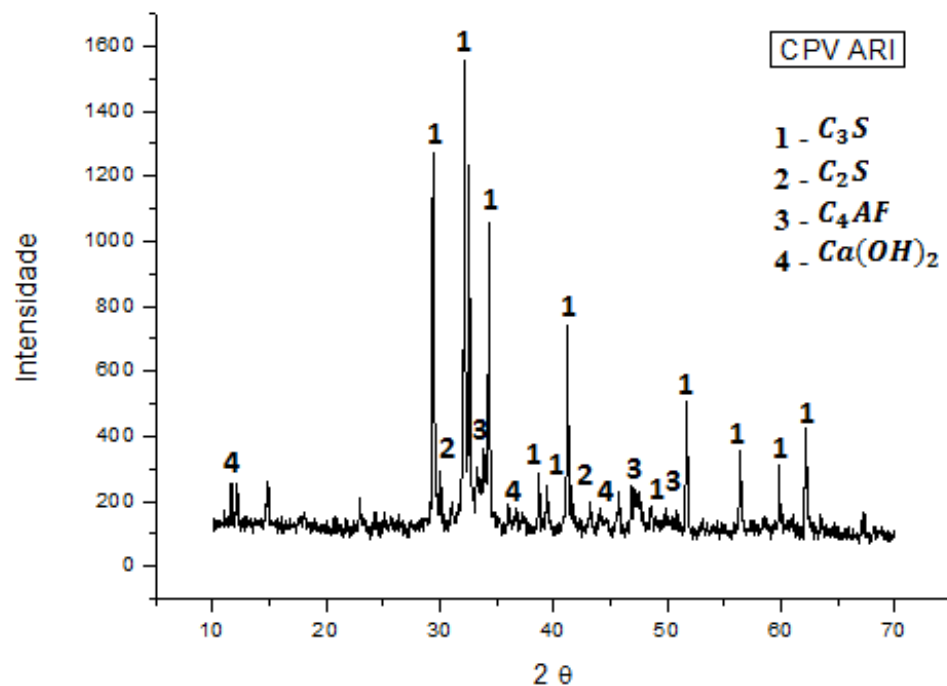
Fonte: Da Autora (2015)

O RPP praticamente não perdeu massa, pois ele é um resíduo de um material já sinterizado, aquecido até 1000 °C só perdeu 7,12 % de massa. A cerâmica para ser sinterizada, alcançou mais de 1000 °C, por isso o resíduo já se encontra relativamente estável. Com isso, o RPP, pode ser incorporado em materiais cimentícios que alcancem elevadas temperaturas, materiais que fiquem expostos ao sol. Nesse caso, se torna interessante a incorporação do RPP em blocos intertravados de concreto, pois eles geralmente ficam expostos ao sol.

4.1.5 Difração de raio X (DRX)

Foi realizado o DRX do CP V ARI e do RPP. Na Figura 22 é apresentado o difratograma do CP V ARI.

Figura 22 - Difratograma do cimento CP V ARI

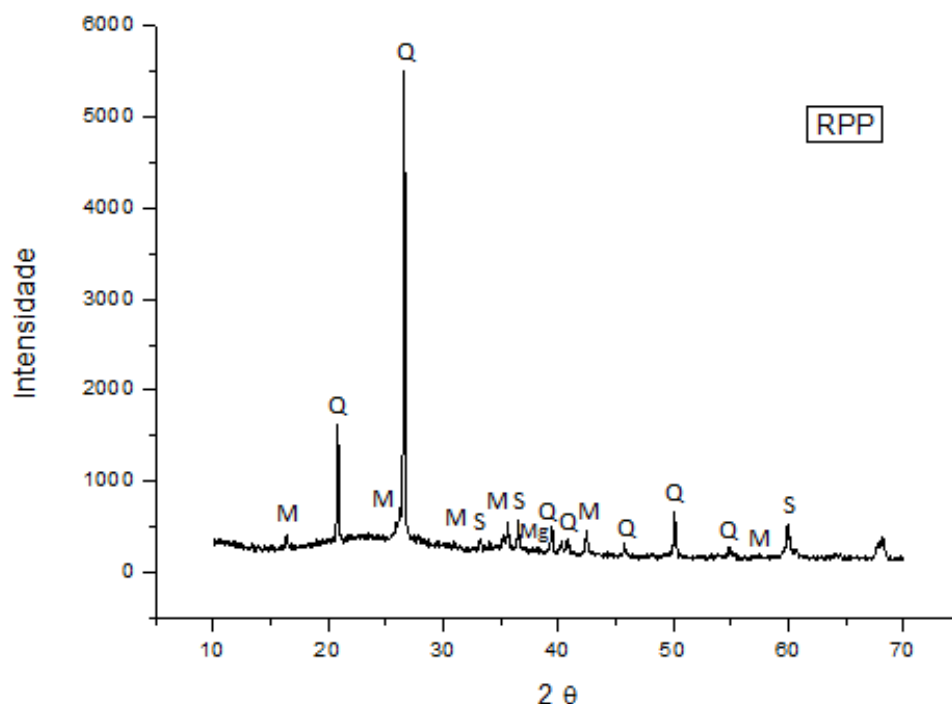


Fonte: Da Autora (2015)

Através da análise do difratograma do cimento foi possível constatar a presença de algumas fases anidras comuns ao cimento Portland. Segundo Nascimento (2014), no pico de maior intensidade a 32° encontrasse a Alita (C_3S), seguida de um pico de menor intensidade a 34° do C_4AF . São encontrados também picos referentes à Belita (C_2S) e ao hidróxido de cálcio ($CH - Ca(OH)_2$) (NASCIMENTO, 2014).

O difratograma do RPP é apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Difratoograma do RPP



Fonte: Da Autora (2015)

O RPP apresenta como fases cristalinas a mulita (17°C, 26°C, 32°C, 36°C, 42°C e 58°C), quartzo (21°C, 27°C, 39°C, 41°C 46°C, 50°C e 55°C), carbeto de silício (34°C e 37°C), e o óxido de magnésio (38°C). A mulita e o quartzo são oriundos da massa porcelânica, enquanto que o carbeto de silício e o óxido de magnésio integram a composição do abrasivo utilizado durante o processo de polimento do porcelanato. Resultados similares foram observados em Souza (2007).

O DRX do RPP indica que ele é essencialmente cristalino, e que tem a presença de matéria amorfo. Os difratogramas indicam que o RPP é um material reativo, devido ao halo amorfo bem alongado e mais acentuado na região entre 20° e 30°. Esse material amorfo foi o que garantiu o 66% de atividade pozolânica, encontrada pelo ensaio realizado conforme a NBR 5752 (2012).

4.1.6 Fluorescência de raio X (FRX)

A análise química da amostra do RPP, foi realizada através do ensaio de fluorescência de raios X, e pode ser visualizado na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise química da amostra do RPP

Elementos	Teores (%)
<i>SiO₂</i>	64,317
<i>Al₂O₃</i>	19,275
<i>MgO</i>	10,318
<i>K₂O</i>	2,804
<i>CaO</i>	1,705
<i>Fe₂O₃</i>	0,940
<i>TiO₂</i>	0,317
<i>SO₃</i>	0,101
<i>MnO</i>	0,099
<i>ZrO₂</i>	0,064
<i>Rb₂O</i>	0,021
<i>SrO</i>	0,019
<i>ZnO</i>	0,014
<i>NbO</i>	0,003
<i>Y₂O₃</i>	0,003

Fonte: Da Autora (2015)

A caracterização por Fluorescência de raios X do RPP, apresenta maior quantidade de *SiO₂*, *Al₂O₃*, e *MgO*, seguido do *K₂O*, *CaO*, e *Fe₂O₃*, como mostrado na Tabela 10.

