

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

SIDNEI REZENDE QUEIROZ

**CONFECÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE
PORCELANATO**

VOLTA REDONDA

2021

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**CONFECÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE
RESÍDUOS DE PORCELANATO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Roberto Oliveira Magnago, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais, linha de pesquisa em materiais compósitos e reciclados.

Aluno: Sidnei Rezende Queiroz

Orientador: Prof. Dr. Roberto Oliveira

Magnago

VOLTA REDONDA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

Q3c Queiroz, Sidnei Rezende
Confecção de concreto com adição de resíduos de porcelanato. /

Sidnei Rezende Queiroz. - Volta Redonda: UniFOA, 2021. 73 p. II

Orientador (a): Prof. Roberto Oliveira Magnago

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em
Materiais, 2021

1. Materiais - dissertação. 2. Compósitos. 3. Porcelanato. 4. Concreto. I. Magnago, Roberto Oliveira. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



SIDNEI REZENDE QUEIROZ

Confecção de concreto com adição de resíduos de porcelanato.

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
“MESTRE EM MATERIAIS”**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Presidente / UniFOA

Prof.ª Dr.ª Renata Martins Parreira
Examinador interno / UniFOA

WESLEY LUIZ DA SILVA ASSIS
wesleyassis@id.uff.br:0536946272
0

Assinado de forma digital por WESLEY LUIZ
DA SILVA ASSIS
wesleyassis@id.uff.br:05369462720
Dados: 2022.06.07 10:15:25 -03'00'

Prof. Dr. Wesley Luiz da Silva Assis
Examinador externo / UFF

Dezembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação aos meus filhos Bryan Queiroz, Enya Queiroz, Murilo Queiroz e Benício Queiroz .

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a Deus, à minha Mãe Celisa Maria, ao meu Padrasto Estevão Sena e ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Oliveira Magnago.

RESUMO

Em busca do desenvolvimento sustentável, a reutilização de resíduos recicláveis originados de obras, indústrias e domicílios brasileiros vem sendo estudada, com o objetivo de minimizar o uso de materiais não renováveis na construção civil, utilizados tradicionalmente. Uma alternativa possivelmente eficiente para a redução da extração de agregados naturais é a substituição de agregados miúdos por resíduos de porcelanato, o que também seria importante para reduzir seu volume disposto no meio ambiente. Diante disso, o presente trabalho buscou o desenvolvimento de uma nova composição de concreto com adição de resíduos de porcelanato em substituição ao agregado miúdo e avaliação de seu possível uso na construção civil, destacando o reaproveitamento de resíduos da construção civil e o respeito às questões ambientais. Foram produzidos corpos de prova cilíndricos com adição de porcelanato em substituição ao agregado miúdo em teores de 0%, 10%, 20% e 30% para analisar as conformidades da propriedade mecânica no concreto, através de teste de resistência à compressão axial, segundo a NBR12118, em período de 7, 14, 21 e 28 dias. Além disso, a capacidade do concreto fresco foi analisada a partir de *slump test*, atendendo a NBR 7233. Por fim, ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios x (DRX) foram realizados para identificação e quantificação das fases presentes. Verificou-se que a adição de porcelanato diminui gradativamente a resistência à compressão do concreto e que o aumento do tempo de cura, gera um aumento na resistência. Os ensaios em MEV mostraram que a parte mais clara representa o cimento anidro, o hidróxido de cálcio possui coloração cinza claro e os vazios possuem coloração preta. Os ensaios em DRX foram avaliados e foi possível concluir que foi possível ser feita uma confecção de uma nova composição de concreto com adição de resíduos de porcelanato em substituição ao agregado miúdo, foi dentro do padrão e do limite aceitável.

Palavras-chave: Compósitos, Cerâmica, Porcelanato, Agregado, Concreto, Sustentável.

ABSTRACT

In order to reduce the use of nonrenewable materials traditionally used in civil construction for a sustainable development, the reuse of recyclable waste originated from Brazilian construction sites, industries and residences has been studied. A possible efficient alternative for the reduction of the extraction of natural aggregates, is the replacement of small aggregates with ceramic residues, which would also be important to reduce the volume of those aggregates disposed in the environment. As a result, the present work sought the development of a new concrete composition with the addition of ceramic residues in substitution to small aggregate and the evaluation of its possible use in civil construction, highlighting the reutilization of construction waste and the respect for environmental issues. The test specimens used had the addition of porcelain in substitution of small aggregates at the percentage of 0%, 10%, 20% and 30%. The specimens were prepared in order to test the mechanical properties of the concrete through an axial compression resistance test, following NBR12118 in a period of 7, 14, 21 and 28 days. In addition to the experiment, the capacity of fresh concrete was tested with "Slump Test", according NBR7233. Finally, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) tests were performed for identification and quantification of the present phases. It has been found that the addition of ceramic gradually decreases the compressive strength of the concrete and that, increasing curing time, generates an increase in strength. The SEM tests showed that the lighter part represents the anhydrous cement, the calcium hydroxide is represented in light gray and the empty spaces are represented in black. XRD tests were evaluated, and it was possible to conclude that is possible to make a new concrete composition with the addition of porcelain waste to replace the fine aggregate, it was within the standard and acceptable limit.

Keywords: Composites, Ceramic, Porcelain, Aggregate, Concrete, Sustainable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Micrografia dos constituintes do revestimento cerâmico esmaltado (CARVALHO, 2013)	25
Figura 2. Microestrutura do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994)	32
Figura 3. Microestrutura do cimento hidratado (MORAVILEE-REGOURD, 1992)	34
Figura 4. Resultados da resistência mecânica obtida para os traços analisados por WADA (2010)	43
Figura 5. Resultados do modulo de elasticidade para os traços analisados por WADA (2010)	43
Figura 6. Resultados dos ensaios mecânicos obtidos pelos autores: 9ª) Tensão de tração; e (b) Tensão de compressão (PAIXÃO et al., 2011)	44
Figura 7. Cimento de Portland CPIII utilizado como material no presente estudo (SILVA, 2017)	48
Figura 8. Areia media utilizada como material no presente trabalho (SILVA,2017).....	48
Figura 9. Cascos de porcelanato utilizados no presente trabalho (Fonte: autoria própria).....	49
Figura 10. (a) Betoneira antes da inserção dos materiais; (b) Betoneira em movimento, já com os materiais adicionados (Fonte: Autoria própria)	50
Figura 11. Cone de Abrans para <i>Slump Test</i> (SILVA, 2017)	51
Figura 12. Imagem da medição do <i>Slump Test</i> (Fonte: Autoria própria)	51
Figura 13. Prensa hidráulica EMIC (Fonte: Autoria própria)	52
Figura 14. Corpo de prova após o ensaio de compressão (Fonte: Autoria própria)	54
Figura 15. Difratômetro: (a) câmara que contém o tubo de raio-X; (b) Colimador para estreitar o feixe; (c) amostra; (d) detector de radiação; (e) indicador do ângulo do detector; (f) indicador do ângulo da amostra (QUEIROZ; KUROSAWA; BARRETO, 2018)	55
Figura 16. Resultados da resistência à compressão do concreto de referência, sem adição de porcelanato (Fonte: Autoria própria)	56
Figura 17. Resultados de resistência à compressão do concreto com adição de 10% de porcelanato (Fonte: Autoria própria)	56

Figura 18. Resultados de resistência à compressão do concreto com adição de 20% de porcelanato (Fonte: Autoria própria)	57
Figura 19. Resultado de resistência à compressão do concreto com adição de 30% de porcelanato (Fonte: Autoria própria)	57
Figura 20. Comparação dos resultados de resistência à compressão dos traços analisados, para 7 dias de cura (Fonte: Autoria própria)	58
Figura 21. Resultados à compressão das amostras para 14 dias de cura (Fonte: Autoria própria)	58
Figura 22. Resultados à compressão das amostras para 21 dias de cura (Fonte: Autoria própria)	58
Figura 23: Resultados à compressão das amostras para 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria)	59
Figura 24. Micrografia obtida com 10% de porcelanato (Fonte: autoria própria).....	59
Figura 25. Micrografia obtida com aumento de 200X para amostra com 10% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria)	60
Figura 26. Micrografia obtida com aumento de 500X para amostra com 10% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	60
Figura 27. Micrografia obtida com aumento de 2000X para amostra com 10% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	61
Figura 28. Micrografia obtida com aumento de 200X para amostra com 20% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	61
Figura 29. Micrografia obtida com aumento de 500X para amostra com 20% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	62
Figura 30. Micrografia obtida com aumento de 2000X para amostra com 20% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	62
Figura 31. Micrografia obtida com aumento de 200X para amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	63
Figura 32. Micrografia obtida com aumento de 500X para amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	63
Figura 33. Micrografia obtida com aumento de 2000X para amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: autoria própria)	64
Figura 34. Micrografia da superfície de fratura total da amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura, com o aumento 25X (Fonte: Autoria própria)	

.....	64
Figura 35. Resultado da Difração de DRX com adição de 20% de porcelanato	
(Fonte: autoria própria)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de revestimentos de acordo classificação por absorção de água e resistência mecânica, segundo a Norma © 13006/1998 e ABNT NBR13818/1997 (CARVALHO, 2013)	25
Tabela 2. Tipos de concreto (ABESC, 2007)	31
Tabela 3. Composição dos cimentos Portland (ABNT, 2009)	37
Tabela 4. Materiais e respectivas quantidades para cada traço de concreto.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
µm	Micrômetro – Unidade de Medida de Comprimento
a.C.	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
cm	Centímetro – Unidade de Medida de Comprimento CP I Cimento Portland Comum
CP II	Cimento Portland Composto
CP III	Cimento Portland de Alto-forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V – ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
DRX	Difração de Raios X
©	<i>International Organization of Standardization</i>
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico – Unidade de Medida de Massa Específica
kgf	Quilograma Força – Unidade de Medida de Força
L	Litro – Unidade de Medida de Capacidade
m ²	Metro Quadrado – Unidade de Medida de Área
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Raio-X	Exame propriamente dita, radiografia.
Raios X	Radiação ionizante capaz de gerar a imagem.

Mm	Milímetro – Unidade de Medida de Comprimento
Mpa	Mega Pascal – Unidade de Medida de Pressão
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
PEI	<i>Porcelain Enamel Institute</i>
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RCV	Resíduos de Cerâmica Vermelha
UniFOA	Centro Universitário de Volta Redonda – Fundação Oswaldo Aranha

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS	19
3. JUSTIFICATIVA	20
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1. Cerâmica.....	21
4.1.1. Histórico	21
4.1.2. Indústria Cerâmica de Revestimento.....	22
4.1.2.1. Classificação das Cerâmicas.....	23
4.1.2.2. Processo produtivo.....	26
4.1.2.2.1. Processo de fabricação do porcelanato	29
4.2. Concreto	30
4.2.1. Estrutura do concreto	32
4.3. Cimento Portland	35
4.4. Agregados.....	36
4.5. Adições em Concreto	39
4.6. Revisão da Literatura.....	40
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
5.1. Materiais utilizados	47
5.1.1. Cimento Portland CPIII.....	47
5.1.2. Areia Média	48
5.1.3. Brita 1	49
5.1.4. Porcelanato	49
5.2. Traços de concreto analisados	49
5.3. Preparação dos corpos de prova.....	50

5.3.1.	Slump Test	50
5.3.2.	Moldagem dos CPs.....	52
5.4.	Ensaio de Compressão Axial	52
5.5.	Análise microscópica em MEV.....	53
5.6.	Difração de Raios X (XRD).....	54
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6.1.	Testes de compressão axial	55
6.2.	Análise microscópica	60
6.3.	Difração de raios X.....	66
7.	CONCLUSÕES.....	67
8.	TRABALHOS FUTUROS.....	68
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

As estratégias corporativistas de acumulação de capital e a perspectiva de desenvolvimento sustentável nos leva a uma discussão de cunho histórico. São também, uma questão que demonstra que o modelo de desenvolvimento que vem acompanhando a sociedade ao longo das últimas décadas se mostra inviável, quando baseado na extração de recursos ecológicos primários que não se renovam, de forma exploratória. A sociedade tem repensado sobre o fato da futura ausência destes recursos, o que leva a uma desejável mudança no modelo de desenvolvimento atual, conciliando crescimento econômico e preservação ambiental de alguma forma (CARVALHO, 2013).

O descarte descontrolado de resíduos provenientes do processo produtivo de bens duráveis e não duráveis gera muito entulho e leva ao desperdício de matéria-prima, que poderia ser reciclada ou reutilizada, além de ocupar grandes áreas e torná-las ociosas. Ademais, estes resíduos podem gerar danos à atmosfera, solo, lençóis freáticos e rios em seu destino. Tal fato é muito preocupante devido à grande poluição e ao desgaste do meio ambiente (PAIXÃO et al., 2011).

Em busca do desenvolvimento sustentável, a reutilização de resíduos recicláveis originados de obras, indústrias e domicílios brasileiros vem sendo estudada, na intenção de reduzir a utilização de materiais não renováveis tradicionalmente utilizados na construção civil, tais como areia, brita e cimento. Essa prática é positiva para a manutenção do meio ambiente e proporciona benefícios para a população (SILVA, 2017). Por isso, muitos trabalhos têm focado na obtenção de agregados alternativos, vindo de resíduos.

Uma das possíveis alternativas é a substituição de agregados miúdos por resíduos cerâmicos, que pode ser uma opção eficiente para minimizar a quantidade disposta no meio ambiente e tentar minimizar a extração de agregados naturais. O Brasil produziu em torno de 795 milhões de m² de cerâmica de revestimento em 2018, segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER, 2019) e o volume dos resíduos cerâmicos descartados representa 3% de toda essa produção.

Os pisos cerâmicos, os porcelanatos e os azulejos se destacam entre os resíduos cerâmicos, sendo que os pisos cerâmicos e os porcelanatos apresentam alta resistência mecânica e baixa absorção de água, consideradas características técnicas excelentes e, por outro lado, os azulejos apresentam características técnicas inferiores, todavia, possuem ótima estabilidade dimensional (PAIXÃO et al., 2011).

Em face da constatação e consciência cada vez maior da limitação dos recursos naturais, somado à necessidade da incorporação do discurso ambiental em suas estratégias de atuação no mercado, as empresas vêm buscando a reutilização dos seus próprios resíduos. Os benefícios técnicos, econômicos e ambientais que esses materiais podem promover, levou à criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, provocando um aumento na atenção no que diz respeito à reutilização de resíduos nos últimos anos (CARVALHO, 2013).

Com base no que foi citado, o presente trabalho tem por finalidade o estudo da viabilidade do uso de resíduos de porcelanato provenientes de obras, substituindo o agregado miúdo em concreto com finalidade estrutural. Foram avaliadas as alterações nas propriedades físicas do concreto endurecido, a partir de ensaios com um sistema construtivo pré-fabricado modular com corpos de prova cilíndricos e análises de microestrutura em microscópio eletrônico de varredura (MEV) e difração de raios x (DRX).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi produzir uma nova composição de concreto com adição de resíduos de porcelanato em substituição ao agregado miúdo, e avaliar seu possível uso na construção civil, destacando assim o reaproveitamento desses resíduos em busca do desenvolvimento sustentável.

Como objetivos específicos foram avaliadas as alterações nas propriedades físicas do concreto endurecido, sendo elas; a resistência mecânica à compressão e análise de microestruturas. Tal avaliações foram feitas com ensaios mecânicos e análises de **microestrutura**.

3. JUSTIFICATIVA

A elaboração deste sistema permite viabilizar edificações ecologicamente corretas, uma vez que as vigas de concreto podem ser produzidas minimizando a utilização de recursos naturais. Outrossim, trata-se de um material novo, que destaca o reaproveitamento de resíduos da construção civil, tentando manter as propriedades mecânicas exigidas pelos parâmetros da Engenharia Civil, resultando em redução considerável do custo final da obra.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Cerâmica

4.1.1. Histórico

Arqueólogos mostraram em seus estudos que o surgimento de utensílios cerâmicos se deu a partir do período pré-neolítico e de materiais para construção por volta de 5.000 a 6.000 a.C., quando os povos primitivos descobriram que ao secar o barro sob o sol, ele endurecia, ganhando resistência. Por este fato, conclui-se que a cerâmica é o material mais antigo produzidos pelo homem, fazem parte de diferentes grupos étnicos e refletem a cultura dos povos. (ANFACER, 2019).