Como o resíduo utilizado por Marques et. al. (2007), o RPP mostrou-se rico principalmente em sílica, alumina e magnésio. A presença de óxido de magnésio na composição deve-se ao abrasivo utilizado no polimento do porcelanato.

4.2 Determinação do Índice de Atividade Pozolânica

Os índices de atividade pozolânica são definidos pela razão entre a resistência à compressão média dos corpos-de-prova das argamassas contendo o resíduo (argamassa B) e dos corpos de prova da argamassa de referência (argamassa A), sendo o seu valor em porcentagem. Na Tabela 11, são apresentados os resultados das resistências à compressão das argamassas A e B.

Tabela 11 - Resistência à compressão das argamassas (1º ensaio)

Corpo de prova	Argamassa A - sem resíduo (MPa)	Argamassa B - com resíduo (MPa)	Índice de Atividade Pozolânica (%)
1	2,68	1,84	69
2	2,80	1,82	65
3	2,72	1,75	64
Média	2,73	1,80	66

Fonte: Da Autora (2015)

Para as médias das resistências a compressão da Tabela 11, o Índice de Pozolanidade foi 66%. Segundo a NBR 12653 (ABNT, 2012) para ser classificado como material pozolânico, o resíduo deve ter Índice de Atividade Pozolânica maior que 75%. Com isso, pode-se concluir que segundo o ensaio descrito na NBR 5752 (ABNT, 2012), o RPP é um material não pozolânico.

O ensaio da NBR 5752 (ABNT, 2012), foi repetido com o intuito de confirmar o ensaio anterior. As resistências a compressão obtidas no segundo ensaio, se encontram na Tabela 12.

Tabela 12 - Resistência à compressão das argamassas (2º ensaio)

Corpo de prova	Argamassa A - sem resíduo (MPa)	Argamassa B - com resíduo (MPa)	Índice de Atividade Pozolânica (%)
1	2,89	1,76	61
2	3,30	2,12	64
3	2,74	2,03	74
Média	2,97	1,97	66

Fonte: Da Autora (2015)

Para as médias das resistências a compressão da Tabela 12, o Índice de Pozolanidade continuou dando o mesmo valor 66%. Assim, foi confirmado que segundo o ensaio descrito na NBR 5752 (ABNT, 2012), o RPP utilizado nesse trabalho é um material não pozolânico.

Além da relação entre a resistência média das argamassas, a atividade pozolânica pode ser avaliada através da água requerida (a), que é a relação entre a quantidade de água necessária para a obtenção de índices de consistência normal de (225 ± 5) mm, para as argamassas B e A. No 1º ensaio realizado, obteve $a = 117\%$ e no 2º ensaio realizado, obteve $a = 119\%$. Pela NBR 12653 (2012), a água requerida não pode ser superior a 115% às pozolanas de classe N e a 110% às de classe C e E. Nesse caso, foi novamente comprovado que o resíduo utilizado é um material não pozolânico.

Como o RPP é um resíduo não pozolânico, ele não pode ser substituído pelo cimento. Com isso, só se faz necessário realizar o ensaio de resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

4.3 Dosagem

4.3.1 Determinação do Traço Padrão

Foi utilizado o método de Andreasen e Andersen (1930), e com o auxílio do programa computacional Mathcad, para ajustar a curva de melhor empacotamento dos agregados. Inicialmente foi realizado o ensaio de granulometria dos agregados (areia fina, areia grossa e pedrisco), cujos resultados estão na Tabela 13.

Tabela 13 - Granulometria dos agregados

Peneiras (mm)	Pedrisco (%)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)
4,80	44,72	2,12	-
2,40	44,78	7,92	2,06
1,20	4,64	13,64	6,48
0,60	3,10	40,32	23,70
0,30	2,76	24,22	20,80
0,15	-	11,78	46,96
Total (%)	100	100	100

Fonte: Da Autora (2015)

Depois de conhecida a granulometria dos agregados, foi implantada na fórmula do método de Andreasen e Andersen (1930), citada no item 2.1.6.1.1, as granulometrias dos agregados, utilizando o programa computacional Mathcad.

Optou nessa pesquisa, por variar o valor de “n” de 0,35 a 0,40, no método de Andreasen e Andersen (1930). Quando a fórmula foi implantada no Mathcad, foi observado que a junção dos 3 agregados (areia fina, areia grossa e pedrisco), estudados não tinham um bom empacotamento, pois independentemente do valor de “n” inicialmente utilizado, a porcentagem da areia grossa no empacotamento só resultava no valor negativo. Como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultado do Mathcad (empacotamento com os 3 agregados)

	Pedrisco (%)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Total (%)
n = 0,35	43,75	-13,84	65,17	95,08
n = 0,36	44,58	-12,21	62,64	95,01
n = 0,37	45,41	-10,66	60,21	94,96
n = 0,38	46,23	-9,19	57,86	94,90
n = 0,39	47,04	-7,80	55,60	94,84
n = 0,40	47,84	-6,49	53,42	94,77

Fonte: Da Autora (2015)

Por causa disso optou-se por tentar o empacotamento apenas com 2 agregados, foi realizado com areia fina e pedrisco (Tabela 15), e depois areia grossa e pedrisco (Tabela 16), e o Mathcad retornou que o empacotamento da areia fina e pedrisco, tinha uma menor porcentagem de vazios, logo empacotava melhor do que a areia grossa e o pedrisco.

Tabela 15 - Resultado do Mathcad (empacotamento com areia fina e pedrisco)

	Pedrisco (%)	Areia Fina (%)	Total (%)
n = 0,35	41,90	56,29	98,19
n = 0,36	42,95	54,81	97,76
n = 0,37	43,98	53,37	97,35
n = 0,38	45,30	52,30	97,60
n = 0,39	45,99	50,59	96,58
n = 0,40	46,97	49,26	96,23

Fonte: Da Autora (2015)

Tabela 16 - Resultado do Mathcad (empacotamento com areia grossa e pedrisco)

	Pedrisco (%)	Areia Grossa (%)	Total (%)
n = 0,35	38,35	40,61	78,96
n = 0,36	39,39	40,13	79,52
n = 0,37	40,41	39,64	80,05
n = 0,38	41,42	39,15	80,57
n = 0,39	42,42	38,65	81,07
n = 0,40	43,41	38,15	81,56

Fonte: Da Autora (2015)

Definido os agregados e as porcentagens a ser utilizadas, foi realizada a 1ª moldagem dos blocos intertravados de concreto. O intuito dessa moldagem era definir através do peso e do ensaio de resistência à compressão, qual valor de “n”, resultava no melhor empacotamento. Para isso, foi estipulado uma relação cimento:agregado (1:4), uma relação água/cimento (0,3), e as porcentagens de areia fina e pedrisco foram arredondadas, considerando o total do seu empacotamento, apresentado na Tabela 7, como 100%.

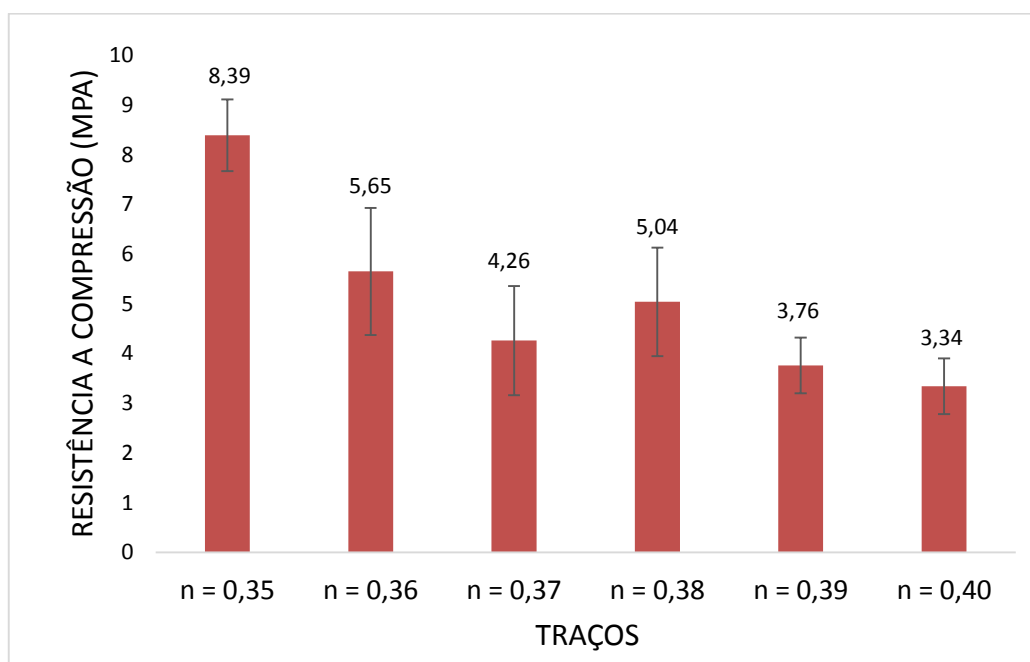
Foram moldados 6 blocos para cada valor de “n” (cada traço). Os resultados médios de peso (g) e resistência à compressão (MPa) aos 7 dias da 1ª moldagem, estão apresentados na Tabela 17 e Figura 24.

Tabela 17 - Resultados da 1ª moldagem

Traços		Peso médio (g)	Resistência à Compressão Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1	n = 0,35	2802,77	8,39	0,72
2	n = 0,36	2865,74	5,65	1,28
3	n = 0,37	2779,25	4,26	1,10
4	n = 0,38	2647,77	5,04	1,09
5	n = 0,39	2756,35	3,76	0,56
6	n = 0,40	2786,62	3,34	0,56

Fonte: Da Autora (2015)

Figura 24 - Resistência à compressão da 1ª moldagem



Fonte: Da Autora (2015)

Os resultados da 1ª moldagem não foram satisfatórios. Como foi a 1ª moldagem acredita-se que deve ter ocorrido por causa da inexperiência na moldagem dos blocos. E com isso, foi determinado o passo a passo de como seria realizada a moldagem a fim de melhorar os resultados dos blocos, esse passo a passo está descrito no item 3.3.3. Também foi observado que os traços 5 (n = 0,39) e 6 (n = 0,40), tiveram as menores resistências a compressão, e também são os traços que tem uma maior quantidade de pedrisco e com isso seu acabamento não fica uniforme, bloco muito rústico (Figura 25) o que não é interessante.

Figura 25 - Bloco com maior quantidade de pedrisco



Fonte: Da Autora (2015)

Foi observado que todos os blocos, independente do traço se apresentaram muito secos. Com isso, optou-se pela exclusão dos traços 5 e 6, e pela repetição dos demais traços, seguindo agora o passo a passo determinado, como também foi decidido aumentar a relação água/cimento para 0,40, com a finalidade de se obter um melhor resultado.

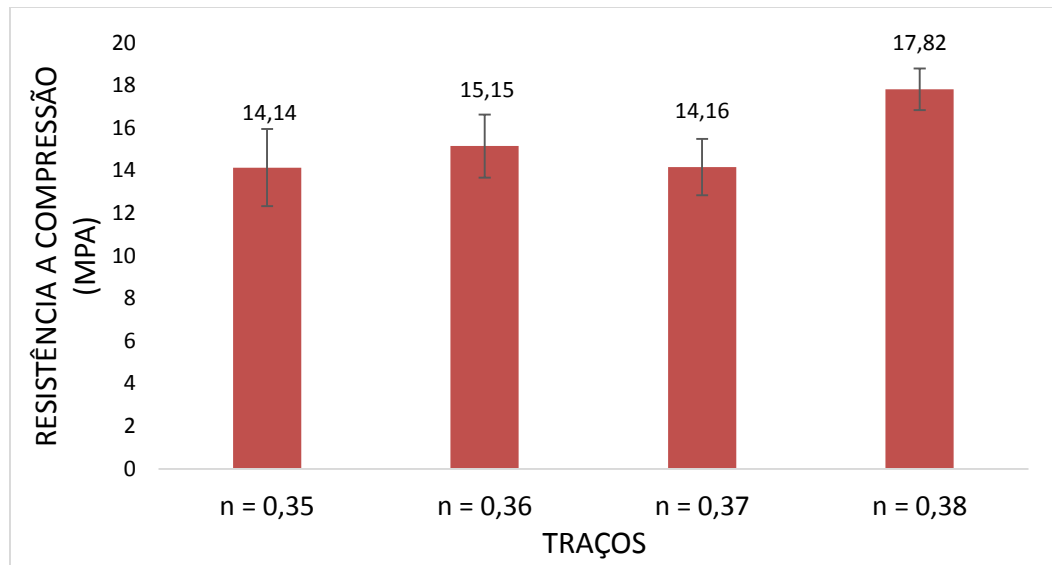
Na 2ª moldagem foram moldados 4 blocos para cada traço, ainda variando “n”, com a mesma relação cimento:agregado (1:4), mas com a relação água/cimento (0,40). Os resultados médios de peso (g) e resistência a compressão (MPa) aos 7 dias da 2ª moldagem, estão apresentados na Tabela 18 e Figura 26.

Tabela 18 - Resultados da 2ª moldagem

Traços		Peso médio (g)	Resistência a Compressão Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1	n = 0,35	2883,10	14,14	1,81
2	n = 0,36	2737,35	15,15	1,48
3	n = 0,37	2732,85	14,16	1,32
4	n = 0,38	2852,37	17,82	0,98

Fonte: Da Autora (2015)

Figura 26 - Resistência à compressão da 2ª moldagem



Fonte: Da Autora (2015)

Os resultados da 2ª moldagem foram melhores comparados, com a 1ª moldagem. E foi observado que o valor de “n” com o melhor empacotamento, o que deu a melhor resistência a compressão (MPa) média foi o Traço 4 ($n = 0,38$). Apesar de ter melhorado a resistência a compressão, para o valor de $n = 0,38$, seu valor ainda não atende o que preconiza a NBR 9781 (ABNT, 2013), que é de 35 MPa, em 28 dias. Com isso, optou-se por alterar a relação cimento:agregado para 1:5, que foi uma relação ideal proposta por Fernandes (2013), para a moldagem de blocos intertravados de concreto.