Segundo estudos de AMBONI (1997), a indústria cerâmica teve início quando o homem aprendeu a utilizar fogo para endurecer o barro. Segundo arqueólogos, os primeiros tijolos queimados utilizados em revestimentos externos, são de 3000 a.C., apesar da técnica ter sido desenvolvida séculos antes. Alguns exemplares destes tijolos foram encontrados na antiga região da Babilônia e alguns século depois, identificou-se a utilização do barro cozido na confecção de telhados pelos romanos.

A atividade se aprimorou e a partir do século I a.C. a evolução na qualidade dos cerâmicos resulta em melhora no estético e monetário das peças. Assim, a cerâmica substituiu a pedra, a madeira e até mesmo o uso de frutos ou a casca de certas cucurbitáceas na fabricação de utensílios. Na área da construção, a cerâmica com características específicas para a indústria só surgiu em grandes centros comerciais, passando por intenso desenvolvimento após a Revolução Industrial (AMBONI, 1997).

Muitos acreditam que os portugueses trouxeram o costume da cerâmica chegou ao Brasil. Porém, a cerâmica foi oriunda na ilha de Marajó, com a avançada cultura indígena proveniente do local, capaz de produzir peças altamente elaboradas. Entretanto, alguns estudos exibem a presença de uma cerâmica mais simples, que pode ser oriunda da região amazônica há cinco mil anos (AMBONI, 1997).

Com a chegada dos portugueses, os índios aborígenes puderam firmar a o trabalho em barro, através de estrutura e concentração de mão-de-obra, trazida por eles. Com isso, o processo de fabricação sofreu modificações com as instalações de olarias, onde se produziam artefatos para consumo diário. A introdução do torno e rodadeiras foi a mais importante dessas influências, o que permitiu a fabricação de peças mais simétricas, melhor acabamento e em menor tempo de trabalho (ANFACER, 2019).

4.1.2. Indústria Cerâmica de Revestimento

O progresso da economia mundial, houve um grande crescimento no setor cerâmico no Brasil, sendo o segundo produtor mundial de revestimentos cerâmicos, e o segundo maior mercado consumidor do mundo, perdendo somente para a China. A indústria tem visto um tremendo crescimento nos últimos anos, superando produtores tradicionais como Itália e Espanha. O Brasil produziu cerca de 795 milhões de metros quadrados de revestimentos cerâmicos em 2018, segundo a associação nacional dos fabricantes de cerâmica, ANFACER (ANFACER, 2019).

As atividades do setor cerâmico exercem um papel expressivo dentro do contexto industrial, com relevante participação na economia brasileira. As indústrias nacionais evoluíram rapidamente devido ao abastamento de matérias-primas e disponibilidade de tecnologias e equipamentos especializados, permitindo que produtos cerâmicos variados pudessem atingir nível de qualidade mundial. A estrutura produtiva do setor cerâmico é composta por diversos segmentos, destacando-se no setor da construção civil, a cerâmica de revestimentos representada pelos azulejos e pisos cerâmicos (CARVALHO, 2013).

A base da produção dos artefatos cerâmicos é a argila umedecida. Parte da água é retirada através de secagem e a peça, pode, então, ser moldada e submetida a altas temperaturas para adquirir rigidez e resistência pela fusão das matérias-primas da massa cerâmica (CARVALHO, 2013).

As placas cerâmicas são empregadas em revestimentos de pisos e paredes de interiores e exteriores. É um setor consumidor de matérias-primas minerais e insumos

energéticos e que exige um elevado consumo de energia. O gás natural é fonte essencial de geração de energia térmica nestas indústrias e é o item que tem mais influência no custo final do produto (CONSTANTINO; ROSA; CORREA, 2018).

4.1.2.1. Classificação das Cerâmicas

Os revestimentos cerâmicos são classificados quanto às suas principais características técnicas: absorção de água, resistência mecânica, grau de dureza, resistência à abrasão, resistência a manchas e resistência ao choque térmico e a ácidos (ROSSO; CUNHA; ROJAS-RAMIREZ, 2005). Ainda podem ser classificados quanto ao modo de fabricação e quanto ao tipo de superfície que possui, de acordo com a ABNT NBR 13817/1997 e baseado na © 13006/2018, como aparece abaixo:

- 1) Tipo de superfície: Podem ser esmaltados, com cobertura vítrea em umadas superfícies, ou não esmaltados, com superfície rústica ou polida.
- 2) Modo de fabricação: Podem ser fabricados por extrusão (terracota) ou por prensagem (produção cerâmica).
- 3) Resistência à abrasão superficial (PEI): Capacidade de resistência ao desgaste superficial do produto segundo o PEI (*Porcelain Enamel Institute*) e que pode ser provocado por atrito em ambientes residenciais, comerciais e industriais.
- 4) Resistência a manchas: Classificação que indica os níveis de facilidade ou impossibilidade de remoção de manchas.
- 5) Resistência ao ataque que agentes químicos: Indica o nível de resistência química dos revestimentos cerâmicos e ácido, álcalis e produtos domésticos e de piscinas.
- 6) Aspecto superficial: Classifica a qualidade das placas cerâmicas de revestimento quanto a defeitos visíveis observáveis a distância padrão de $1,00 \pm 0,05m$.

O conjunto de especificações é dado pelo grupo de absorção e pelo modo de fabricação. Um revestimento cerâmico classificado como B Iia, por exemplo, é um produto produzido pelo método de prensagem, representado pelo B (se fosse por extrusão seria representado pela letra A), e categorizado no segundo grupo de

absorção de água (lia), com absorção de 3,0 a 6,0% de água e resistência mecânica média (MALISKA, 2007). A Tabela 1 mostra os tipos de revestimentos existentes, conforme a classificação da norma ABNT NBR13818/1997, citada acima.

Tabela 1. Tipos de revestimentos de acordo classificação por absorção de água e resistência mecânica, segundo a Norma © 13006/1998 e ABNT NBR13818/1997 (CARVALHO, 2013).

Tipologia	Absorção (%)	Grupo Absorção	Resistência	Absorção
Porcelanato	até 0,5	Bia	Alta	Baixa
Grês	0,5-3,0	Bib	Alta	Baixa
Semi-grês	3,0-6,0	BIIa	Média	Média
Semi-porosa	6,0-10,0	BIIb	Baixa	Alta
Porosa	acima de 10,0	BIII	Baixa	Alta

As placas cerâmicas de revestimento são constituídas por um corpo cerâmico, de porosidade variante, com ou sem cobertura vítrea ou esmaltada, a qual impermeabiliza e decora uma das faces da placa. Os revestimentos cerâmicos esmaltados são progressivamente preferíveis em função de suas características funcionais e estéticas, e, sobretudo, por possuírem muitas vantagens sobre as cerâmicas não esmaltadas (BRTIO, 2009).

Os revestimentos cerâmicos esmaltados são constituídos por três camadas, denominadas esmalte, engobe e massa cerâmica. O esmalte é um revestimento liso e cristalino, composto geralmente por pó de vidro combinado com óxidos e pigmentos, aplicado na superfície da cerâmica para adicionar cor e decoração à peça ou variar sua textura. Abaixo da superfície esmaltada, está o engobe que consiste em um substrato branco e opaco que possibilita atenuar as diferenças de composição entre a massa cerâmica e o esmalte, mascarando a cor da argila sempre que o esmalte possuir tonalidade clara. Ademais, atua como impermeabilizante e possibilita a aplicação de camadas de esmalte menos espessas, reduzindo o custo da produção (MALISKA, 2007).

A Figura 1 mostra uma micrografia, na qual é possível distinguir as três camadas citadas através da variação da microestrutura, que aumenta os tamanhos de grão namedida em que descemos em direção ao interior da amostra em questão.

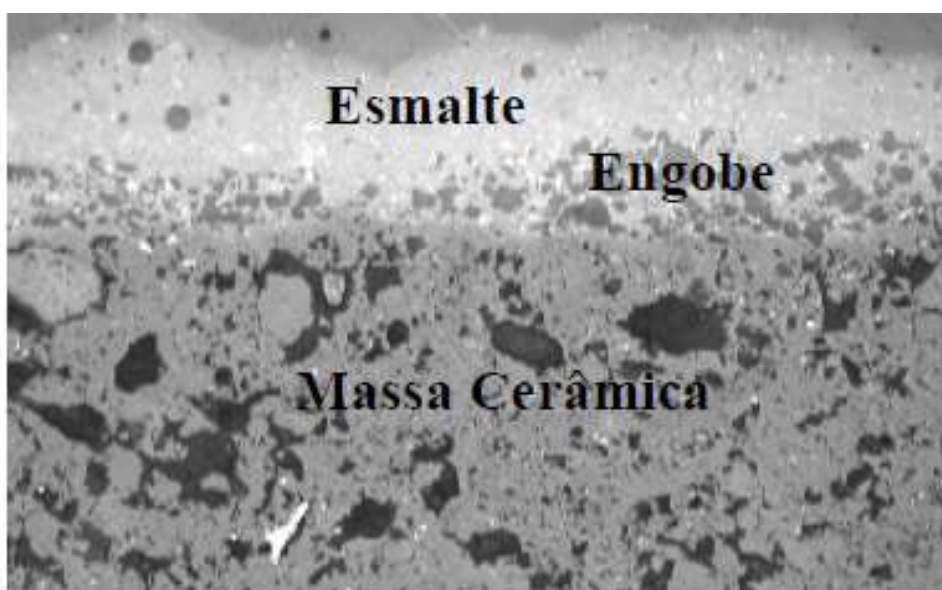


Figura 1. Micrografia dos constituintes do revestimento cerâmico esmaltado (CARVALHO, 2013).

Dentre as demais cerâmicas existentes no mercado, o porcelanato é a que evidencia atributos técnicos e estéticos superiores, atualmente. Isto acontece devido ao intenso e contínuo desenvolvimento em pesquisas durante os últimos anos, que permitiu um material com microestrutura muito densa e de elevada dureza (MALISKA, 2007). O porcelanato é resultante de um progresso tecnológico na fabricação de revestimentos cerâmicos que se iniciou na década de 70 em todo, compreendido da reformulação das massas e da redefinição dos ciclos de queima com o objetivo de aumentar o índice de produtividade industrial (ROSSO; CUNHA; ROJAS-RAMIREZ, 2005). Por este fato, e por ser objeto de estudo destetralho, os outros tipos de cerâmica não serão abordados.

O porcelanato é obtido a partir da utilização de prensas hidráulicas de elevada capacidade de pressão e compactação superiores à da cerâmica tradicional, temperaturas de queima de até 1280°C e massa com granulação muito fina, rica em feldspatos e fundentes nobres. Pode ser produzido na forma polida ou esmaltada, sem interferir em sua alta resistência ao desgaste físico e a ataques químicos e na elevada resistência mecânica. Possui especificação Bia, ou seja, é um material obtido por prensa, com absorção de água igual ou inferior a 0,5% (MALISKA, 2007).

4.1.2.2. Processo produtivo

Segundo MALISKA (2007), são essenciais na fase conformação operando como métodos mais fáceis da modelagem das peças que proporcionam uma plasticidade à massa e fornece uma resistência mecânica para sua manipulação, para materiais divididos em matérias-primas plásticas. Já para as não plásticas, que compõem a mistura com argila e sustentam o corpo cerâmico, promovendo a fusão da massa. Ambas são essenciais na fase de processamento térmico.

As principais matérias-primas plásticas, ou conhecidas como os caulins e as argilas plásticas e argilas fundentes, fazem parte do preparo das pastas cerâmicas de revestimento. A matéria-prima mais importante no processo de fabricação das placas cerâmicas de revestimentos, é a argila, um produto natural, terroso, constituído por componentes de granulação fina, entre os quais se destacam os minerais argilosos (MALISKA, 2007).

Este produto natural desenvolve plasticidade na presença de água e endurece quando é seco ou cozido. Quando colocado caulinita e vários argilominerais, como a illita e a esmectita, com uma porção variável de quartzo, feldspato e matéria orgânica, são formadas as argilas plásticas. O caulim é composto substancialmente por caulinita e as argilas fundentes que contém em sua composição caulinita, illita, esmectita quartzo e óxidos fundentes (MALISKA, 2007).

De acordo com MALISKA (2007), os feldspatos, agem como fundentes, os carbonatos e as sílicas ou quartzo, que são matérias-primas não plásticas normalmente utilizadas no preparo das massas cerâmicas. Além disso, tem como função de atuar como fundentes, as sílicas ou quartzo e os carbonatos. Os fundentes, como alumínio e silicatos, estão presentes nas partes superiores do suporte. O filito é um fino mineral, no qual consta substancialmente quartzo e caulinita, podendo compor até 50% da pasta cerâmica em razão das suas características químico-mineralógicas. Essencialmente nos suportes de revestimento porosos, são encontrados os carbonatos contendo magnésio em sua composição.

A precisa união de materiais plásticos e não plásticos viabiliza a plasticidade

da pasta cerâmica para uma adequada moldagem, conferindo as características requeridas ao produto, através das etapas de seleção e dosagem, moagem, conformação, secagem, queima e retífica que compõem seu processo de produção (BRITO, 2009).

Segundo estudos de BRITO (2009), para a elaboração da composição da pasta, deve-se considerar as características da peça que se deseja obter e do modo de fabricação a ser aplicado. Desta forma, após pré-determinar a formulação, é realizada a dosagem dos materiais, composta por um controle rigoroso da umidade das matérias-primas com o propósito de que o peso real da massa cerâmica em harmonia com a composição desejada fosse atingido.

Amoagem é a principal etapa no processo de preparação das matérias-primas por via seca, basicamente para o preparo das argilas e demais matérias-primas para a prensagem, com a sua umidade natural e praticamente sem beneficiamento, ou por via úmida, para o preparo das argilas e demais matérias-primas que necessita ser efetuado com a incorporação de água, resultando em uma mistura chamada barbotina que após ser homogeneizada, segue para a atomização para a desumidificação da mesma, com obtenção de grãos arredondados com umidade e granulometria adequadas à prensagem (MALISKA, 2007). Processos por via seca e por via úmida, possuem características muito semelhantes, que são consequências de materiais granulados.

Após a moagem, os grãos passam pelo processo de conformação através da prensagem, na qual representa a placa propriamente dita nas dimensões e modelo determinados, proporcionando adensamento da massa, diminuindo a porosidade e aprovando uma elevada densidade do corpo cerâmico. Os grãos devem apresentar um adequado teor de umidade, com a finalidade de proporcionar plasticidade ao material, resultando em elevada compactação do corpo (MALISKA, 2007).

Na etapa de secagem ocorre a redução da água que consta no corpo cerâmico de forma que o processo de queima seja elaborado em um período industrialmente adequado. Ela deve estar condicionada ao tempo necessário para a migração interna da água dentro do corpo cerâmico, para evitar fissuras na peça ocasionadas por regiões de retração que geram tensões no material. Nesta etapa é importante o controle de possíveis e eventuais variações dimensionais em consequência da perda

de água, devendo-se ao final do processo, permitir um índice mínimo de umidade ao corpo cerâmico (ROSSO; CUNHA; ROJAS-RAMIREZ, 2005).

O processo de queima ocorre no processo de fornos contínuos interligados, onde os materiais cerâmicos passam por complexas mudanças físico-químicas a fim de minimizar a porosidade das peças o máximo possível, através da presença de fundentes que permitem ao corpo cerâmico a obtenção das características mecânicas adequadas ao uso previsto. As temperaturas de queima podem ser superiores a 1200 °C, na qual é necessário o controle da viscosidade da massa para que se consiga manter as condições de contração linear da peça cerâmica (ROSSO; CUNHA; ROJAS-RAMIREZ, 2005). A queima do suporte sendo realizado ao mesmo tempo ou não com a queima do esmalte, é oriundo do processo de sinterização das massas cerâmicas de revestimento. Podendo originar:

- Monoqueima: a técnica pela qual se queimam o suporte e o esmalte juntos, proporcionando ao corpo cerâmico maior resistência e durabilidade;
- Biqueima: nesta técnica o suporte e o esmalte se queimam em etapas diferentes, sendo largamente utilizada na fabricação de azulejos.

A finalização do processo de queima, se dá pela passagem dos corpos cerâmicos por uma etapa de resfriamento rápido até atingir a temperatura superior a 600 °C para entrarem em um ciclo de resfriamento lento devido à evolução do quartzo, tendo uma temperatura inferior a 580 °C (MALISKA, 2007). O processo de queima das peças cerâmicas é dividido em etapas de esmaltação e a decoração. Tendo como destaque a esmaltação, aplicação de camadas de vidro em uma das superfícies do corpo cerâmico.

Segundo BRTIO (2009), por fim ocorre um processo de retífica, no qual rebolos diamantados atuam sobre as laterais das peças deslocando as rebarbas e efetuando o seu excelente esquadreamento na presença de água. Ademais, esta etapa tem como objetivo assegurar às placas cerâmicas as dimensões finais precisas liberando total ajuste durante o assentamento. Logo após, é feita uma análise visual ou equipamento específico para o teste de suas averiguações de características estéticas e técnicas, com as placas

cerâmicas. Por fim, elas vão para a estocagem.

4.1.2.2.1. Processo de fabricação do porcelanato

O porcelanato é fabricado através de método tecnológico, sendo a composição química das matérias-primas importante para a determinação do ciclo de queima. Grês-Porcelanato é um material de estrutura compacta e sua fase cristalina está submersa em uma fase vítrea. Além das matérias-primas já citadas, ainda podem compor sua massa outras que aumentem a fusibilidade, sendo os mais usados aquelas que contém magnésio, como por exemplo o talco ou a magnesita, mais usados por serem mais eficientes. (SANCHEZ; ORTS; GARCÍA-TEN; CANTAVELLA, 2001).

Normalmente, as misturas utilizadas na obtenção do porcelanato são compostas por uma quantidade variável de caulim e argilas íltico-cauliníficas, e uma quantidade similar de feldspatos sódico-potássicos, com baixo teor de óxido de ferro, para não prejudicar a cor do produto depois de queimado. Ainda são empregados carbonatos, areia, alcalino-terrosos, talco, bentonita, dentre outros para facilitar o processamento da composição (SANCHEZ; ORTS; GARCÍA-TEN; CANTAVELLA, 2001).

Segundo estudos de RODRIGUEZ; PIANARO (2004), durante a queima, os minerais alcalinos (ilita, feldspatos, entre outros) se fundem, o que diminui a viscosidade do material com o aumento da temperatura. Assim, a fase líquida penetra nos poros existentes, os quais serão eliminados gradualmente por forças de capilaridade. Através da dissolvência parcial do quartzo na fase fundida, é formada a fase cristalina mulita. Desta forma, o resultado da sinterização será de partículas de mulita e de quartzo não dissolvido dispersos em uma matriz vítrea. Portanto, as transformações físico-químicas podem variar, causando diferenças importantes nas propriedades do produto. Como consequência de um rápido ciclo de queima, 75% do quartzo inicial permanece intacta.

Devido a esse rápido ciclo de queima no qual o porcelanato é produzido, com altas temperaturas, a fase mulita se cristaliza como pequenos grânulos ou mulita primária, sem a presença de mulita acicular ou secundária (SILVA, 2005).

O polimento do porcelanato é realizado em equipamento com materiais abrasivos, que executam o polimento quando entram em contato com as peças, utilizando de alta rotação, velocidade controlada e presença de água. É necessário afinar a granulometria do material abrasivo de forma gradativa, até conseguir-se o resultado desejado. O porcelanato também pode ter alguns décimos de milímetros removidos de sua superfície se submetido a processo de polimento superficial. Os materiais abrasivos utilizados no polimento devem ser fabricados com alto grau de pureza para que a qualidade do porcelanato final seja adequada, visto que tais materiais farão parte do resíduo que resulta do processo de polimento (SILVA, 2005).

Ao final do processo, será obtido um produto com revestimento cerâmico impérvio, vitrificado, esmaltado (ou não), cuja parte queimada pode ser branca ou artificialmente colorida.

4.2. Concreto

Conforme o documento ASTM C 125, o concreto é compósito que abarca basicamente de um meio ligante, com partículas ou fragmentos de agregado imersos. Uma das razões para seu grande consumo é a sua alta aplicação em barragens, canais e canalizações para conduzir água até tanques de estocagem, por sua alta resistência à água, sendo ideal para estruturas destinadas à sua estocagem ou transporte. O segundo motivo é a facilidade com que elementos estruturais fabricados com este material podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos. Além disso, é, normalmente, o material mais barato e mais facilmente disponível no canteiro, pois seus principais ingredientes (cimento *Portland* e agregados) são consideravelmente baratos e disponíveis em quase todo o mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A NBR 12655:2006, segundo a ABNT (2006) classifica o concreto de acordo com sua massa específica em seu estado endurecido como normal, leve ou pesado. O concreto normalmente tem massa específica entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³, constituído de areia natural e brita. O concreto leve possui massa específica entre 800 e 2000 kg/m³ e é formado por agregados naturais (agregados expandidos de argila, escória siderúrgica, vermiculita, ardósia, resíduos de esgoto sinterizado e outros). Já o concreto pesado possui massa específica maior que 2800 kg/m³ e

possui matérias-primas como agregados de alta densidade.

Há ainda outro tipo de classificação para o concreto, que leva em consideração os critérios de resistência à compressão durante 28 dias. Tal critério foi descrito por Mehta e Monteiro (MEHTA; MONTEIRO, 2008) e se divide em três categorias: concreto de baixa resistência, com resultado menor que 20Mpa; concreto de resistência moderada, com resultado entre 20 e 40 Mpa; e concreto de alta resistência, com resistência superior a 40Mpa.

A norma NBR 12655 ainda classifica o concreto em diversas outras formas com terminologias utilizadas para identificá-lo: concreto-massa, concreto aerado, concreto espumoso, concreto projetado, concreto dosado, concreto prescrito etc. (ABNT, 2006). Segundo a ABESC, os concretos mais utilizados habitualmente podem ser classificados de acordo com sua aplicação em obra, e o seu êxito está relacionado à correta definição do concreto a ser utilizado (ABESC, 2007; RESENDE, 2013). Os principais tipos aparecem na Tabela 2, abaixo:

Tabela 2. Tipos de concreto segundo a ABESC (2007).

TIPO	APLICAÇÃO
Rolado	Barragens, pavimentação.
Bombeado	Obras de difícil acesso.
Resfriado	Peças de elevado volume como bases ou blocos.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis.
Alta Resistência Inicial	Estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados (estruturas, tubos etc.).
Fluido	Peças delgadas, elevada taxa de armadura.
Pesado	Barreira à radiação.
Leve	Elementos de vedação.
Leve estrutural	Peças estruturais, enchimento de pisos e lajes.
Pavimentos Rígidos	Pavimentos rodoviários e urbanos, pisos industriais e pátios de estocagem.
Alto Desempenho CAD	Elevada resistência (mecânica, física e química). Pré-fabricado e peças protendidas.

Convencional	Uso corrente da construção civil.
Submerso	Plataformas marítimas
Grout	Agregados de diâmetro máx. de 4,8 mm

4.2.1. Estrutura do concreto

A macroestrutura do concreto apresenta uma pasta de cimento que envolve os agregados graúdo (brita) e miúdo (areia), exibindo uma região de mudança entre as duas fases. A Figura 2 mostra uma microestrutura do concreto.

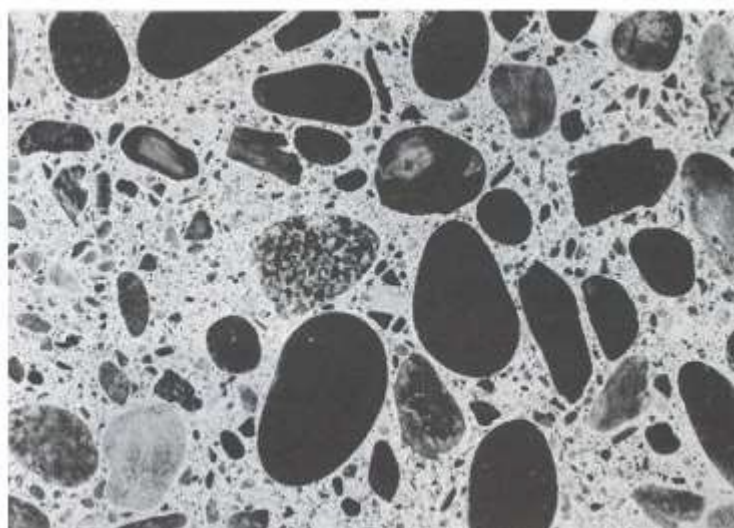


Figura 2. Microestrutura do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

MEHTA; MONTEIRO (1994) afirmam que todas as fases do concreto são de natureza multifásica, já que as partículas do agregado contêm vários minerais, fissuras e vazios e a pasta de cimento possui matriz heterogênea, que sofre mudanças microestruturais durante a hidratação do cimento.

A massa unitária, o módulo de elasticidade e a estabilidade dimensional do concreto são determinados pelo agregado. Assim, sua forma, granulometria e textura influem nas características do concreto. Agregados maiores ou lamelares favorecem a exsudação, que aumenta a porosidade da região e enfraquece sua ligação com a pasta (transição entre pasta de cimento e agregado). Além disso, esses agregados, por possuírem diâmetro grande, apresentam maior chance de comportar vazios e

microfissuras em seu interior. Alguns agregados ainda podem possuir elementos que prejudicam o concreto por reagirem compostos do cimento (SILVA, 2005).

Os agregados apresentam alta resistência à compressão, mas não influenciam na resistência inicial, pois os esforços tendem a romper na área de mais baixa resistência mecânica. Em compensação, a resistência da pasta aumenta na medida em que o tempo passa, chegando a ser maior que a do agregado em alguns casos (SILVA, 2005).

O estudo do concreto é vigorosamente ligado à análise microestrutural, através da caracterização dos constituintes e sua influência no material, como um todo. Os grãos de areia e os agregados graúdos são circundados pela pasta de cimento, que é constituída por diferentes compostos hidratados do cimento, dentre os quais, os silicatos hidratados de cálcio (C-S-H) que aparecem como estruturas fibrosas são os mais significativos, o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que se cristaliza na forma de placas hexagonais superpostas e a etringita. Os grandes vazios estruturais que aparecem na estrutura cristalina do cimento *Portland* são os causadores da alta energia e reatividade do cimento.

A Figura 3 mostra uma micrografia da microestrutura do cimento hidratado, obtida em MEV, onde a região 1 representa partículas de C-S-H, a região 2 representa o hidróxido de cálcio e a região 3 mostra os vazios capilares presentes na microestrutura. A porosidade da pasta de cimento *Portland* está em torno de 25% a 30% do volume da pasta, enquanto a água/cimento é de 0,5 (MORAVILEE-REGOURD, 1992).

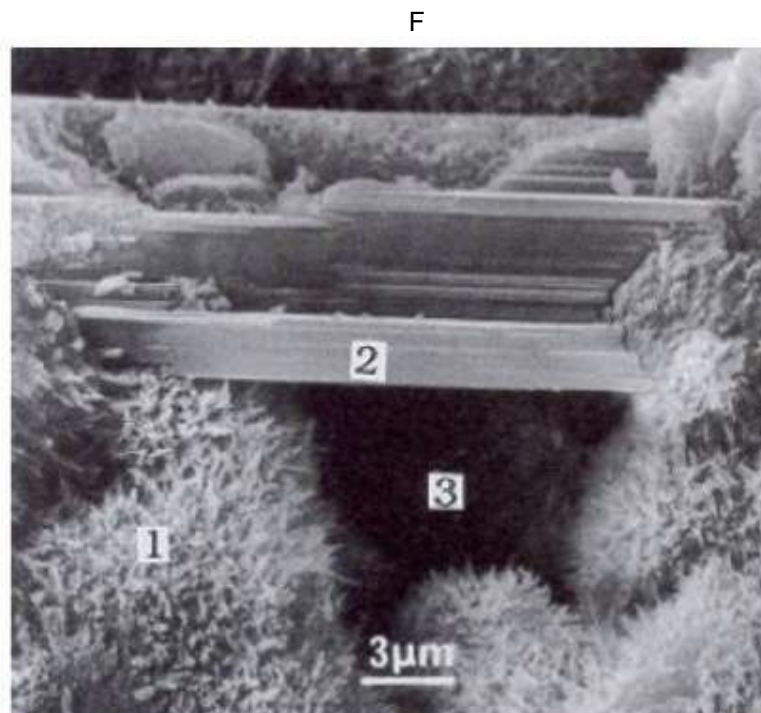


Figura 3. Microestrutura do cimento hidratado MORAVILEE-REGOURD, 1992).

RIGO (1998), listou alguns dos principais componentes do concreto e seus valores de diâmetro médio típicos (a – f) e tamanho médio de sólidos e vazios na pasta de cimento (g – i), como pode ser visto abaixo.

- a) Agregados graúdos apresentam diâmetro médio variando de 10 a 30 mm;
- b) Agregados miúdos apresentam diâmetro médio de mais ou menos 1 mm;
- c) Cimento apresenta diâmetro médio variando de 10 a 50 μm ;
- d) Adições minerais bastante finas (microssílica) apresentam diâmetro médio de mais ou menos 0,1 μm ;
- e) Adições minerais finas (cinzas volantes) apresentam diâmetro médio variando de 3 a 20 μm ;
- f) Grãos de clínquer não hidratados apresentam diâmetro médio de mais ou menos 25 μm ;
- g) Vazio de ar aprisionado apresenta tamanho médio variando de 1 a 3

mm;

h) Bolhas de ar aprisionado apresentam tamanho médio variando de 1 a 50 μm ;

i) Cristais hexagonais de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou de monossulfato na pasta de cimento apresentam tamanho médio variando de 0,7 a 1,5 μm ;

j) Agregações de partículas de C-S-H apresentam tamanho médio variando de 0,7 a 1,5 μm ;

k) Vazios capilares apresentam tamanho médio variando de 0,01 a 1 μm ;

l) Espaçamento interlamelar na estrutura do C-S-H apresenta tamanho médio variando de 0,001 a 0,003 μm .

4.3. Cimento Portland

O cimento *Portland* é um aglomerante hidráulico usado como ingrediente base de concreto e argamassa. Ele é composto de material calcário (rocha calcária ou gesso) e de alumina e sílica, moídos e misturados em proporções adequadas. Quando levados à queima a 1450°C, são fundidos e dão origem ao clínquer, composto por silicatos, aluminatos e gipsita, a qual inibe a tendência à pega instantânea (MORAVILEE-REGOURD, 1992).

De acordo com LEA (1971), um volume muito grande de dióxido de carbono é gerado na produção do cimento *Portland*, pois o processo em si gera dióxido de carbono e porque é necessária muita energia para elevar a temperatura até os 1450°C imprescindíveis para a calcinação do carbonato de cálcio. A produção de CO_2 está na proporção de 1:1 em relação à produção de cimento, responsável pela maior emissão artificial de CO_2 no mundo (em torno de 7%).

A parte mineralógica do clínquer *Portland* é dividida em quatro fases, sendo considerada muito complexa, mas os principais constituintes são (RIGO, 1998):

a) os silicatos de cálcio:

- C_3S (Alita -silicato tricálcico $3\text{CaO} - \text{SiO}_2$), que forma o volume do

clínquer com tamanhos de cristais em torno de 150 μm . Apresenta seção transversal de um cristal hexagonal e é responsável pelo desenvolvimento da resistência mecânica nos primeiros 28 dias, já que reage muito rápido com a água.