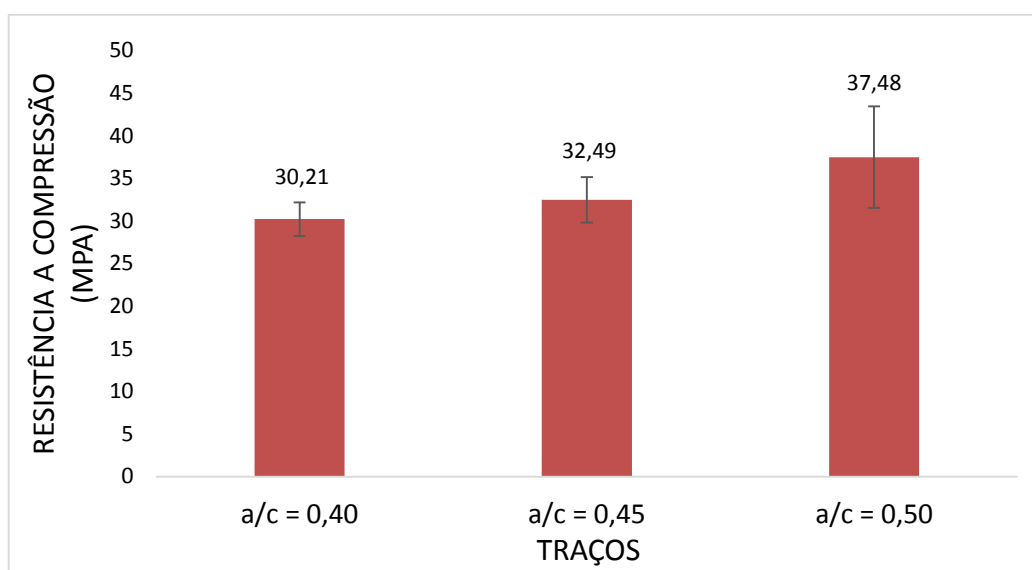
A partir disso, foi realizada a 3ª moldagem, em que foi utilizada a relação dos agregados correspondentes ao valor de $n = 0,38$, a relação cimento:agregado (1:5), e foi variada a relação água/cimento (0,40, 0,45, 0,50), a fim de observar a influência da quantidade de água nos blocos. Na 3ª moldagem foram moldados 4 blocos para cada traço. Os resultados médios de peso (g) e resistência a compressão (MPa) aos 7 dias da 3ª moldagem, estão apresentados na Tabela 19 e Figura 27.

Tabela 19 - Resultados da 3ª moldagem

Traços		Peso médio (g)	Resistência a Compressão Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1	a/c = 0,40	2801,03	30,21	1,96
2	a/c = 0,45	2804,50	32,49	2,67
3	a/c = 0,50	3172,53	37,48	5,95

Fonte: Da Autora (2015)

Figura 27 - Resistência à compressão da 3ª moldagem



Fonte: Da Autora (2015)

Os resultados da 3ª moldagem foram melhores quando comparados, com a 2ª moldagem. E foi observado que com a mudança a relação cimento:agregado, a resistência a compressão (MPa) dos blocos intertravados de concreto melhorou significativamente. Foi analisada também a relação água/cimento, apesar do traço 3 (a/c = 0,50), ter tido uma melhor resistência a compressão (MPa) média, foi escolhido como o melhor traço dessa moldagem o traço 2 (a/c = 0,45), pois o traço 3 (a/c = 0,50) ficou muito úmido (Figura 28) o que dificultou bastante a moldagem dos blocos, causando aderência na parede do molde.

Figura 28 - Bloco muito úmido, traço 3 ($a/c = 0,50$)



Fonte: Da Autora (2015)

A partir dos resultados da 3ª moldagem foi definido o traço padrão que foi utilizado para incorporar o resíduo. A relação cimento:agregado foi de 1:5, a relação água/cimento foi de 0,45, e a relação entre os agregados foi obtida a partir do valor de $n = 0,38$ (areia fina = 53,6%, e pedrisco = 46,4%). Com isso o traço padrão adotado foi:

Cimento : Areia Fina: Pedrisco: Água/Cimento (1: 2,68 : 2,32 : 0,45)

Com os agregados disponíveis na região e uma otimização através de método matemático foi possível moldar um bloco intertravado de concreto que atende à norma brasileira, mesmo utilizando uma máquina de menor porte, em relação à utilizada na fábrica de pré-moldados. Além disso, o empacotamento empregado reduz a utilização de um insumo que seria a Areia Grossa utilizada na empresa, onde se coletou os agregados.

4.3.2 Determinação dos Traços com a Incorporação do Resíduo

O RPP foi empacotado como agregado, através do empacotamento já realizado no Mathcad. O RPP vai funcionar como agregado no empacotamento, pois ele inicialmente não dissolve e nem reage com a água. Nesse caso, o resíduo já iria entrar no empacotamento com a areia fina e o pedrisco, no traço corresponde ao valor de $n = 0,38$ (Tabela 7), complementando o empacotamento. Como mostra a Tabela 20.

Tabela 20 - Resultado do Mathcad (empacotamento com o RPP)

	Pedrisco (%)	Areia Grossa (%)	RPP (%)	Total (%)
n = 0,38	45,30	52,30	2,40	100

Fonte: Da Autora (2015)

Pela Tabela 13, o traço otimizado com o RPP, corresponde a 12% da massa de cimento. Para uma relação cimento:agregado (1:5), e um empacotamento de agregados exposta na Tabela 13, o traço do resíduo empacotado é:

Cimento: Areia Fina: Pedrisco: RPP: Água/Cimento (1: 2,62 : 2,26 : 0,12 : 0,45)

Assim, para moldagem definitiva dos blocos intertravados de concreto com a incorporação do RPP, foi definido que o RPP, seria incorporado no traço como agregado, variando da seguinte forma: 0%, 3%, 6%, 9%, e 12%. Para cada traço foram moldados 12 blocos. Na Tabela 21, é mostrado o detalhamento de cada traço definitivo.

Tabela 21 - Traços em volume, com a incorporação do RPP

Traço	Cimento	Areia Fina	Pedrisco	RPP	a/c
1 (0% RPP)	1	2,68	2,32	-	0,45
2 (3% RPP)	1	2,66	2,31	0,03	0,45
3 (6% RPP)	1	2,64	2,30	0,06	0,45
4 (9% RPP)	1	2,63	2,28	0,09	0,45
5 (12% RPP)	1	2,62	2,26	0,12	0,45

Fonte: Da Autora (2015)

Para a moldagem de 6 blocos (uma batelada), os valores em massa utilizada estão expressos na Tabela 22.