- C_2S (Belita – silicato dicálcico $2\text{CaO} - \text{SiO}_2$), que compõe de 15 a 45% do clínquer, com tamanhos de cristais variando entre 5 e 40 μm . Possui reatividade mais baixa do que a alita, mas, ainda assim, auxilia no desenvolvimento da resistência após 28 dias. Durante a hidratação, ambas as fases formam o silicato hidratado de cálcio (C-S-H) e o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

b) os aluminatos de cálcio:

- C_3A (aluminato tricálcico $3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$), que compõe de 1 a 15% do clínquer e apresenta cristais com tamanho entre 1 e 60 μm , ocupando a região ferrítica. Ele pode estar presente na forma cúbica ou ortorrômbica, e conter 7% menos de óxidos.

- C_4AF (ferroaluminato de cálcio $4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$).

c) a gipsita é inserida com o intuito de inibir a pega instantânea relacionada à grande reatividade do C_3A .

4.4. Agregados

Os agregados são classificados em grãos, com granulometria que varia entre 152 mm e 4,8 mm, ou miúdos, definidos por areia de origem natural ou derivada da britagem de rochas estáveis ou mistas (origem sintética), com granulometria entre 4,8 mm e 75 μm (ABNT, 2009).

Quando adicionados em uma mistura, os agregados exercem grande relevância nos ensaios realizados em aplicações definidas, tais como granulometria, massa peculiar, módulo de finura, argila em altas temperaturas, impurezas orgânicas e materiais pulverulentos. Sendo assim, são fundamentais na confecção de argamassa e concreto (SILVA, 2017). A adição de agregados ao concreto tem a função de aumentar as propriedades de resistência à compressão, possibilitando a moldagem de peças, por exemplo.

É importante ressaltar que a resistência solicitada ao agregado deve ser notavelmente superior à resistência nominal do concreto, pois os pontos de contato entre as partículas individuais e o concreto apresentam tensões reais muito maiores que a tensão nominal de compressão aplicada (NEVILLE, 1988).

As adições cometidas definem os tipos de cimentos segundo uma nomenclatura com a sigla CP, de cimento *Portland*, acompanhada de algarismos de I a V. Quando necessário, são identificadas também as classes representadas pelos números 25, 32 e 40, os quais designam o indicativo de resistência à compressão do corpo de prova padronizado (AMBROZEWICZ, 2012). Conforme abaixo na Tabela 3.

Tabela 3. Composição dos cimentos *Portland* (AMBROZEWICZ, 2012).

COMPOSICAO DOS CIMENTOS <i>PORTLAND</i> (% massa)						
Tipo de Cimento	Sílica	Clínquer + Gesso	Escória de Alto Forno (E)	Escória de Pozolânio (Z)	Material Carbônico (F)	Norma
Comum	CPI CPI-S CII-E	100	--	--	--	NBR 5732 [25]
		99-95	--	--	--	
		94-56	6-34	--	0-10	
Composto	CII-Z CII-F	94-76	--	6-14	--	NBR 11578 [26]
		94-90	--	--	6-10	
Alto-Forno	CIII-40	65-25	35-70	--	0-5	NBR 5735 [27]
Pozolânico	CP-IV	85-45	--	15-50	0-5	NBR 5736 [28]
Alta Resistência Inicial (ARI)	CPV-ARI	100-95	--	--	0-5	NBR 5733 [29]

Os principais aditivos, que aparecem na Tabela 3, são clínquer, gesso, escória de alto-forno, argila pozolânica e material carbonáceo. O clínquer em pó adquire resistência mecânica elevada quando reage quimicamente sob ação de água. O gesso comanda o tempo de endurecimento do clínquer moído quando misturado com água (pega do cimento). Caso o gesso não seja adicionado ao clínquer durante sua moagem, o cimento endurece quase que instantaneamente quando é molhado e impede seu uso nas obras (AMBROZEWICZ, 2012).

A escória de alto forno é um ligante hidráulico que reage em presença de água e desenvolve características aglomerantes, assemelhando-se ao clínquer. Seu uso assegura durabilidade e resistência final mais altas ao cimento (AMBROZEWICZ, 2012).

Adições de material carbonáceo na forma de rochas trituradas, têm a finalidade de melhorar a trabalhabilidade do material, porquanto seus grãos possuem dimensões adequadas para se acomodar entre as partículas dos outros componentes do cimento, agindo como lubrificante (AMBROZEWICZ, 2012).

Por fim, a argila pozolânica tem atividade potencializada de impermeabilizar o concreto (TORRES, 2017). Ressalta-se a interferência dos componentes do cimento com base na sua regionalidade e características oriundas de fábricas e indústrias locais.

Em relação à definição dos cimentos, a sigla CP-I pertence ao Cimento *Portland* Comum, produzido com adição de gesso, encarregado pela perda da fluidez da pasta (pega), baseado na NBR 5732 (ABNT, 2014). A sigla CP-II caracteriza o Cimento *Portland* Composto, resultada do de experimento do cimento *Portland* Comum, com adição de componentes de escória ou pozolana, tornando um produto competitivo que corresponde a 70% do mercado industrial do Brasil. Atribuindo em grande escala em aplicações usuais, substituindo diretamente o CP-I, com base na NBR 11578 (ABNT, 2014).

O Cimento *Portland* de Alto-forno é caracterizado pela sigla CP-III-40, fruto da adição de escória siderúrgica da fusão de metais processados no alto-forno com aparecimento de silicato. As escórias siderúrgicas exercem o papel de representarem

as particularidades hidráulicas latentes, porém as atividades de hidratação do produto supracitado são vagarosas. Frequentemente esse material é aplicado na construção e pavimentação de pistas de aeroportos, obras e ambientes marítimos, barragens, represas e estação de esgoto, com base NBR 5735 (ABNT, 2014).

O CP-IV é o Cimento *Portland* Pozolânico, atingido pelo somatório de escória de forno siderúrgico e pozolana. No seu processo de moagem, ela apresenta reação com componente de hidróxido de cálcio, associado ao ligante hidráulico em temperatura ambiente, resultando em compostos com propriedades em massa, com base NBR 5736 (ABNT, 1986)

A sigla CP-V-ARI se refere ao Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial, que tem por característica principal alcançar elevada resistência imediata após a aplicação. Isso se deve à possibilidade de utilizar uma quantidade específica de argila e calcário na produção do clínquer, e ao refinamento na moagem para o cimento, que tem sua taxa de resistência e velocidade aumentadas ao reagir com a água, segundo a NBR 5733 (ABNT, 2014).

4.5. Adições em Concreto

De acordo com a literatura, há 25 definições distintas para as adições, que se diferenciam dos aditivos. Grosso modo, as adições têm a finalidade de acrescentar ou substituir parcialmente o cimento, devido às propriedades semelhantes, enquanto os aditivos são utilizados para modificar as particularidades do cimento sem alteração de sua proporção na composição do concreto (FONSECA, 2010).

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) define que aditivo ou adição são quaisquer materiais usados como parte integrante do concreto e da argamassa, incorporado à massa antes ou durante a mistura. No entanto, no Brasil, de acordo com a NBR 11172 de 1990 (ABNT, 1990), tais termos apresentam significados divergentes: o termo “aditivo” é definido como produto químico inserido em pequenos teores às argamassas e aos concretos, com o objetivo de modificar suas particularidades no estado fresco ou endurecido e o termo “adição” é definido como produto mineral inserido aos cimentos, argamassas e concretos, com o objetivo de modificar suas particularidades. MEHTA; MONTEIRO (2008) definem

adições minerais como materiais indissolúveis moídos em fina granulometria e oriundos de fontes naturais ou de alguns subprodutos industriais.

Os efeitos físicos dessas adições minerais são imediatamente aparentes no concreto fresco após o endurecimento da pasta, mas os efeitos químicos demoram muito tempo para se manifestarem. Essa ação físico-química classifica as adições em materiais pozolânicos, material cimentante e fíler (DAL MOLIN; 2005).

Os materiais pozolânicos são materiais inorgânicos com pouca ou nula atividade cimentícea e que, quando misturados com o hidróxido de cálcio ou materiais que podem liberá-lo, endurecem na presença de água a temperatura ambiente (MASSAZZAFÀ, 1998).

A sílica ativa, a cinza de casca de arroz, a cinza volante, a pozolana natural, o metacaulim e o material cerâmico são exemplos de materiais pozolânicos. Este último, objeto de estudo do presente trabalho. No caso do material cimentante não é necessária a adição de hidróxido de cálcio para gerar produtos cimentantes, porém possui hidratação lenta e geração de produtos muito baixa, o que torna o material insatisfatório para fins estruturais (MASSAZZAFÀ, 1998)

A escória granulada de alto forno é um exemplo de matéria cimentante. O fíler é uma adição mineral quimicamente inativa, de modo que apenas o efeito físico do empacotamento granulométrico interfere na hidratação dos grãos de cimento (DAL MOLIN, 2005).

É importante ressaltar a quantidade utilizada e as condições de cura, bem como a composição química, mineralógica e granulométrica, interferem na eficiência da adição mineral. As características mineralógicas e granulométricas são fundamentais para analisar o comportamento das adições no concreto (ROCHA, 2008).

4.6. Revisão da Literatura

Tratando-se de um tema razoavelmente novo, o pequeno número de pesquisas já realizadas sobre o assunto resulta em falta de informações sobre o comportamento dos compósitos com adição de cerâmica. Todavia, esta seção mostrará alguns estudos já realizados sobre a aplicação do uso da cerâmica na matriz-cimento para a

construção civil, bem como o uso do porcelanato para tal procedimento, em ordem cronológica (SILVA, 2005; WADA).

SILVA (2005) estudou o concreto de cimento Portland com resíduo de polimento de porcelanato adicionado para caracterizá-lo e estudar sua influência na microestrutura do concreto, na durabilidade e na resistência mecânica. Após os experimentos, o autor concluiu que o resíduo de porcelanato atende à norma NBR 12563 (ABNT, 1997) e, mesmo contendo uma estrutura essencialmente cristalina com pouca sílica no estado amorfo, é considerado como uma pozolana. Ademais, o resíduo apresentou atividade pozolânica quando misturado ao cimento *Portland CP-V*.

Quanto ao seu estado fresco, no que diz respeito às propriedades do concreto, o autor concluiu que a incorporação do resíduo resulta em melhor consistência e menor exsudação para a mistura de concreto. O aumento do teor de resíduo levou a um aumento na coesão do concreto fresco e aumentou sua viscosidade, opondo-se ao movimento das partículas mais pesadas e da água, reduzindo, desta forma, a exsudação (SILVA, 2005).

Referente à resistência à compressão axial, ele ainda constatou que adicionar o resíduo elevou o comportamento do concreto quando comparado ao de referência, em todas as análises. Foi obtido um ganho de 8,3% para as misturas com 10% de adição, enquanto houve um aumento de 10,1% em relação ao concreto de referência para as misturas com adição de 20%, em 3 dias de cura. Com 28 dias de cura, as misturas contendo 10% de resíduo demonstraram um aumento de 5,1% em relação aos concretos de referência e as misturas com adição de 20% obtiveram aumento de 9% (SILVA, 2005; ROCHA, 2008).

Assim, concluiu-se que a adição de 10% de resíduo de polimento do porcelanato em concreto é considerada satisfatória, de acordo com suas propriedades mecânicas e aspectos de durabilidade, tendo desenvolvido, portanto, um material com melhor comportamento e que contribui para a não devastação do meio ambiente. (SILVA, 2005; ROCHA, 2008).

Em estudo sobre adição de cerâmica moída em concreto, ROCHA (2008) concluiu que o resíduo reduziu a resistência mecânica à compressão, o módulo de elasticidade e as resistências à tração por compressão diametral e à tração na flexão.

Tal adição aumenta a relação água/material cimentício, levando ao aumento do número de vazios, responsável por essa queda das propriedades mecânicas. A partir dos resultados obtidos, a autora constatou que a adição mineral em questão é viável, desde que o concreto não seja submetido intensamente a agentes agressivos. Outrossim, o uso destes resíduos pode minimizar o consumo de cimento e agregados, bem como garantir um destino para os resíduos de construção e demolição (RCD).

Nos estudos de WADA (2010), substituiu o agregado miúdo natural por resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em concreto para avaliar a alteração de suas características mecânicas, pretendendo a sua utilização em fundações profundas, possibilitando aplicação nobre ao resíduo e beneficiando o meio ambiente, de forma sustentável.

A Figura 4 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, em Mpa, para todos os traços estudados pela autora. Observa-se que a adição de RCV foi positiva, já que promoveu um notável aumento na resistência de acordo com a quantidade de resíduo presente. Tais resultados garantem uma possível propriedade cimentícia ao RCV. Para 80% de adição de RCV, foi obtida resistência próxima a 35Mpa, quase o dobro da resistência obtida para o concreto de referência, aos 28 dias de cura. Trata-se de um resultando interessante, pois o aumento da resistência gera melhora nas outras características do concreto, como aumento da impermeabilidade, do módulo de elasticidade, da durabilidade, da resistência à tração, entre outras (WADA, 2010).

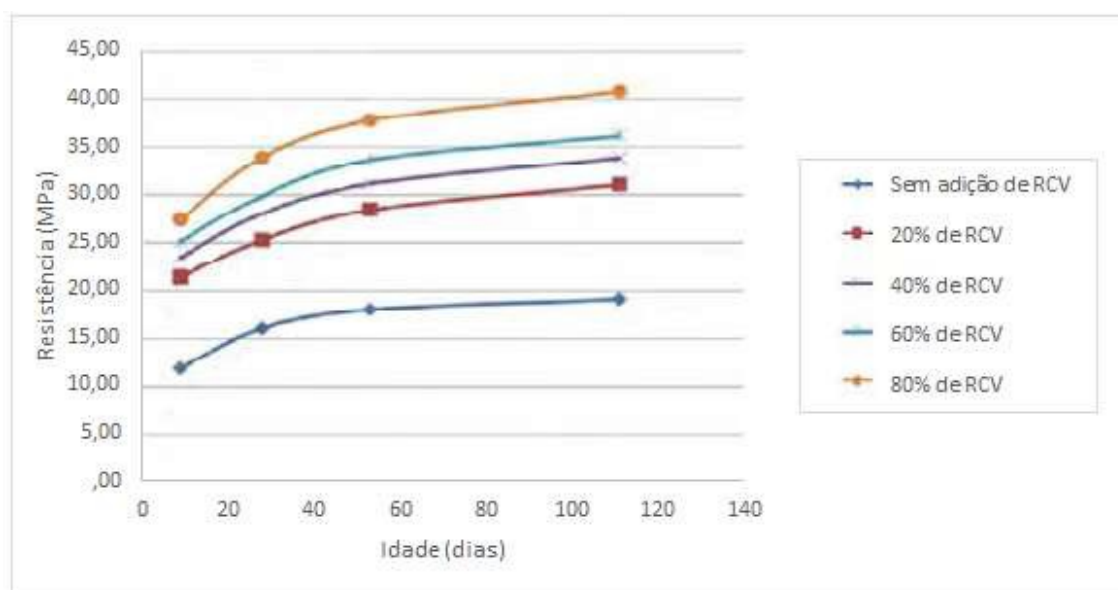


Figura 4. Resultados da resistência mecânica obtida para os traços analisados por WADA (2010)

A Figura 5 ilustra esta afirmativa para o módulo de elasticidade que, como esperado, aumentou com o aumento da quantidade de RCV incorporado (WADA, 2010).

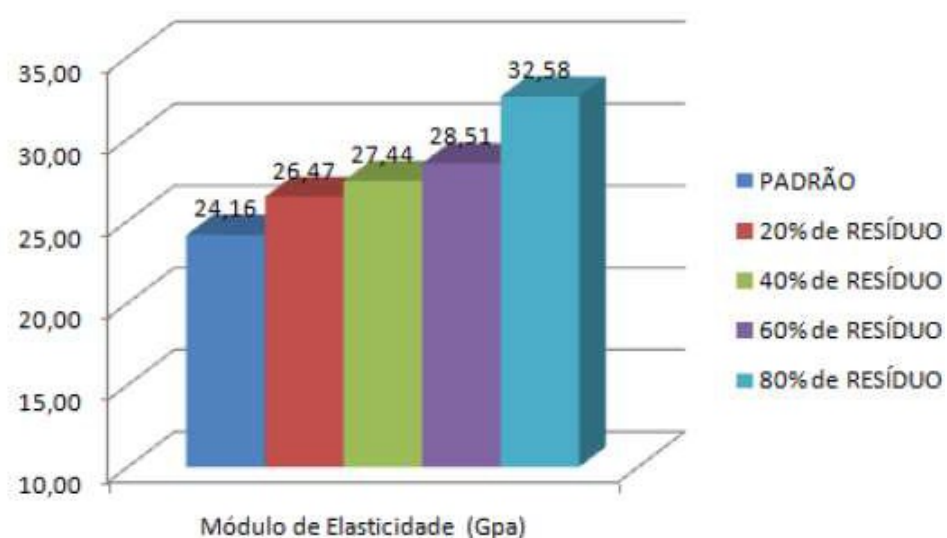


Figura 5. Resultados do módulo de elasticidade para os traços analisados por WADA (2010)

No ano seguinte, PAIXÃO et al. (2011), avaliaram a adição de resíduos

cerâmicos na confecção de argamassas, a partir da massa específica real, da determinação do índice de vazios, além de ensaios de resistência mecânica à tração e à compressão. Foram estudadas adições de azulejo, porcelanato esmaltado e piso esmaltado.

A Figura 6 mostra os resultados que os autores obtiveram nos ensaios de resistência à tração (a) e à compressão (b). Houve um aumento do comportamento mecânico de todas as argamassas confeccionadas com resíduos, quando comparadas àquela de referência com adição de areia de rio, considerando 7 e 28 dias de cura. Tal resultado só não foi obtido para a argamassa confeccionada com adição de azulejo, que apresentou resistência à tração 37% menor que a argamassa produzida com areia de rio, aos 63 dias. Além disso, foi possível observar que todas as misturas de argamassas tiveram suas resistências à tração aumentadas com o aumento da idade de cura, até os 28 dias. Porém, as misturas com adição de porcelanato e com areia de rio seguiram apresentando um incremento de resistência mecânica aos 63 dias (PAIXÃO et al., 2011).

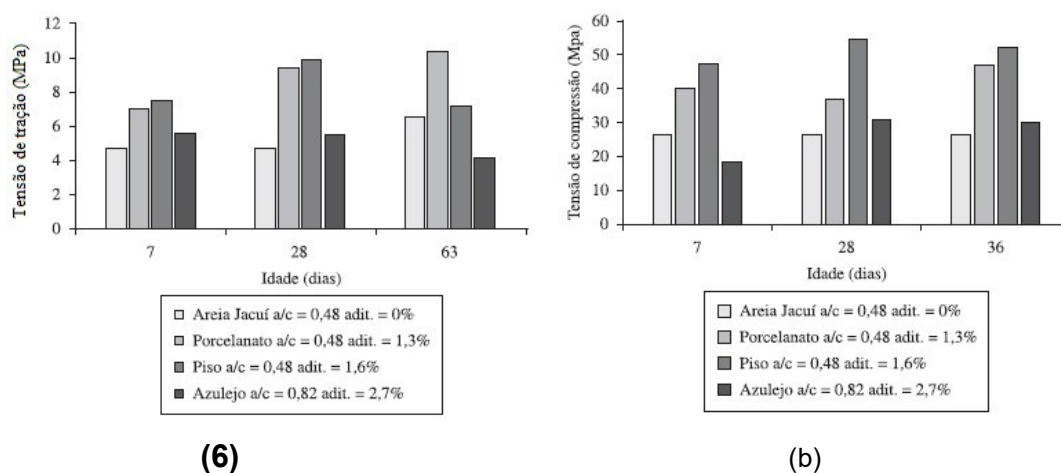


Figura 6. Resultados dos ensaios mecânicos obtidos pelos autores: (a) Tensão de tração; e (b) Tensão de compressão (PAIXÃO et al., 2011)

Em concordância com os ensaios de tração, as argamassas com adições cerâmicas também apontaram resistências à compressão mais altas, em comparação às argamassas de referência. Avaliando os resultados da adição de azulejo, foi verificado que a resistência não alcançou o valor de resistência da argamassa com

areia de rio em 7 dias de cura. Em contrapartida, a resistência encontrada para 28 e 63 dias de cura foi mais elevada, mesmo com a relação água/cimento cerca de 71% maior, revelando grande potencial de aplicação deste resíduo (PAIXÃO et al., 2011).

Através dos resultados alcançados, os autores verificaram que a adição de porcelanato e de piso na confecção de argamassas, mostra uma grande chance de viabilidade para sua utilização, visto que forneceram melhor desempenho mecânico, tanto à tração quanto à compressão, e melhor comportamento à entrada de agentes agressivos (PAIXÃO et al., 2011).

CARVALHO (2013) investigou a viabilidade da substituição parcial do agregado fino e do cimento por resíduos de retífica de placas cerâmicas de revestimento na fabricação de peças de concreto para uso em pisos intertravados, através de análise no comportamento do concreto em bases técnica e ambiental. Seus resultados mostraram que a incorporação parcial de resíduos da retífica de cerâmica de revestimento em substituição ao cimento e à areia é exequível na confecção de concreto para pisos intertravados, visto que o abatimento do concreto fresco com a substituição da areia pelos resíduos apresentou um decréscimo de 60% em média, em relação ao concreto referência, influenciando em sua plasticidade. Substituir o cimento por resíduo de porcelanato provocou um decréscimo de até 40% no abatimento do concreto fresco, quando comparado àquele sem adição. Contudo, a adição dos resíduos cerâmicos levou à trabalhabilidade adequada para a moldagem dos pisos intertravados em todas as proporções de incorporação estudadas. Para incorporações dos resíduos em proporções acima de 30% foi necessário alterar a porção de água da mistura.

Em trabalho mais recente de LAUREAN; VARGAS (2017) avaliaram a viabilidade da adição de resíduo de polimento de porcelanato na fabricação de concreto sob altas temperaturas em forno de mufla, para analisar a questão estrutural em possíveis situações de exposição do mesmo a incêndios. Os autores concluíram que o resíduo, quando adicionado ao concreto, garante avanços expressivos em suas características mecânicas, visto que houve aumento da compressão axial, de 18 Mpa e 20Mpa, aos 28 e 56 dias, respectivamente, garantindo, aproximadamente, 45% de aumento quando comparado ao traço padrão. Ademais, a resistência à tração avaliada obteve cerca de 24% do valor

referencial. No entanto, em consequência do comportamento aglomerante e expansivo do rejeito, houve deficiência quando exposto a temperaturas muito altas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente os materiais foram separados e misturados até atingir a homogeneidade ideal do concreto, em uma betoneira CS 150 litros, destinadas a construção de casas e empreendimentos de pequeno porte com transmissão realizada por correia tipo V, tambor com fundo reto que melhora a mistura do fundo e o acúmulo de agregados, obedecendo as dosagens previamente estabelecidas. Através de agitação mecânica para a obtenção de quatro traços de concreto, com 0%, 10%, 20% e 30% de adição de porcelanato. Depois, foram colocados em molde para a execução do *slump test*, seguido do término da moldagem e secagem. Após 24 horas, desenformou-se os corpos de prova, que foram devidamente identificados e levados para câmara úmida, onde permaneceram por 7, 14, 21 e 28 dias, para a cura.

As amostras foram retiradas da câmara úmida, de acordo com os dias especificados, para os ensaios de compressão em prensa hidráulica, análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios x (XRD), para análise de suas microestruturas. Todos os ensaios, incluindo a preparação das amostras, foram realizados no Laboratório de Engenharia da Fundação Oswaldo Aranha – Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

5.1. Materiais utilizados

Para a confecção dos traços de concreto para o estudo em questão, foram utilizados, cimento *Portland* CPIII, areia média, brita 1 e água. Cacos de porcelanato oriundos de resíduos de obras foram utilizados como adição de porcelanato.

5.1.1 Cimento Portland CPIII

O cimento *Portland* CPIII é comumente utilizado em obras de construção civil, tendo como característica principal o alto teor de escória siderúrgica, resultante do processo de alto-forno e com a presença de silicato (TORRES, 2017). Segundo AMBROZEWICZ (2012), sua composição consiste em 25 a 65% de clínquer e gesso,

35 a 70% de escória e 0 a 5% de calcário. Na figura 7, a imagem do cimento.



Figura 7. Cimento *Portland* CPIII utilizado como material no presente trabalho (SILVA, 2017).

5.1.2 Areia Média

A areia média (Figura 8) utilizada foi uma adquirida no próprio laboratório para realização do trabalho. O tamanho médio de grão variou entre 2 e 0,6 mm.



Figura 8. Areia média utilizada como material no presente trabalho (SILVA, 2017).

5.1.3 Brita 1

A brita 1 tipo natural utilizada tinha o tamanho de 19 mm e é composta por granito. Ela também foi concedida pelo laboratório e foi oriunda da extração da Pedreira de Volta Redonda.

5.1.4 Porcelanato

O porcelanato utilizado como adição aos traços de concreto foi o porcelanato (Figura 9), oriundo de resíduos de obras, com o objetivo principal de reciclagem dele.



Figura 9. Cacos de porcelanato utilizados no presente trabalho (Fonte: Autoria própria)

5.2. Traços de concreto analisados

Foram definidos quatro traços de concreto, com adições de 0%, 10%, 20% e 30% de porcelanato, em substituição à brita 1. Além dos materiais citados na seção anterior, a água também foi utilizada para dar liga às misturas e ajudar na cura do cimento. A Tabela 4 mostra as quantidades, em litros, de cada componente para cada traço analisado, de acordo com a proporção da adição do porcelanato.

Tabela 4. Materiais e respectivas quantidades para cada traço de concreto.

Traço	Adição (%)	Materiais (L)				
		Areia	Cimento	Brita	Porcelanato	Água
1	0	12,0	6,0	12,0	0,0	3,3
2	10	12,0	6,0	10,8	1,2	3,3
3	20	12,0	6,0	9,6	2,4	3,3
4	30	12,0	6,0	7,2	3,6	3,3

5.3. Preparação dos corpos de prova

Considerando os traços descritos na Tabela 4, os materiais foram adicionados e mecanicamente batidos na betoneira (Figura 10) para atingir a homogeneidade ideal do concreto. Depois de 5 minutos de agitação, a massa foi retirada da máquina e colocada em moldes para o *Slump Test*.



(a)



(b)

Figura 10. (a) Betoneira antes da inserção dos materiais; (b) Betoneira em movimento, já com os materiais adicionados (Fonte: SILVA (2017) e Autoria própria)

5.3.1. Slump Test

O ensaio do *Slump Test* foi realizado com base na norma NBR NM 67 (ABNT, 2011). O tronco de cone (Cone de Abrams), que aparece na Figura 11, foi colocado sobre a placa base depois de processo de umidificação de ambas as partes. O cone foi preenchido com três camadas de alturas distribuídas uniformemente no mesmo, ou seja, cada camada possuía altura de 1/3 do cone. Cada camada foi golpeada 25 vezes com auxílio da haste de socamento e por fim, o excesso de concreto foi retirado para a regularização da superfície.



Figura 11. Cone de Abrams para *Slump Test* (SILVA, 2017).

O molde foi retirado verticalmente, com cuidado, e posicionado ao lado da massa de concreto, de cabeça para baixo, para que então fosse medido o abatimento dela. A medição do abatimento aparece na Figura 12, onde pode-se observar um resultado de 6 cm.



Figura 12. Imagem da medição do *Slump Test* (Fonte: Autoria própria)

5.3.2. Moldagem dos CPs

Após a realização do *Slump Test*, os moldes foram preenchidos em duas camadas de concreto, golpeando-as 12 vezes com auxílio da haste de socamento. Em seguida, o molde ficou repousando por 24 horas. Os corpos de prova são padronizados, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2011), com formato cilíndrico de 10 cm de diâmetro na base e 20 cm de altura. Depois das 24 horas completas, os moldes foram abertos para que os corpos de prova fossem identificados, de acordo com a dosagem utilizada em sua fabricação, e direcionados à câmara de cura.

Na câmara de cura, o corpo de prova permaneceu submerso até o dia de realização do ensaio de compressão axial. Para cada traço, foram realizados ensaios com três corpos de prova, em 7, 14, 21 e 28 dias de cura, garantindo confiabilidade e representatividade do ensaio.

5.4. Ensaio de Compressão Axial

Os ensaios de compressão foram realizados em prensa hidráulica EMIC, modelo PC150C, cuja carga máxima suportada é de 150000 kgf, com ausência de choque. Os corpos foram testados individualmente com carga contínua até a sua ruptura. A Figura 13 mostra a prensa hidráulica utilizada no ensaio.

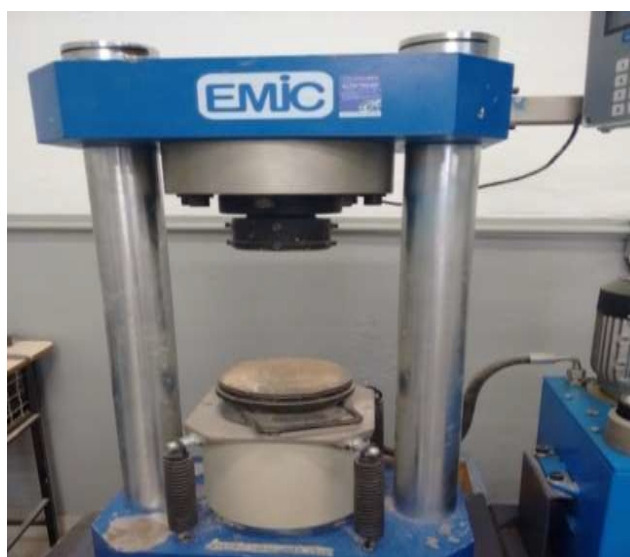


Figura 13. Prensa hidráulica EMIC (Fonte: Autoria própria).

A Figura 14 mostra o corpo de prova após o ensaio de compressão.



Figura 14. Corpo de prova após o ensaio de compressão (Fonte: Autoria própria)

5.5. Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise através da MEV teve como objetivo entender a microestrutura do material e correlacioná-la com suas propriedades. Tal análise foi realizada a partir da interação de um feixe de elétrons com a superfície da amostra, na qual são emitidas radiações de elétrons retroespalhados e elétrons secundários. Na medida em que o feixe de elétrons primários varre a amostra, os sinais sofrem variações de acordo com as variações da superfície do material. Os elétrons secundários fornecerão a topografia da superfície, sendo responsáveis pelas imagens de alta resolução obtidas, e os elétrons retroespalhados fornecerão a imagem característica de variação de composição (MALISKA, 2018). Para que haja a radiação do feixe de elétrons, é necessário que a amostra seja metalizada antes de ser inserida no microscópio.

Para esta análise foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI e modelo TM 3000, com uso de detector de elétrons secundários, disponível

no laboratório do prédio 12 Fundação Oswaldo Aranha – Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

5.6. Difração de Raios X (DRX)

A difração de raios X foi utilizada para a identificação das fases presentes. Um tubo de raio-X gera um feixe policromático que fica mais estreito e paralelo quando passa pelo colimador. Ele incide na amostra e sofre difração em vários ângulos, detectados por um contador posicionado em determinado ângulo. Através da Lei de Bragg, cuja equação $n\lambda = 2d \sin\theta$, o comprimento de onda da radiação incidente e o ângulo de reflexão são correlacionados e a fase é então distinguida (QUEIROZ; KUROSAWA; BARRETO, 2018).

Para este ensaio, as amostras foram fragmentadas e colocadas em porta amostras, que seguiu para o difratômetro, como aparece na Figura 15. Os difratogramas resultantes foram obtidos por meio do software Right Gonio System Analysis and Spooler Program® e a radiação utilizada foi a de Cobre $\text{Cu K}\alpha = 1,54\text{\AA}$ e a varredura realizada foi na faixa de 10° a 80° .