Tabela 22- Traços em massa, com a incorporação do RPP

Traço	Cimento (Kg)	Areia Fina (Kg)	Pedrisco (Kg)	RPP (Kg)	a/c (L)
1 (0% RPP)	2,75	7,37	6,38	-	1,240
2 (3% RPP)	2,75	7,32	6,35	82,5	1,240
3 (6% RPP)	2,75	7,26	6,33	165,0	1,240

4 (9% RPP)	2,75	7,23	6,27	247,50	1,240
5 (12% RPP)	2,75	7,21	6,22	330,0	1,240

Fonte: Da Autora (2015)

Através da Figura 29, são mostrados os blocos intertravados de todos os traços otimizados, após a cura úmida de 28 dias. Como pode ser observado que a medida que aumentava a quantidade de RPP incorporado no bloco, melhorava o acabamento do mesmo.

Figura 29 - Blocos intertravados de concreto com RPP



Fonte: Da Autora (2015)

4.4 Ensaios no Estado Endurecido

4.4.1 Resistência à Compressão

Os resultados médios dos testes de Resistência à Compressão dos blocos intertravados de concreto com e sem incorporação do RPP, nas idades de 7 e 28 dias, podem ser vistos na Tabela 23 e na Figura 30.

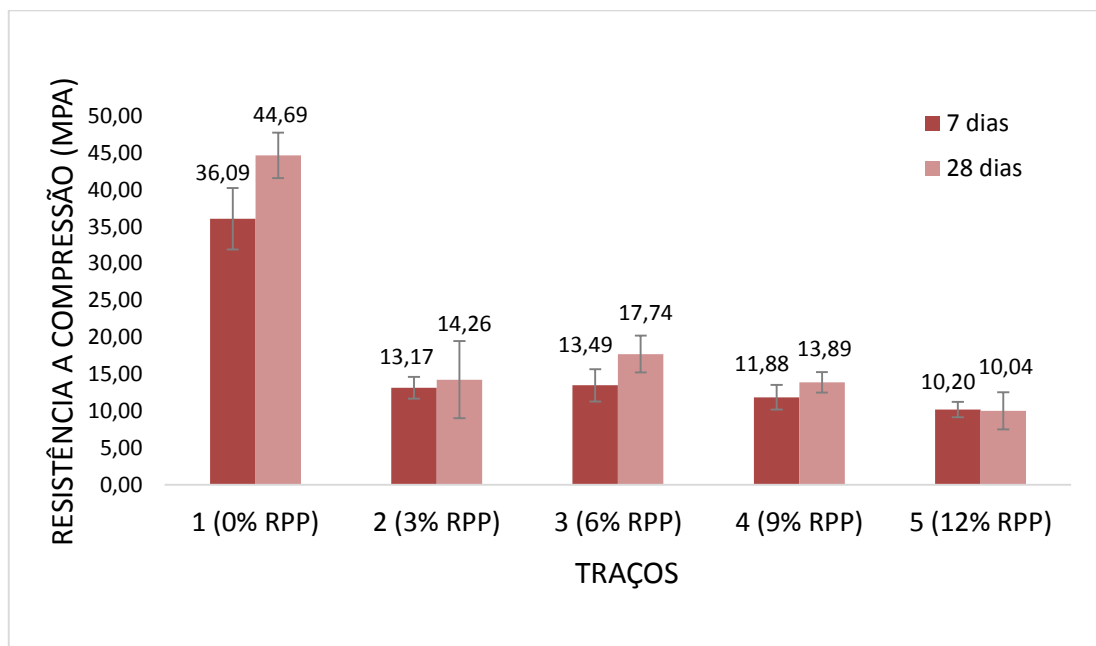
Tabela 23 - Resistência à compressão (MPa) e desvio-padrão amostral aos 7 e 28 dias

	7 dias	7 dias	28 dias	28 dias
Traço	fp (MPa)	s (MPa)	fp (MPa)	s (MPa)
1 (0% RPP)	36,09	4,16	44,69	3,10
2 (3% RPP)	13,17	1,49	14,26	5,24
3 (6% RPP)	13,49	2,18	17,74	2,48

4 (9% RPP)	11,88	1,69	13,89	1,39
5 (12% RPP)	10,20	1,05	10,04	2,53

Fonte: Da Autora (2015)

Figura 30 - Resistência à compressão (MPa) e desvio-padrão amostral aos 7 e 28 dias



Fonte: Da Autora (2015)

De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), de um modo geral os blocos intertravados de concreto não podem apresentar resistência à compressão inferior a 35 MPa, aos 28 dias. Com isso, verifica-se que todos os traços com incorporação do resíduo, não atendem as especificações da Norma. Apenas, o traço padrão (traço 1 – 0% RPP), atinge uma resistência superior a 35 MPa.

Aos 7 dias, a resistência à compressão em relação ao traço padrão (traço 1 – 0% RPP), do traço 2 (3% RPP) reduziu 63,5%, do traço 3 (6% RPP) reduziu 62,6%, do traço 4 (9% RPP) reduziu 67,0%, e do traço 5 (12% RPP) reduziu 72,7%. E aos 28 dias, a resistência a compressão em relação ao traço padrão (traço 1 – 0% RPP), do traço 2 (3% RPP) reduziu 68,1%, do traço 3 (6% RPP) reduziu 60,3%, do traço 4 (9% RPP) reduziu 68,9%, e do traço 5 (12% RPP) reduziu 77,5%. Com isso, observa-se que com a incorporação de RPP no bloco intertravado de concreto, reduziu a resistência a compressão, e com o aumento da incorporação do RPP, a resistência a compressão se manteve praticamente constante.

Os blocos com a incorporação do RPP não atingiram a resistência mínima permitida pela norma, mas a NBR 9781 (ABNT, 2013) especifica uma resistência a compressão mínima

de 35 MPa, para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Por isso, se exige uma resistência de 35 MPa, para suportar as solicitações impostas por veículos comerciais de linhas e veículos leves. Entretanto, pode-se sugerir a utilização de blocos intertravados de concreto com a incorporação de RPP, para tráfego de pedestres, como: passeios públicos, praças, parques infantis, áreas que necessitem de drenagem, entre outros.

Segundo Kanno (2009), independente do processo de conformação, o comportamento dos corpos de prova quanto à resistência mecânica tende a aumentar à medida que há um melhor empacotamento dos grãos (maior densidade). Um dos fatores que influenciam esse comportamento são as ligações intercristalinas que se formam nas superfícies de contato entre partículas, propiciando resistência ao material. Assim, para uma maior densidade, há uma maior quantidade de ligações e, conseqüentemente, maior resistência do material (KANNO, 2009).

Acredita-se que resistência à compressão dos blocos com o RPP diminuiu, porque a granulometria do RPP está muito próxima à granulometria do cimento, o esperado efeito *filler*, que seria um efeito de preenchimento, prejudicou o sistema. O RPP, por esta praticamente na mesma granulometria do cimento pode ter prejudicado a aderência entre as partículas (ligações intercristalinas) de cimento, e principalmente nesse tipo de bloco prensado, onde a resistência à compressão é obtida através da força de união entre as partículas. Além o RPP se encontrar fino, ele apresenta partículas pulverulentas, acredita-se que todo material pulverulento que for incorporado nesse tipo de concreto seco, moldado sob pressão, irá interferir nas ligações intercristalinas, nos contatos das partículas do cimento. Outra hipótese é que alguns componentes do RPP, possa estar dificultando as reações de hidratação do sistema. É possível que o sistema com RPP requeira algum aditivo para facilitar o contato do cimento com a água.