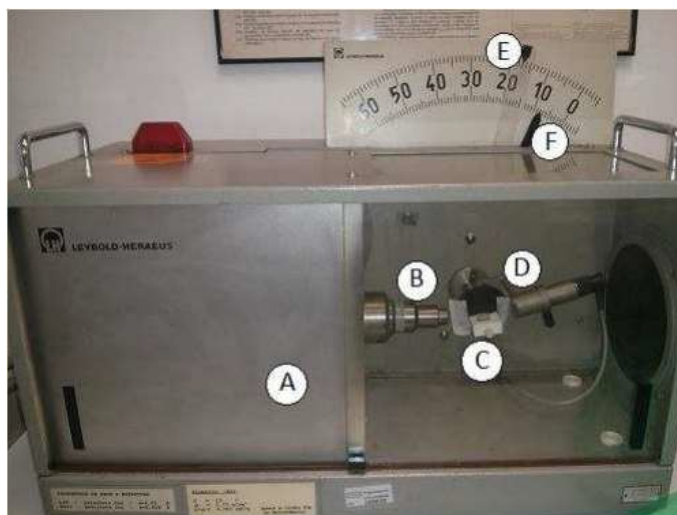


Figura 15. Difratômetro: (A) Câmara que contém o tubo de raio-X; (B) Colimador para estreitar o feixe; (C) Amostra; (D) Detector de radiação; (E) Indicador do ângulo do detector; (F) Indicador do ângulo da amostra (QUEIROZ; KUROSAWA; BARRETO, 2018).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Testes de compressão axial

Os resultados dos ensaios estão representados nas Figura 16, com os dados das amostras de referência (traço 1):

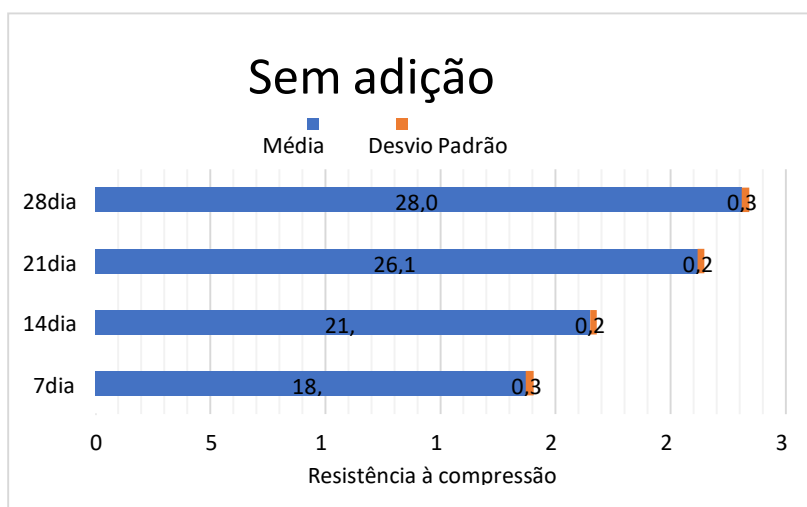


Figura 16. Resultados de resistência à compressão do concreto de referência, sem adição de porcelanato (Fonte: Autoria própria).

Já na Figura 17, foi visto com 10% de adição (traço 2) onde os ensaios estão representados.

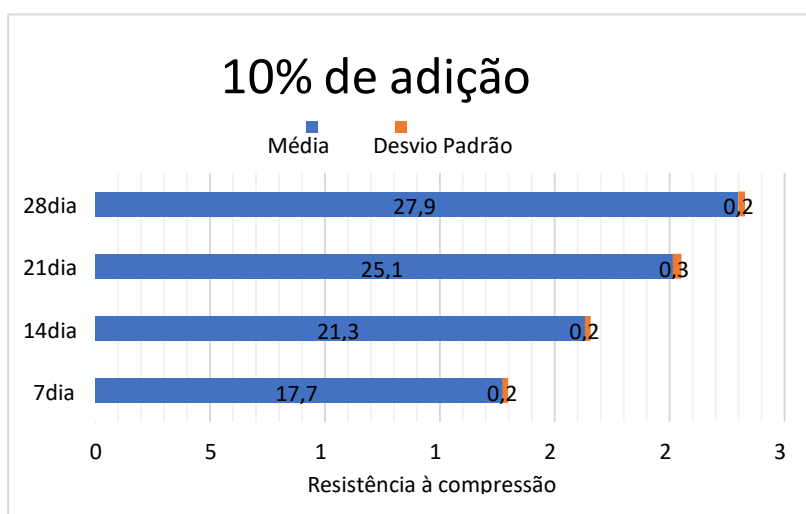


Figura 17. Resultados de resistência à compressão do concreto com adição de 10% de porcelanato.(Fonte: Autoria própria).

Na Figura 18, 20% de adição (traço 3):

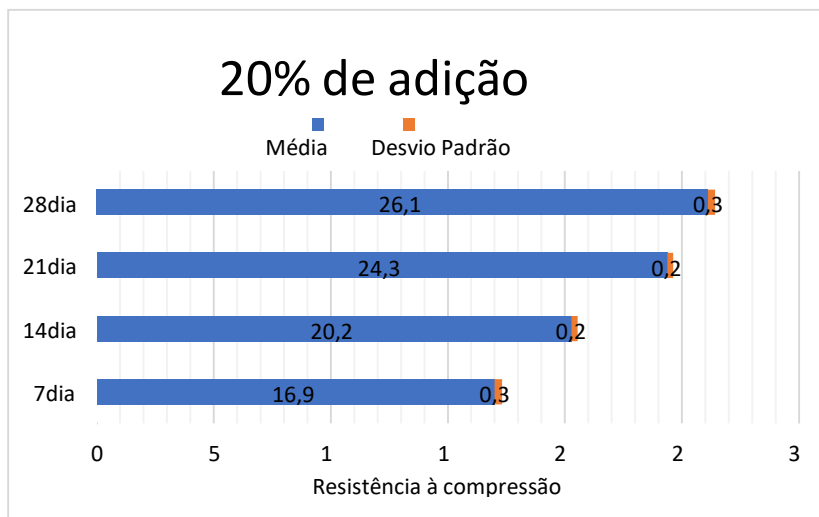


Figura 18. Resultados de resistência à compressão do concreto com adição de 20% de porcelanato. (Fonte: Autoria própria)

Por fim na Figura 19, 30% de adição (traço 4):

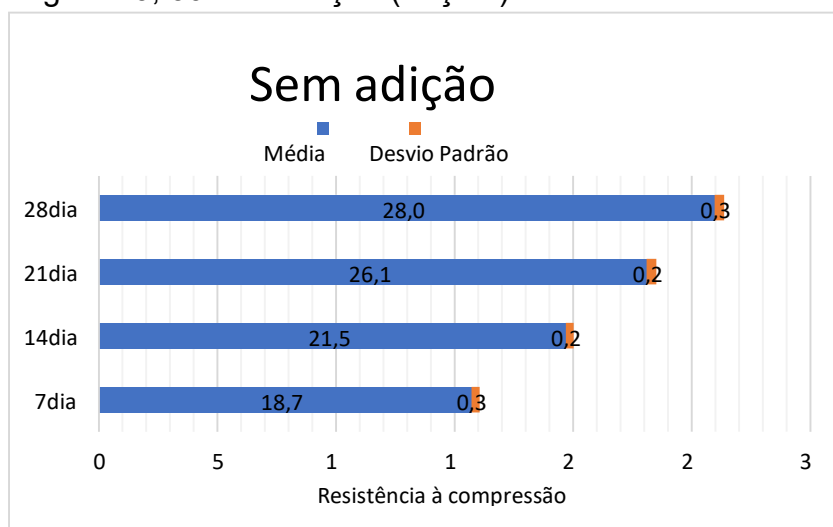


Figura 19. Resultados de resistência à compressão do concreto com adição de 30% de porcelanato. (Fonte: Autoria própria)

Primeiramente, observa-se que o aumento do tempo de cura leva a um aumento da resistência à compressão em todos os casos analisados.

Além disso, quando comparamos todos os traços analisados, verifica-se que o aumento da quantidade de porcelanato faz com que os valores da resistência à compressão sofram uma pequena queda. Tal análise pode ser comprovada pela Figura 20, onde aparecem os resultados dos testes de compressão de todos os

traços estudados, para 7 dias de cura. A mesma situação foi observada para todos os tempos de cura com seus respectivos gráficos.

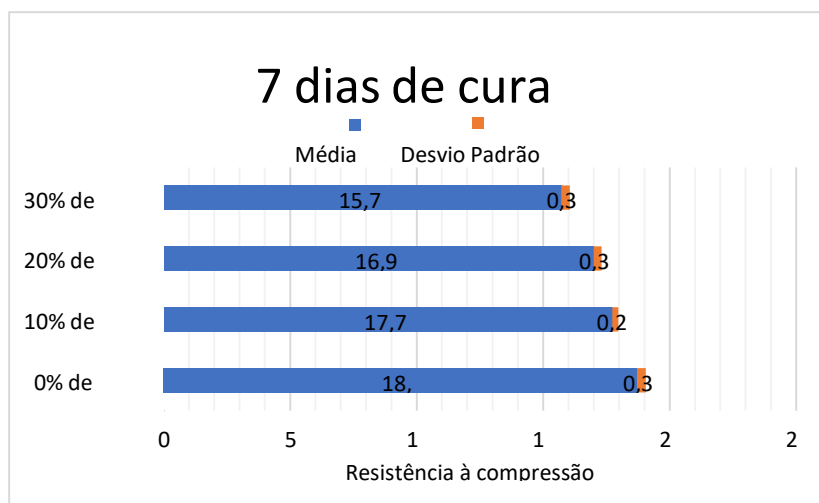


Figura 20. Comparação dos resultados de resistência à compressão dos traços analisados, para 7 dias de cura. (Fonte: Autoria própria)

Tais resultados estão em concordância com os estudos de PAIXÃO et al. (2011), que também obteve aumento de resistência com adição de porcelanato na fabricação de argamassas. Em contrapartida, os resultados não concordam com os estudos de CARVALHO (2017), que concluiu que a adição do porcelanato diminuiu em 40% a resistência do compósito, em relação ao de referência, impossibilitando seu uso na aplicação de pisos intertravados.

Por fim, de acordo com os dados obtidos neste trabalho, pode-se dizer que a adição de porcelanato é considerada positiva para análises de resistência à compressão, pois os valores obtidos são muito próximos daqueles relacionados ao traço 1, de referência, sendo os melhores resultados obtidos para o traço 2, com 10% de adição de porcelanato.

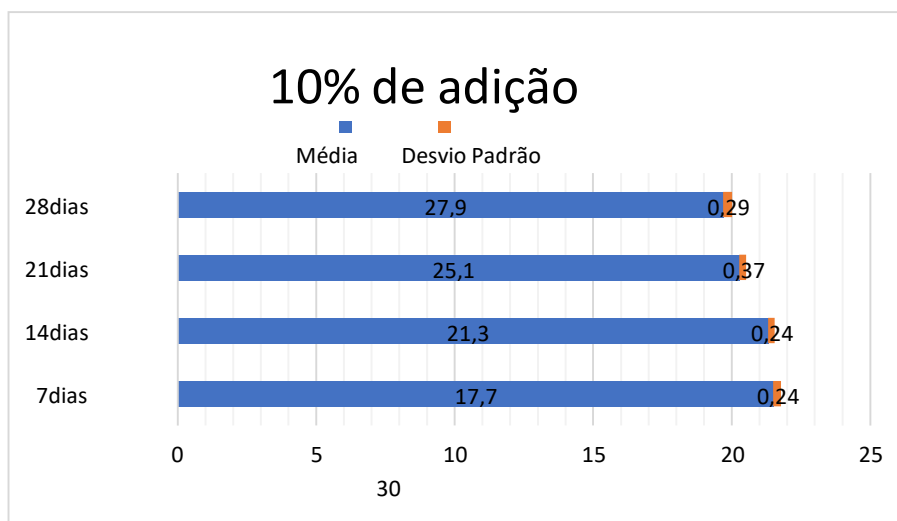


Figura 21. Resultados de resistência à compressão das amostras para 14 dias de cura. (Fonte: Autoria própria)

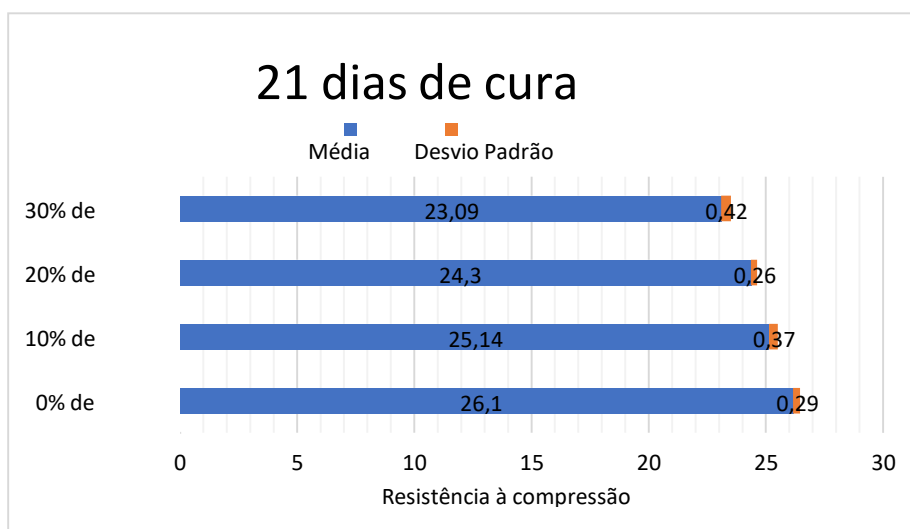


Figura 22. Resultados de resistência à compressão das amostras para 21 dias de cura. (Fonte: Autoria própria)

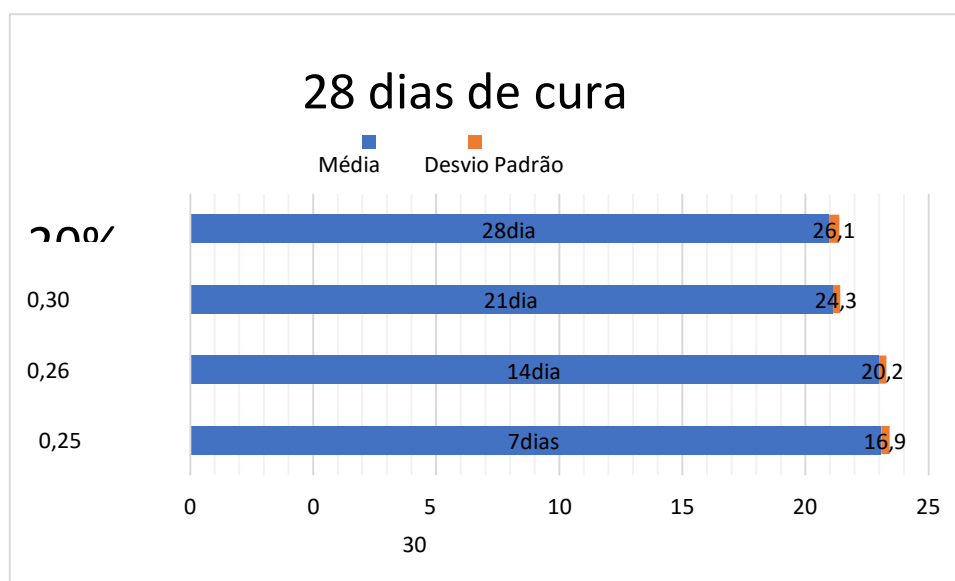


Figura 23. Resultados de resistência à compressão das amostras para 28 dias de cura. (Fonte: Autoria própria)

6.2. Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia foi realizada para as amostras com 28 dias de idade, de todas as composições contendo porcelanato. A Figura 24 representa a superfície de fratura das composições contendo 10% de adição.

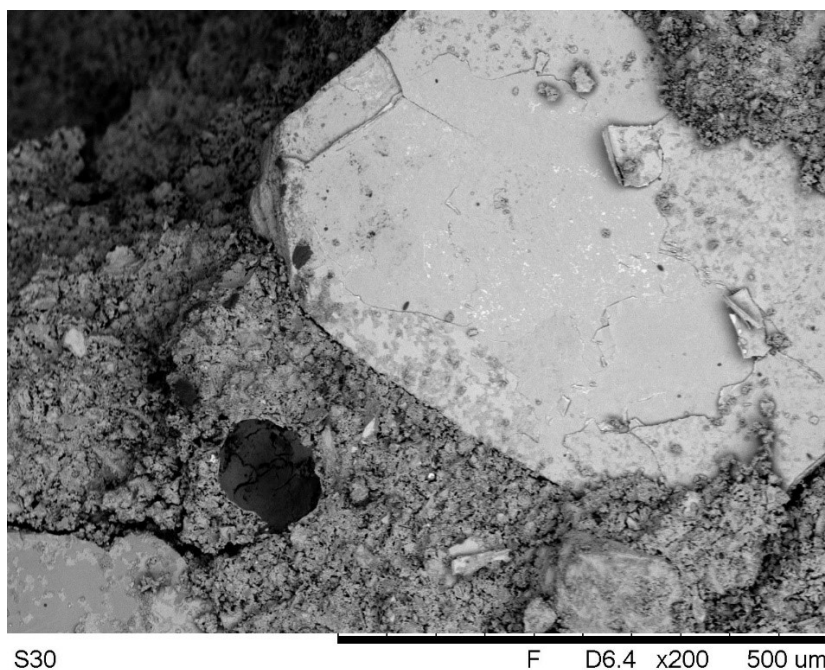
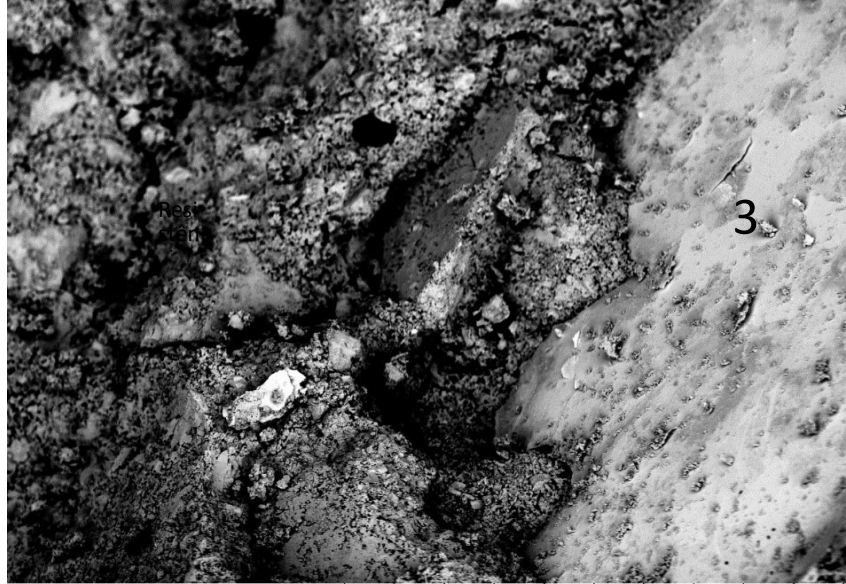


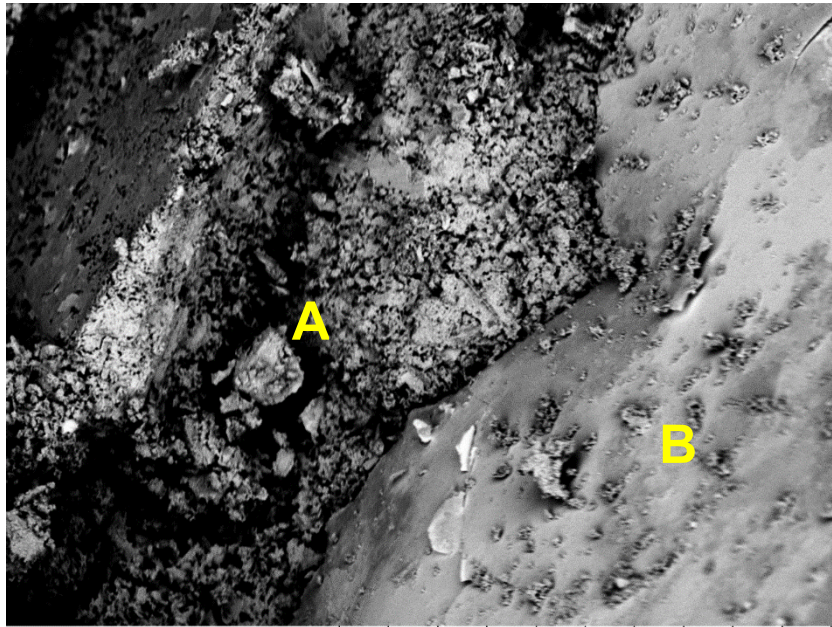
Figura 24: Micrografia obtida com adição de 10% de porcelanato (Fonte: Autoria própria).

A figura 25 representa a superfície da fratura de composições contendo um aumento de 200x.



S10 F D5.2 x200 500 um
Figura 25. Micrografia obtida com aumento de 200X para amostra com 10% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

Na Figura 26, representa a micrografia obtida com aumento de 500x.



S10 F D5.3 x500 200 um
Figura 26. Micrografia obtida com aumento de 500X para amostra com 10% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

E por fim na Figura 27, a micrografia com aumento de 2000X.

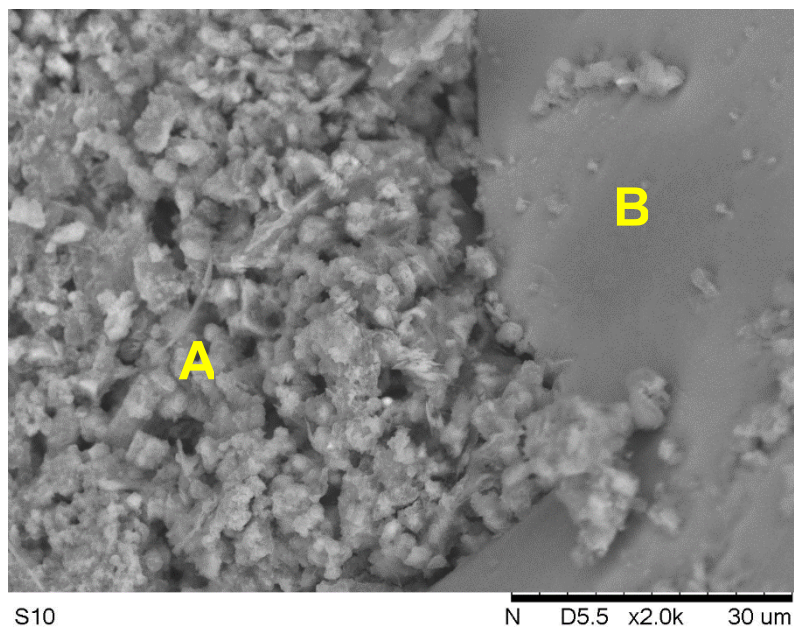


Figura 27. Micrografia obtida com aumento de 2000X para amostra com 10% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

Na Figura 28, corresponde a superfície de fratura das composições contendo 20% de adição, com aumento de 200x.

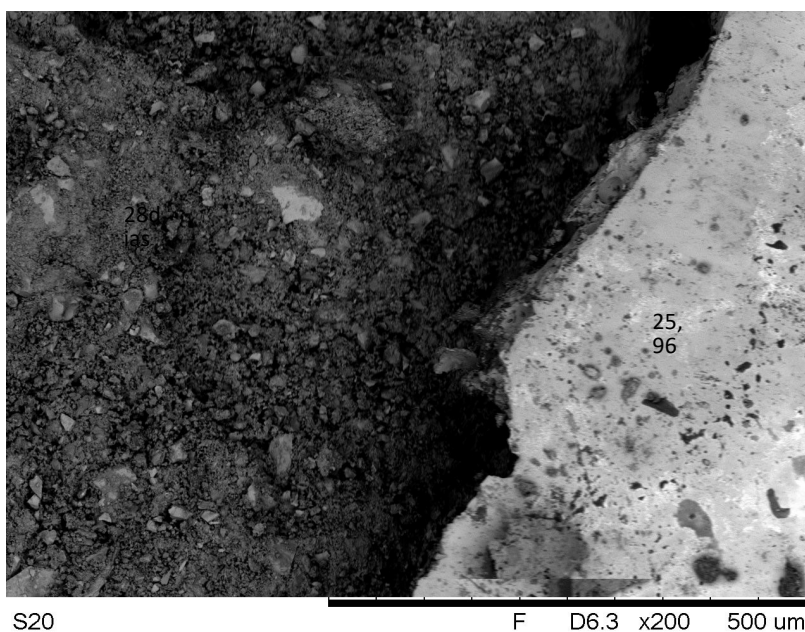


Figura 28. Micrografia obtida com aumento de 200X para amostra com 20% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

Na Figura 29, apresenta a mesma amostra com a micrografia obtida com o aumento de 500X.

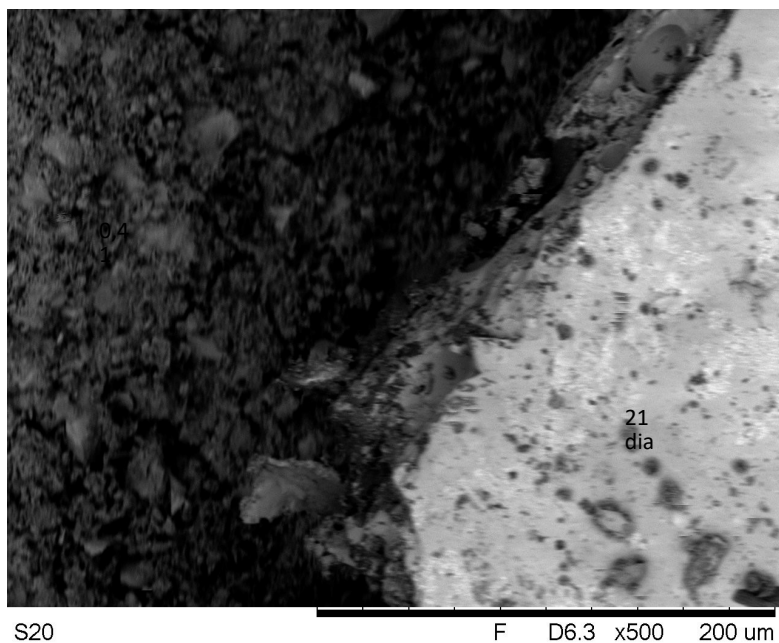


Figura 29. Micrografia obtida com aumento de 500X para amostra com 20% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

Por fim, a Figura 30 mostra a micrografia obtida com o aumento de 200x, para amostra com 20% de adição de porcelanato e 28 dias de cura.

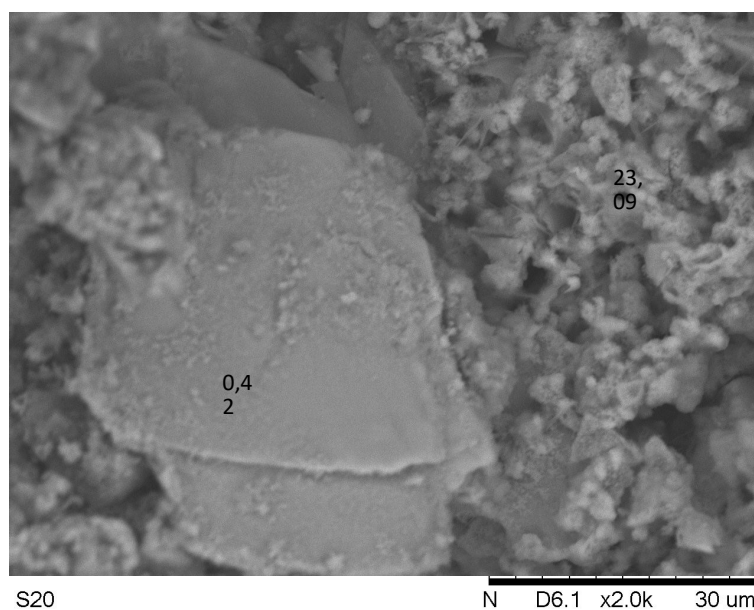


Figura 30. Micrografia obtida com aumento de 2000X para amostra com 20% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

Figura 31 a 34 equivalem as micrografias das superfícies de fratura das amostras com 30% de adição de porcelanato, com os mesmos aumentos considerados para as outras amostras, respectivamente.

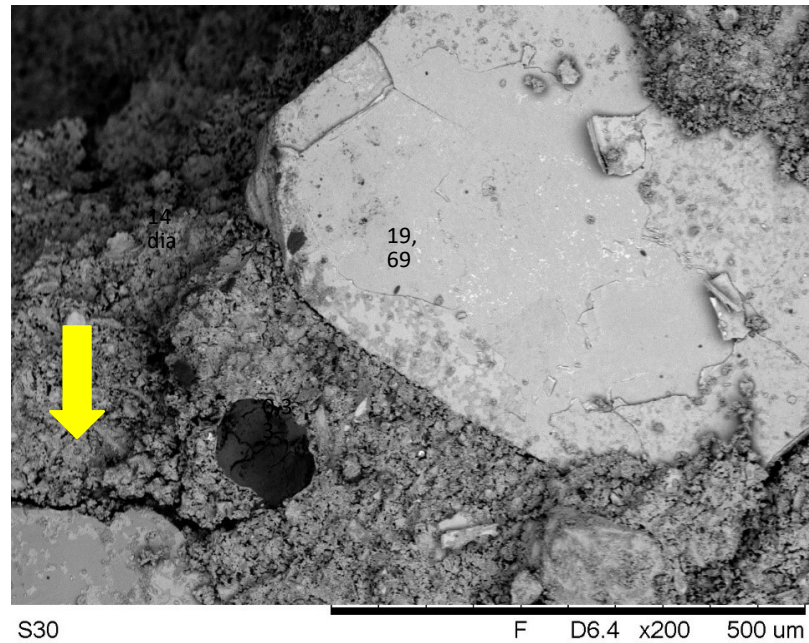


Figura 31. Micrografia obtida com aumento de 200X para amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

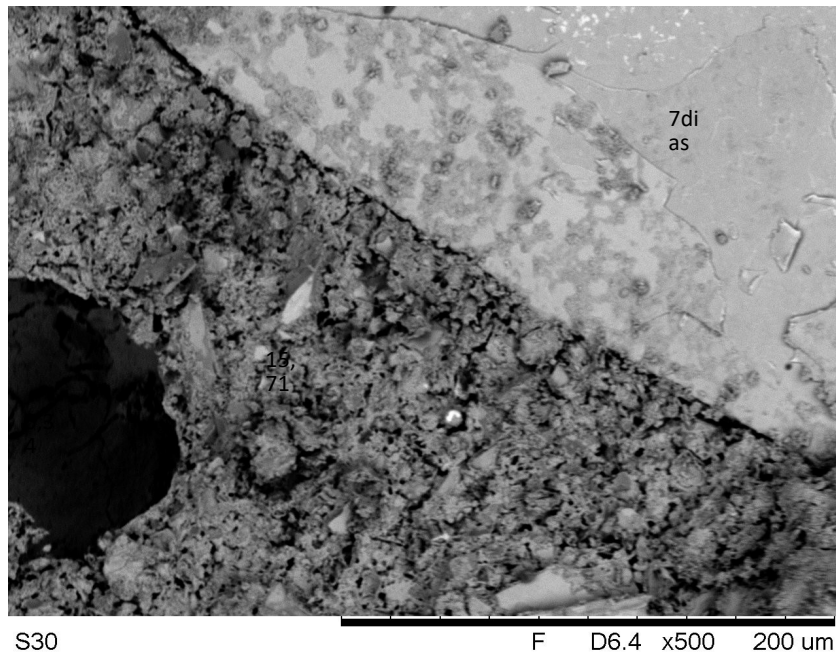


Figura 32. Micrografia obtida com aumento de 500X para amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

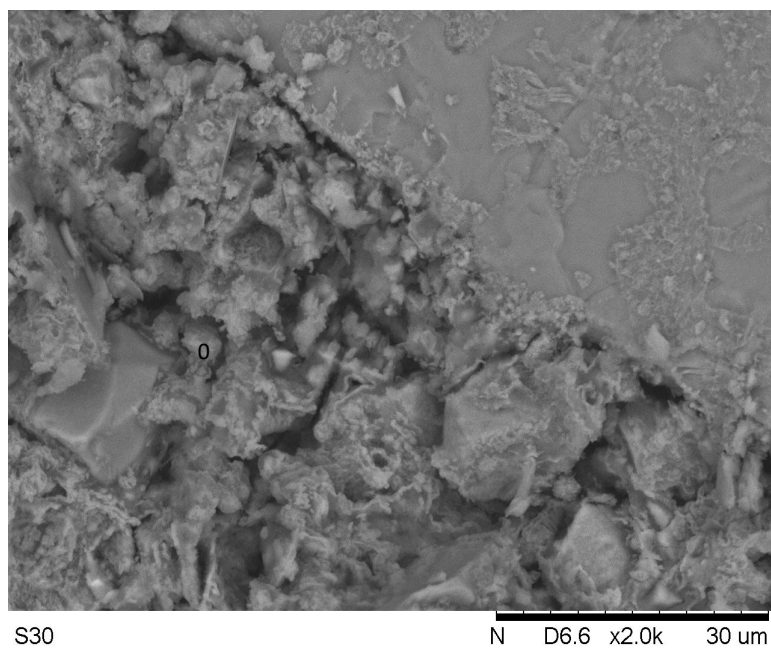


Figura 33. Micrografia obtida com aumento de 2000X para amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).