4.4.2 Determinação da Absorção de Água

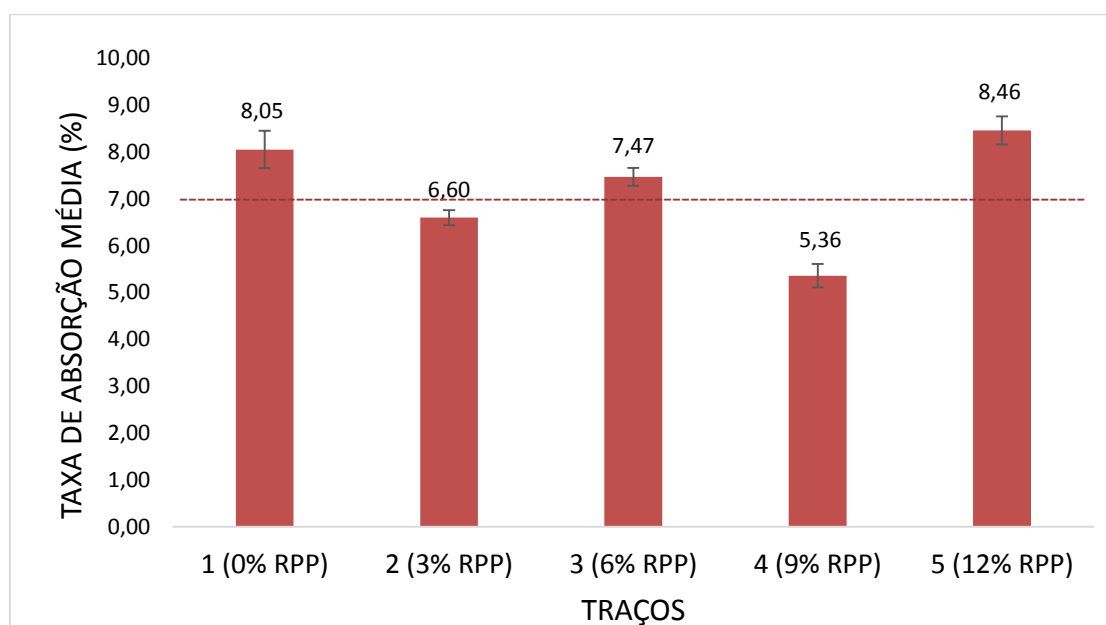
Os resultados médios dos testes de absorção de água dos blocos intertravados de concreto com e sem incorporação do RPP, na idade de 28 dias, podem ser vistos na Tabela 24 e na Figura 31.

Tabela 24 - Taxa de absorção de água (%) e desvio-padrão amostral

Traço	Taxa de Absorção Média (%)	s (%)
1 (0% RPP)	8,05	0,40
2 (3% RPP)	6,60	0,16
3 (6% RPP)	7,47	0,19
4 (9% RPP)	5,36	0,25
5 (12% RPP)	8,46	0,30

Fonte: Da Autora (2015)

Figura 31 - Taxa de absorção média (%) e desvio-padrão amostral



Fonte: Da Autora (2015)

Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013), as peças de concreto devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 %. Com isso, verifica-se que com relação a absorção de água, os traços 1 (0% RPP), 3 (6% RPP) e 5 (12% RPP), absorvem mais água do que o permitido pela Norma.

O resíduo tendeu a redução a absorção até o traço 4 (9% RPP), mas no traço 5 (12% RPP) ele manteve praticamente a mesma absorção do traço 1 (0% RPP). Os blocos com a incorporação do RPP, tendem a trazer a absorção de água para o admitido pela norma. Com isso, nota-se que o RPP, reduziu a absorção de água.

4.4.3 Resistência à Abrasão

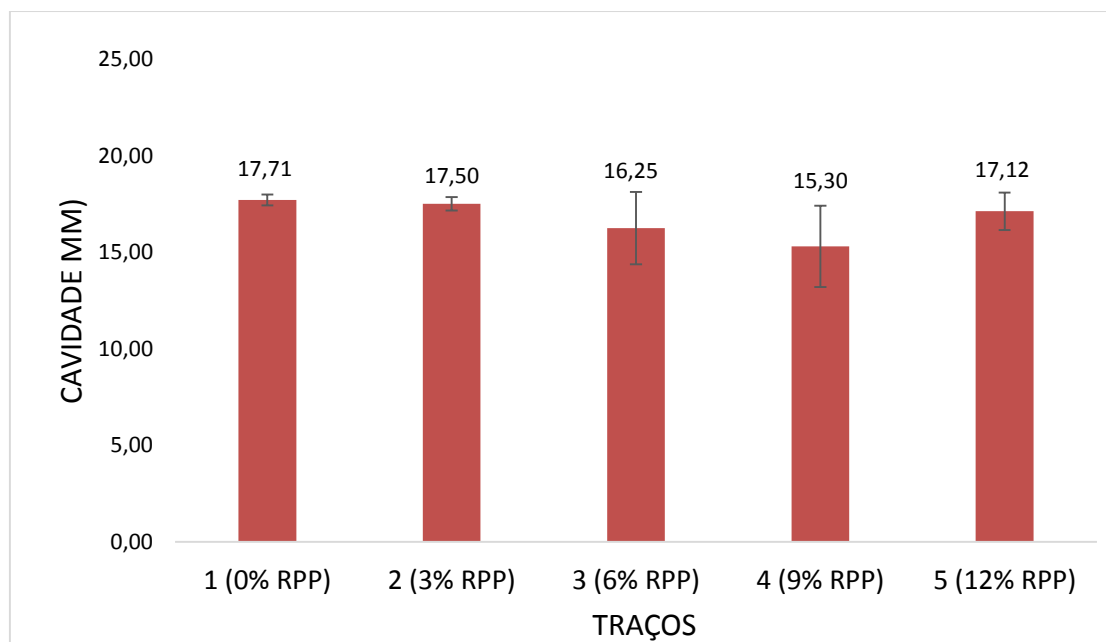
Os resultados médios dos testes de resistência à abrasão (dimensão da cavidade corrigida pelo fator de calibração) dos blocos intertravados de concreto com e sem incorporação do RPP, na idade de 28 dias, podem ser vistos na Tabela 25 e na Figura 32.

Tabela 25 - Cavidade (mm) e desvio-padrão amostral

Traço	Cavidade Média (mm)	s (mm)
1 (0% RPP)	17,71	0,28
2 (3% RPP)	17,50	0,35
3 (6% RPP)	16,25	1,87
4 (9% RPP)	15,30	2,10
5 (12% RPP)	17,12	0,97

Fonte: Da Autora (2015)

Figura 32 - Cavidade (mm) e desvio-padrão amostral



Fonte: Da Autora (2015)

De acordo com a Tabela 7 do item 3.4.3, de um modo geral pela NBR 9781 (ABNT, 2013), os blocos intertravados de concreto não podem apresentar cavidade superior a 20 mm.

Com isso, verifica-se que todos os traços com relação a resistência a abrasão, atendem as especificações da Norma.

A presença do RPP não alterou a resistência à abrasão do sistema. Embora podia se esperar que pela dureza do porcelanato os blocos com o RPP, teriam uma melhor resistência a abrasão. Isso não deve ter ocorrido visto que, as quantidades de RPP incorporado nos blocos intertravados de concreto foram relativamente pequenas.