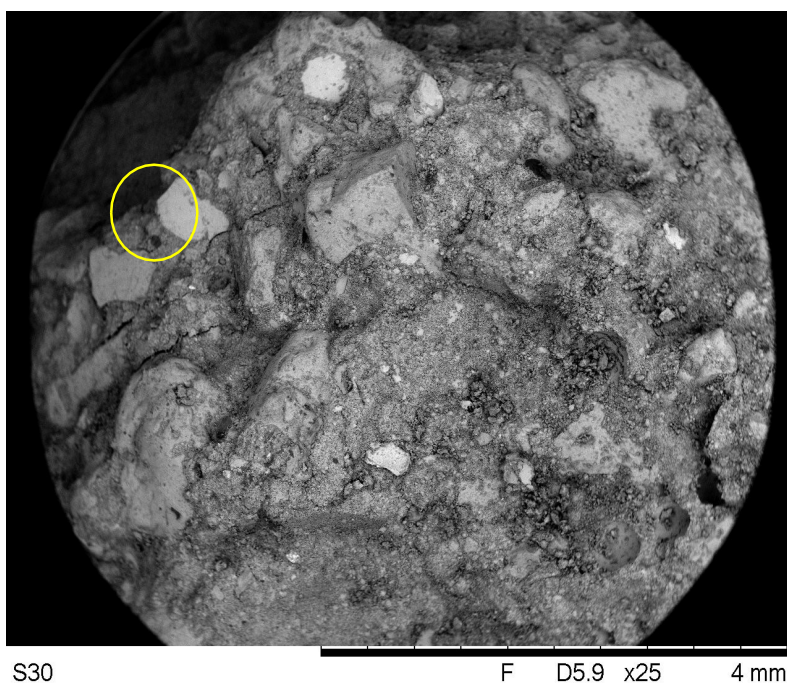


Figura 34. Micrografia da superfície de fratura total da amostra com 30% de adição de porcelanato e 28 dias de cura, com aumento de 25X (Fonte: Autoria própria)

Analisando a amostra com 10% de adição de porcelanato, foi possível observar uma região escurecida, provavelmente, devido à grande quantidade de poros (A), de topografia bem irregular, o que, segundo MATOS (2015), está relacionado a um

grau de cristalinidade alto. Além disso, observa-se uma região com estrutura mais compacta (B) de coloração cinza.

Foram discutidas as micrografias da amostra com 20% de adição de porcelanato verificando uma parte da superfície fraturada © e uma parte da superfície que não se fraturou (D). Quando se analisa a região fraturada, verifica-se uma região escurecida, bastante porosa, que é comprovada quando se observa o aumento de 2000X na Figura 33. Comparando com a amostra avaliada, anteriormente, pode-se dizer que possui um aspecto menos aberto e menos poroso. Ademais, quando utiliza-se o aumento de 2000X, na Figura 33 (E), observa-se uma microestrutura facetada e de coloração cinza, que, conforme grande similaridade visual com amostra analisada

Ao avaliar as micrografias da amostra com 30% de adição de porcelanato, verifica-se que a região F, equivalente às regiões A (para 10% de adição) e C (para 20% de adição), possui aspecto ainda menos poroso e menos aberto que a amostra de composição intermediária, de modo que, quando maior for a presença do resíduo da porcelanato, menos porosa será esta região.

Em um primeiro momento, tal característica pode parecer estranha, quando levamos em consideração os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial, no qual foram obtidos valores mais altos de resistência para as amostras com 10% de adição de resíduo, ou seja, regiões mais porosas são mais resistentes. No entanto, a absorção de água do porcelanato é muito baixa, de modo que a estrutura pode vir a ser mais homogênea ao seu redor, mas a quantidade de fissuras e vazios grandes nessa mesma região deixam o material fragilizado.

Este fato explica o motivo das amostras que contém mais porcelanato em sua composição apresentarem menores valores de resistência à compressão axial, mesmo apresentando partículas menos porosas.

Outrossim, ainda são observadas as regiões G e H. A região H, que apresenta bastante escurecida na micrografia, representa um vazio, de aproximadamente, 500 μm , que representa um espaço não preenchido por componentes sólidos da hidratação do cimento. Já a região G, de acordo com a indicação existente na vista geral da superfície de fratura, representada na Figura 34, pode-se perceber que se trata de um agregado de porcelanato.

6.3. Difração de raios X

Os ensaios em XRD foram realizados nos traços com adição de 10%, 20% e 30% de porcelanato, entretanto, nos traços com adição de 10% e 30% as amostras foram contaminadas, dessa forma, o traço com adição de 20% de porcelanato foi escolhido para essa representatividade na Figura 35.

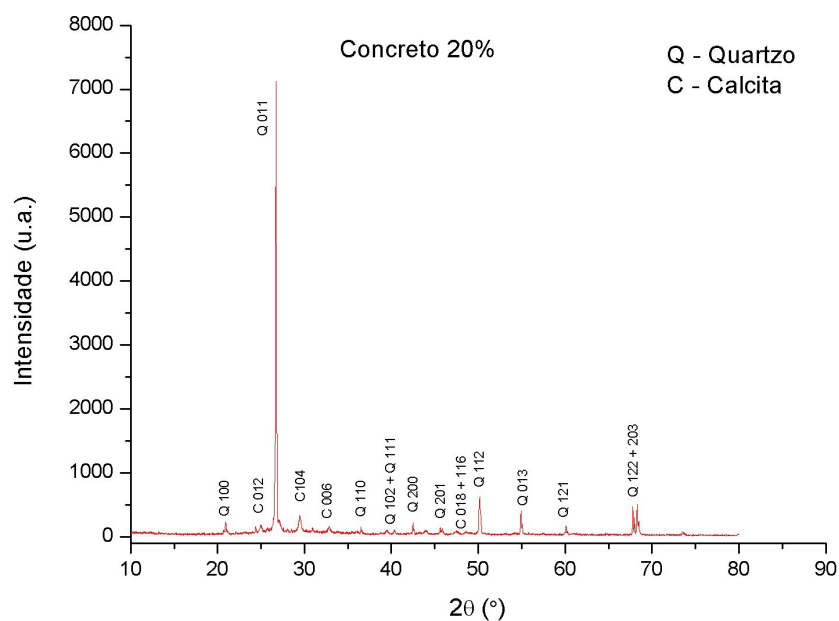


Figura 35. Difração de DRX com adição de 20% de porcelanato (Fonte: Autoria própria)

7. CONCLUSÕES

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos com adição de porcelanato em substituição ao agregado miúdo em teores de 0% (traço1), 10% (traço 2), 20%(traço3)e 30% (traço 4) para analisar as conformidades da propriedade mecânica no concreto, através de teste de resistência à compressão axial, em período de 7, 14, 21 e 28 dias, ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios x (XRD).

No teste de resistência à compressão axial, verificou-se que a adição de porcelanato diminui gradativamente a resistência à compressão do concreto e que o aumento do tempo de cura, gera um aumento na resistência, sendo os melhores resultados obtidos para o traço 2, com adição de 10% porcelanato, além disso observa-se aproximadamente a queda de 1 Mpa por traço respectivamente, e que quanto maior o tempo de cura maior é a resistência à compressão.

Nos ensaios em microscopia eletrônica por varredura (MEV) verifica-se que quanto maior for a presença de resíduo de porcelanato, menos porosa será a região, sendo observada no traço de adição de 30%, visto que, regiões menos porosas são mais resistentes.

Nos ensaios em DRX, esperava-se resultados próximos nos traços com adição de 10%, 20% e 30% de porcelanato, porém os traços de 10% e 30% foram contaminados, dessa forma, a composição intermediária foi escolhida para essa representatividade.

Dessa forma, a criação de uma nova composição de concreto com adição de resíduos de porcelanato em substituição ao agregado miúdo é de grande relevância no uso da Construção Civil, visto que, mediante aos testes realizados verificou-se que suas propriedades mecânicas estão de acordo com os parâmetros exigidos na Engenharia Civil, comprovando sua efetividade, além de permitir a viabilização na construção de edificações ecologicamente corretas e reduzir o custo final da obra.

Foi possível concluir que foi possível ser feita uma confecção de uma nova composição de concreto com adição de resíduos de porcelanato em substituição ao agregado miúdo, foi dentro do padrão e do limite aceitável.

8. TRABALHOS FUTUROS

Com base nas discussões realizadas verifica-se a necessidade de estudos no que diz respeito à realização de novos traços com adição de porcelanato com 40%, 50% e 60%, para gerarem melhores resultados quanto a resistência à compressão axial, a microscopia eletrônica por varredura, sobretudo, para técnica de DRX, visto que, as amostras de 10% e 30% foram contaminadas, a fim de melhorar a estatística obtida no presente trabalho.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC – Manual do concreto dosado em central. In: Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil, São Paulo. 2007.

AMBROZEWICZ, P.H.L. **Materiais de construção**. 1ª Edição. Ed. PINI. P. 460.2012.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5736 - Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1986. 5p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aglomerantes de origem mineral: NBR 11172. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12563:1992 – Materiais Pozolânicos, Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 12655. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2008,6p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211. Agregados para o Concreto: especificação. Rio de Janeiro,2009,12p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2011,8p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5732 - Cimento Portland comum-especificação. Rio de Janeiro, 2014. 5p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5733 - Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 2014. 5p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5735 - Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 2014. 6p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11578 - Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro, 2014. 5p.

AMBONI, N., **O caso Cecrisa S.A.: Uma aprendizagem que deu certo**. 315p. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica de Revestimentos, História da Cerâmica, informação disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>>. Acessado em 14/09/2019.

BRITO, J. F., **Produção de grés porcelanato a partir de matérias-primas do Estado da Bahia**. Salvador. 108p. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, 2009.

CARVALHO, E. V., **Utilização do resíduo de retífica de cerâmica de revestimento na produção de concreto para pavimento intertravado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Tecnologia. Campinas – SP. 2013.

CONSTANTINO, A. O., ROSA, S. E. S., CORRÊA, A. R., **Panorama do setor de revestimentos cerâmicos**. BNDES, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/rs_rev_ceramicos.pdf> Acessado em: 18/08/2018.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural. *In*: Isaia, G. C. (ed), **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. 1 ed., São Paulo: IBRACON, pp. 345-379, 2005.

FONSECA, G.C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica** – 105 f.-Belo Horizonte, MG – UFMG. 2010.

LAUREANO, L. F., VARGAS, A., **Análise do comportamento do concreto com adição de resíduo de polimento de porcelanato sob altas temperaturas**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul Catarinense. Florianópolis – SC, 2017.

LEA, F. M., The Chemistry of Cement and Concrete, **Chemical Publishing Company**, Inc., New York, 1971, pp. 302-10, 414-89.

MALISKA, A., M., **Caracterização de Revestimentos Cerâmicos**. Engenharia de

Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MALISKA, A. M. Microscopia eletrônica de varredura e microanálise. Laboratório de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis –SC. Disponível em: <http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV_Apostila.pdf> Acessado em: 19 de outubro de 2018.

MASSAZZA, F. (1998), *Pozzolana and pozzolanic cements*. In: Hewlett, P. C. (ed), **Lea's chemistry of cement and concrete**, 4 ed. New York: J. Wiley, pp. 471-631.

MATOS, D. C. **Reaproveitamento do chamote de porcelanato para o desenvolvimento de novos compósitos cimentícios**. Dissertação de Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica. Belo Horizonte – MG, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo-SP. IBRACON, 2008, 674 p.

MORAVILEE-REGOURD, M. Microstructure of high-performance concrete. In: MALIER, Y. **High Performance concrete – from material to structure**. London, E & FN Spon, 1992. P.3-13.

MONTEIRO, P. J. M. **The aggregate-mortar interface, Cement and Concret Research**, 15, n. 6, pp. 953-8, 1985.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. Burnt Mill, England: Longman Scientific and Technical, 1988, 177p.

PAIXÃO, C. A., CAETANO, L. F., COLIANTE, J. G. R., SILVA FILHO, L.C.P., BERGMANN, C. P. Estudo da Viabilidade de Utilização de Resíduos Cerâmicos para Confecção de Argamassas. **Cerâmica Industrial**, 2011.

PINHEIRO, I. S. **Beneficiamento e caracterização de resíduos gerados na produção de blocos cerâmicos visando à aplicação como adição pozolânica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2008.

QUEIROZ, A., KUROSAWA, R., BARRETO, R. **Difração de Raios-X**. Laboratório Avançado de Física Computacional. Universidade de São Paulo. São Carlos-SP. Disponível em: <<http://macbeth.if.usp.br/~gusev/Raios%20X%20aula.pdf>> Acessado em: 19 de outubro de 2018.

RESENDE, D. S., **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG. 2013.

RIGO, C. A. S., Tese de Doutorado, **Desenvolvimento e Aplicação de uma Metodologia para Caracterização e Análise Estrutural de Concretos de Cimento Portland**, CPGEM, UFMG, 1998.

ROCHA, C. A. A., **Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ., 2008.

RODRIGUEZ, A. M.; PIANARO, S. A. Propriedades de Matérias-primas Seleccionadas para a Produção de Grês-Porcelanato. **Cerâmica Industrial**, nº 9, pp.6, 2004.

ROSSO, J., CUNHA, E. S., ROJAS-RAMIREZ, R. A., Características técnicas e polimento de porcelanatos, **Revista Cerâmica Industrial**, v. 10, p. 11-14, 2005.

SANCHEZ, E.; ORTS, M.J., GARCÍA-TEM, J.; CANTAVELLA, V. Efeito da Composição das Matérias-Primas Empregadas na Fabricação de Porcelanato sobre as Fases Formadas durante a Queima e as Propriedades do Produto final. **Cerâmica Industrial**, setembro / outubro, 2001.

SILVA, G. J. B. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. 2005.

SILVA, C. E. V. **Confecção de concreto com adição de embalagens cartonadas assépticas**. Fundação Oswaldo Aranha – Centro Universitário de Volta Redonda. Programa de Mestrado Profissional em Materiais. Volta Redonda – RJ. 2017.

TORRES, D.R. Influência da variação da velocidade de rotação e do tipo de cimento nas propriedades de argamassas de revestimento nos estados frescos e endurecidos. **Revista Cerâmica**, n. 368 dez.2017.

WADA, P. H., **Estudo da Incorporação de Resíduos de Cerâmica Vermelha na Composição de Concreto para Uso em Estacas Moldadas *In Loco***. Dissertação

de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São Paulo – SP.2010.