5 CONCLUSÕES

Foram desenvolvidos blocos intertravados de concreto para pavimentação, com e sem a incorporação do RPP. O estudo do empacotamento realizado pelo método de Andreasen e Andersen (1930), mostrou que houve um aumento da resistência à compressão quando a areia grossa é retirada do sistema, mostrando que esse agregado deve ser retirado para produzir blocos de concreto em conformidade com as especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013). Este resultado é importante uma vez que é uma prática comum utilizar três agregados na indústria de pré-moldados, e realizar um tratamento matemático para ajuste de empacotamento pode produzir blocos de concreto com melhor controle de qualidade.

O resíduo, trabalha como efeito *filler*, e como melhorador das propriedades em sistemas úmidos, como concreto fluido e argamassa, mas isso não foi observado em blocos intertravados de concreto. O resíduo, prejudicou o contato entre partículas de cimento, em concreto seco moldados sob pressão. Embora, os blocos com a incorporação do RPP, obtiveram menor resistência à compressão, quanto maior a incorporação do resíduo melhor foi o acabamento final do bloco. Sendo assim, os blocos intertravados de concreto com a incorporação do RPP se tornam viável, a implantação em locais com tráfego apenas de pedestres, como em: passeios públicos, praças, parques infantis, condomínios, entre outros.

É possível que o uso de aditivo superplastificante, e a melhor relação água/cimento produzam melhores resultados de resistência à compressão dos blocos intertravados de concreto, minimizando os efeitos do RPP sobre a interação do cimento com água.

As seguintes conclusões, respondem a cada um dos objetivos específicos propostos neste trabalho:

- Quanto à caracterização física e química e cristalográfica do resíduo do polimento do porcelanato (RPP) – o resíduo possui massa específica de $3,03 \text{ g/cm}^3$; área superficial, obtida através do ensaio de BET, de $71,28 \text{ m}^2/\text{g}$, que foi superior a do cimento CP V ARI; a granulometria do resíduo determinada pelo ensaio de granulometria a laser, mostrou que o RPP, é um pouco mais fino que o cimento utilizado o CP V ARI; a análise térmica (TG), mostrou que o RPP, perdeu pouca massa quando submetida a temperatura de 1000°C , perdendo apenas 7,12 % de sua massa total; através da análise do difratograma o RPP apresenta como fases cristalinas a mulita, quartzo, carbetto de silício e o óxido de magnésio, a mulita e o quartzo são oriundos da massa porcelânica, enquanto que o carbetto de silício e o óxido de magnésio integram a composição do abrasivo utilizado durante o processo

de polimento do porcelanato; pela caracterização por Fluorescência de raio X, o RPP apresentou maior quantidade de SiO_2 , Al_2O_3 , e MgO , seguido do K_2O , CaO , e Fe_2O_3 , como esperado o RPP mostrou-se rico principalmente em sílica, alumina e magnésio.

- Quanto à otimização do traço em função do empacotamento matemático, e fator água/cimento – o traço foi otimizado através do método de Andreasen e Andersen (1930), e variada a relação água/cimento, até ser encontrado um traço padrão que atendesse as especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013), mesmo com a máquina de pequeno porte. Inclusive a norma faz uma exigência mínima de resistência a compressão de 35 MPa aos 28 dias, e o traço padrão utilizado supera essa resistência mínima em 7 dias, tendo o valor médio de 36,09 MPa.
- Quanto à avaliação de como a incorporação do resíduo do polimento do porcelanato (RPP), influência nas propriedades do estado endurecido dos blocos intertravados de concreto - os blocos com a incorporação do RPP apresentam menor capacidade de absorção de água, mantiveram a resistência a abrasão, já a resistência à compressão dos blocos com a incorporação do RPP em relação ao traço padrão não foi satisfatória. Mas, caso a finalidade da implantação não exija uma boa resistência e exija um melhor acabamento, os blocos com a incorporação do RPP, podem ser implantados em atividades onde não tem fluxo de carro.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomendam-se para trabalhos futuros:

- Analisar a influência de blocos intertravados de concreto, com a incorporação do RPP em granulometria maiores, sem passar na peneira 200, com o intuito do resíduo não ficar numa granulometria tão próxima a do cimento;
- Estudar os blocos intertravados de concreto, com a incorporação do RPP em várias granulometrias, com a incorporação de aditivo superplastificante, e com a variação da relação água/cimento à medida que aumenta a quantidade de resíduo incorporado, afim de melhorar as propriedades;
- Avaliar a resistência à compressão para o bloco padrão, variando a relação água/cimento no intervalo de 0,45 a 0,50, a fim de encontrar o ponto ótimo da água no empacotamento;
- Desenvolver blocos intertravados de concreto com a incorporação de outro resíduo (que não seja pulverulento), no traço padrão encontrado;
- Estudar a microestrutura dos blocos intertravados de concreto no sistema endurecido com e sem a incorporação do RPP, através do ensaio microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Estudar o RPP, em termos de relações superficiais, ou seja, potencial zeta, para saber a afinidade do resíduo com a água.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, P. S. X. **Blocos intertravados coloridos para pavimentação com incorporação de resíduos de cerâmica vermelha em prol da redução de pigmentos**. 2015. 179p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), UFPE, Caruaru.
- ALMEIDA, M. S. **Desenvolvimento de blocos de concreto para alvenaria estrutural produzido com resíduo de polimento de porcelanato**. 2012. 63p. Trabalho de conclusão de curso (graduação). Engenharia Civil, UFPE, Caruaru.
- AMARAL, M. B.; LIMA, G. S.; GHISLENI, G.; PUFAL, L.; POZZOBON, C. E.; DONATO, L. **Estudo para utilização de areia de fundição em blocos de pavimentos intertravados**. Unijuí, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751** Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica – Índice de atividade pozolânica com cal – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752** Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com Cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215** Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776** Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781** Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653** Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818** Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BERNARDIN, A. M.; FELISBERTO, D. S.; DAROS, M. T.; RIELLA, H. G. **Reaproveitamento de resíduos de polimento e de esmaltação para obtenção de cerâmica celular**. Cerâmica Industrial, v. 11, p. 31-34, 2006.

BERNARDIN, A. M.; SILVA, M. J.; CARVALHO, E. F. U.; RIELLA, H. G. **Cerâmicas celulares obtidas a partir de resíduos de polimento**. Cerâmica Industrial, v. 12, p. 31-35, 2007.

BITTENCOURT, E. L.; BENINCÁ, E. **Aspectos superficiais do produto grês polido**. Cerâmica Industrial, v. 7, p. 40-46, 2002.

BITTENCOURT, B. A. **Moldagem para compressão a frio do polietileno de ultra alto peso molecular**. 2008. 108p. Dissertação (mestrado). Centro de Ciências e Tecnologia, UFCG, Campina Grande.

BOAJIAN, Z.; CHISUN, P.; CAIJIN, S. **CO₂ curing for improving the properties of concrete blocks containing recycled aggregates**. Cement & Concrete Composites, v. 42, p. 1-8, 2013.

BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 499p. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. Cerâmica, v. 55, p. 18-32, 2009.

CAVALCANTI, E. C. M.; AMORIM, R. P. F.; JUNIOR, S. A. **Pavimentação intertravada: utilização de resíduo de construção e demolição para fabricação e assentamento de pavers**. UNIVAP, 2011.

CHIDIAC, S. E.; MIHALJEVIC, S. N. **Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates**. Cement & Concrete Composites, v. 33, p. 855-863, 2011.

COTA, F. H. **Efeito da incorporação de resíduos vítreos nas propriedades físico-mecânicas de compósitos cimentícios**. 2013. 90f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSJ, São João Del Rei.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 2003. 281 p. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria.

FARINHA, A. M. P.; SOUZA, F. C. **Pavimento intertravado de concreto com adição de resíduos de óxido alumínio – sínter**. 2011. 54p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba.

FERNANDES, I. **Blocos e pavers produção e controle de qualidade**. São Paulo, 2013.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus**. Ambiente Construído, v. 7, p. 43-54, Porto Alegre, 2007.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 13006** Ceramic tiles – Definitions classification, characteristics and marking. Genève, 1998.

JACOBY, P. C.; PELISSER, F. **Pozzolanic effect of porcelain polishing residue in Portland Cement**. Journal of Cleaner Production, v. 100, p. 84-88, 2015.

KANNO, W. M., **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. 2009. 130p. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, IFSC/USP, São Carlos.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. **Utilização de resíduos do desdobro de toras de pinus spp, sílica ativa e cinza de casca de arroz em compósito cimento-madeira**. Scientia Forestalis, v. 38, n. 87, p. 459-469, 2010.

LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A. **Estudo das características químicas e físicas da cinza da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios**. Acta Scientiarum, v. 32, n. 4, p. 383-389, 2010.

LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L. A. G.; SEYDELL, M. R. R.; JACINTHO, A. E. P. G. A. **Avaliação do comportamento de concreto contendo borracha de pneus inservíveis para utilização em pisos intertravados**. Engenharia Civil (UM), n. 37, p. 17-26, 2010.

LYRA, M. **Blocos intertravados de concreto com resíduos de copolímero de etileno - acetato de vinila – EVA – para pavimentação de calçadas e passeios públicos**. 2007. 118p. Dissertação (mestrado). Programa em Pós-graduação em Engenharia Urbana, UFPB, João Pessoa.

MARCHIONI, M. L. **Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. 2012. 111p. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia de Construção Civil, EPUSP, São Paulo.

MARQUES, L. N.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L.; LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. **Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanto para utilização em massa cerâmica**. REMAP, v. 2.2, p. 34-42, 2007.

MATTIAS, L. W. A.; CAVALCANTE, J. P. **Blocos de pavimentação urbana provenientes de resíduo da construção civil**. CONTECC, Fortaleza, 2015.

MEHTA, P. K. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, 1994

MENDES, R.; ZANOTTI, R. A. R.; MENEZES, J. C. S. S. **Produção de solo-cimento (tijolo ecológico) utilizando resíduo do polimento de grés de porcelanato como fonte de sílica.** IMED, v. 1(1), p. 50-55, 2014.

MONTINI, M. **Aplicações de resíduo de bauxita e cinza pesada da indústria do alumínio na fabricação de Cimento Portland.** 2009. 132p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFSCar, São Carlos.

MOTA, M. H. A. **Concreto seco com incorporação de cinzas de madeira de algaroba (prosopis juliflora) moldado sobre pressão.** 2014, 122p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), UFPE, Caruaru.

NASCIMENTO, J. E. M. F., **Avaliação dos efeitos da substituição da cal hidratada por cinzas de algaroba em argamassas de revestimento.** 2014, 99p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), UFPE, Caruaru.

NETTO, R. M. **Materiais pozolânicos.** 2006. 148p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Curso de Especialização em Construção Civil, UFMG, Belo Horizonte.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação.** 2004, 272p. Tese (doutorado). Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PANZERA, T. H.; STRECKER, K.; MIRANDA, J. S.; PAIVA, F. C.; BORGES, P. H. R. **Compósito cimentício reforçado com fibras de carbono para recuperação de monumentos históricos.** Cerâmica, v. 56, p. 405-410, 2010.

PIOVESAN, A. Z.; GEMELLI, C.; SILVA, M. L.; MASUERO, A. B. **Utilização da areia de fundição para fabricação de blocos de concreto para pavimentação.** ENTAC, Fortaleza, 2008.

POON, C. S.; CHAN, D. **Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick.** Construction and Building Materials, v. 20, p. 569-577, 2006.

PURIFICAÇÃO, E. B. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto.** 2009. 103p. Dissertação (mestrado). Programa Pós-graduação em Construção Civil, UFMG, Belo Horizonte.

ROSSO, J.; CUNHA, E. S.; RAMÍREZ, R. A. R. **Características técnicas e polimento de porcellanatos.** Cerâmica Industrial, v. 10 (4), p. 11-14, 2005.

SANTOS, A. V.; BORJA, E. V. **Avaliação das propriedades mecânicas de blocos intertravados com resíduo de pneu reciclado.** Holos, ano 23, v. 3, p. 52-60, 2007.

SANTOS, T. R. **Avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais de pastas de cimento portland formuladas com aditivos minerais quando submetidas a altas temperaturas e pressão em poços de petróleo.** 2013. 147p. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo (PPGCEP), UFRN, Natal.

SILVA, G. J. B. **Estudo do comportamento do concreto de cimento portlan produzido com a adição do resíduo de polimento do porcelanato**. 2005. 107p. Dissertação (mestrado). Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, Belo Horizonte.

SILVA, M. G. **Avaliação da incorporação combinada dos resíduos de cascalho de perfuração de poço petrolífero e de polimento do porcelanato em cerâmica vermelha**. 2012. 147p. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, Natal.

SIMIELI, D.; MIZUMOTO, C.; SEGANTINI, A. A. S.; SALLES, F. M. **Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados**. EXACTA, v. 5, n. 2, p. 231-241, 2007.

SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. **Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase ii: Concrete paving blocks**. Construction and Building Materials, v. 25, p. 3131-3143, 2011.

SOUZA, C. H. B. **Desenvolvimento de argamassa de revestimento com adição do resíduo do polimento de porcelanato**. 2013. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Engenharia Civil, UFPE, Caruaru.

SOUZA, P. A. B. F. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. 230f. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, Natal.

STEINER, L. R. **Efeito do Rejeito de polimento do porcelanato na fabricação de blocos de concreto de Cimento Portland**. 2011. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Engenharia Civil, UNESC, Criciúma.

STEINER, L. R. **Efeito do resíduo do polimento de porcelanato como material cimentício suplementar**. 2014. 126p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), UNESC, Criciúma.

SUGAMOSTO, J. **Comparativo entre concretos produzidos com sílica ativa em pó e sílica ativa em forma de lama**. 2007. 43p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Tecnologia em Construção Civil, UTFPR, Curitiba.

UYGUNOGLU, T.; TOPCU, I. B.; GENCEL, O.; BROSTOW, W. **The effect of fly ash content and types of aggregates on the properties of pre-fabricated concrete interlocking blocks (pcibs)**. Construction and Building Materials, v. 30, p. 180-187, 2012.

VANDERLEI, R. D. **Análise experimental do concreto de pós reativos: Dosagem e propriedades mecânicas**. 2004. 168p. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos.