



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DOS MATERIAIS

DESENVOLVIMENTO DE ADOQUIM CERÂMICO COM RESÍDUOS DE GESSO E
GRANITO

Doutorando: Kelson Silva de Almeida

Orientador: Dr. José Milton Elias de Matos

Coorientador: Dr. Roberto Arruda Lima Soares

Teresina - Piauí

2019

KELSON SILVA DE ALMEIDA

**DESENVOLVIMENTO DE ADOQUIM CERÂMICO COM RESÍDUOS DE GESSO E
GRANITO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito obrigatório à obtenção do título de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais.

ORIENTADOR: Dr. JOSÉ MILTON ELIAS DE MATOS
COORIENTADOR: Dr. ROBERTO ARRUDA LIMA SOARES

Teresina-Piauí

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Processos Técnicos

A447d Almeida, Kelson Silva de
Desenvolvimento de aduim cerâmico com resíduos de gesso e
granito / Kelson Silva de Almeida. – 2019.
141 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de
Tecnologia , Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais,
Teresina, 2019.

Orientação:” Prof. Dr. José Milton Elias de Matos “

1. Argila. 2. Adoquim Cerâmico. 3. Gesso. I.Título.

CDD 666.4

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS – PPGCM

FOLHA DE APROVAÇÃO – DEFESA DE TESE

DISCENTE: **KELSON SILVA DE ALMEIDA**

TÍTULO DO PROJETO: “DESENVOLVIMENTO DE ADOQUIM CERÂMICO COM RESÍDUOS DE GESSO E GRANITO”.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Milton Elias de Matos

BANCA EXAMINADORA:

ASSINATURA

Prof. Dr. José Milton Elias de Matos – UFPI
(Presidente)

Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares – IFPI
(Coorientador)

Profa. Dra. Rafaela Luiz Pereira dos Santos – UFPI
(Examinadora Interna)

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes – IFPI
(Examinador Externo à Instituição)

Prof. Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho – IFPI
(Examinador Externo à Instituição)

Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim – IFPI
(Examinador Externo à Instituição)

Jose Milton Elias de Matos

Roberto Arruda Lima Soares

Rafaela Luiz Pereira Santos

Erico Rodrigues Gomes

Jose Francisco dos Reis Sobrinho

Ayrton de Sá Brandim

DATA DA AVALIAÇÃO: 19 de Dezembro de 2019.

HORÁRIO: 14:30h

LOCAL: Auditório do PPG em Ciência e Engenharia dos Materiais/UFPI

Dedico este trabalho aos meus pais Joel e Paulina e minha esposa Camila por acreditarem em mim e estarem comigo neste momento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais Joel e Paulina, que apesar das dificuldades encontradas, sempre incentivaram meus estudos. Às minhas irmãs Kely e Joelma e minha sobrinha Isabelly pela força e incentivo contínuo.

À minha esposa Camila, pelo apoio, amor, carinho e por estar sempre ao meu lado, mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao professor Dr. José Milton pela orientação, conversas, conselhos, paciência e por ter me ajudado em momentos que tanto precisei dele.

Ao professor Dr. Roberto Arruda também pela orientação, amizade e ensinamentos essenciais para a realização do trabalho.

Ao Instituto Federal do Piauí Campus Floriano pela colaboração ao longo das pesquisas e pelo afastamento concedido.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade de realização do doutorado.

Aos Professores membros da banca de defesa de Tese pelas contribuições valorosas e precisas ao conteúdo do trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais pelos ensinamentos.

A todos os colegas da pós-graduação, pela convivência, solidariedade e compartilhamento de experiências, além do Secretário do programa Kelson Silva pela ajuda ao longo do curso e ao Técnico Rui pela ajuda nas pesquisas e análises.

Às empresas: Cerâmica Vitória e Marmoraria São Francisco pelo fornecimento das matérias-primas.

A todos não citados que, de forma direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

*“Tu és minha força, outro Deus não há,
Tu és minha paz, minha liberdade,
Nada nesta vida nos separará,
Em Tuas mãos seguras, minha vida
guardarás,
Eu não temerei o mal, Tu me livrarás,
E no Teu perdão viverei.”*
(Eliana Ribeiro)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Resumo das etapas do estudo.	48
Figura 2: Mapa com delimitação do local de estudo.....	48
Figura 3: Processo produtivo cerâmico.....	49
Figura 4: Impacto ambiental na extração de argila.	50
Figura 5: Uso de água em indústria cerâmica.	51
Figura 6: Material cru não conforme.	52
Figura 7: Fonte energética usada nas indústrias: lenha.....	53
Figura 8: Cinzas geradas após a queima.	54
Figura 9: Produto fora de especificação.....	55
Figura 10: Distribuição granulométrica da amostra de argila.....	67
Figura 11: Diagrama de Winkler para a amostra de argila.	68
Figura 12: Análise Termodiferencial (DTA) da argila.....	69
Figura 13: Análise Termogravimétrica (TG) da argila.	69
Figura 14: Difratoograma de raios X da amostra de argila.....	70
Figura 15: Amostra dos corpos de prova após a queima.....	71
Figura 16: Retração Linear de queima para os corpos de prova.	72
Figura 17: Absorção de Água para os corpos de prova de argila.....	73
Figura 18: Porosidade Aparente para os corpos de prova de argila.	74
Figura 19: Tensão de ruptura a flexão para os corpos de prova de argila.....	75
Figura 20: Difratoograma para os corpos de prova de argila queimada a 1000 °C.	76
Figura 21: Micrografia por MEV para corpo de prova queimado a 1000 °C, 500x.....	76
Figura 22: Micrografia por MEV para corpo de prova queimado a 1000 °C, 5000x.....	77
Figura 23: Distribuição granulométrica.	88
Figura 24: Prognóstico de extrusão.....	89
Figura 25: Análises Térmicas para a Argila: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica. .	90
Figura 26: Análises Térmicas para o Gesso: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica. .	91
Figura 27: Difratoograma de raios X da amostra de argila.....	91
Figura 28: Difratoograma de raios X do resíduo de gesso.....	92
Figura 29: Retração linear de queima das formulações avaliadas.	93
Figura 30: Absorção de Água das formulações avaliadas.	94
Figura 31: Porosidade Aparente das formulações avaliadas.....	95
Figura 32: Resistência à compressão uniaxial das formulações avaliadas.....	96

Figura 33: Índice de abrasão das formulações avaliadas.	97
Figura 34: Resistência à abrasão das formulações avaliadas – cavidade.	97
Figura 35: Condutividade térmica das formulações avaliadas.	98
Figura 36: Difratoograma de raios X para a formulação C0 queimada a 1000 °C.	99
Figura 37: Difratoograma de raios X para a formulação C2 queimada a 1000 °C.	100
Figura 38: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 500x.	100
Figura 39: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 5000x.	101
Figura 40: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 500x.	101
Figura 41: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 5000x.	102
Figura 42: Amostras das formulações após a queima.	103
Figura 43: Distribuição granulométrica.	116
Figura 44: Prognóstico de extrusão.	117
Figura 45: Análises Térmicas para a Argila: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.	118
Figura 46: Análises Térmicas para o Granito: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.	119
Figura 47: Análises Térmicas para o Gesso: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.	119
Figura 48: Difratoograma de raios X da amostra de argila.	120
Figura 49: Difratoograma de raios X dos resíduos: (a) – Granito, (b) – Gesso.	121
Figura 50: Retração linear de queima das formulações avaliadas.	122
Figura 51: Absorção de Água das formulações avaliadas.	123
Figura 52: Porosidade Aparente das formulações avaliadas.	124
Figura 53: Resistência à compressão uniaxial das formulações avaliadas.	125
Figura 54: Índice de abrasão das formulações avaliadas.	125
Figura 55: Resistência à abrasão das formulações avaliadas – cavidade.	126
Figura 56: Difratoograma de raios X para a formulação C0 queimada a 1000 °C.	127
Figura 57: Difratoograma de raios X para a formulação C1 queimada a 1000 °C.	128
Figura 58: Difratoograma de raios X para a formulação C2 queimada a 1000 °C.	128
Figura 59: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 500x.	129
Figura 60: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 5000x.	129
Figura 61: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 500x.	130
Figura 62: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 5000x.	130
Figura 63: Amostras das formulações após a queima.	131

Figura 64: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 500x.....	140
Figura 65: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 5000x.....	140
Figura 66: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 500x.....	141
Figura 67: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 5000x.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Setor de Rochas Ornamentais no Brasil	24
Tabela 2: Produção da Indústria de Rochas Ornamentais no Brasil	25
Tabela 3: Composição química da argila (porcentagem % em peso).	66
Tabela 4: Composição granulométrica em porcentagem da amostra de argila.	67
Tabela 5: Índice de Plasticidade da amostra de Argila.	68
Tabela 6: Formulações estudadas	86
Tabela 7: Composição química (% em peso)	87
Tabela 8: Composição granulométrica.	88
Tabela 9: Índice de Plasticidade das amostras.	89
Tabela 10: Formulações estudadas.	114
Tabela 11: Composição química (% em peso).	115
Tabela 12: Composição granulométrica.	116
Tabela 13: Índice de Plasticidade das amostras.	117

LISTA DE ABREVIATURAS

- AA** – Absorção de Água
- ABC** – Associação Brasileira de Cerâmica
- ABIROCHAS** - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas e Técnicas
- A.C** – Antes de Cristo
- AG** - Análise Granulométrica
- ANICER** – Associação Nacional de Indústria Cerâmica
- ASTM** - American Society for Testing and Materials
- C0** – Formulação Padrão Cerâmica – Massa Básica de Argila
- C5** – Formulação de Argila com adição de 5% em resíduo.
- C10** – Formulação de Argila com adição de 10% em resíduo
- CEPRO** – Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí
- CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CL** – Clay Low (Argila de Baixa Compressibilidade)
- CTGas-ER** – Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis
- DNPM** – Departamento Nacional de Produção Mineral
- DRX** – Difração de Raios-X
- DTA** – Análise Termogravimétrica
- FIEMG** - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
- FIEPI** – Federação das Indústrias do estado do Piauí
- FRX** – Fluorescência de Raios-X
- INT** – Instituto Nacional de Tecnologia
- ICDD** – Internacional Center for Diffraction Data
- IPT** - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- IFPI** – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
- IP** – Índice de Plasticidade
- LETA** – Laboratório de Ensaio Tecnológicos de Argila
- LL** – Limite de Liquidez
- LP** – Limite de Plasticidade
- M.B.** – Massa Básica

MEA – Massa Específica Aparente

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

NBR – Norma Brasileira

NTC - Norma Técnica Colombiana

PA – Porosidade Aparente

PBQPH – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat

PF – Perda ao Fogo

PIB – Produto Interno Bruto

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PSQ - Programa Setorial de Qualidade

RLq – Retração Linear de Queima

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SINDICER – Sindicato da Indústria Cerâmica para Construção

SINDUSCON – Sindicato das Indústrias da Construção Civil

SINDUSGESSO - Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco

TG – Análise Térmica Gravimétrica

TRF – Tensão de Ruptura a Flexão

UNC – União Nacional da Construção

VA – Volume Aparente

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	16
2CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1	18
2.1 INTRODUÇÃO	20
2.2 A CERÂMICA E SEU PERFIL DE INDÚSTRIA	21
2.3 INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	23
2.4 INDÚSTRIA DE GESSO DE REVESTIMENTO	26
2.5 RESÍDUOS INDUSTRIAIS – CLASSIFICAÇÃO.....	27
2.6 RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	28
2.7 RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA DE GESSO.....	29
2.8 RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA.....	30
2.9 EFEITOS DE RESÍDUOS DE GRANITO EM CERÂMICA VERMELHA	30
2.10 EFEITOS DE RESÍDUOS DE GESSO EM CERÂMICA VERMELHA	34
2.11 CONCLUSÃO	38
2.12 AGRADECIMENTOS	38
2.13 BIBLIOGRAFIA	39
3CAPÍTULO 2 – ARTIGO 2.....	43
3.1 INTRODUÇÃO	45
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.3.1 Degradação da área da jazida de argila	50
3.3.2 Consumo de Água	51
3.3.3 Material cru defeituoso.....	52
3.3.4 Matriz energética.....	53
3.3.5 Cinzas da queima	54
3.3.6 Produto fora de especificação	55
3.4 CONCLUSÃO	56
3.5 AGRADECIMENTOS	56
3.6 BIBLIOGRAFIA	57
4CAPÍTULO 3 – ARTIGO 3.....	61

4.1	INTRODUÇÃO	63
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	65
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.4	CONCLUSÃO	77
4.5	AGRADECIMENTOS	78
4.6	BIBLIOGRAFIA	78
5	CAPÍTULO 4 – ARTIGO 4	82
5.1	INTRODUÇÃO	84
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS	85
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
5.4	CONCLUSÃO	103
5.5	AGRADECIMENTOS	104
5.6	BIBLIOGRAFIA	104
6	CAPÍTULO 5 – ARTIGO 5	108
6.1	INTRODUÇÃO	110
6.2	MATERIAIS E MÉTODOS	113
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
6.4	CONCLUSÃO	132
6.5	AGRADECIMENTOS	132
6.6	BIBLIOGRAFIA	132
7	CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO DA TESE	137
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	138
	ANEXOS	139
	ANEXO A - ANEXO AO CAPÍTULO 4	140
	ANEXO B - ANEXO AO CAPÍTULO 5.....	141

1 APRESENTAÇÃO

A Tese apresentada tem como objetivo principal formular um bloco intertravado cerâmico com adição de resíduos urbanos provenientes das indústrias de gesso de revestimento e granito utilizado em beneficiamento final, buscando obter um produto de alto valor agregado e dentro das especificações técnicas.

O trabalho realizado se fez necessário tendo em vista a necessidade de reciclagem de resíduos de gesso e granito e a possibilidade de utilização dos mesmos na indústria de cerâmica vermelha, contribuindo assim para a reciclagem e qualidade ambiental, desenvolvimento de novos materiais e a sustentabilidade do setor de adoquim cerâmico na região. Além disso, o adoquim não é encontrado comercialmente e assim o estudo é necessário visando a sua implantação no mercado piauiense, principalmente pelas características que o produto apresenta: vida útil longa, resistência mecânica elevada, cores naturais exuberantes e facilidade de implantação.

É necessário pontuar que atualmente o mundo tem buscado a reutilização ou reinserção de produtos anteriormente considerados inservíveis como é o caso dos resíduos de gesso e granito, e também a incorporação dos mesmos em massas cerâmicas, contribuindo para a redução do volume de matéria-prima necessária.

A Tese está organizada em cinco capítulos. O Primeiro Capítulo apresenta uma revisão de literatura a respeito do efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha, buscando apresentar pesquisas já realizadas na área. O estudo mostrou que há poucas pesquisas na área de reciclagem de resíduos e ainda, que a utilização de rejeitos de gesso e granito em massa cerâmica estava em conformidade com a legislação vigente e contribuiu para a redução dos impactos negativos causados ao meio ambiente devido ao seu descarte em locais indevidos.

O Segundo Capítulo é um artigo científico e apresenta o diagnóstico ambiental do setor de cerâmica vermelha na região de Oeiras-PI. Foram identificados os impactos ambientais e em seguida, a indicação de possíveis medidas mitigadoras. Os resultados apontaram como impactos ambientais: retirada da vegetação e alteração topográfica, cinzas da queima, alto consumo de água, material cru e produto não conforme. As principais medidas mitigadoras apresentadas foram: reflorestamento, terraplenagem, controle do consumo de água, melhorar o processo produtivo, incorporação de resíduos na massa cerâmica.

O Terceiro Capítulo é um artigo científico que teve por objetivo caracterizar uma jazida de argila localizada na região central do estado do Piauí, para viabilizar a utilização da

mesma como matéria prima cerâmica, buscando impulsionar este ramo da indústria. Os resultados apontaram a melhora nas características da amostra com o aumento da temperatura de queima e assim a jazida de argila apresentou grande potencialidade de se tornar matéria-prima para a indústria de cerâmica vermelha no estado do Piauí.

O Quarto Capítulo apresenta a análise da incorporação de resíduo de gesso em formulações para adoquim cerâmico. Os resultados indicaram a viabilidade de uso deste resíduo em baixas porcentagens (5%), além da possibilidade de aplicação em áreas externas como praças e locais com tráfego leve, além da possibilidade de utilização como revestimento cerâmico.

O Quinto Capítulo apresenta o desenvolvimento de adoquim cerâmico com a incorporação de resíduos de gesso de revestimento e granito utilizado em beneficiamento comercial. Os resultados do trabalho indicaram que os resíduos de gesso e granito, com porcentagens de 5%, possuem características adequadas à adição em cerâmica vermelha para a produção de adoquim e tem possibilidade de utilização como pavimento em interiores e áreas externas em praças e locais com tráfego leve.

O Sexto Capítulo apresenta a conclusão da tese. Em seguida são apresentadas sugestões para trabalhos futuros e por fim os anexos aos capítulos da tese.

2 CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1

EFEITO DE RESÍDUOS DE GESSO E DE GRANITO EM PRODUTOS DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

EFEITO DE RESÍDUOS DE GESSO E DE GRANITO EM PRODUTOS DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

(EFFECT OF GYPSUM AND GRANITE RESIDUES ON PRODUCTS FROM THE RED CERAMIC INDUSTRY: LITERATURE REVIEW)

Kelson Silva de Almeida¹, Roberto Arruda Lima Soares², José Milton Elias de Matos³

¹ Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano, 64800-000, Floriano, PI
e-mail: eng.kelson@ifpi.edu.br

² Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central, 64000-040, Teresina, PI
e-mail: robertoarruda@ifpi.edu.br

³ Universidade Federal do Piauí, 64049-550, Teresina, PI
e-mail: jmematos@ufpi.edu.br

RESUMO

A indústria da cerâmica vermelha compreende materiais empregados na construção civil (tijolos, telhas, argila expandida, entre outros) e tem grande importância para o desenvolvimento econômico brasileiro, assim tem crescido a procura por seus produtos, causando um problema de escassez de reservas de matérias-primas de boa qualidade e em locais economicamente adequados. Outros materiais também utilizados na construção civil, como o granito (principal produto da indústria de rochas ornamentais) e gesso de revestimento tem apresentado crescimento em sua demanda, gerando grande quantidade de resíduos em seu beneficiamento, provocando impacto negativo ao meio ambiente. A reciclagem de resíduos está cada vez mais em evidência em razão do grande volume gerado pelo setor. A indústria de cerâmica vermelha, por sua característica heterogênea, tem se destacado na incorporação de resíduos, tanto por apresentar vantagens, quanto pelo maior rigor das leis atuais. Assim, este trabalho tem por finalidade expor uma visão geral sobre os efeitos da utilização dos resíduos industriais, gesso de revestimento e granito, em indústria de cerâmica vermelha, apresentando também resultados de trabalhos executados nesta área. Os resultados apontam quantidade escassa de pesquisas na área de reciclagem de resíduos e que a utilização de rejeitos de gesso e granito em massa cerâmica está em conformidade com a legislação vigente e ainda contribui para a redução dos impactos negativos causados ao meio ambiente devido ao seu descarte em locais indevidos.

Palavras-chave: Cerâmica Vermelha, Gesso de Revestimento, Granito, Resíduo, Reciclagem.

ABSTRACT

The red ceramics industry comprises materials used in construction (bricks, tiles, expanded clay, among others) and is of great importance for Brazilian economic development, so the demand for its products has grown, causing a problem of scarcity of reserves of good quality raw materials and in economically appropriate places. Other materials also used in construction, such as granite (main product of the ornamental stone industry) and plaster coating have shown growth in their demand, generating large amounts of waste in their processing, causing negative impact on the environment. The recycling of waste is increasingly evident due to the large volume generated by the sector. The red ceramic industry, due to its heterogeneous character, has been prominent in the incorporation of waste, as much to present advantages as the greater rigor of the current laws. The purpose of this work is to present an overview of the effects of the use of industrial waste, plaster and granite, in the red ceramic industry, and also presents results of work carried out in this area. The results point to a scarce amount of research in the area of waste recycling and that the use of

gypsum and granite waste in ceramic mass complies with current legislation and also contributes to the reduction of negative impacts caused to the environment due to its disposal in undue places.

Keywords: Red Ceramics, Plaster of Coating, Granite, Residue, Recycle.

2.1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, em particular na manufatura de insumos, está em constante crescimento, a mesma, embora seja responsável por relevante demanda ambiental, também apresenta grande impacto positivo na sociedade e na economia. No Brasil, este setor representa atualmente 5% do PIB nacional e há indícios de crescimento. Os produtos cerâmicos estão entre os mais utilizados na construção civil e assim é uma atividade de grande importância e, geralmente, estão presentes desde a obra mais simples a mais sofisticada (Inocente, *et al.* 2018).

O aumento da necessidade de argila (principal matéria-prima) por parte da indústria cerâmica tem provocado impactos ao meio ambiente, tais como o aumento do volume de matéria-prima das jazidas e diminuição de sua vida útil, possibilidade de alteração de paisagem e destruição de natureza da região da jazida, entre outros. Assim, é essencial que haja maneiras de diminuir o impacto ambiental, como por exemplo, a incorporação de resíduos em substituição parcial da argila (Monteiro e Vieira, 2005).

O ramo da construção civil tem impulsionado também uma demanda pela extração de rochas ornamentais, em especial o granito e de outros materiais como o gesso utilizado em revestimento de paredes e forros de residências. No Brasil, a produção de rochas ornamentais está posicionada num nível bastante elevado, chegando a 9,3 milhões de toneladas no ano de 2013; sendo que deste total 4,6 milhões de toneladas são apenas de granito (ABIROCHAS, 2016). Já a produção de gesso no Brasil é estimada em 5,1 milhões de toneladas sendo 37% para a indústria cimenteira, 52% para a construção civil, 9% para a indústria agrícola e 2% para outros fins. Além disso, vale destacar que vem aumentando a demanda de gesso com o desenvolvimento do ramo da construção civil (ABIROCHAS, 2016).

Todo processo produtivo industrial, como o beneficiamento de gesso e granito, é caracterizado pela utilização de insumos que, submetidos a uma transformação, dão lugar a produtos e com eles, os resíduos. No beneficiamento do granito, estima-se uma perda de 20 a 25% do volume dos blocos, em que o principal resíduo gerado é de baixa granulometria, que,

normalmente, é descartado pela indústria. As principais fontes de resíduos de gesso na construção civil são as atividades de revestimento (88%), as chapas de gesso acartonado (8%) e os componentes pré-moldados (4%), gerando, apenas na construção civil, um montante total de resíduos de gesso de 1,316 milhões de toneladas (SINDUSGESSO, 2016).

A disposição final destes resíduos (gesso e granito) tem acarretado sérios problemas ambientais já que muitas vezes não há tratamento adequado, ocorrendo contaminação do solo e subsolo e assoreamento de córregos e rios. Assim, atualmente buscam-se maneiras de reciclar esses resíduos a fim de diminuir os impactos na natureza.

Atualmente as indústrias têm buscado formas de minimizar os resíduos gerados, assim como encontrar meios de reutilizar os mesmos de maneira adequada, principalmente devido às novas leis ambientais em vigor. A incorporação em produtos cerâmicos é uma forma de tratamento para os resíduos industriais, reduzindo o volume de matéria-prima e imobilizando os mesmos a fim de evitar o impacto negativo ao meio ambiente. A indústria de cerâmica vermelha tem apresentado interesse em desenvolver materiais novos com a incorporação de resíduos, podendo apresentar propriedades tecnológicas melhores e assim buscar o desenvolvimento de novas tecnologias viáveis para a reutilização desses rejeitos (Rocha, Zorel e Lando, 2017).

Assim, ressalta-se a importância do estudo realizado tendo em vista a necessidade de reciclagem de resíduos de gesso e granito e a possibilidade de utilização dos mesmos na indústria de cerâmica vermelha, contribuindo-se assim para a reciclagem e qualidade ambiental, desenvolvimento de novos materiais e a sustentabilidade do setor cerâmico. O estudo tem por objetivo principal analisar os efeitos da utilização de resíduos de gesso e granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha, buscando pesquisas já realizadas na área.

2.2 A CERÂMICA E SEU PERFIL DE INDÚSTRIA

A cerâmica, que é praticamente tão antiga quanto à descoberta do fogo, mesmo utilizando os antigos métodos artesanais, pode produzir artigos de excelente qualidade. Nos últimos anos, acompanhando a evolução industrial, a indústria cerâmica adotou a produção em massa, garantida pela indústria de equipamentos, e a introdução de técnicas de gestão, incluindo o controle de matérias-primas, dos processos e dos produtos fabricados (SINDICER, 2017).

Atualmente, o termo cerâmica se refere a todo material inorgânico não metálico obtido após tratamento térmico a altas temperaturas, por exemplo: pisos, louças para banheiro, vidros, fibras óticas, utensílios culinários, combustível nuclear, implantes ósseos e dentários, entre outros. Esta classe de materiais apresenta propriedades específicas como alta estabilidade química, resistência à corrosão e ao calor, entre outras (Callister, 2008).

A Indústria Cerâmica no Brasil e no Mundo, atualmente, pode ser dividida em vários setores que apresentam algumas características diferentes e níveis de tecnologia distintos: cerâmica vermelha, cerâmica branca, materiais refratários, cerâmica avançada, revestimentos cerâmicos (Almeida, Moura e Soares, 2014).

A cerâmica estrutural ou vermelha, foco deste trabalho, é caracterizada pela coloração avermelhada de seus produtos e que são utilizados na construção civil, tais como tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, elementos vazados, agregados leve de argila expandida e outros. São produtos que oferecem boa durabilidade, conforto térmico e acústico, baixo custo, entre todos os envolvidos na cadeia produtiva da construção civil (ABC, 2017).

A produção cerâmica é realizada, em sua maioria, por empresas de pequeno e médio porte, de capital nacional, o que aposta ainda um baixo investimento neste ramo da construção civil. As jazidas de argila, que produzem matérias-primas com qualidade e regularidade, constituem-se em unidades mineradoras e fornecedoras à indústria de Cerâmica Vermelha ou também com unidade própria de extração (FIEMG, 2015).

O Brasil apresenta grande potencial mineral em relação à argila, embora a extensão destas jazidas ainda seja, geralmente, mal dimensionada ou pouco conhecida. As principais bacias sedimentares brasileiras, portadoras de depósitos de argila para uso em cerâmica vermelha estão distribuídas por todo o Brasil e destacam-se: Amazonas, Parnaíba, Paraná, Potiguar, Recôncavo, São Francisco, entre outras. As regiões sul e sudeste se destacam com as maiores polos cerâmicos do Brasil localizados próximos às principais jazidas do país, com destaque para os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina (ANICER, 2016).

A localização das cerâmicas é determinada por dois fatores principais: a proximidade de jazidas (em função do volume de matéria-prima processada e da necessidade de transporte de grande volume e peso) e a proximidade dos mercados consumidores (tendo em vista os custos de transporte). Quanto maior o grau de qualidade da argila, maior é a importância assumida por esse fator locacional. Uma empresa localizada longe da jazida somente se justifica quando essa é de qualidade excepcional (FIEMG, 2015).

A indústria de cerâmica vermelha utiliza uma massa monocomponente ou massa simples, que significa que a mesma é composta apenas por uma substância, neste caso a argila. Normalmente é realizada, pelo ceramista, uma mistura entre dois tipos de argila para criação da massa final utilizada na confecção dos produtos cerâmicos: uma argila “gorda”, que possui granulometria fina e alta plasticidade, e uma argila “magra”, que possui menor plasticidade e é rica em quartzo (IPT, 2018).

Levantamentos mostram que a indústria da cerâmica vermelha merece destaque no cenário nacional correspondendo a 7,3% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2015, formada por aproximadamente 7430 empresas no Brasil, empregando diretamente 293 mil trabalhadores e gerando 1,25 milhões de empregos indiretos, além disso, apresenta um faturamento anual de R\$ 6 bilhões, a produção brasileira de blocos/tijolos alcançou 4 bilhões de peças por mês, enquanto o consumo de argila para a produção desses materiais chega a 7,8 milhões de toneladas mensalmente (FIEMG, 2015).

A mão de obra utilizada na produção de cerâmica no Brasil é geralmente pouco qualificada, e com alta rotatividade e apresenta a lenha como matriz energética da produção, o que pode provocar grandes desmatamentos com o aumento da demanda para produção.

O setor de cerâmica vermelha tem buscado uma melhor produtividade e sustentabilidade, além de aderir a programas governamentais como o Programa Setorial de Qualidade (PSQ) que tem como objetivo implantar em seu processo produtivo: uma melhor gestão, o licenciamento ambiental, a inovação tecnológica e a eficiência energética, além da busca por tratamento dos rejeitos gerados (Silva e Silva, 2017).

2.3 INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

As rochas ornamentais compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de serragem, polimento, lustro e outros acabamentos de face. Seus principais campos de aplicação abrangem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, neste caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, colunas, pilares, soleiras, telhados, dentre outros (ABIROCHAS, 2016).

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais são divididas basicamente em mármores e granitos, caracterizando-se, os primeiros, como rocha carbonática passível de polimento, incluindo os calcários e os mármores propriamente ditos; e os granitos – expressão

generalizada para as rochas silicáticas, que recebem polimento – como os granitos propriamente ditos, os sienitos, charnoquitos, basaltos e rochas similares, petrograficamente classificáveis como de origem ígnea (Cavalcanti, *et al.* 2017) .

Pela estreita interface com o macrossetor da construção civil, que no Brasil responde por quase 20% do PIB, as rochas ornamentais evidenciam significativa expressão econômica e social, inclusive como vetor de geração de emprego, interiorização do desenvolvimento e captação de divisas. Entre negócios relativos aos mercados interno e externo, incluindo a comercialização de máquinas e insumos, além da prestação de serviços, as transações brasileiras com rochas ornamentais movimentam cerca de US\$ 5 bilhões/ano outros (ABIROCHAS, 2016).

O Brasil, em 2014, colocou-se entre os grandes produtores e exportadores mundiais, superando vários países europeus e destacando-se como a principal grife para rochas graníticas. Atualmente, cerca de 10.000 empresas, dentre as quais 400 exportadoras, integram a cadeia produtiva do setor de rochas no Brasil, respondendo por 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos. Assume-se a existência de 1.400 frentes ativas de lavra, responsáveis pela produção de aproximadamente 1.000 variedades comerciais outros (ABIROCHAS, 2016).

A Tabela 1 apresenta o panorama do setor da indústria de rochas ornamentais no Brasil e aponta uma previsão de aumento da produção acima de 45% (9,3 milhões para 13,5 milhões de toneladas por ano), e ainda crescimento na geração de emprego e consumo interno.

Tabela 1: Setor de Rochas Ornamentais no Brasil

O Setor de Rochas Ornamentais no Brasil – Situação Atual e Perspectivas para 2020		
	Situação Atual	Perspectivas 2020
Produção	9,3 milhões t/ano	13,5 milhões t/ano
Exportação	US\$ 1,1 bilhão/ano	US\$ 2,0 bilhão/ano
Consumo Interno*	72 milhões m ² /ano	100 milhões m ² /ano
Frentes de Lavra	1.400	1.800
Empregos Diretos	120.000	170.000

(*) Inclui rochas de processamento simples e especial.

Fonte: ABRIOCHAS (2016).

A Tabela 2 apresenta os principais tipos de rochas ornamentais produzidas no Brasil, destacando-se o granito, como principal rocha ornamental do Brasil, com quase metade do total produzido (49,5% do total produzido).

Tabela 2: Produção da Indústria de Rochas Ornamentais no Brasil

Tipo de Rocha	Produção (Milhão t)	Participação Percentual
Granito e similares	4,6	49,5
Mármore e travertino	1,7	18,2
Ardósia	0,6	6,5
Quartzito foliado	0,6	6,5
Quartzito maciço	0,6	6,5
Pedra Miracema	0,2	2,1
Outros (basalto, pedra Cariri, pedra-sabão, pedra Morisca)	1,0	10,7
Total estimado	9,3	100,0

Fonte: ABRIROCHAS (2016).

O beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente a transformação dos blocos, extraídos na fase de lavra, em produtos finais ou semiacabados. Desta forma, podem se separar as fases de beneficiamento em primário, ou desdobramento, e secundário. O primeiro compreende a preparação e serragem dos blocos em chapas de espessura variável, usualmente dois ou três centímetros. No segundo processo, as chapas são submetidas a acabamento superficial, com ou sem resinagem, que pode ser um simples desbaste, polimento, escovado, flameado ou outros tipos, assim como a produção de ladrilhos e outras peças (Vidal, Azevedo e Castro, 2014).

De um modo geral, granitos são rochas ígneas, intrusivas e cristalinas, de textura granular, contendo como minerais essenciais feldspato e quartzo. O granito é um material de alta qualidade tradicional extensivamente distribuído por toda a crosta continental da terra (Tchandjié, *et al.* 2016),

Segundo a Norma ABNT 6502, o granito é uma rocha plutônica ou intrusiva granular, onde basicamente é formada por quartzo, feldspato, e conseqüentemente também, por biotita e moscovita (ABNT, 1995).

As utilizações para o granito são praticamente ilimitadas, apresentando uma grande quantidade de combinações de suas qualidades tanto estéticas quanto estruturais (durabilidade, resistência, facilidade de aplicação), como arquitetura em locais como shoppings, escolas, hospitais ou casas, pavimentação de vias para veículos e para pedestres, de praças e parques, na construção de jardins, fontes, bancos ou assentos, além de artigos funerários e decoração como em esculturas ou estátuas e até balcões, bancadas, pias ou objetos decorativos (Alencar, 2013).

2.4 INDÚSTRIA DE GESSO DE REVESTIMENTO

O gipso é uma rocha sedimentar que apresenta basicamente em sua composição a gipsita. A gipsita é o mineral compacto de baixa dureza, pouco solúvel em água, que é a matéria-prima para o gesso; sua fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Oliveira, *et al.* 2012).

A gipsita é um mineral industrial produzido em diversos países do mundo que movimentam cerca de 125 milhões de toneladas por ano. Sendo uma mercadoria de baixo valor unitário, o seu comércio internacional é limitado e a sua importância ressalta na sua transformação a jusante, atrelada principalmente à cadeia da construção civil, em produtos como o cimento e os manufaturados do gesso. Outra cadeia em que ela se insere é na vertente do agronegócio pelas suas características de condicionador e fertilizante de solos (Lira, *et al.* 2015).

A região nordeste do Brasil, com uma população de 46 milhões de habitantes e um PIB de US\$ 117,5 bilhões, apresenta polos dinâmicos de desenvolvimento e grandes recursos naturais com fantásticas possibilidades de investimento. Integra, entre outras riquezas do solo nordestino, o Polo Gesseiro do Nordeste do Brasil, um dos maiores depósitos exploráveis de gipsita do continente americano, abrangendo vários Estados da Federação, numa área de 24.000 km² (SINDUSGESSO, 2016).

O Brasil detém reservas significativas de gipsita localizadas todas elas nas regiões norte, nordeste e centro oeste do país, posicionando-se como o 16º produtor mundial, suprindo basicamente o consumo interno. A produção deste material no Brasil é de 5,084 milhões de toneladas sendo 37% para a indústria cimenteira, 52% para a construção civil, 9% para a indústria agrícola e 2% para outros fins, além disso, vem aumentando a demanda de gesso com o desenvolvimento do ramo da construção civil (SINDUSGESSO, 2016).

O beneficiamento da gipsita é essencial para a produção de gesso e varia de acordo com o tipo de gesso a ser produzido, adequadas a seu uso específico como revestimento, cerâmica ou fundição, para funções odontológicas, em restaurações e na moldagem de blocos e elementos ortodônticos (Oliveira, *et al.* 2012).

A produção de gesso natural acontece basicamente em quatro etapas: extração de gipsita; preparação para calcinação; calcinação e seleção. Após a extração, a gipsita passa por alguns processos de beneficiamento para adequação ao tipo de forno onde será calcinada. Basicamente, as etapas são as seguintes: britagem, moagem grossa; estocagem; secagem; moagem fina e acondicionamento. A calcinação é o processo térmico pelo qual a gipsita é desidratada. O material é calcinado em uma faixa de temperatura de 140 °C a 160 °C, para

que 75% da água de cristalização seja retirada da estrutura para obter o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) (Lira, *et al.* 2015).

A calcinação pode ser por via seca ou úmida. Se a gipsita for calcinada seca sob pressão atmosférica, ou baixa pressão, será obtido o hemidrato beta - β , caso a calcinação ocorra sob pressão de vapor de água saturante, será obtido o hemidrato alfa α , ambos possuem a mesma fórmula química ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) (Bezerra, 2009).

O gesso consiste no sulfato de cálcio hemidratado, com fórmula química $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. O mesmo apresenta duas formas cristalinas distintas: gesso alfa α e gesso beta β ; que se diferenciam pelo tamanho e forma do cristal (Barbosa, Ferraz e Santos, 2014).

O gesso α , devido ao seu processo de produção apresenta aplicações mais nobres (gesso hospitalar) e conseqüentemente alcança preços mais elevados. O gesso β , com custo de produção mais baixo, predomina no gesso de construção nacional. A escolha do estudo focado no gesso β é devido à grande abundância de jazidas de gipsita na região do pólo do Araripe e ao simples processo para a fabricação do gesso β , com baixo custo de produção. Juntando-se a isto, sua característica de fácil recristalização pela adição de água torna-o bastante atrativo para a indústria, que o emprega em variados produtos (Gazques, *et al.* 2013).

Segundo Teske *et al.* (2015), as principais formas de utilização do gesso na construção civil são:

- 45% Pré-moldados (placas de gesso para tetos rebaixados, blocos de gesso e painéis)
- 51% Gesso para fundição de pré-moldados e para revestimento de paredes (aplicado manualmente com produção marginal de produtos aplicados por máquinas).
- 4% Moldes de cerâmica.

2.5 RESÍDUOS INDUSTRIAIS – CLASSIFICAÇÃO

A reciclagem de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável, que diminui o impacto no meio ambiente, seja por minorar a quantidade de rejeitos a descartar, seja por reutilizar os materiais poupando recursos naturais que, de outra maneira, seriam extraídos da natureza, notadamente no que concerne às matérias-primas para a construção civil (Cavalcanti, *et al.* 2017). Atualmente há um conceito chamado ecologia industrial que se trata de uma ferramenta que buscar orientar o setor industrial a fim de usar materiais e energia de forma sustentável e também reduzir a geração de resíduos. Esta

ferramenta considera os resíduos industriais como sendo subprodutos ou materiais alternativos que podem alimentar outra indústria (Garcia, *et al.* 2015) .

Em 2010 foi sancionada a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Esta lei visa principalmente a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, além de estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; também trata como responsáveis todos os agentes envolvidos em todas as fases (fabricação, venda consumo) (Brasil, 2010).

Muitas empresas estão começando a investir em pesquisas e novas tecnologias, buscando melhorar cada vez mais a qualidade dos produtos e propiciando uma maior eficiência do sistema produtivo. Assim a reutilização de resíduos ganha evidência, em virtude do volume crescente de rejeitos sólidos e da dificuldade de se obter locais adequados para o descarte desses materiais, devido, principalmente ao aumento populacional (Garcia, *et al.* 2015).

O desenvolvimento sustentável contempla a ideia de atender às necessidades básicas de uma população sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. Neste sentido, o desenvolvimento sustentável para o setor produtivo tem como implicação mais imediata a necessidade de se produzir a maior quantidade de bens com a menor quantidade de recursos naturais e a menor poluição, ou seja, o desenvolvimento econômico deverá ser desvinculado da geração de impactos ambientais (Brasileiro e Matos, 2015).

2.6 RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Na indústria de rochas ornamentais, beneficiamento é dividido em: extração de blocos, desdobramentos de blocos, polimento, cortes e acabamentos finais. Segundo a NBR 10004, os resíduos de rochas ornamentais são classificados como classe II B (material inerte), em que se faz menção às rochas. No entanto, não se faz referência específica aos finos e lama gerados, com a mesma classificação, associa-se a ocorrência da silicose na exploração de rochas ornamentais (ABNT, 2004). Segundo a Resolução CONAMA nº 307, o resíduo de granito é classificado como resíduo Classe A (reciclável) (Brasil, 2002)

O principal resíduo gerado pela indústria de rochas ornamentais é o pó, que junto com água, gera a lama, o resíduo estocado no meio ambiente causa grande impacto ambiental. Muitos desses resíduos são descartados em cursos de água fazendo com que as propriedades da água sejam mudadas (Taguchi, *et al.* 2014).

Uma alternativa de utilização desses resíduos gerados nos processos de beneficiamento de rochas ornamentais é incorporando esse material em outro, como por exemplo, na cerâmica vermelha, fazendo com que os impactos ambientais sejam minimizados (Taguchi, *et al.* 2014).

A perda total no processo de beneficiamento de rochas ornamentais chega a variar de 20 a 25% do volume dos blocos, o pó das rochas é o principal resíduo gerado. Este pó é misturado com água e eventualmente outros acessórios na serragem das rochas, constituindo-se em um resíduo na forma de lama. A partir dos dados de perda no beneficiamento das rochas ornamentais, verifica-se que apenas no ano de 2013 foi gerado 2,06 milhões de toneladas de resíduo, deste total 1,02 milhão de toneladas de resíduo de granito, sendo 92.000 toneladas de lama apenas na fase de beneficiamento em marmorarias (Kumayama, *et al.* 2015).

2.7 RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA DE GESSO

Segundo a NBR 10004, os resíduos de gesso são classificados como classe II A (material não inerte), em que podem ser solubilizados em água. Segundo a Resolução CONANA 307, o resíduo de gesso, era classificado, até 2010, como resíduo classe C, mas após um novo estudo no ano de 2011 o mesmo foi alterado a sua classificação para resíduo classe B que engloba materiais recicláveis para outras destinações (Brasil, 2011).

As principais fontes de resíduos de gesso na construção são as atividades de revestimento (88%), as chapas de gesso acartonado (8%) e os componentes pré-moldados (4%), gerando, apenas na construção civil, um montante total de resíduos de gesso de 1,316 milhões de toneladas (SINDUSGESSO, 2016).

Os resíduos de gesso podem ter três destinações principais: serem utilizados como ingredientes (na proporção de 5%) da produção de cimento, no qual o gesso atua como retardador de pega; voltar às fábricas para reaproveitamento nos respectivos processos produtivos; e ser transformados em gesso agrícola, utilizado como corretivo do solo e fonte adicional de enxofre. A alternativa de incorporar esse material em outro é relativamente nova, principalmente devido à mudança recente de classe (Carreiro, *et al.* 2016).

2.8 RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA

A indústria de cerâmica vermelha tem grande potencial de reciclar resíduos de diversos locais, haja vista que possui grande quantidade de matéria prima básica, neste caso a argila. Assim, os resíduos, principalmente os finos, podem ser adicionados à massa cerâmica base, diminuindo a possibilidade de acondicionamento incorreto dos mesmos, minimizar impactos negativos ao meio ambiente e em alguns casos melhorar as características do produto final. Neste sentido esta indústria tem boa capacidade de reciclagem de rejeitos.

A heterogeneidade dos materiais da indústria de cerâmica vermelha (argilas e massas), e também as técnicas de processamento simples (principalmente extrusão e prensagem) para fabricação dos produtos, como blocos de vedação e telhas, facilitam a incorporação de resíduos nas composições, e estudos comprovam a obtenção de peças com especificações que as normas técnicas estabelecem (Carreiro, *et al.* 2016).

Os rejeitos sólidos podem ser classificados de acordo com as suas propriedades iniciais e do modo como alteram as características do produto cerâmico final, assim podem ser: fundente, cinza volante, radioativo, redutor de plasticidade, combustível, entre outros. A influência nas características de um corpo cerâmico depende também de como o material será conformado (extrusão ou prensagem), da quantidade utilizada em uma formulação e da variedade de tipos de matéria prima, o que torna esse tipo de padronização ainda muito complexo (Ferreira, *et al.* 2015).

A indústria de cerâmica vermelha pode absorver diversos tipos de rejeitos industriais, podendo este, se tornar matéria prima, o que está cada vez mais em evidência. Assim, de acordo com a origem do material e de como o mesmo deve ser tratado, qualquer tipo de rejeito de indústria (indústria da construção civil, indústria de celulose, resíduos de construção e demolição, indústria de transformação de rochas e metais, entre outro) pode ser utilizado para produzir corpos cerâmicos (Babisk, *et al.* 2012).

2.9 EFEITOS DE RESÍDUOS DE GRANITO EM CERÂMICA VERMELHA

Conforme foi apresentado anteriormente, os resíduos de granito são classificados como inertes e recicláveis, podendo ser utilizado como material incorporado à massa cerâmica. A sua utilização como material desta natureza está condicionada à sua granulometria, normalmente encontrada em forma de pó, assim o resíduo de granito classifica-se como material redutor de plasticidade, podendo provocar mudanças nas

propriedades mecânicas, retração e absorção de água do produto de cerâmica vermelha formado.

Outro ponto importante do efeito da utilização dos resíduos de granito é a possibilidade do aumento da dureza e densificação dos produtos de cerâmica vermelha, devido ao enriquecimento da massa de argila com o quartzo presente no resíduo de granito e também pela formação de maior quantidade de fase vítrea.

Desta forma, são apresentados trabalhos realizados na área de aproveitamento de resíduos de granito em cerâmica vermelha com seus resultados obtidos.

Alexandre *et al.* (2016) avaliaram a degradação sofrida pela cerâmica de argila incorporada com 5 e 10% em peso de um resíduo de granito sob intemperismo durante 6, 8 e 10 meses. Em geral, as dimensões lineares tendem a aumentar com o tempo e a temperatura de queima, além disso, o aumento da temperatura de queima provocou a redução da absorção de água.

Taguchi *et al.* (2014) avaliaram as propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado e mostrou que o aumento da temperatura provocou o aumento da densidade e da tensão de ruptura das peças e reduziu-se a absorção de água. Além disso, observou-se uma redução na retração linear com aumento da fração de resíduo na massa cerâmica. Os resultados mostraram que as amostras (com 20%, 40% e 60% de teor de resíduo) podem ser empregadas na fabricação de telhas e blocos de cerâmica vermelha estrutural, pois possuem propriedades tecnológicas superiores ao indicado pelas normas técnicas dessas classes de produtos.

Silva *et al.* (2012) usaram técnicas estatísticas para modelar a resistência à flexão de corpos cerâmicos contendo resíduo de granito e mostraram que a adição de granito (0 a 50%), provoca, de forma geral, o decréscimo do módulo de ruptura à flexão dos corpos cerâmicos. O aumento da temperatura de queima possibilita elevar os teores de resíduos incorporados às formulações, podendo-se atingir teores superiores a 50% de resíduo de granito sem o decréscimo do módulo de ruptura quando da queima a 1.150 °C. O incremento no teor de argila (material plástico) conduziu ao aumento do módulo de ruptura à flexão independentemente da temperatura de queima.

Mendonça *et al.* (2011) realizaram um estudo sobre a expansão por umidade a partir de indução pelo método de autoclavagem em blocos cerâmicos obtidos a partir de massas incorporadas com resíduos de caulim e granito e mostrou que os resíduos de caulim e de granito (20% de incorporação) apresentam características similares às matérias-primas

cerâmicas convencionais não plásticas (feldspato e quartzo), e que produtos cerâmicos submetidos a temperaturas de queima mais elevadas (800 °C para 900 °C) apresentam melhores resultados de expansão por umidade, melhorando assim o material.

Torres *et al.* (2009) incorporaram resíduos das indústrias de corte e polimento de granito para produção de telhas. Inicialmente as massas cerâmicas foram caracterizadas e as formulações mais promissoras foram selecionadas, os resultados obtidos mostraram que a incorporação de 10% em peso de resíduo de granito às telhas apresentou excelentes propriedades, em relação a resistência mecânica e absorção de água. Concluiu-se que o resíduo de granito substitui parcialmente a matéria-prima em formulações cerâmicas tradicionais, contribuindo para a preservação dos recursos naturais não renováveis.

Segadães *et al.* (2006) utilizaram rejeitos de corte de rocha ornamental como matéria-prima para produtos cerâmicos de cerâmica vermelha, com ênfase em propriedades e microestrutura. O trabalho foi realizado com a adição de dois diferentes rejeitos de corte de rocha ornamental (granito e mármore + granito), todos os materiais foram recolhidos em locais industriais e o comportamento de misturas contendo 70% em peso de argila + 30% em peso de rejeitos é bem destacado. Amostras de pó foram prensadas, sinterizadas em um forno elétrico durante 2h a uma temperatura na gama de 950 - 1150 °C, e caracterizadas. Os resultados experimentais obtidos (retração de queima, porosidade, resistência à flexão, microestrutura) mostram que os rejeitos podem ser usados e auxiliam o processo de sinterização e simultaneamente controlando a plasticidade e a retração da argila.

Acchar *et al.* (2006) descreveram a variação do comportamento de uma argila utilizada em uma indústria de cerâmica vermelha, resultante de adições de uma lama de mármore e granito, tal como é produzida em uma indústria de beneficiamento de pedras ornamentais do estado do Rio Grande do Norte. Misturas de argila e rejeito (10 – 50% em peso) foram compactadas uniaxialmente e sinterizadas a temperaturas entre 950 e 1150 °C. Os resultados obtidos por análise química e mineralógica (DRX e FRX), análises térmicas (DTA, TG e dilatométrica), medidas de distribuição granulométrica, porosidade, absorção de água e tensão de ruptura à flexão, revelam que a lama de mármore e granito pode ser incorporada na massa de argila sem perda ou comprometimento das propriedades dos corpos sinterizados de cerâmica vermelha.

Menezes *et al.* (2005) utilizaram resíduo do beneficiamento de serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. Os resíduos foram caracterizados e foram formuladas composições contendo os resíduos e confeccionados corpos de prova por

extrusão. Os corpos de prova foram queimados e em seguida determinou-se sua absorção de água e módulo de ruptura à flexão. Concluiu-se que é possível a incorporação de até 50% de resíduo em formulações para produção de blocos e telhas cerâmicas e que a utilização do resíduo de granito e de caulim possibilita obter propriedades físicas superiores às observadas nos corpos de prova com incorporação apenas de resíduo de caulim.

Segadães *et al.* (2005) analisaram resíduos de mármore e granitos utilizados para melhorar os produtos de cerâmica. O trabalho mostrou as alterações nas propriedades de uma mistura industrial à base de argila (cerâmica vermelha), já em uso na produção de piso azulejos, com as adições de resíduos de corte de pedra ornamental (mármore e granito). As amostras contendo até 30% em peso foram sinterizadas em um forno elétrico (1100 - 1150 °C, durante 2h) e os resultados obtidos apontam o efeito que as adições de rejeito de granito têm sobre o comportamento da mistura de argila e mostram como as propriedades dos produtos sinterizados de argila podem ser melhoradas, com a possibilidade de usar temperaturas mais baixas de queima.

Vieira *et al.* (2004) utilizaram granito em massa cerâmica para telhas e mostraram que a adição de granito (5% a 30%) à massa cerâmica vermelha contribuiu para diminuição da plasticidade e redução nos valores de absorção de água. Entretanto, com o aumento na adição de granito, ocorreu uma brusca diminuição da resistência mecânica das peças queimadas (950 °C). Os resultados mostraram que é preciso diminuir a granulometria do granito para evitar o surgimento de trincas nas peças.

Moreira *et al.* (2003) utilizaram um resíduo de serragem de granito, proveniente da indústria de pedras ornamentais do estado do Espírito Santo, como aditivo na fabricação de produtos cerâmicos para construção civil. As amostras foram caracterizadas e preparadas misturas contendo até 10% em peso de resíduo, e sinterizadas em sete diferentes temperaturas entre 850 °C e 1150 °C. As propriedades físico-mecânicas foram determinadas em função da temperatura de sinterização e porcentagem de resíduo adicionado. Os resultados revelaram que uma série de transformações de fases ocorreram durante a sinterização. Além do mais, os corpos sinterizados contendo resíduo de serragem de granito têm uso provável em cerâmica vermelha, contribuindo para a minimização de resíduos e desenvolvimento autossustentado.

Menezes *et al.* (2002) em outro trabalho, avaliaram as possibilidades de utilização dos rejeitos da serragem de granitos gerados pelas indústrias de beneficiamento da Região Nordeste, como matéria-prima cerâmica alternativa na produção de blocos e revestimentos cerâmicos. Foi realizada a caracterização e em seguida os ensaios tecnológicos com

composições cerâmicas. Os resultados mostraram que os resíduos (teores de resíduos nas proporções de 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55% e 60%) apresentam características físicas e mineralógicas semelhantes as das matérias-primas cerâmicas convencionais. Além disso, os blocos confeccionados com teores de até 50% de resíduos apresentam características cerâmicas dentro das especificações da normalização; as massas cerâmicas com adições de resíduo podem ser usadas na confecção de revestimentos enquadrados nos grupos BI, BIIb, BIIa e BIII dependendo da temperatura de queima e que nas condições de queima das indústrias de queima rápida os produtos apresentam características referentes ao grupo BIII.

2.10 EFEITOS DE RESÍDUOS DE GESSO EM CERÂMICA VERMELHA

Os resíduos de gesso são classificados como não inertes (pois se solubilizam em água) e recicláveis para outras destinações, podendo ser utilizado como material incorporado à massa cerâmica. A sua utilização como material desta natureza está condicionada à sua granulometria, normalmente encontrada em forma de pó assim como o resíduo de granito, classifica-se também como material redutor de plasticidade, podendo provocar mudanças nas propriedades mecânicas, retração e absorção de água do produto de cerâmica vermelha formado (ABNT, 2004)

Assim, são apresentados trabalhos realizados na área de aproveitamento de resíduos de gesso em cerâmica vermelha com seus resultados obtidos.

Cipriano *et al.* (2019) avaliaram os efeitos da incorporação de resíduo de gesso da indústria de placas em argila residual obtida da extração da gipsita, para obtenção de produtos de cerâmica vermelha. Foi avaliada a incorporação de 5% e 10% de resíduos de gesso na argila, considerando duas temperaturas de sinterização (800 e 1050 °C), os resultados mais significativos foram obtidos com a adição de 5% de resíduo de gesso queimadas a 800 °C apresentando propriedades semelhantes à argila pura. A utilização de materiais residuais permite a redução dos impactos ambientais e a possibilidade de novas formulações para produtos de cerâmica vermelha.

Pereira e Monteiro (2018) analisaram a adição de resíduos de gesso (doado por empresa coletora de resíduos e peneirado em laboratório) gerados pelo setor da construção civil, em massas cerâmicas para fabricação de revestimentos. As massas cerâmicas receberam adição do resíduo de gesso nas proporções de 1%, 5% e 10%. Os corpos de prova foram confeccionados através da compactação uniaxial, foram queimadas nas temperaturas de

1000 °C, 1100 °C e 1200 °C, e então foram realizados ensaios tecnológicos. Os resultados dos ensaios tecnológicos apontaram que a adição de resíduo de gesso em massas cerâmicas para revestimentos é viável, especificamente para produção de materiais porosos. Contudo, as formulações com 1% e 5% obtiveram os melhores resultados.

Rakhila *et al.* (2018) realizou o desenvolvimento de um material cerâmico que une argila e fosfogesso (dado por indústria de fosfato e peneirado). Inicialmente foi realizada a caracterização das matérias primas, em seguida as mesmas foram misturadas com adição de fosfogesso em vários níveis (de 0 a 50% em peso de argila). Corpos de provas foram confeccionados por prensagem e em seguida queimado a 1100 °C. Os resultados obtidos mostraram que a cerâmica com 40% de incorporação de PG satisfaz com sucesso os requisitos das normas. O estudo concluiu que o material é um bom isolante térmico e resistente a ácidos de natureza mecânica e de acordo com as propriedades permite integrar o fosfogesso na composição da cerâmica

Contreras *et al.* (2018) avaliaram o uso de fosfogesso (gesso gerado durante a fabricação de ácido fosfórico nas indústrias de fertilizantes) obtido em pilhas de descarte e moído como um aditivo na fabricação de cerâmica. Os corpos de prova cerâmicos foram confeccionados incorporando diferentes concentrações de fosfogesso (5, 7,5 e 10% em peso) à argila natural e queimado a 950 °C, 1050 °C e 1150 °C, e foram avaliadas as propriedades físicas, químicas e tecnológicas. Os resultados apontaram que o uso do fosfogesso incorporado à massa cerâmica é possível e melhora o comportamento de sinterização e a resistência à flexão.

Radulović *et al.* (2017) investigaram propriedades físicas, a composição química e comportamento térmico dos resíduos de gesso, com objetivo de avaliar a viabilidade do uso de resíduos de gesso e avaliar a viabilidade do processo de reciclagem. Os resultados indicam que a reutilização de resíduos de gesso pode fornecer um substituto viável para argila na indústria cerâmica e também que a reaplicação do gesso, após reciclagem, é possível tanto por fatores econômicos quanto aspectos ambientais.

Lima *et al.* (2016) apresentou a aplicação de resíduos de gipsita (coletadas em uma empresa mineradora e já obtida em granulometria adequada) em formulações de massas cerâmicas. Inicialmente foi realizada a caracterização do resíduo. Foram confeccionados corpos de prova com incorporação de resíduo de gipsita de 5% em peso, foram queimados nas temperaturas de 1200 °C e 1250 °C e em seguida foram realizados ensaios tecnológicos com

os mesmos. Os resultados apontam a possibilidade de aproveitamento deste material na obtenção de materiais cerâmicos, apresentando-se dentro das exigências das normas vigentes.

Nawi *et al.* (2015) analisaram a alteração das propriedades físicas da cerâmica devido à adição de diferentes quantidades de gesso em pó. O objetivo do trabalho foi contribuir para a proteção do meio ambiente e a demonstração de uma oportunidade de utilização do gesso. O gesso inicialmente era usado como molde de peças para indústria cerâmica e, após o descarte, os resíduos foram triturados, muídos e por fim peneirados para serem utilizados como enchimento em massa cerâmica. Os corpos de prova foram produzidos a partir da queima a 950 °C, 1000 °C e 1050 °C e com porcentagem em peso diferente de incorporação de resíduo (0%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10% em peso) na composição. Os testes e exames realizados apontaram bons resultados em relação às propriedades características da cerâmica como tamanho de partícula, retração, porosidade e densidade. Os resultados mostram que o resíduo de gesso pode ser usado como enchimento em cerâmica.

Melo e Silva (2013) estudaram a aplicação do fosfogesso (doador pela empresa produtora de fertilizantes fosfatados) na fabricação de materiais cerâmicos. Inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica sobre o assunto, e em seguida foram realizados testes laboratoriais quanto à adição do resíduo fosfogesso na proporção de 5%, 10% e 15% na confecção de tijolos maciços e blocos cerâmicos. Os corpos de prova foram confeccionados por prensagem e queimados a 1000 °C, então foi realizada a análise macroestrutural e de tensão de ruptura a flexão. Os resultados mostram a viabilidade do uso do fosfogesso em produtos cerâmicos, podendo o material com tais características ser empregado na fabricação de tijolos, além de não apresentarem trincas ou rachaduras nos corpos de prova.

Testolin *et al.* (2012) analisaram a incorporação de resíduos de gesso na produção de blocos de cerâmica e os resultados mostraram que a adição de 20% de resíduos de gesso aos blocos é um substituto viável para a argila na indústria cerâmica e os testes aplicados neste estudo provaram ser uma ferramenta importante para a avaliação técnica e ambiental deste processo de reciclagem. A adição do resíduo de gesso até esta proporção apresentou propriedades do produto dentro de limites aceitáveis aos padrões para a produção de blocos cerâmicos.

Silva *et al.* (2010) estudaram a incorporação de resíduos de gesso de revestimento na formulação de massa para cerâmica vermelha. A massa cerâmica recebeu adição do resíduo de gesso nas proporções de 5%, 10% e 15%. Os corpos de prova foram confeccionados através da compressão uniaxial, foram queimadas nas temperaturas de

850 °C, 950 °C e 1050 °C, e então foram realizados ensaios tecnológicos e micrografias. Os resultados dos ensaios tecnológicos mostraram que a incorporação de 5% de resíduos com queima a 950 °C obteve os melhores resultados e conclui-se que a adição de resíduos de gesso em massa para indústria de cerâmica tem efeito positivo do ponto de vista tecnológico, econômico e ambiental.

Duarte e Fernandes (2009) analisaram a adição de fosfogesso (doador por empresa produtora de fertilizantes fosfatados) em cerâmica vermelha para fabricação de tijolos, inicialmente foi realizada a caracterização do resíduo de fosfogesso, então foi realizada a incorporação na proporção de 15% e 30% em massa de argila. Os corpos de prova foram confeccionados por extrusão e queimados a temperatura de 950 °C, sem seguida foi realizado o ensaio de tensão de ruptura a flexão. Os resultados apontaram melhora na resistência dos corpos de prova estudados, neste sentido a conclusão foi que a mistura fosfogesso e argila torna-se viável a utilização do mesmo na produção de tijolos.

Paskocimas *et al.* (2008) avaliaram a incorporação de resíduos de gesso de construção (gesso usado em revestimento de paredes) em formulações de massa para cerâmica vermelha de argilas provenientes do município de Assú-RN e mostrou que as melhores propriedades tecnológicas foram obtidas nas formulações que possuíam argilas medianamente plásticas em sua composição. Os percentuais de resíduo até 15%, incorporados na matriz cerâmica com queima a 950 °C obtiveram os melhores resultados em termos de propriedades tecnológicas.

Silva *et al.* (2006) verificou o efeito da incorporação do resíduo de gesso proveniente revestimento de paredes da construção civil moído, na formulação de massas para cerâmica vermelha. As matérias-primas foram coletadas de dois pólos cerâmicos do Estado do Rio Grande do Norte e formuladas com o intuito de obter aquelas com as melhores propriedades físicas e mecânica, tendo sido incorporados os percentuais 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de resíduo, na melhor formulação da indústria cerâmica. As amostras foram sinterizadas às temperaturas de 850 °C, 950 °C e 1050 °C e submetidas a ensaios tecnológicos. Os melhores resultados de incorporação do resíduo nas formulações de massa de cerâmica vermelha foram observados na faixa de temperatura de 850 °C a 950 °C, naquelas que possuem argilas ílíticas e medianamente plásticas em sua composição, na faixa de 0% a 15% de resíduo incorporado.

2.11 CONCLUSÃO

Os resíduos de gesso são classificados como não inertes (pois se solubilizam em água) e recicláveis para outras destinações, podendo ser utilizado como material incorporado à massa cerâmica. Atualmente, a necessidade de reciclagem de resíduos industriais tem estado sempre em evidência e a indústria de cerâmica vermelha tem grande possibilidade de absorver resíduos como o granito e o gesso, a partir de sua característica heterogênea e volume de produção.

No Brasil, ainda são escassos estudos relevantes e pesquisas na área de reciclagem de resíduos, quando se leva em consideração a sua enorme quantidade produzida e que é descartada anualmente pelas indústrias. Não foram encontradas pesquisas que utilizassem os resíduos de granito e gesso de forma conjunta em massa cerâmica, apenas de formas separadas, o que pode ser uma sugestão para possíveis trabalhos futuros.

Os resultados das pesquisas apontam que o uso de resíduos de granito e gesso na indústria de cerâmica vermelha é uma alternativa viável para a manutenção da qualidade técnica do produto cerâmico (em conformidade com os padrões estabelecidos pelas legislações vigentes) e reduzindo os impactos ambientais negativos que possam ser causados por estes resíduos.

Os trabalhos não apontaram a utilização dos resíduos para produção em escala industrial, evidenciando a necessidade de conscientização de empresas sobre a potencialidade de utilização de resíduos em massas cerâmicas. Outro ponto importante foi a grande quantidade de resíduos gerados pelas indústrias de gesso e de granito que ainda não possuem maneiras adequadas para o seu acondicionamento e principalmente para sua reciclagem, se tornando, assim, fontes de poluição ambiental, o que ratifica a necessidade de leis e fiscalização para as indústrias que geram estes resíduos e maior incentivo à reciclagem ou reutilização dos mesmos.

2.12 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal Campus Floriano e Campus Teresina Central, à Universidade Federal do Piauí (UFPI), ao Centro de Tecnologia do Gás - Rio Grande do Norte, à Cerâmica Vitória em Oeiras – PI.

2.13 BIBLIOGRAFIA

- Acchar, W., Silva, M., Vieira, F.A., e Hotza, D. (2006). Effect of marble and granite sludge in clay materials. *Materials Science and Engineering*, 419, 1, 306-309.
- Alencar, C. R. A. (2013). *Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais*, Instituto Euvaldo Lodi - Regional do Espírito Santo (1ª Ed.). Cachoeiro de Itapemirim/ES.
- Alexandre, J., Azevedo, A. R. G., Xavier, G. C., Margem, F. M., Monteiro, S. N., e Braga, F. O. (2016). Influence of Weather Exposure on Dimensional Changes in Clay Ceramics Incorporated with Granite Residue. *Materials Science Forum*, 869, 131-135.
- Almeida, K. S., Moura, C. S., e Soares, R. A. L. (2014). Análise dos impactos ambientais gerados pela indústria de cerâmica vermelha no Piauí. *Cerâmica Industrial*, 19, 5, 33-34.
- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (2016). *Setor de rochas ornamentais e de revestimento situação atual, demandas e perspectivas frente ao novo marco regulatório da mineração brasileira* (1ª Ed.). São Paulo, ABIROCHAS.
- Associação Brasileira de Cerâmica (2017). *Cerâmica No Brasil – Números do Setor– Cerâmica Vermelha* (1ª Ed.). Brasília, ABC.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). *NBR-6502 Rochas e Solos – Especificação*, Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). *NBR 10004 Resíduos Sólidos – Classificação*, Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Nacional da Indústria de Cerâmica (2016). *Indústria cerâmica. Informações Técnicas* (1ª Ed.), Brasília, ANICER.
- Babisk, M. P., Vidal, F. W. H., Ribeiro, W. S., Aguiar, M. C., Gadioli, M. C. B., e Vieira, C. M. F. (2012). Incorporação de resíduo de quartzitos em cerâmica vermelha. *HOLOS*, 28, 6, 169-177.
- Barbosa, A., Ferraz, A. V., e Santos, G. A. (2014). Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do pólo do Araripe. *Cerâmica*, 60, 356, 501-508.
- Bezerra, M. S. (2009). *Gipsita Relatório Técnico* (1ª Ed.). Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Brasil (2002). *Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*. Brasília, Diário Oficial da União – DOU.
- Brasil (2010). *Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*. Brasília, Diário Oficial da União – DOU.
- Brasil (2011). *Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011, Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso*. Brasília, Diário Oficial da União – DOU.
- Brasileiro, L. L., e Matos, J. M. E. (2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, 61, 358, 178-189.
- Callister, W.D., *Ciência e Engenharia dos Materiais, uma Introdução*, 7ª Edição, Ed. Guanabara, 2008.
- Carreiro, M. E. A., Santos, R. C., Silva, V. J., Lira, H. L., Neves, G. A., Menezes, R. R., e Santana, L. N. L. (2016). Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. *Cerâmica*, 62, 362, 170-178.

- Cavalcanti, L. F. M., Oliveira, F. M. C., Melo, E. B., e Fernandes, A. C. (2017). Granito Azul Sucuru: caracterização tecnológica por meio do aproveitamento do material. *Revista Principia*, 33, 11-20.
- Cipriano, P. B., Rezende, R. T. O., e Ferraza, A. V. (2019). Produção de cerâmica vermelha utilizando argila da mineração de gipsita e resíduo de gesso. *Acta Brasiliensis*, 3, 1, 25-29.
- Contreras, M., Teixeira, S.R., Santos, G.T.A., Gazquez, M.J., Romero, M., e Bolivar, J.P. (2018). Influence of the addition of phosphogypsum on some properties of ceramic tiles. *Construction and Building Materials*, 175, 588-600.
- Duarte, C. N., e Fernandes, G. (2009). Adição de Fosfogesso em Cerâmica Vermelha para Fabricação de Tijolos. *Revista Processos Químicos*, 3, 6, 55-60.
- Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (2015). *Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha* (1ª Ed.). Minas Gerais, FIEMG.
- Ferreira, S. B., Domingues, P. C., Soares, S. M., e Camarini, G. (2015). Recycled Gypsum and Red Ceramic Waste Based Mortars. *International Journal of Engineering and Technology*, 7, 3, 209-214.
- Garcia, M. B. S., Lanzellotti, J., Mendes, J. G., Xerfan, F. M. F., Vasconcellos, C. A. B., e Friede, R. R. (2015). Resíduos Sólidos: Responsabilidade Compartilhada. *Semioses*, 9, 2, 77-91.
- Gazques, M. J., Bolivar, J. P., Vaca, F., García-Tenorio, R., e Caparros, A. (2013). Evaluation of the use of TiO₂ industry red gypsum waste in cement production. *Cement & Concrete Composites*, 37, 76-81.
- Inocente, J. M., Nandi, V. S., Rosso F., Oliveira, A., e Zaccaron, A. (2018). Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, 23, 3, 34-39.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2018). *Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo* (1ª Ed.). Relatório Técnico, São Paulo, IPT.
- Kumayama, R., Alcantara, M. A. M., Cruz, W. S., e Segatini, A. A. S. (2015). Estudo da viabilidade do emprego de pó de mármore para produção de concreto autoadensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido (EPS). *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 10, 5, 56-71.
- Lima, T. C., Souza, M. M., Almeida, A. B., Farias, D. S. U., Nóbrega, L. F. O. M., e Mendes, L. B. (2016). Aplicação de resíduos de gipsita em formulações de massas Cerâmicas. *In: 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. Natal-RN.
- Lira, C. P. L., Amaral, A. J. R., Dantas, J. O. C., e Dantas, J. R. A. (2015). *Gipsita, Balanço Mineral Brasileiro* (1ª Ed.). Brasília, DNPM/PE.
- Melo, R. A. A., e Silva, D. G. (2013). Estudo da viabilidade do uso do fosfogesso como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos. *E-xacta*, 6, 2, 13-31.
- Mendonça, M. G. D., Santana, L. N. L., Neves, G. A., Chaves, A. C., e Oliveira, D. N. S. (2011). Estudo da Expansão por Umidade Através de Indução pelo Método de Autoclavagem em Blocos Cerâmicos Obtidos a partir de Massas Incorporadas com Resíduos de Caulim e Granito. *Cerâmica Industrial*, 16, 2, 35-39.
- Menezes, R. R., Neves, G. A., e Ferreira, H. C. (2002). Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. *Cerâmica*, 48, 306, 92-101.
- Menezes, R., Neves, G. A., e Ferreira, H. C. O. (2005). Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 25, 7, 1149-1158.
- Monteiro, S. N., e Vieira, C. M. F. (2005). Effect of oily waste addition to clay ceramic. *Ceramics International*, 31, 2, 353-358.

- Moreira, J. M. S., Freire, M. N., e Holanda, J. N. F. (2003). Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 49, 312, 262-267.
- Nawi, M., e Badarulzaman, N. A. (2015). Effect of Gypsum of Paris Waste and Sintering Temperatures on Physical Properties of Pottery. *Procedia CIRP*, 26, 752-755.
- Oliveira, F., Borges, L., Melo, E., e Barros, M. (2012). Características Mineralógicas e Cristalográficas da Gipsita do Araripe. *HOLOS*, 28, 5, 71-82.
- Paskocimas, A., Silva, J. B., Luz, J. C., Nascimento, R. M., e Gomes, U. U. (2008). Avaliação da incorporação de resíduos de gesso de construção em formulações de massa para cerâmica vermelha de argilas provenientes do município de Assú-RN. In: *52º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Florianópolis-SC.
- Pereira, C. L., e Monteiro, F. M. (2018). Estudo das propriedades tecnológicas de massas cerâmicas para revestimento com adição de resíduo de gesso da construção civil- parte 1. *Abm Proceedings*, 18, 18, 144-155.
- Radulović, D., Terzić, A., e Andrić, L. (2017). The Construction and Ceramics Industry Waste Gypsum Valorization Possibilities. In: *Proceedings of the IV Advanced Ceramics and Applications Conference*, Atlantis Press, 475-491.
- Rakhila, Y. A., Mestari, S. A., e Elmchaouri, A. (2018). Elaboration and characterization of new ceramic material from clay and phosphogypsum. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11, 4, 1552-1563.
- Rocha, R. D. C., Zorel, H. E., e Lando, T. (2017). Use of experimental design in the study of galvanic sludge immobilization in red ceramic for environmental impact minimization. *Cerâmica*, 63, 365, 1-10.
- Segadães, M., Carvalho, M. A., e Acchar, W. (2005). Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. *Applied Clay Science*, 30, 1, 42-52.
- Segadães, M., Vieira, F. A., e Acchar, W. (2006). Using ornamental stone cutting rejects as raw materials for red clay ceramic products: Properties and microstructure development. *Materials Science and Engineering*, 435-436, 5, 606-610.
- Silva, B. J., Menezes, R. R. I., Santana, L. N. L. I., Melo, L. R. L. I., Neves, G. A. I., e Ferreira, H. C. (2012). Uso de técnicas estatísticas para modelar a resistência à flexão de corpos cerâmicos contendo resíduo de granito. *Matéria*, 17, 1, 919-930.
- Silva, J. B., Nascimento, R. M., Martinelli, A. E., Dutra, R. P. S., e Gomes, U. U. (2006). Avaliação da Incorporação de Rejeitos de Gesso de Construção em Formulações de Massa Cerâmica. In: *17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, São Paulo-SP.
- Silva, J. B., Cinthya, P., Gondim, A., Nascimento, R. M., Gomes, U. U., e Acchar, W. (2010). Incorporation of Coating Gypsum Residues in the Formulation of Red Ceramic Mass. *Materials Science Forum*, 636-637, 1397-1403.
- Silva, R. G., Silva, V. P. (2017). Cleaner production: practical and theoretical contributions for the sustainability of the red ceramic. *Cerâmica*, 63, 368, 494-507.
- Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha (2017). *Cartilha de Informações Técnicas 2017* (1ª Ed.). Brasília, SINDICER.
- Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Cal-Cáreos, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco (2016). *Informações Técnicas* (1ª Ed.). Recife, SINDUSGESSO.
- Taguchi, S. P., Santos, J. C., Gomes, T. M., e Cunha, N. A. (2014). Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. *Cerâmica*, 60, 354, 291-296.

- Tchadjié, L. N., Ranjbar, N., Djobo, J. N. Y., Tchakouté, H.K., e Kenne, B.B.D. (2016). Potential of using granite waste as raw material for geopolymer synthesis. *Ceramics International*, 42, 2, 3046-3055.
- Teske, S., Gonçalves, P. F. A., e Nagalli, A. (2015). Development of a conceptual model of an eco-logic tile using building gypsums waste. *Cerâmica*, 61, 358, 190-198.
- Testolin, R. C., Godinho-Castro, A. P., Janke, L., Correa, A. X. R., e Radetski, C. M. (2012). Incorporation of gypsum waste in ceramic block production: Proposal for a minimal battery of tests to evaluate technical and environmental viability of this recycling process. *Waste Management*, 32, 1, 153-157.
- Torres, P., Fernandes, H. R., Olhero, F., e Ferreira, J. M. F. (2009). Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 1, 23-30.
- Vidal, F. W. H., Azevedo, H. C. A., e Castro, N. F. (2014). *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento* (1ª Ed.). Rio de Janeiro, CETEM/MCTI.
- Vieira, C. M. F., Peçanha, L. A., e Monteiro, S. N. (2004). Reformulation of roofing tiles body with addition of granite waste from sawing operations. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 8, 2349-2356.

3 CAPÍTULO 2 – ARTIGO 2

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO SETOR DE CERÂMICA VERMELHA NA REGIÃO DE OEIRAS-PI

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO SETOR DE CERÂMICA VERMELHA NA REGIÃO DE OEIRAS-PI

(ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF THE RED CERAMIC SECTOR IN THE REGION OF OEIRAS-PI)

*Kelson Silva de Almeida*¹, *Camila de Sousa Moura Almeida*², *Roberto Arruda Lima Soares*³,
*José Milton Elias de Matos*⁴

¹ *Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano, 64800-000, Floriano, PI*
e-mail: eng.kelson@ifpi.edu.br

² *Prefeitura Municipal de Oeiras, 64500-040, Oeiras, PI*
e-mail: camilamoura.ass@gmail.com

³ *Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central, 64000-040, Teresina, PI*
e-mail: robertoarruda@ifpi.edu.br

⁴ *Universidade Federal do Piauí, 64049-550, Teresina, PI*
e-mail: jmemos@ufpi.edu.br

RESUMO

Estudos ambientais são importantes formas de se conhecer e adequar as indústrias buscando evitar impactos negativos ao meio ambiente. O setor cerâmico da região de Oeiras-PI tem grande importância para o estado do Piauí mas as indústrias ainda não possuem estudos deste tipo. O trabalho apresentou o diagnóstico ambiental do setor de cerâmica vermelha na região de Oeiras-PI. A metodologia utilizada foi: revisão bibliográfica, visitas técnicas às indústrias cerâmicas com entrevista e registro fotográfico e análise do processo produtivo cerâmico. Foram identificados os impactos ambientais e em seguida, a indicação de possíveis medidas mitigadoras. Os resultados apontaram como impactos ambientais: retirada da vegetação e alteração topográfica, cinzas da queima, consumo de água, material cru e produto não conforme. As principais medidas mitigadoras apresentadas foram: reflorestamento, terraplenagem, controle do consumo de água, melhorar o processo produtivo, incorporação de resíduos na massa cerâmica. A implantação de sistema de gestão de qualidade, gestão ambiental e comprometimento dos empresários são importantes para sustentabilidade do setor.

Palavras-chave: Cerâmica Vermelha, Impacto Ambiental, Indústria Cerâmica, Medida Mitigadora.

ABSTRACT

Environmental studies are important ways of getting to know and adapting the industries in order to avoid negative impacts on the environment. The ceramic sector in the region of Oeiras-PI is of great importance for the state of Piauí, but the industries do not yet have studies of this type. The work presented the environmental diagnosis of the red ceramic sector in the region of Oeiras-PI. The methodology used was: bibliographic review, technical visits to the ceramic industries with interviews and photographic records and analysis of the ceramic production process. Environmental impacts were identified and then the indication of possible mitigation measures. The results pointed as environmental impacts: vegetation removal and topographic alteration, burning ashes, water consumption, raw material and nonconforming product. The main mitigating measures presented were: reforestation, earthmoving, control of water consumption, improving the production process, incorporation of waste in the ceramics

mass. The implementation of quality management system, environmental management and commitment of entrepreneurs are important for the sustainability of the ceramic sector.

Keywords: Red Ceramics, Environmental Impact, Ceramic Industry, Mitigation Measure.

3.1 INTRODUÇÃO

Material cerâmico, entre dezenas de possíveis definições, pode ser descrito como qualquer produto, composto por matérias-primas inorgânicas constituídas de elementos metálicos e não metálicas, sejam essas naturais ou sintéticas, que em estado de pó, é transformado, por meio de queima, num objeto sólido com aplicações úteis (Silva *et al.*, 2017).

Atualmente os materiais cerâmicos possuem diversas aplicações, desde o adobe, utensílios e ladrilhos até próteses odontológicas, isolantes elétricos e revestimento de reatores nucleares, mas a utilização mais visível dos materiais cerâmicos é na indústria da construção civil como blocos de vedação (tijolos comuns), tijolos aparentes, blocos estruturais, telhas, pisos rústicos e manilhas (Brito *et al.*, 2015).

No Brasil, este setor da construção civil representa 5% do PIB nacional e apresenta indícios de crescimento. Os produtos cerâmicos estão entre os mais utilizados na construção civil e assim é uma atividade essencial para a construção pois está presente desde a mais simples obra à mais sofisticada (Inocente *et al.*, 2018).

O setor cerâmico utiliza a argila como matéria-prima principal para a obtenção de seus produtos. Esse material é bastante heterogêneo e se comporta de maneira diferente em conformidade com a sua composição mineralógica e química, assim também alteram as propriedades físicas e químicas, que essenciais aos produtos acabados de cerâmica (GOES *et al.*, 2014). Neste sentido, a demanda por argila tende a aumentar cada vez mais, no ano de 2017, utilizou-se aproximadamente 140 milhões de toneladas para fabricação de um total de 63,6 bilhões de peças de cerâmica (Areias *et al.*, 2017; Brasil, 2017).

A indústria cerâmica no estado do Piauí apresenta cerca de 92 fábricas que produzem em média de 30 milhões de tijolos e 15 milhões de telhas por mês, distribuído ao longo de todo o estado. O município de Oeiras-PI localizado no Território Vale do Canindé destaca-se pela produção de cerâmica vermelha e também cerâmica artesanal, com cerca de 5 indústrias na região, chegando a produzir cerca de 1,5 milhões de produtos cerâmicos mensais e abastecendo toda a região central do estado do Piauí (Almeida, Moura e Soares, 2014).

Todo processo produtivo industrial é caracterizado pela utilização de insumos (matérias-primas, água, energia, etc.) que, submetidos a uma transformação ou beneficiamento, dão lugar a produtos e com eles, os resíduos (Wright e Boorse, 2016).

O setor de cerâmica vermelha se destaca como grande gerador de resíduos, onde em toda a sua cadeia produtiva (da extração de matéria-prima a expedição dos produtos) gera algum tipo de impacto ambiental ou rejeito (Nagalli, 2014). Os resíduos da indústria de cerâmica vermelha representam atualmente até 7% da produção global de materiais cerâmicos, o que implica em milhões de toneladas descartadas anualmente, a maior parte destes resíduos tem origem no descarte de peças defeituosas ainda na produção industrial ou aplicação final em construção (chamado de resíduo de construção e demolição – RCD) (Araujo *et al.*, 2019; Brekailo *et al.*, 2019).

A NBR 10004/2004 (ABNT, 2004a) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, os resíduos de cerâmica são classificados como inertes, o que facilita seu manuseio para reutilização (Silva *et al.*, 2019).

A geração de resíduos de cerâmica vermelha é um problema preocupante tendo em vista que a capacidade de deposição dos mesmos é cada vez mais limitada, assim, não há locais para armazenamento haja vista o volume produzido (Wright e Boorse, 2016). Assim, a fim de reduzir o impacto ambiental negativo, a reciclagem e reutilização dos resíduos de construção civil, em especial os de cerâmica vermelha, são importantes como forma de minimizar o emprego indiscriminado de materiais virgens, a degradação ambiental dada pela grande extração de recursos naturais e a deposição de rejeitos em aterros ou locais não regulamentados, além da redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes e melhoria da saúde e segurança da população (Carmo, Maia e Cesar, 2012; Menezes, Neves e Ferreira, 2002).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos menciona a importância da prevenção e a redução na geração de resíduos, através da adoção da prática de hábitos sustentáveis, como a minimização da geração dos resíduos e da reciclagem, da reutilização e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, ou seja, todo o material que não pode ser reciclado ou reaproveitado (Brasil, 2010). Neste sentido, a norma ISO 14001 (ABNT, 2004b) busca também garantir o equilíbrio e proteção ambiental, prevenindo a poluição e os potenciais problemas que esta poderia trazer para a sociedade e economia, e pode ser referência de apoio importante para que cada empresa possa organizar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

Atualmente, com o conhecimento que os recursos naturais do planeta são finitos e a busca por um modelo de desenvolvimento sustentável que propicie a preservação destes e o entendimento de que a produção de resíduos e poluição são ameaças conduzem à busca por alternativas ao sistema econômico capitalista. Neste sentido surge a ideia de Economia Circular e o conceito dos 4Rs, onde são procuradas formas economicamente viável de Reduzir o uso da matéria-prima e produção de rejeitos e poluição, assim como de Reutilizar, Reciclar e Recuperar os materiais e produtos de maneira contínua, como parte integrante de um ciclo, onde o processo produtivo, padrões de gestão e consumo devem optar pela utilização, sempre que for possível, de recursos renováveis (Pimenta, Poggi e Firmino, 2018).

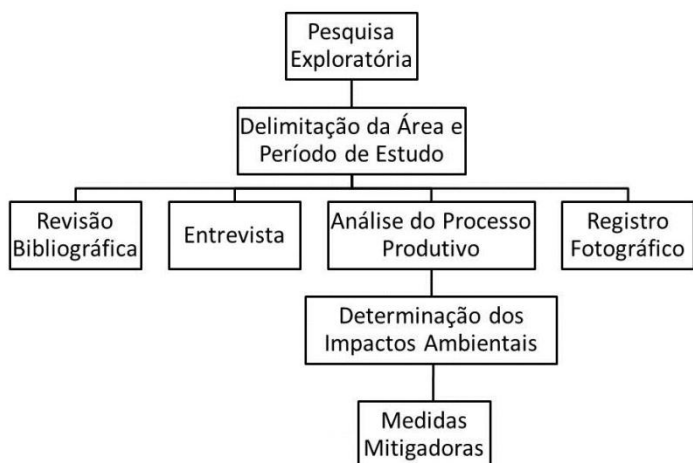
Diversos autores realizaram a análise ou diagnóstico da indústria de cerâmica vermelha e confirmaram a existência de diversos impactos negativos ao meio ambiente, também indicaram possíveis medidas mitigadoras buscando redução dos mesmos, melhorando a gestão a fim de buscar a sustentabilidade neste setor (Almeida, Moura e Soares, 2014; Menezes, Neves e Ferreira, 2002, Witt, Silva e Albach, 2018; Reis, Silva e Silva, 2017; Souza e Sousa, 2017; Furtado *et al.*, 2015; Silva e Medeiros, 2011; Vieira e Vieira, 2018; Amorim *et al.*, 2017; Sarquis *et al.*, 2018; Xara, Souza e Costa, 2018; Alencar-Linard, Saeed-Khan e Lima, 2015, Abrahao e Carvalho, 2018; Silva, Soares e Almeida, 2019).

Nesta perspectiva, ressalta-se a importância do estudo realizado tendo em vista a necessidade de analisar o setor produtivo de cerâmica vermelha para identificar os principais impactos ambientais negativos e buscar meios de reduzi-los e melhorar a sustentabilidade e eficiência na indústria, a literatura confirma a importância de estudos deste tipo para entender como as ações humanas podem afetar os processos naturais, além de conciliar progresso econômico e social com preservação ambiental (Sanchez, 2013; Scalco e Ferreira, 2013; Barbosa, 2014). O estudo tem por objetivo analisar os principais impactos ambientais da indústria de cerâmica vermelha na região de Oeiras-PI e apontar soluções a fim de reduzir e melhorar o setor produtivo local.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo apresenta uma pesquisa aplicada, que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, de cunho exploratório, visando proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito e a construir hipóteses (Gerhardt e Silveira, 2009). O resumo das etapas realizadas no estudo é apresentado na Figura 1.

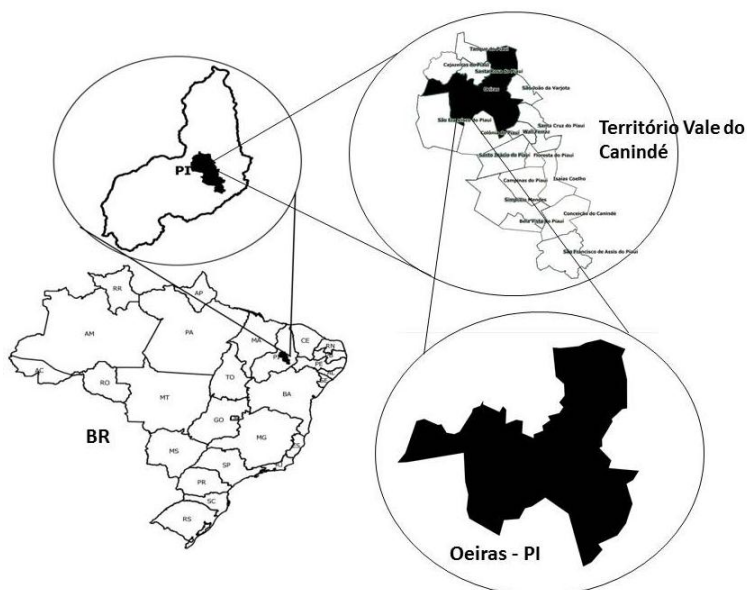
Figura 1: Resumo das etapas do estudo.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

O local estabelecido para o estudo foi o município de Oeiras-PI, localizado no centro-sul piauiense (latitude: -7,0138552; longitude: -42,1440123), devido a sua importância e localização estratégica no Território Vale do Canindé, que engloba 19 municípios com área de 14.257,12 m² (CODEVASF, 2006). A indústria cerâmica da região de Oeiras-PI abastece os municípios do Território e entorno, mostrando a importância desta atividade para este local. A Figura 2 apresenta um mapa identificando o Território Vale do Canindé e município de Oeiras-PI.

Figura 2: Mapa com delimitação do local de estudo.

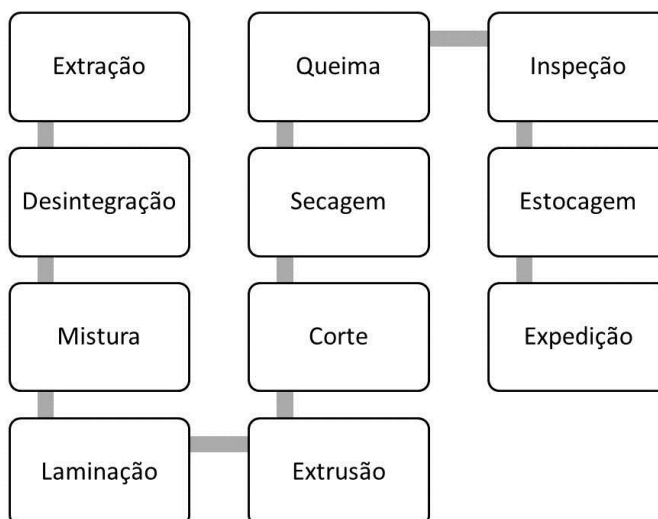


Fonte: Aatoria Própria (2018).

Após esta etapa foi realizada a revisão bibliográfica sobre a indústria cerâmica e seus impactos ambientais, por meio de publicações de revistas disponibilizadas no Portal de Periódico Capes, além de livros técnicos e junto a entidades ligadas a este setor. Em seguida foi realizada a fase de visitas técnicas em 7 empresas de cerâmica vermelha na região de Oeiras-PI por um período de 1 (um) ano (março/2018 a fevereiro/2019) onde foram realizadas entrevistas com os colaboradores e empresários, além de registro fotográfico dos locais.

A partir das informações anteriores foi realizada a análise do processo produtivo cerâmico, fundamental para detecção de pontos positivos e negativos no setor em questão. A Figura 3 apresenta o detalhamento das etapas do processo produtivo cerâmico analisadas.

Figura 3: Processo produtivo cerâmico.



Fonte: FIEMG (2015) adaptado.

Com base na análise do processo produto, foi realizado o diagnóstico ambiental com identificação dos impactos ambientais provocados em cada fase da produção da indústria de cerâmica vermelha na região do município de Oeiras-PI, e também apresentar possíveis medidas mitigadoras para minimizar os impactos ambientais tanto de forma direta como de forma indireta, além de possibilitar melhoria no processo produtivo buscando-se assim a sustentabilidade.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todo e qualquer empreendimento provoca impacto ambiental, em decorrência dos processos, desde a instalação até o produto final gerado e este impacto pode agredir tanto o solo, a água e/ou o ar atmosférico (Kemerich *et al.*, 2011).

O levantamento dos aspectos e impactos ambientais relacionados à indústria cerâmica da região apontou fatores como: degradação da área da jazida de argila, alto consumo de água, resíduos de material cru não conforme, emissões atmosféricas, matriz energética, cinzas, resíduos de produto final fora de especificação. Estes impactos foram verificados nas diferentes etapas do processo produtivo cerâmico.

Nesta parte são apresentados os principais fatores de impacto ambiental e as medidas mitigadoras que podem ser ou já estão sendo implementadas pela indústria do setor de cerâmica vermelha na região.

3.3.1 Degradação da área da jazida de argila

A extração das argilas é a atividade inicial no processo produtivo cerâmico. A partir das visitas foram identificados como impactos ambientais: a supressão vegetal, impacto visual e alterações na topografia nas áreas das jazidas. A Figura 4 apresenta o impacto ambiental na extração de argila na região de estudo.

Figura 4: Impacto ambiental na extração de argila.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Para ser realizada a exploração mineral da argila, a vegetação deve ser eliminada ainda no início das atividades de extração, deixando a superfície do solo exposta, alterando características como infiltração, porosidade, compactação e rugosidade, causando um distúrbio considerável no ambiente (Mello *et al.*, 2017). A mineração de argila pode provocar também a alteração da topografia e erosão decorrentes do processo de retirada da camada superficial e aprofundamento do solo (Landim *et al.*, 2019).

As principais medidas mitigadoras para redução deste impacto são apresentadas na literatura: solicitar autorização aos órgãos ambientais (embora seja compulsório), restrição da remoção da vegetação ao mínimo necessário e revegetação das áreas impactadas, sempre que possível; terraplenagem para reafeiçoamento do relevo com a finalidade de atenuar o impacto visual, reduzir a possibilidade de erosões (Cabral *et al.*, 2019; FIEMG, 2015).

3.3.2 Consumo de Água

A indústria de cerâmica vermelha se utiliza de água para hidratação da argila em quantidade razoável, que evapora durante a queima (Alencar-Linard, Saeed-Khan e Lima, 2015).

A água é bastante usada no processamento cerâmico, principalmente nas etapas de mistura, laminação e extrusão. As visitas apontaram que as indústrias de cerâmica vermelha da região não possuem controle quanto ao uso de água, sobretudo na etapa de mistura e sazonalmente onde a água é adicionada de maneira indiscriminada, como é apresentada na Figura 5.

Figura 5: Uso de água em indústria cerâmica.



Fonte: Autoria Própria (2018).

As boas práticas para o consumo adequado da água, por ser um recurso limitado, estão ligadas a otimização do uso e busca pela reutilização da mesma sempre que for possível (ANICER, 2018). Algumas medidas podem ser tomadas a fim de melhorar a gestão da água no setor como a captação e armazenamento de água pluvial como trata a norma NBR 15.527 (ABNT, 2007), além de instalar sistema para controle e registro de uso de água em cada etapa (ANICER, 2018).

3.3.3 Material cru defeituoso

As etapas de extrusão, corte e secagem podem gerar produtos com trincas, fissuras ou fora de especificação, estes tem a denominação de material cru defeituoso (ou não conforme) e são de diversos tipos: material argiloso descartado, rebarbas de blocos, blocos crus defeituosos e produtos defeituosos (FIEMG, 2015; SILVA; SILVA, 2017). Estes materiais são separados antes de ir a queima como pode ser visto na Figura 6, gerando um desperdício de matéria-prima, energia elétrica e desgaste das máquinas.

Figura 6: Material cru não conforme.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Segundo Gouveia e Sposto (2009), os defeitos (trincas, fissuras, materiais fora de especificação) na produção podem ser provocados por elevado teor de umidade, proporção inadequada de argila e ainda secagem rápida. Já Silva e Silva (2017) apontaram, em seu trabalho, que a geração de resíduos na etapa de extrusão, corte e secagem pode representar mais de 63% do total de resíduos sólidos em indústria cerâmica.

O controle de qualidade da produção pode representar uma medida para reduzir a geração deste resíduo industrial. Outra medida importante é a reinserção deste material no próprio processo produtivo, já que este material cru é considerado um resíduo reutilizável como agregado, de acordo com a resolução CONAMA 307/2002 (Brasil, 2002); todas as indústrias visitadas realizam esta atividade. Os defeitos nos produtos extrudados (secos ou úmidos), quando ocorrem antes da queima, embora pese a queda de produtividade, podem ser reprocessados (Cabral e Azevedo, 2017).

3.3.4 Matriz energética

A indústria de cerâmica vermelha, em função da necessidade de queima de seus produtos, se torna uma grande consumidora de energia. A matriz energética mais utilizada pelas cerâmicas vermelhas do estado do Piauí é a lenha, proveniente da vegetação local (Almeida, Moura e Soares, 2014). As visitas nas diversas indústrias cerâmicas da região confirmaram a utilização de lenha da caatinga como única fonte de energia para produção. A Figura 7 mostra o uso de lenha em uma das indústrias visitadas.

Figura 7: Fonte energética usada nas indústrias: lenha.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Os impactos ambientais da utilização desta matriz energética é o desmatamento de áreas preservadas, associado à falta de uma prática de reflorestamento das áreas devastadas (Guimarães *et al.*, 2018).

A utilização de outras fontes energéticas como cavaco, pó de serragem, *pallets* de madeira é uma forma de minimizar este impacto (FIEMG, 2015). Outro ponto importante é a implantação de área para reflorestamento com fins energéticos, visando o auto suprimento da matriz energética (Cavalcanti e Silva, 2014). Outras medidas mitigadoras são: investir em forno mais eficiente, controlar umidade e ar no forno, manter a fonte energética em local controlado, entre outros (ANICER, 2018).

3.3.5 Cinzas da queima

As cinzas são geradas a partir do processo de queima, normalmente de lenha, nas indústrias cerâmicas. A poluição do ar e a possibilidade de gerar graves problemas respiratórios são impactos ambientais gerados pelas cinzas (Borlini *et al.*, 2005). As entrevistas nas indústrias cerâmicas apontaram que as cinzas ainda não possuem local específico para destinação, a Figura 8 apresenta as cinzas geradas na queima.

Figura 8: Cinzas geradas após a queima.



Fonte: Autoria Própria (2018).

As cinzas obtidas da combustão da lenha são classificadas como resíduo inerte e em geral, são ricas em compostos de base cálcio, silicosos ou sílico-aluminosos (Nascimento *et al.*, 2019). Neste sentido, uma alternativa ecológica é a incorporação deste resíduo em massa cerâmica, oportunidade de transformar problemas ambientais em oportunidades tecnológicas e econômicas (Pereira *et al.*, 2019). Diversos autores apresentaram a possibilidade viável da incorporação de cinzas em massa cerâmica (Pereira *et al.*, 2019; Faria, Gurgel e Holanda, 2012; Haiying, Youcai e Jingyu, 2011).

Outros autores apontam a possibilidade de utilização de cinzas como adubo em culturas vegetais como solução ambiental (Silva *et al.*, 2009; Prado, Natale e Corrêa, 2002; Silva *et al.*, 2008).

3.3.6 Produto fora de especificação

Produto final fora de especificação é qualquer material cerâmico obtido após a queima que está de acordo com as normas vigentes, podendo ser encontrado nas fases de inspeção, estocagem e expedição (FIEMG, 2015).

Cabe ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia avaliar a conformidade dos produtos cerâmicos, por meio da regulamentação técnica de caráter compulsório, assim, produtos fora de especificação não podem ser comercializados e é passível de advertência, multa, interdição da empresa ou apreensão de produtos em caso de descumprimento (INMETRO, 2019).

Quando os defeitos nas peças ocorrem após a queima, não há aproveitamento em larga escala pela indústria, então, os produtos são descartados e dispostos normalmente de maneira desordenada, gerando perdas econômicas e impactos negativos ao meio ambiente como incômodo visual e mobilização de grandes áreas para armazenagem (Cabral e Azevedo, 2017). A Figura 9 apresenta o descarte de produto fora de especificação, encontrado nas visitas às indústrias.

Figura 9: Produto fora de especificação.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Embora algumas empresas implantem um sistema de gestão de qualidade, sempre irá existir um percentual de perdas no processo cerâmico, este é chamado de perda natural (Gouveia e Sposto, 2009). Silva e Silva (2017) apontaram, em seu trabalho, que a geração de resíduos após a etapa de queima pode representar mais de 30% do total de resíduos sólidos gerados em indústria cerâmica, se tornando um passivo ambiental de grandes proporções.

A trituração do produto cerâmico queimado gera o chamote, material geralmente inerte e não plástico, este tem possibilidade de incorporação na massa cerâmica promovendo uma alternativa ecológica ao descarte desses materiais. Diversos autores tem confirmado a incorporação de chamote no processo cerâmico como possibilidade viável com resultados adequados (Gouveia e Sposto, 2009; Zaccaron *et al.*, 2018, Vieira, Teixeira e Monteiro, 2009; Vieira, Souza e Monteiro, 2004)

3.4 CONCLUSÃO

O estudo apresentou o diagnóstico ambiental do setor de cerâmica vermelha na região de Oeiras-PI com identificação dos principais impactos ambientais e indicando soluções adequadas. A indústria cerâmica da região apresentou como impacto mais significativo a degradação da vegetação da área útil da empresa, tanto na extração da argila quanto na matriz energética utilizada. A falta de fiscalização dos órgãos competentes aliada à ausência de plano de gestão ambiental faz com que este setor ainda cause impacto negativo ao meio ambiente. Algumas medidas mitigadoras foram apresentadas (incorporação de resíduo, implantação de medidas de controle para água, reflorestamento e melhoramento no processo produtivo) buscando minimizar os efeitos negativos. Portanto é necessário o compromisso dos empresários com a causa ambiental, pois todas as medidas mitigadoras apresentadas são passíveis de implantação e são necessárias para o melhoramento do setor cerâmico.

3.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Piauí (IFPI), à Universidade Federal do Piauí (UFPI) e às empresas participantes na pesquisa.

3.6 BIBLIOGRAFIA

- Abraham, R., e Carvalho, M. (2018). Environmental Impacts of the Red Ceramics Industry in Northeast Brazil. *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 6, 8, 310-317.
- Alencar-Linard, Z. U. S., Saeed-Khan, A., e Lima, P. V. P. (2015). Percepções dos impactos ambientais da indústria de cerâmica no município de Crato estado do Ceará, Brasil. *Economía, Sociedad y Territorio*, xv, 48, 397-423.
- Almeida, K. S., Moura, C. S., e Soares, R. A. L. (2014). Análise dos impactos ambientais gerados pela indústria de cerâmica vermelha no Piauí. *Cerâmica Industrial*, 19, 5, 33-34.
- Amorim, F. S., Souza, M. P., Borges, C. H. A., Costa, R. M. C., e Vasconcelos, A. D. M. (2017). Impactos ambientais gerados no processo de produção de cerâmicas no extremo sul do Piauí. *ACSA*, 13, 3, 241-246
- Araújo, R. A., Menezes, A. L. R., Cabral, K. C., Nóbrega, A. K. C., Martinelli, A. E., e Dantas, K. G. M. (2019). Evaluation of the pozzolanic activity of red ceramic waste using mechanical and physicochemical methods. *Cerâmica*, 65, 375, 461-469.
- Areias, I. O. R., Vieira, C. M. F., Manhães, R. da S. T., e Intorne, A. C. (2017). Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 63, 367, 343-349.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004a). *NBR 10004 Resíduos Sólidos – Classificação*, Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004b). *NBR ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). *NBR 15.527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos*. Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Nacional da Indústria de Cerâmica (2018). *Cartilha ambiental: cerâmica vermelha*, 1ª Ed. Rio de Janeiro, 102 p. ANICER.
- Barbosa, R. P. (2014). *Avaliação de risco e impacto ambiental*. 1ª Ed. São Paulo: Editora Érica, 144 p.
- Borlini, M. C., Sales, H. F., Vieira, C. M. F., Conte, R. A., Pinatti, D. G., e Monteiro, S. N. (2005). Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. parte I: características da cinza. *Cerâmica*, 51, 319, 192-196.
- Brasil (2002). *Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*. Brasília, Diário Oficial da União – DOU.
- Brasil (2010). *Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*. Brasília, Diário Oficial da União – DOU.
- Brasil (2017). *Anuário Estatístico: Setor Transformação Não Metálicos/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (1ª Ed.)*, Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Brekailo, F., Pereira, E., Pereira, E., Hoppe Filho, J., e Medeiros, M. H. F. (2019). Avaliação do potencial reativo de adições de resíduos de blocos de cerâmica vermelha e de concreto cominuído de RCD em matriz cimentícia. *Cerâmica*, 65, 375, 351-358.
- Brito, I. P., Almeida, E. P., Neves, G. A., Menezes, R. R., Silva, V. J., e Santana, L. N. L. (2015). Assessment of new clay deposits of Paraíba State for application as ceramic raw materials. *Cerâmica*, 61, 391-398.

- Cabral, M., Azevedo, P. B. M., Cuchierato, G., e Motta, J. F. M. (2019). Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte I – Introdução e a Indústria de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 24, n. 1, p. 20–34.
- Cabral, M., e Azevedo, P. B. M. (2017). Potencial Técnico e Econômico do Aproveitamento de Resíduos da Indústria de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, 22, 3, 29-38.
- Carmo, D. S., Maia, N. S., e César, C. G. (2012). Avaliação da tipologia dos resíduos de construção civil entregues nas usinas de beneficiamento de Belo Horizonte. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17, 2, 187-192.
- Cavalcanti, R. Q., e Silva, A. K. P. M. (2014). Identificação de impactos ambientais na indústria de cerâmica vermelha, um estudo de caso. In: *Cerâmica vermelha para construção civil: pesquisas e inovações*. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 311p.
- Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (2006). *Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba, PLANAP : síntese executiva : Território Vale do Rio Canindé*. Brasília, DF: TDA Desenhos & Arte Ltda.. 2006. 68p. CODEVASF.
- Faria, K. C. P., Gurgel, R. F., e Holanda, J. N. F. (2012). Influência da adição de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha. *Matéria*, 17, 3, 1054-1060.
- Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (2015). *Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha (1ª Ed.)*. Minas Gerais, FIEMG.
- Furtado, O. S., Silva, N. A., Dias, W. S., e Sellitto, M. A. (2015). Avaliação do desempenho ambiental em uma empresa da indústria cerâmica de Tocantins. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19, 21, 848-861.
- Gerhardt, T. E., e Silveira, D. T. (2009). *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.120 p.
- Goes, J. R., Azevedo, T. F., Dutra, T. X. C., Santos, V. B., Severo, J. B., e Barreto, L. S. (2014). Evaluation of the potenciality of clays from the Calumbi and Riachuelo geological formation in Sergipe, Brazil, for application in ceramic tiles. *Cerâmica*, 60, 211-217.
- Gouveia, F. P., e Sposto, R. M. (2009). Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. *Cerâmica*, 55, 336, 415-419.
- Guimarães, K. R. L., Holanda, R. M., Silva, B. B., Araujo, L. E., e Lorena, E. M. G. (2018). Análise do Atendimento aos Requisitos Ambientais: Um Múltiplo Estudo de Caso nas Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado de Pernambuco. *Cerâmica Industrial*, 23, 1, 33-46.
- Haiying, Z., Youcai, Z., e Jingyu, Q. (2011). Utilization of municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash in ceramic brick: product characterization and environmental toxicity. *Waste Management*, 31, 2, 331–341.
- Inocente, J. M., Nandi, V. S., Rosso F., Oliveira, A., e Zaccaron, A. (2018). Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, 23, 3, 34-39.
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2019). *Produtos de cerâmica vermelha: avaliação da conformidade*. Cartilha, Rio de Janeiro, 16 p. INMETRO.
- Kemerich, P. D. C., Ucker, F. E., Foletto, C. V., e Rosa, L. M. (2011). Avaliação de impactos ambientais na implantação e operação de olaria. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, 8, 1, 134-150.
- Landim, A. A., Braga, V. H., Oliveira, B. A., Figueiredo, A. S., Kemerich, P. D. C., e Vargas, J. E. (2019). Impactos ambientais causados pela implantação e operação de olaria em Caçapava do Sul – RS. *Holos Environment*, 19, 1, 83-97.

- Mello, A. H., Gama, M. F. F., Oliveira, G. F., e Silva, J. C. (2017). Diagnóstico da degradação ambiental em áreas de extração de argila em Marabá – PA. *Revista Agroecossistemas*, 9, 1, 45-61.
- Menezes, R. R., Neves, G. A., e Ferreira, H. C. (2002). O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6, 2, 303-313.
- Nagalli, A. (2014). *Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil*. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 176 p.
- Nascimento, J. E. F., Nobrega, A. C. V., Ferreira, H. C., Neves, G. A., e Santana, L.N.L. (2019). Cinza de biomassa rica em calcário como material carbonático em sistemas cimentícios de base Portland. *Cerâmica*, 65, 373, 85-91.
- Pereira, S. I., Peterson, M., Zaccaron, A., Nandi, V. S., e Fernandes, P. (2016). Incorporação da cinza do eucalipto em massa de cerâmica vermelha. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 11, 2, 68–72.
- Pimenta, R., Poggi, F., e Firmino, A. (2018). ID 842: A importância do setor das energias renováveis na economia circular: uma revisão crítica aplicada ao contexto português. In: *Livro de Atas – XVI Colóquio Ibérico – Geografia*. Editora: Lisboa, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. 1578 p.
- Prado, R. M., Natale, W., e Corrêa, M. C. M. (2002). Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. *Acta Scientiarum*, 24, 1493–1500.
- Reis, L. M. M., Silva, V. P., e Silva, A. C. C. (2005). Sustentabilidade ambiental em territórios de cerâmica vermelha: uma análise de Carnaúba dos Dantas-RN. *Mercator*, 4, 7, 83-96.
- Sánchez, L. E. (2013). *Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos*, 2ª Ed.. São Paulo, Oficina de Textos, 2013, 584 p.
- Sarquis, A. B., Sehnem, S., Pizzinatto, N. K., e Martinazzo Jr, J. C. (2018). Diagnóstico de gestão ambiental no setor de cerâmica vermelha. *Revista Eletrônica de Administração e Turismo*, 12, 6, 1542-1562.
- Scalco, J. P., e Ferreira, G. C. (2013). Impactos ambientais da mineração de argila para cerâmica vermelha na sub-bacia do Ribeirão Jacutinga - Rio Claro e Corumbataí (SP). *Geociências*, 32, 4, 760-769.
- Silva, A. L., Chaves, A. C., Luna, C. B. B., Neves, G. A., e Lira, H. L. (2017). Avaliação das composições de massas argilosas a partir da incorporação de resíduo da indústria de cerâmica vermelha na obtenção de membranas cerâmicas tubulares. *Matéria*, 22, 1.
- Silva, A. P. M., e Medeiros, J. F. (2011). Problemas socioambientais causados pelas indústrias de cerâmicas no município de Encanto-RN. *Geotemas*, 1, 1, 67-77.
- Silva, D. J. R., Soares, E. K. L., e Almeida, J. G. R. (2019). Proposta de implantação de sistema de gestão ambiental em uma cerâmica no estado do Tocantins. *Facit Business and Technology Journal*, 1, 1, 34-56.
- Silva, F. F., Bertonha, A., Freitas, P. S. L., Muniz, A. S., e Ferreira, R.C. (2008). Aplicação de cinza da casca de arroz e de água residuária de fecularia de mandioca na cultura de aveia. *Revista em Agronegócios e Meio ambiente*, 1, 1, 25-36.
- Silva, F. R., Albuquerque, J. A., Gatiboni, L. C., e Marangoni, J. M. (2009). Cinza de biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do Planalto Catarinense e em plantas de eucalipto. *Scientia Agraria*, 10, 6, 475-482.
- Silva, R. G., e Silva, V. P. (2017). Diagnóstico de desperdícios de uma cerâmica vermelha rumo à produção mais limpa. In: *6th International Workshop | Advances in Cleaner Production – Academic Work*, São Paulo.

- Silva, T. H., Castro, A. C. M., Valente Neto, F. C., Soares, M. M. N. S., Resende, D. S., e Bezerra, A. C. S. (2019). Recycling ceramic waste as a raw material in sanitary ware production. *Cerâmica*, 65, 375, 426-431.
- Souza, J. R., e Sousa, J. R. (2017). Produção mais limpa: um diagnóstico da indústria ceramista no município de Paulistana-PI. *Connexio*, 6, 2, 73-87.
- Vieira, C. M. F., Souza, E. T. A., e Monteiro, S. N. (2004). Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 50, 315, 254-260.
- Vieira, C. M. F., Teixeira, S. S., e Monteiro, S. N. (2009). Efeito da temperatura de queima nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha contendo chamote. *Cerâmica*, 55, 335, 332-336.
- Vieira, P. H., e Vieira, A. C. A. S. (2018). Diagnóstico dos impactos ambientais provocado pelas indústrias cerâmicas no município de Cordeirópolis/SP. *Caderno de Geografia*, 28, 55, 863-879.
- Witt, M. R., Silva, S. P., e Albach, D. M. (2018). Destinação planejada de resíduos cerâmicos no contexto do design para sustentabilidade. *Mix Sustentável*, 4, 2, 35-42.
- Wright, R., e Boorse, D. F. (2016). *Environmental Science: Toward A Sustainable Future*, 13ª Ed. Londres, Pearson, 672 p.
- Xara, G. M. S. A., Souza, S. A., e Costa, M. V. (2018). Gestão estratégica ambiental: barreiras à implementação da ferramenta produção mais limpa em indústria de cerâmica vermelha de Caetité – Bahia. *Brazilian Journal of Development*, 4, 5, 2322-2339.
- Zaccaron, A., Galatto S. L., Nandi, V. S., e Fernandes, P. (2018). Avaliação da resistência mecânica e absorção de água em cerâmica vermelha com incorporação de chamote. *Scientia Plena*, 14, 2, 1-8.

4 CAPÍTULO 3 – ARTIGO 3

CARACTERIZAÇÃO DE JAZIDA DE ARGILA NA REGIÃO CENTRAL DO PIAUÍ PARA UTILIZAÇÃO EM INDÚSTRIA CERÂMICA

CARACTERIZAÇÃO DE JAZIDA DE ARGILA NA REGIÃO CENTRAL DO PIAUÍ PARA UTILIZAÇÃO EM INDÚSTRIA CERÂMICA

(CHARACTERIZATION OF CLAY DEPOSIT IN THE CENTRAL REGION OF PIAUÍ FOR USE IN THE CERAMIC INDUSTRY)

Kelson Silva de Almeida¹, Roberto Arruda Lima Soares², José Milton Elias de Matos³

¹ Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano, 64800-000, Floriano, PI
e-mail: eng.kelson@ifpi.edu.br

² Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central, 64000-040, Teresina, PI
e-mail: robertoarruda@ifpi.edu.br

³ Universidade Federal do Piauí, 64049-550, Teresina, PI
e-mail: jmematos@ufpi.edu.br

RESUMO

A indústria da cerâmica vermelha compreende materiais empregados na construção civil (tijolos, telhas, argila expandida, entre outros) e tem grande importância para o desenvolvimento econômico brasileiro, assim tem se procurado cada vez mais por novas fontes de matéria prima, principalmente de argila. O presente trabalho tem por objetivo caracterizar uma jazida de argila localizada na região central do estado do Piauí, para viabilizar a utilização da mesma como matéria prima cerâmica, buscando impulsionar a indústria de cerâmica vermelha. Foi analisada inicialmente a composição química, a identificação de fases cristalinas e análise de plasticidade da argila. Em seguida foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial, posteriormente foram secos em estufa a 110 °C e depois foi realizada a queima a 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Determinou-se então a tensão de ruptura a flexão, porosidade aparente, retração linear de queima, absorção de água, além de análise mineralógica, macroestrutural e microestrutural por microscópio eletrônico de varredura. Os resultados apontaram a melhora nas características (resistência à flexão, porosidade aparente e absorção de água) da amostra com o aumento da temperatura de queima, os corpos de prova apresentaram coloração avermelhada devido à presença de ferro na amostra, além de quartzo e caulinita. Assim a jazida de argila tem potencialidade de se tornar matéria prima para a indústria de cerâmica vermelha no estado do Piauí.

Palavras-chave: Argila, Cerâmica Vermelha, Jazida, Propriedades Tecnológicas.

ABSTRACT

The red ceramics industry comprises materials used in construction (bricks, tiles, expanded clay, among others) and is of great importance for Brazilian economic development, and has been increasingly sought for new sources of raw material, mainly clay. The present work aims to characterize a clay deposit located in the central region of the state of Piauí, to make feasible the use of the same as ceramic raw material, seeking to boost the red ceramic industry. The chemical composition, the identification of crystalline phases and the plasticity analysis of the clay were analyzed. Subsequently, specimens were prepared by uniaxial pressing, then dried in an oven at 110 °C and then heated to 900 °C, 1000 °C and 1100 °C. Bending rupture stress, apparent porosity, linear burn-off, water absorption, and mineralogical, macrostructural and microstructural analysis were determined by scanning electron microscopy. The results indicated that the samples showed a reddish coloration due to the presence of iron in the sample, as well as quartz and kaolinite. Thus, the clay deposit has the potential to become raw material for the red ceramic industry in the state of Piauí.

Keywords: Clay, Red Ceramics, Deposits, Technological Properties.

4.1 INTRODUÇÃO

Material cerâmico, entre dezenas de possíveis definições, pode ser descrito como qualquer produto, composto por matérias-primas inorgânicas constituídas de elementos metálicos e não metálicas, sejam essas naturais ou sintéticas, que em estado de pó, é transformado, por meio de queima, num objeto sólido com aplicações úteis (Silva, *et al.* 2017).

Atualmente os materiais cerâmicos possuem diversas aplicações, desde o adobe, utensílios e ladrilhos até próteses odontológicas, isolantes elétricos e revestimento de reatores nucleares, mas a utilização mais visível dos materiais cerâmicos é na indústria da construção civil (Brito, *et al.* 2015).

O setor da construção civil, em particular na manufatura de insumos, está em constante crescimento, a mesma, embora seja responsável por relevante demanda ambiental, também apresenta grande impacto positivo na sociedade e na economia. No Brasil, este setor representa atualmente 5% do PIB nacional e há indícios de crescimento. Os produtos cerâmicos estão entre os mais utilizados na construção civil e assim é uma atividade de base ao possibilitar à construção civil, em geral, desde a mais simples à mais sofisticada (Inocente, *et al.* 2018).

A argila é o material essencial sob o ponto de vista tecnológico para fabricação dos materiais cerâmicos. Esse material é bastante heterogêneo e se comporta de maneira diferente em conformidade com a sua composição mineralógica e química, assim também alteram as propriedades físicas e químicas, que são essenciais aos produtos acabados de cerâmica (Goes, *et al.* 2014).

O aumento da necessidade de argila por parte da indústria cerâmica tem provocado impactos ao meio ambiente, tais como o aumento do volume de matéria prima das jazidas, diminuição de sua vida útil, e busca por novas e melhores jazidas, assim cada vez mais se busca estudar locais que tem potencialidade para se tornarem produtores de matéria prima para os produtos cerâmicos (Monteiro e Vieira, 2005).

Por se tratar de um material tão heterogêneo é necessário realizar caracterização tecnológica na argila para verificar a sua possibilidade de utilização (cerâmica vermelha, cerâmica branca, revestimento, cerâmica avançada, entre outros). Diversos trabalhos já foram realizados com este tema tão importante e estão apresentados abaixo.

Silva *et al.* (2017) estudaram dois tipos de argila na região sul do Amapá visando o uso adequado como matéria prima cerâmica para a indústria cerâmica. Foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial, e foram determinada a absorção de água, porosidade aparente, retração linear de queima e módulo de ruptura à flexão, bem como a evolução mineralógica após queima. Os resultados evidenciaram que uma das argilas apresentou um melhor desempenho na propriedades tecnológicas, tendo uma coloração vermelha e outra apresentou cor clara, com potencial para se tornar matéria prima refratária.

Moreno *et al.* (2016) analisaram argilas utilizadas por uma fábrica de blocos cerâmicos localizada no polo Tatuí-Sorocaba - SP. Foram analisados aspectos físico-químicos, geoquímicos, mineralógicos e cerâmicos com o intuito de analisar sua influência na composição de massas, as quais foram formuladas e processadas em laboratório com base na análise da consistência de misturas argila-água. O resultado do trabalho mostrou que o método de análise de curvas de consistência de misturas argila-água é importante para o controle de qualidade, melhor aproveitamento dos materiais e alternativas para ajuste da proporção dos componentes de uma massa.

Santos *et al.* (2016) caracterizaram quatro argilas diferentes utilizadas na produção de revestimento cerâmico do tipo BIIb no Estado de Sergipe, Brasil. As argilas foram caracterizadas por difração de raios X, fluorescência de raios X, análise termogravimétrica, análise térmica diferencial, distribuição de tamanho de partículas, limites de Atterberg e dilatométrica. Os resultados confirmaram a correlação entre a formação de fase líquida e redução de porosidade nos corpos cerâmicos sinterizados.

Brito *et al.* (2015) caracterizaram argilas provenientes de jazidas do município de Cubati, PB, visando estabelecer seus usos adequados como matérias-primas cerâmicas. As argilas foram submetidas às caracterizações física, química, mineralógica e térmica. Os resultados comprovaram que as argilas são constituídas por esmectita, quartzo e caulinita. E também que três delas são adequadas para uso em cerâmica branca e uma para cerâmica vermelha.

Pereira *et al.* (2014) estudaram as argilas esmectíticas da cidade de Sossego-PB. As amostras foram submetidas a uma caracterização física, química e mineralógica através das análises: análise de granulometria por difração a laser, composição química por fluorescência de raios X, difração de raios X, análise térmica diferencial e termogravimétrica. Os resultados evidenciaram que as argilas apresentaram em sua composição mineralógica

esmectita, caulinita, feldspato e quartzo. Em relação às propriedades reológicas, os resultados foram promissores para algumas amostras para utilização em fluidos de perfuração.

Os trabalhos apontam a necessidade de conhecer a argila como matéria prima para que se possa indicar a verdadeira potencialidade do material. Assim, ressalta-se a importância do estudo realizado tendo em vista a necessidade de caracterizar a argila da jazida buscando qualidade no produto final e sustentabilidade do setor cerâmico. O estudo tem por objetivo caracterizar uma jazida de argila localizada na região central do estado do Piauí.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A cerâmica, que é praticamente tão antiga quanto à descoberta do fogo, mesmo utilizando os antigos métodos artesanais, pode produzir artigos de excelente qualidade. Nos últimos anos, acompanhando a evolução industrial, a indústria cerâmica adotou a produção em massa, garantida pela indústria de equipamentos, e a introdução de técnicas de gestão, incluindo o controle de matérias-primas, dos processos e dos produtos fabricados (SINDICER, 2017). A argila utilizada no trabalho é proveniente de jazida localizada na região central do Piauí mais precisamente no município de Oeiras, localizado no Território Vale do Canindé. A argila foi seca em uma estufa a temperatura de 110 °C, em seguida submetida ao processo de moagem realizado por moinho de martelo, para proporcionar redução da granulometria. Em seguida o material foi passado na peneira ABNT 200 (0,075 mm) para a caracterização e também para as análises de propriedades tecnológicas.

A argila foi caracterizada pelas seguintes técnicas: análise granulométrica - AG (agitador de peneiras elétrico - ABNT NBR 7181 (1984a)), análise química por fluorescência de raios X - FRX (Epsilon-XL da PANalytical), análise termogravimétrica - TG e análise térmica diferencial - DTA (SDT-Q600 de marca TA Instruments - Faixa de temperatura: ambiente à 1200 °C; Taxa de aquecimento: 10°C/min; Atmosfera: Ar; Vazão do gás: 50 mL/min), difração de raios X - DRX (XRD-6000 - SHIMADZU com radiação Cu-K α (1.54060 Å)), e índice de plasticidade (limite de liquidez - ABNT NBR 6459 (1984b) e limite de plasticidade ABNT NBR 7180 (1984c)).

Para a confecção de corpos de prova a amostra de argila foi misturada com teor de 7% de umidade (umidade utilizada pela indústria), prensadas a 30 Mpa. Foram confeccionados 50 corpos de prova (tamanho - 15,0 cm x 2,5 cm x 2,5 cm). Em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa a 110 °C por 24 h e submetidos a tratamento térmico

(queima) a 900°C, 1000°C e 1100°C a uma taxa de aquecimento 5°C/min, com permanência de 1 h.

Após a queima, foram realizados ensaios tecnológicos nos corpos de prova a fim de determinar propriedades: porosidade aparente (PA), absorção de água (AA), retração linear de queima (RLq), tensão (módulo) de ruptura à flexão (TRF), microscopia eletrônica de varredura (MEV – realizado nas amostras sinterizadas a 1000 °C) e análise macroestrutural. Também foi realizada a caracterização por difração de raios X (DRX) das amostras queimadas após os ensaios.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a composição química da amostra de argila. A mesma é constituída basicamente de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, com predominância significativa da SiO₂ que está associada ao quartzo e à caulinita em combinação com o Al₂O₃. Estes resultados são semelhantes a estudos encontrados na literatura (Segadães, Carvalho e Acchar, 2005; Silva, *et al.* 2010; Roveri, Zanardo e Moreno, 2007; Silva, *et al.* 2019). Também apresentou teor de 9,25% de Fe₂O₃, cuja presença é responsável pela coloração vermelha da peça cerâmica e 1,75% de K₂O que é um componente fundente essencial para fabricação de cerâmica de baixa porosidade, ajudando na sinterização das peças cerâmicas (Candido, *et al.* 2013; Soares, *et al.* 2014). A perda ao fogo é da ordem de 11,83% e está associada principalmente a reações químicas (desidroxilação da caulinita) e decomposição de matéria orgânica presente (Dutra, *et al.* 2015).

Tabela 3: Composição química da argila (porcentagem % em peso).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	CaO	Out**	PF*
Argila	48,14	26	9,25	-	1,75	0,51	0,27	2,25	11,83

PF* – Perda ao Fogo Out** - Outros

Fonte: Aatoria Própria (2018).

A Tabela 4 e a Figura 10 mostram a distribuição granulométrica da amostra de argila. Foi utilizada a classificação da *International Society of Soil Science* (Barnes, 2016). A fração areia é representada pela porcentagem do material com uma dimensão maior que 20 µm (0,02 mm), a fração silte representada pela porcentagem entre 2 µm e 20 µm e a fração argila do material com granulometria inferior a 2 µm. A fração argila (inferior a 2 µm) corresponde à fração que confere a plasticidade necessária para a conformidade com os produtos. Na amostra de argila, esse valor é alto e também importante na resistência do

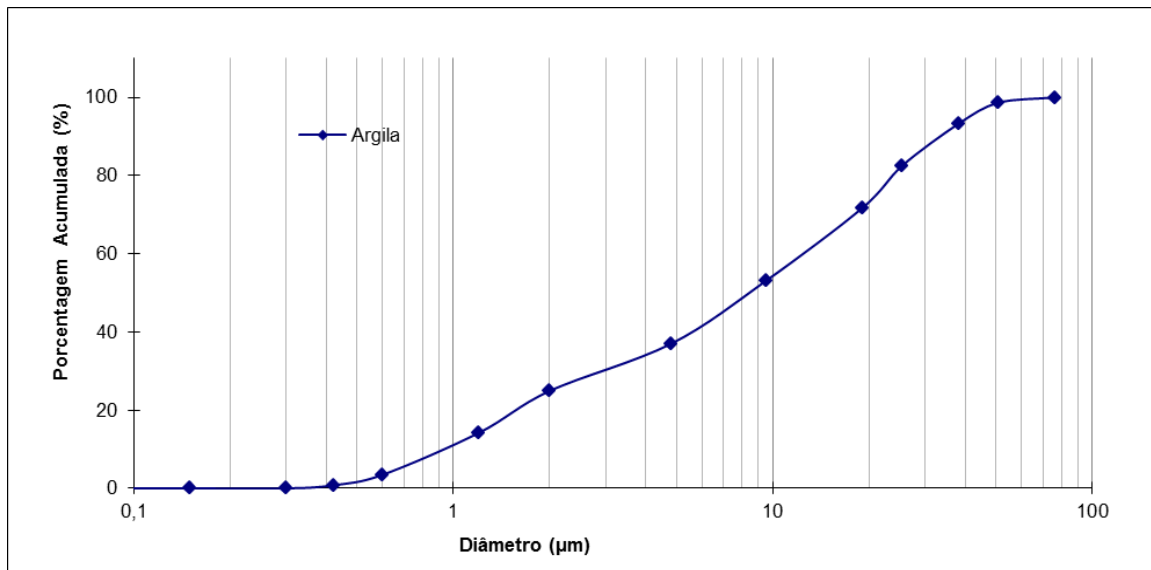
material final após a queima (Silva, *et al.* 2017; Segadães, Carvalho e Acchar, 2005; Silva, *et al.* 2010; Araújo, *et al.* 2015).

Tabela 4: Composição granulométrica em porcentagem da amostra de argila.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Diâmetro Médio
	$v\% \leq 2 \mu\text{m}$	$2 \mu\text{m} < v\% \leq 20 \mu\text{m}$	$v\% > 20 \mu\text{m}$	μm
Argila	23,50	52,40	24,10	15,80

Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 10: Distribuição granulométrica da amostra de argila.



Fonte: Autoria Própria (2018).

O Índice de Plasticidade (IP) da amostra de argila também foi calculado e está apresentado na Tabela 5. O valor obtido para o índice de plasticidade da argila foi de 20,11%, este valor a classifica como material altamente plástico, porque o valor está acima de 15% (índice de plasticidade até 7% - fracamente plástico, entre 7% e 15% - medianamente plástico e maior que 15% - altamente plástico), é adequado para ser utilizado para produção de materiais cerâmico, e este resultado também foi obtido em outros estudos (Moreno, *et al.* 2016; Oliveira, *et al.* 2017; Campos, *et al.* 1999). A diferença entre as porcentagens obtidas no índice de plasticidade e a classificação estão relacionadas à distribuição granulométrica mostrada anteriormente, onde, existe uma boa quantidade da fração argila (caso da amostra apresentada) e proporciona maior resistência mecânica dos produtos (Maestrelli, *et al.* 2013).

Deve-se considerar também que uma alta plasticidade pode dificultar o processamento/conformação da argila; portanto, pode ser necessário incorporar alguma argila com baixa plasticidade ou materiais deplastificantes, a fim de reduzir a plasticidade, como é

feito em alguns trabalhos na literatura (Segadães, Carvalho e Acchar, 2005; Silva, *et al.* 2010; Contreras, *et al.* 2018; Torres, *et al.* 2009; Rakhila, Mestari e Elmchaouri, 2018).

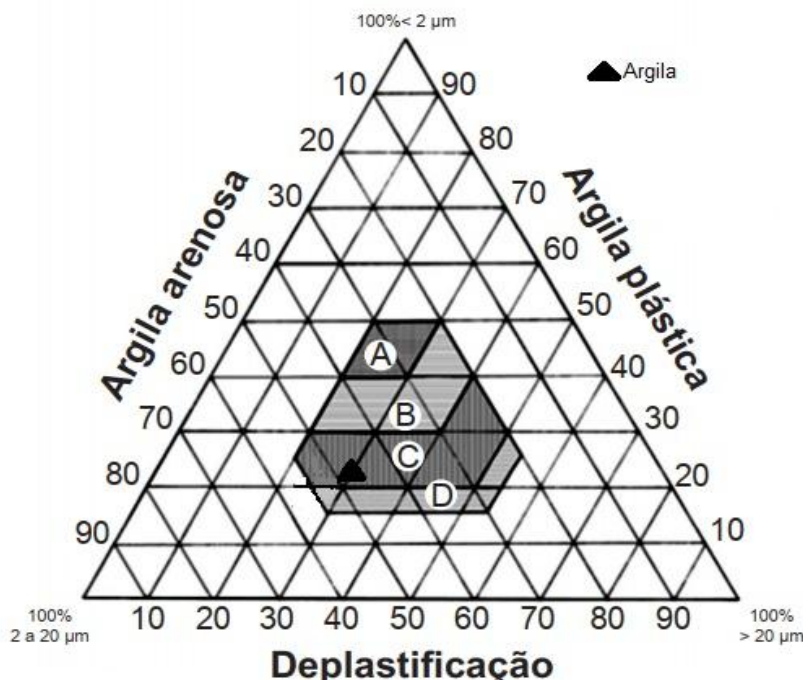
Tabela 5: Índice de Plasticidade da amostra de Argila.

Amostra	Limite de Liquidez (LL) %	Limite de Plasticidade (LP) %	Índice de Plasticidade (IP) %
Argila	42,56	22,45	20,11

Fonte: Autoria Própria (2018).

A Figura 11 mostra o diagrama de Winkler para a amostra de argila, no qual estão identificadas regiões adequadas de processamento de produtos de cerâmica vermelha de acordo com a granulometria do material utilizado (Vieira e Emiliano, 2013). Os vértices do diagrama representam diferentes tamanhos. Através do diagrama é possível identificar 4 tipos principais dos produtos de cerâmica vermelha, que são: A - adequado para produtos de alta qualidade; B - telhas; C - tijolos furados; e D - tijolos maciços (Carreiro, *et al.* 2016). De acordo com o apresentado na figura a amostra de argila da jazida é adequada para confecção de tijolos furados.

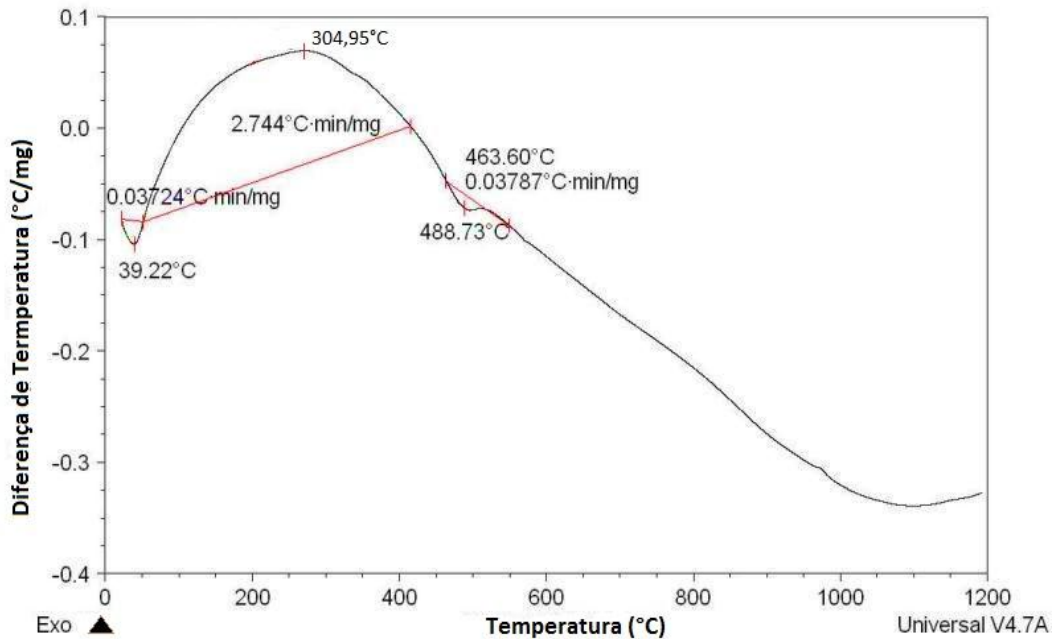
Figura 11: Diagrama de Winkler para a amostra de argila.



Fonte: Carreiro, *et al.* (2016) adaptado.

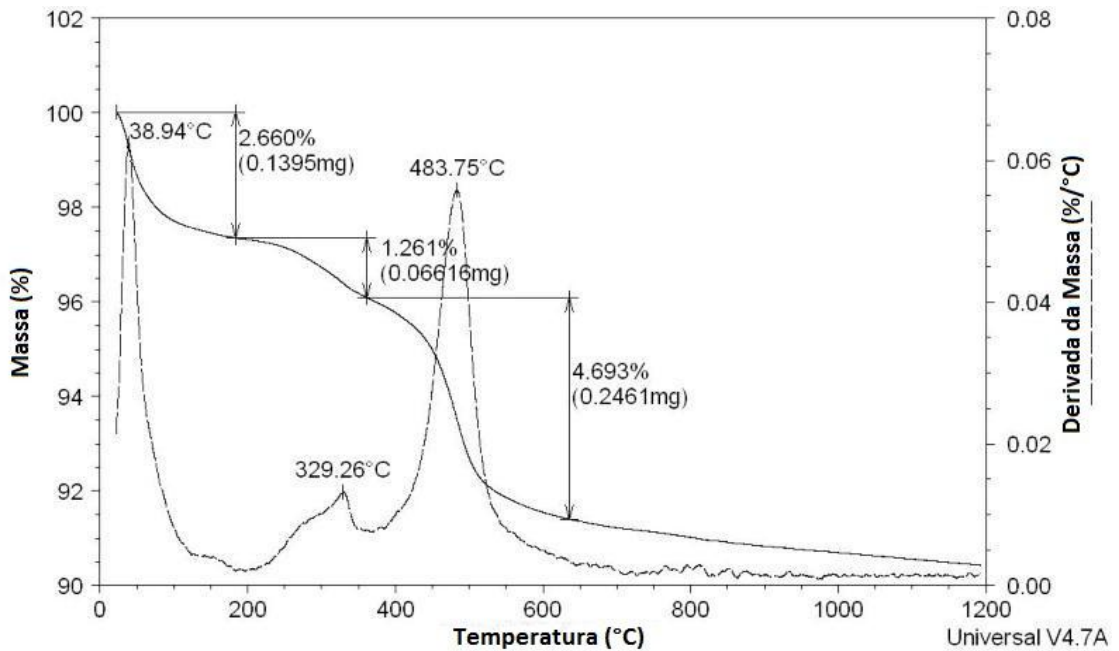
A Figura 12 e 13 apresentam os resultados para a Análise Termodiferencial (DTA) e Análise Termogravimétrica (TG) realizada na argila.

Figura 12: Análise Termodiferencial (DTA) da argila.



Fonte: CTGAS (2018).

Figura 13: Análise Termogravimétrica (TG) da argila.



Fonte: CTGAS (2018).

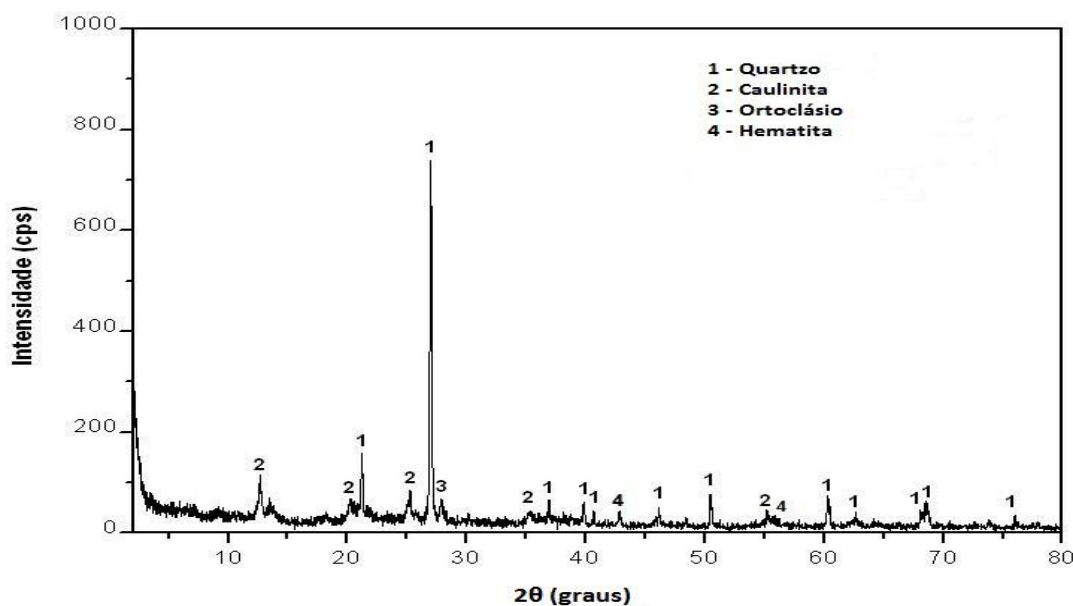
A análise de DTA da argila apresentou três eventos principais, onde o primeiro evento foi endotérmico, com máximo de 39,22 °C, o segundo, exotérmico a uma temperatura de 304,95 °C e o terceiro evento, endotérmico, com máximo de 488,73 °C. Na Análise Termogravimétrica da argila, é possível observar a ocorrência de três eventos, onde o primeiro evento caracteriza a liberação de água livre em torno de 39 °C (2,66%), o segundo

evento mostra a combustão de matéria orgânica com a perda de massa de 1,26% com máximo em torno de 329,26 °C, já no terceiro evento, referente à liberação de hidroxila da estrutura dos argilominerais, com perda da massa de 4,693%, a temperatura de 483,75 °C, apresentando perda de massa total da ordem de 8,61%, corroborando com os valores encontrados na perda ao fogo apresentado anteriormente. Esse resultado era esperado para argilas com alta quantidade de caulinita, como visto na literatura (Ramos, *et al.* 2019; Medeiros, *et al.* 2016; Santos, *et al.* 2016).

O difratograma de raios X da amostra de argila é apresentado na Figura 14. Verificam-se picos de difração das fases cristalinas referentes à Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Quartzo (SiO_2), Ortoclásio (KAlSi_3O_8) e Hematita (Fe_2O_3) corroborando com os resultados da composição química pela presença dos óxidos: silício, alumínio e potássio e ferro.

O quartzo atua como mineral predominante, e na queima atua como inerte fase inerte e não-plástica, podendo ainda apresentar uma parte dissolvida na fase líquida formada. A caulinita é responsável pelo desenvolvimento da plasticidade em mistura com água e ainda apresenta comportamento refratário de queima. A caulinita é o principal argilomineral componente das argilas, sendo responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos (Pinheiro e Holanda, 2010). Já a hematita é responsável pela colocação avermelha do produto cerâmico queimado, detectada na análise mineralógica (Dutra, *et al.* 2015). O ortoclásio ou feldspato potássico é a principal matéria prima empregada como fundente e com isso é de grande proveito em massas cerâmicas (Roveri, Zanardo e Moreno, 2007).

Figura 14: Difratoograma de raios X da amostra de argila.



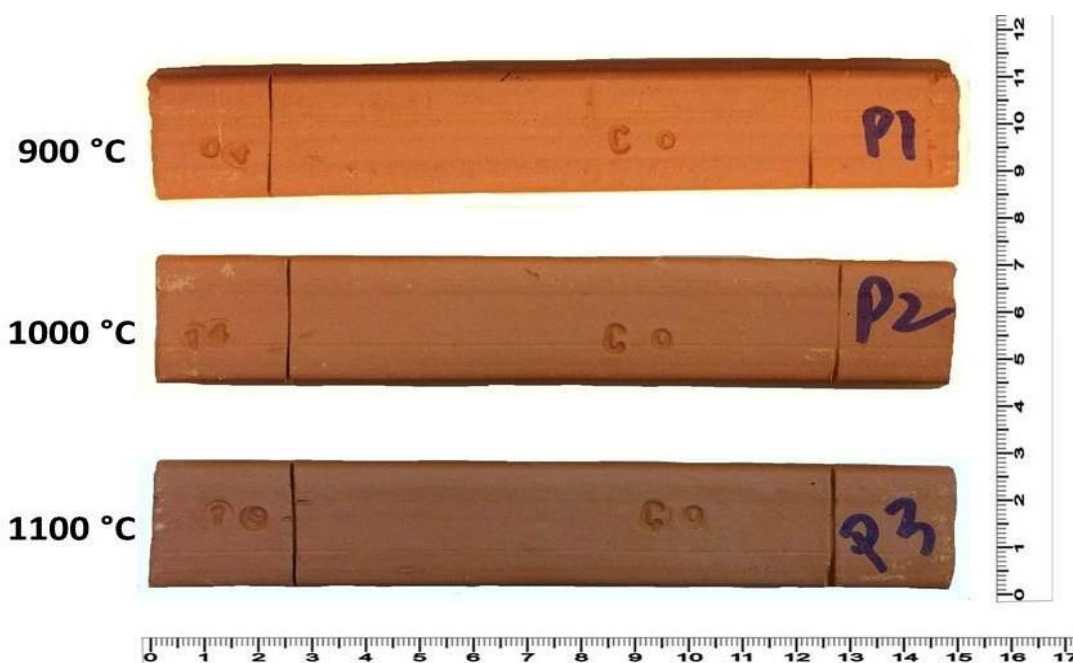
Fonte: CTGAS (2018).

A Figura 15 apresenta a análise macroestrutural, necessária para determinar possíveis trincas e fissuras visíveis e também analisar a coloração dos corpos de prova após a queima de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Verifica-se a coloração avermelhada dos corpos de prova, o que confirma a presença de ferro na composição química (óxido de ferro) e fases cristalinas (hematita).

Pode-se notar que o aumento de temperatura a tonalidade das amostras se torna mais intensa partindo do vermelho (900 °C) chegando aos tons de vermelho escuro (1100 °C). Acima de 1000 °C inicia-se a liberação de ferro bivalente, que por oxidação passa a ferro trivalente responsável pela cor vermelha. As temperaturas da ordem de 1100 °C provoca a super queima e o ferro trivalente começa a reduzir gerando a cor marrom avermelhado escuro a preto (Teixeira, *et al.* 2012; Santos, *et al.* 2017).

É possível verificar também que os corpos de prova não apresentam fissuras aparentes, o que ratifica o que foi apresentado sobre a granulometria (empacotamento e plastificação) e presença de óxidos, onde fica clara a homogeneidade das peças (Macedo, *et al.* 2008; Dondi, 2006).

Figura 15: Amostra dos corpos de prova após a queima.



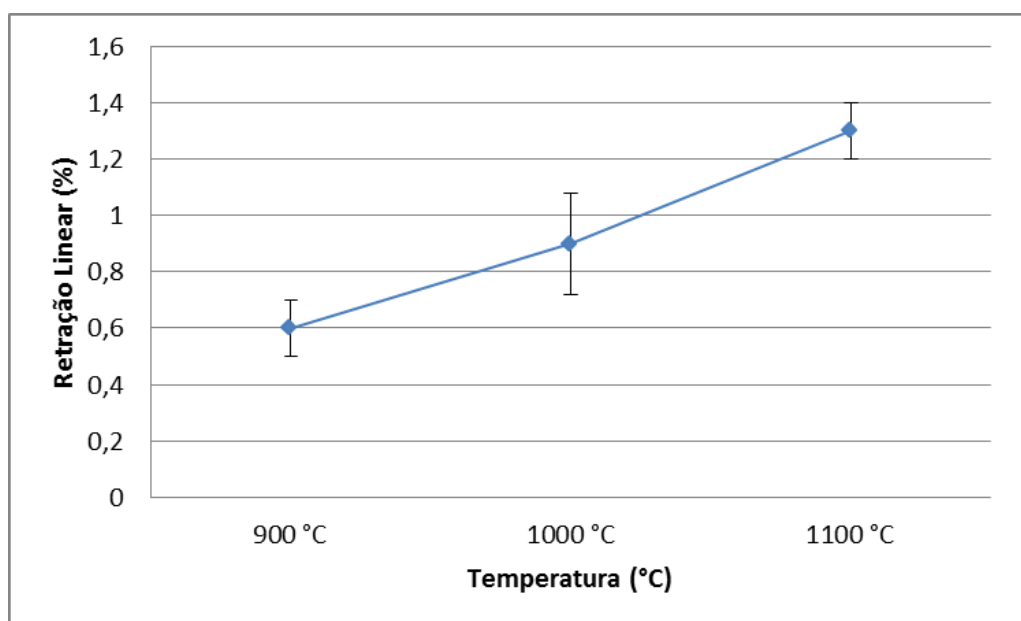
Fonte: Autoria Própria (2018).

Os resultados dos ensaios tecnológicos da amostra de argila nas temperaturas de 900 °C, 1000°C e 1100 °C são apresentados nas Figuras 16 a 19. A Figura 16 apresenta os

resultados para a retração linear, pode-se notar que a retração linear aumenta com o aumento da temperatura, comportamento é atribuído ao fechamento da porosidade, que possibilita a densificação das peças acompanhada de retração, confirmando o que foi apresentado na composição química; a presença de óxidos fundentes que possibilitam este fenômeno.

Os valores de referência para a retração linear são: ótima menor que 1,5% e aceitável entre 1,5% e 3% (Silva, *et al.* 2018; Pilz, *et al.* 2015). Os valores de retração linear foram 0,6%, 0,9% e 1,3% para as temperaturas de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C, respectivamente, tais valores encontram-se dentro da faixa ótima (menor que 1,5%).

Figura 16: Retração Linear de queima para os corpos de prova.



Fonte: Autoria Própria (2018).

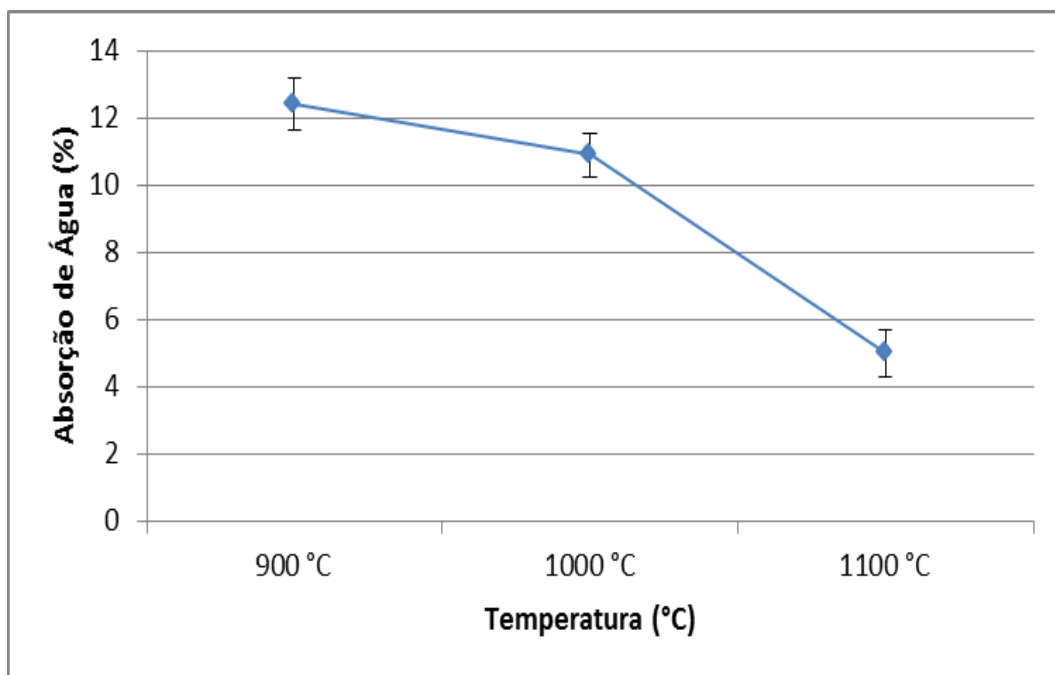
A Figura 17 aponta os valores obtidos para absorção de água após a queima da amostra de argila nas temperaturas. A literatura e a norma ABNT 15270 (ABNT, 2017) indicam que o índice de absorção de água deve estar entre 8% e 25% para tijolos (Silva, *et al.* 2018; Melo e Silva, 2013; Santos, 1992;).

Os valores de absorção de água foram 12,5%, 11,0% e 5,0% para as temperaturas de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C, respectivamente, tais valores encontram-se dentro da faixa padrão para tijolos (entre 8% e 25%). Pode-se notar que o teor de absorção de água diminui com o aumento da temperatura. O aumento da temperatura proporciona formação de fase líquida que penetra dos poros fechando-os, promovendo menor absorção de água. É possível identificar também uma diminuição de 60% na absorção de água da temperatura 900 °C para 1100 °C onde nesta faixa de temperatura fase líquida formada é menos viscosa, o que

contribuiu com o seu espalhamento e preenchimento dos espaços vazios no interior da peça cerâmica causando esta redução.

Assim, fica claro que a amostra de argila da jazida está em conformidade com a norma para todas as temperaturas de queima, assim corrobora com os resultados já apresentados de retração e presença de óxidos fundentes (Santos, *et al.* 2017).

Figura 17: Absorção de Água para os corpos de prova de argila.



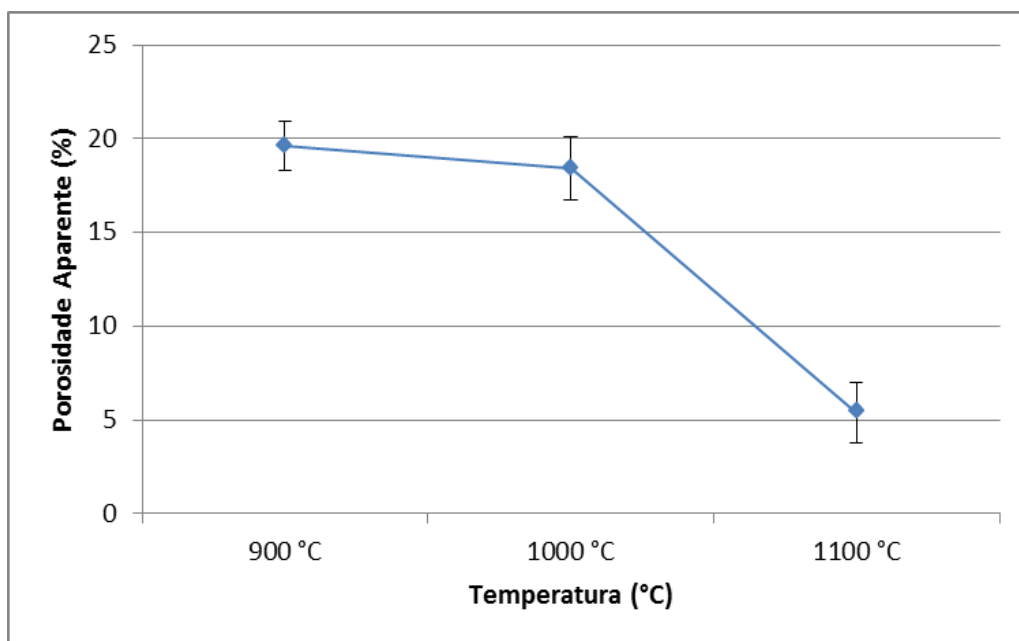
Fonte: Autoria Própria (2018).

A Figura 18 apresenta a porosidade aparente das amostras queimadas de argila para as temperaturas propostas. Os resultados para porosidade foram 19,2%, 18,0% e 5,3% para as temperaturas de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C, respectivamente. Pode-se notar que a porosidade dos corpos de prova diminui com o aumento da temperatura. É possível notar que para a temperatura de 1100 °C a redução foi mais significativa, cerca de 72% em relação a queima a temperatura de 900 °C.

Esse resultado está correlacionado ao de absorção de água, onde foi verificada a eliminação dos espaços vazios das peças com o incremento da temperatura (Silva, *et al.* 2017; Santos, *et al.* 2016; Candido, *et al.* 2013).

Durante a queima, o material fundente da composição padrão promoveu a formação de fase líquida de baixa viscosidade em temperatura mais baixa. Esse líquido tende a preencher os espaços vazios, reduzindo a porosidade do corpo cerâmico.

Figura 18: Porosidade Aparente para os corpos de prova de argila.



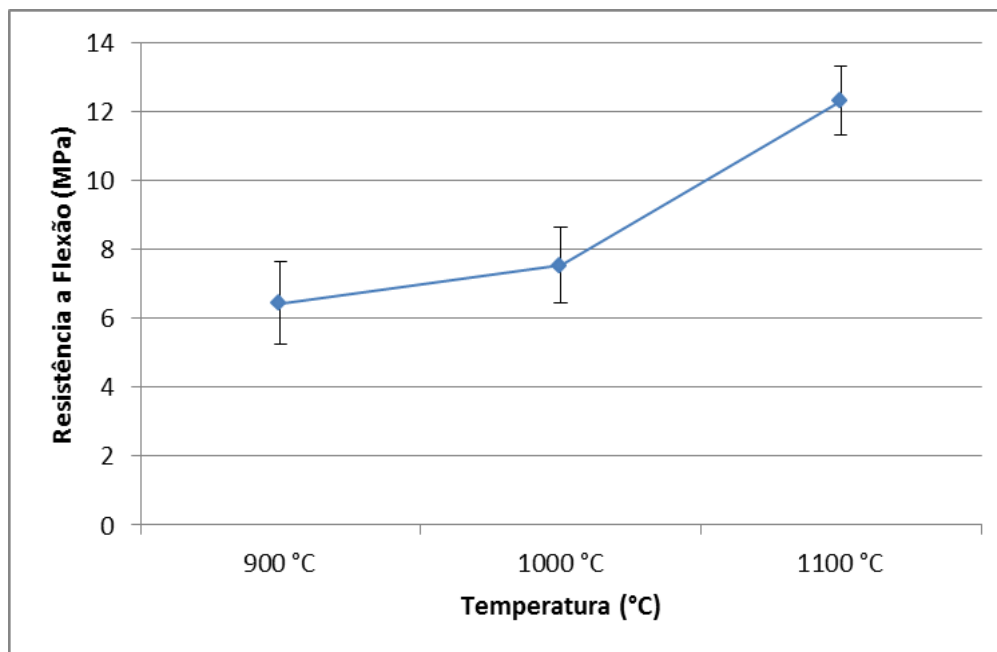
Fonte: Autoria Própria (2018).

A Figura 19 apresenta o resultado para a tensão de ruptura a flexão (TRF) ou resistência a flexão de queima dos corpos de prova. Os valores obtidos foram 6,5 MPa, 7,5 MPa e 12,5 MPa para as temperaturas de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C, respectivamente. Pode notar que a tensão de ruptura a flexão aumenta com o aumento da temperatura, ou seja, aumenta a resistência dos corpos de prova. É possível identificar um incremento de 92% na resistência nos corpos de prova de 900 °C para 1100 °C confirmado uma maior densificação da peça e fechamento de poros de acordo com os resultados de absorção e porosidade apresentados.

Segundo a Norma NBR 15270 (2017), a tensão de ruptura a flexão de queima mínima é 2,0 MPa para blocos de vedação (tijolos), por conseguinte todas os corpos de prova queimados para as temperaturas estão em conformidade com este requisito.

A partir das análises tecnológicas já apresentadas e dos resultados encontrados confirma-se a viabilidade e possibilidade de utilização da argila da jazida como matéria prima na produção da indústria de cerâmica vermelha tradicional, apresentando resultados aceitáveis segundo as legislações vigentes (Silva, *et al.* 2017; Ramos, *et al.* 2019; Santos, *et al.* 2016).

Figura 19: Tensão de ruptura a flexão para os corpos de prova de argila.



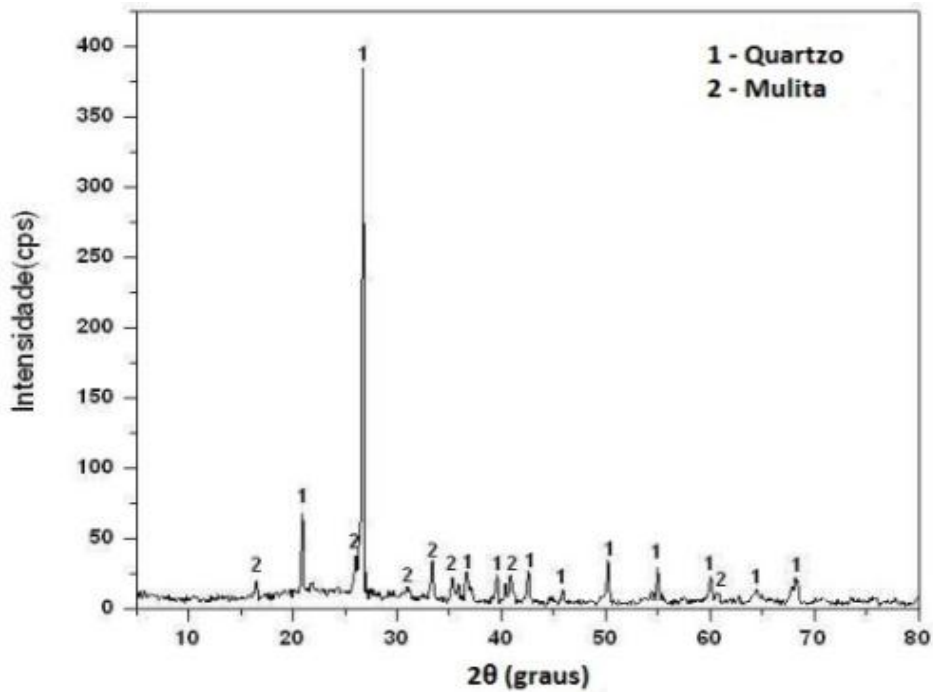
Fonte: Autoria Própria (2018).

A Figura 20 apresenta o difratograma da amostra de argila queimada na temperatura de 1000 °C. De acordo com o difratograma, pode-se verificar que os picos apresentam as seguintes fases cristalinas: quartzo e mulita.

A mulita é proveniente da decomposição da metacaulinita, fase amorfa formada a partir da eliminação de água de constituição da caulinita. A importância da mulita em cerâmicas tradicionais e avançadas pode ser explicada pelas propriedades do material: baixa densidade, alta estabilidade térmica, estabilidade em ambientes químicos severos, baixa condutividade térmica, boa resistência mecânica e à fluência.

A mais importante característica da mulita e cerâmicas de mulita é sua baixa expansão térmica, que explica a sua estabilidade dimensional em altas temperaturas e a excelente resistência ao choque térmico (Ferreira, *et al.* 2015; Alexandre, *et al.* 2016; Taguchi, *et al.* 2014).

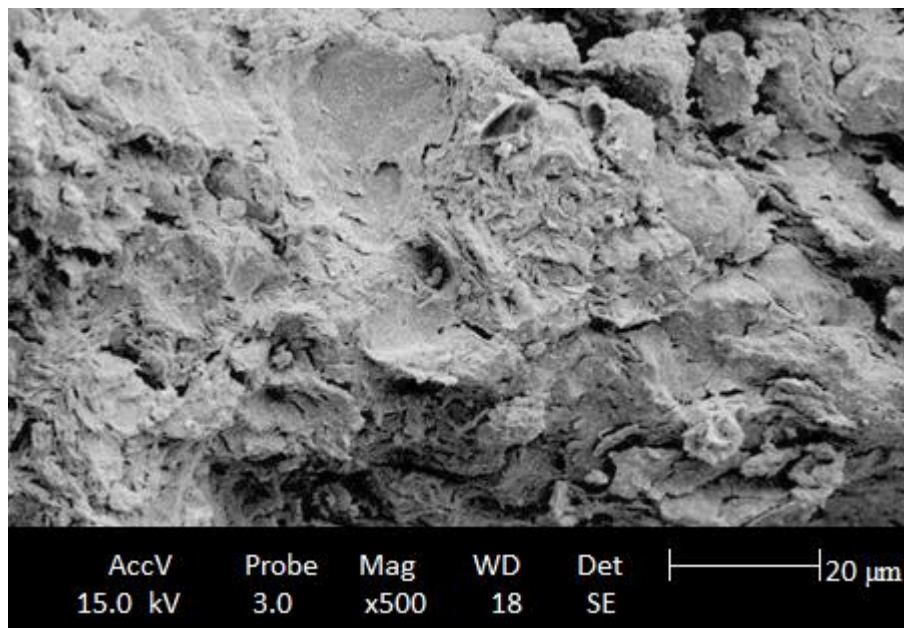
Figura 20: Difratoograma para os corpos de prova de argila queimada a 1000 °C.



Fonte: CTGAS (2018).

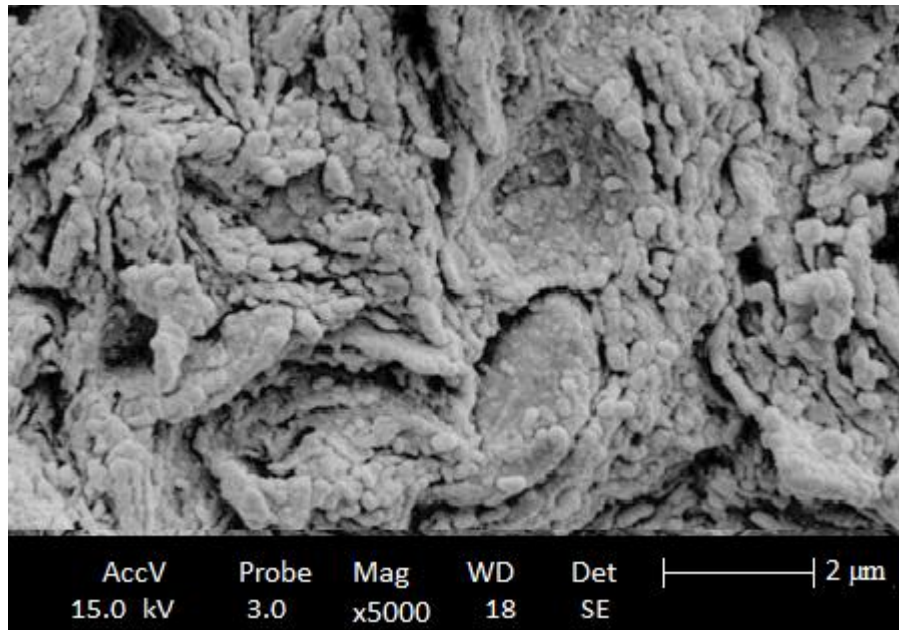
As Figuras 21 e 22 apresentam as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da amostra de argila da jazida queimada a 1000 °C, com aumento de 500x e 5000x, respectivamente.

Figura 21: Micrografia por MEV para corpo de prova queimado a 1000 °C, 500x.



Fonte: CTGAS (2018).

Figura 22: Micrografia por MEV para corpo de prova queimado a 1000 °C, 5000x.



Fonte: CTGAS (2018).

As Figuras 21 e 22 mostram que a microestrutura para a os corpos de prova. Observa-se que a superfície de fratura apresenta-se com morfologia grosseira e rugosa, com poucas áreas lisas. Também são observados defeitos como vazios, trincas e pequenos poros.

Este resultado corrobora com os outros obtidos anteriormente: presença de mulita, óxidos fundentes, alta plasticidade, baixa porosidade, alta resistência, entre outros. Vários estudos na literatura também apresentaram esses resultados (Babisk, *et al.* 2012; Vieira, Peçanha e Monteiro, 2004; Moreira, Freire e Holanda, 2003; Cipriano, Rezende e Ferraza, 2019).

4.4 CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas ao longo do trabalho pode-se concluir que a argila apresenta resultados em conformidade com as normas apresentadas. As análises químicas apontaram a presença principalmente de quartzo, caulinita e óxidos fundentes. As propriedades tecnológicas mostraram uma melhora nos índices com o aumento da temperatura de queima, aumento da resistência a flexão (incremento de 92% na resistência nos corpos de prova de 900 °C para 1100 °C, valores), diminuição da porosidade (redução de cerca de 72% da temperatura de 900 °C para 1100 °C) e aumento da retração linear (de 0,6% a 900 °C para 1,3% a 1100 °C).

A argila apresentou alta plasticidade e distribuição granulométrica bastante heterogênea o que explica o alto nível de densificação apresentado nas imagens de micrografia. Assim a jazida de argila tem potencialidade para ser utilizada como matéria prima cerâmica para a indústria de cerâmica vermelha.

4.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Piauí (IFPI), à Universidade Federal do Piauí (UFPI), ao CTGAS – ER no Rio Grande do Norte, à Cerâmica Vitória em Oeiras-PI.

4.6 BIBLIOGRAFIA

Alexandre, J., Azevedo, A. R. G., Xavier, G. C., Margem, F. M., Monteiro, S. N., e Braga, F. O. (2016). Influence of Weather Exposure on Dimensional Changes in Clay Ceramics Incorporated with Granite Residue. *Materials Science Forum*, 869, 131-135.

Araújo, N. C., Ramos, A. P., Queiroz, A. J. P., Santos, R. C., e Buriti, J. S. (2015). Propriedades mecânicas de tijolos fabricados com solo e água residuária de mandioca. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10, 2, 213-217.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984a). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*, Rio de Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984b). *NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez*, Rio de Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984c). *NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*, Rio De Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). *NBR 15270-1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos*, Rio de Janeiro, ABNT.

Babisk, M. P., Vidal, F. W. H., Ribeiro, W. S., Aguiar, M. C., Gadioli, M. C. B., e Vieira, C. M. F. (2012). Incorporação de resíduo de quartzitos em cerâmica vermelha. *HOLOS*, 28, 6, 169-177.

Barnes, G. (2016). *Soil Mechanics: Principles and Practice* (4 ed.), Palgrave Macmillan, United Kingdom.

Brito, I. P., Almeida, E. P., Neves, G. A., Menezes, R. R., Silva, V. J., e Santana, L. N. L. (2015). Assessment of new clay deposits of Paraíba State for application as ceramic raw materials. *Cerâmica*, 61, 391-398.

Campos, L. F. A., Macedo, R. S., Kiyohara, P. K., e Ferreira, H. C. (1999). Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural. *Cerâmica*, 45, 295, 140-145.

Candido, V. S., Pinheiro, R. M., Monteiro, S. N., e Vieira, C. M. F. (2013). Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínicas, chamote e argilito. *Cerâmica*, 59, 350, 310-316.

Carreiro, M. E. A., Santos, R. C., Silva, V. J., Lira, H. L., Neves, G. A., Menezes, R. R., e Santana, L. N. L. (2016). Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. *Cerâmica*, 62, 362, 170-178.

- Cipriano, P. B., Rezende, R. T. O., e Ferraza, A. V. (2019). Produção de cerâmica vermelha utilizando argila da mineração de gipsita e resíduo de gesso. *Acta Brasiliensis*, 3, 1, 25-29.
- Contreras, M., Teixeira, S.R., Santos, G.T.A., Gazquez, M.J., Romero, M., e Bolivar, J.P. (2018). Influence of the addition of phosphogypsum on some properties of ceramic tiles. *Construction and Building Materials*, 175, 588-600.
- Dondi, M. (2006). Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. *Cerâmica Industrial*, 11, 3, 36-40.
- Dutra, R., Aquino, R., Campos, L., Macedo, D., Ferreira, H., e Medeiros, F. (2015). Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. *Revista Eletrônica De Materiais e Processos*, 10, 1, 29-35.
- Ferreira, S. B., Domingues, P. C., Soares, S. M., e Camarini, G. (2015). Recycled Gypsum and Red Ceramic Waste Based Mortars. *International Journal of Engineering and Technology*, 7, 3, 209-214.
- Goes, J. R., Azevedo, T. F., Dutra, T. X. C., Santos, V. B., Severo, J. B., e Barreto, L. S. (2014). Evaluation of the potenciality of clays from the Calumbi and Riachuelo geological formation in Sergipe, Brazil, for application in ceramic tiles. *Cerâmica*, 60, 211-217.
- Inocente, J. M., Nandi, V. S., Rosso F., Oliveira, A., e Zaccaron, A. (2018). Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, 23, 3, 34-39.
- Lira, H. L., e Neves, G. A. (2013). Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 8.3, 110-117.
- Macedo, R. S.; Menezes, R. R.; Neves, G. A., e Ferreira, H. C. (2008). Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 54, 332, 411-417.
- Maestrelli, S. C., Roveri, C. D., Nunes, A. G. P., Faustino, L. M., Aiello, G. F., Pinto, L. P. A., Manochio, C., Cal, T. M. L., Ribeiro, F. F., e Mariano, N. A. (2013). Estudo de caracterização de argilas não plásticas da região de Poços de Caldas, MG. *Cerâmica*, 59, 350, 242-248.
- Medeiros, S. G., Dutra, R. P. S., Grilo, J. P. F., Martinelli, A. E., Paskocimas, C. A., e Macedo, D. A. (2016). Preparação de compósitos aluminamulita de baixo custo via sinterização reativa entre uma argila caulínica da Paraíba e hidróxido de alumínio. *Cerâmica*, 62, 363, 266-271..
- Melo, R. A. A., e Silva, D. G. (2013). Estudo da viabilidade do uso do fosfogesso como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos. *E-xacta*, 6, 2, 13-31.
- Monteiro, S. N., e Vieira, C. M. F. (2005). Effect of oily waste addition to clay ceramic. *Ceramics International*, 31, 2, 353-358.
- Moreira, J. M. S., Freire, M. N., e Holanda, J. N. F. (2003). Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 49, 312, 262-267.
- Moreno, M. M. T., Roveri, C., Godoy, L. H., e Zanardo, A. (2016). Characterization of clays and ceramic mass compositions prepared on the basis of consistency curve analysis of clay-water mixtures. *Cerâmica*, 62, 361, 21-31.
- Oliveira, H. A., Santos, C. P., Oliveira, R. M. P. B., Jesus, E., e Macedo, Z. S. (2017). Avaliação do potencial de argilas de Sergipe e Alagoas na produção de agregados para uso em concreto. *Cerâmica*, 63, 367, 318-328.
- Pereira, I. D. S., Silva, A., Cartaxo, J. M., Menezes, R. R., Santana, L. N. L., Neves, G. A., e Ferreira, H. C. (2014). Estudos de caracterização dos novos depósitos de argilas esmectíticas do município de Sossego, PB. *Cerâmica*, 60, 354, 223-230.

- Pilz, S. E., Pavan, R. C., Ritter, M. G., Cavalheiro, E. K., e Narciso, M. V. (2015). Verificação da Qualidade dos Blocos Cerâmicos Conforme NBR 15270 Comercializados em Santa Catarina. *Revista de Engenharia Civil Imed*, 2, 2, 19-26.
- Pinheiro, B. C. A., e Holanda, J. N. F. (2010). Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 56, 339, 237-243.
- Rakhila, Y. A., Mestari, S. A., e Elmchaouri, A. (2018). Elaboration and characterization of new ceramic material from clay and phosphogypsum. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11, 4, 1552-1563.
- Ramos, S. O., Dantas, G. C. B., Lira, H. L., Pimentel, P. M., e Marciano, J. E. A. (2019). Caracterização de argilas de novos jazimentos situados em Parelhas/RN, Brasil, visando aplicação na indústria cerâmica. *Matéria*, 24, 2.
- Roveri, C. D., Zanardo, A., e Moreno, M. M. T. (2007). Variação da cor e propriedades cerâmicas com o aumento da temperatura de queima de uma argila proveniente da formação Corumbataí, região de Piracicaba, SP. *Cerâmica*, 53, 328, 436-441.
- Sanchez, R., Vieira, C. M. F., Soares, T. M., e Monteiro, S. N. (2004). Incorporation of granite waste in red ceramics. *Materials Science and Engineering*, 373, 1-2, 115-121.
- Santos, C. P., Oliveira, H. A., Oliveira, R. M. P. B., e Macedo, Z. S., “Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado de Sergipe – Brasil”, *Cerâmica*, v.62, n.362, pp.147-156, 2016.
- Santos, C. P., Oliveira, H. A., Oliveira, R. M. P. B., e Macedo, Z. S. (2016). Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado de Sergipe – Brasil. *Cerâmica*, 62, 147-156.
- Santos, K. C. V., Gonçalves, W. P., Silva, V. J., Santana, L. N. L., e Lira, H. L. (2016). Formação de Mulita a Partir de Composições de Caulim e Alumina com Diferentes Tamanhos de Partículas. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 11, 3, 136-142.
- Santos, P. S. (1992). *Ciência e tecnologia de argilas* (2ª Ed.), Edgar blucher, São Paulo.
- Santos, R. C., Silva, T. R. Da, Neves, G. A., Macedo, R. S., Menezes, R. R., e Santana, L. N. L. (2017). Interação entre características de argilas e parâmetros de processamento sobre propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos. *Cerâmica*, 63, 367, 361-368.
- Segadães, M., Carvalho, M. A., e Acchar, W. (2005). Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. *Applied Clay Science*, 30, 1, 42-52.
- Silva, A. L., Luna, C.B.B., Chaves, A.C., e Neves, G.A. (2017). Caracterização tecnológica de novos depósitos de argilas da região sul do Amapá visando aplicações na indústria Cerâmica. *Matéria*, 22, 1.
- Silva, A. L., Luna, C. B. B., Chaves, A. C., e Neves, G. A. (2018). Avaliação de novos depósitos de argilas provenientes da região sul do Amapá visando aplicação na indústria cerâmica. *Cerâmica*, 64, 369, 69-78.
- Silva, J. B., Cinthya, P., Gondim, A., Nascimento, R. M., Gomes, U. U., e Acchar, W. (2010). Incorporation of Coating Gypsum Residues in the Formulation of Red Ceramic Mass. *Materials Science Forum*, 636-637, 1397-1403.
- Silva, R. H. L., Neves, G. A., Ferreira, H. C., Santana, L. N. L., Nóbrega, A. C. V., e Menezes, R. R. (2019). Uso de dióxido de titânio em massas cerâmicas para grés sanitários. *Cerâmica*, 65, 1-12.
- Soares, R. A. L., Nascimento, R. M., Paskocimas, C. A., e Castro, R. J. S. (2014). Avaliação da adição de dolomita em massa de cerâmica de revestimento de queima vermelha. *Cerâmica*, 60, 356, 516-523.
- Taguchi, S. P., Santos, J. C., Gomes, T. M., e Cunha, N. A. (2014). Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. *Cerâmica*, 60, 354, 291-296.

Teixeira, A. L., Borges, D. C. M., Silva, J. A., Ferreira, N. M. M., e Cargin, M. (2012). Influência dos tipos de matérias-primas e das condições de queima na cor do suporte cerâmico. *Rev. Técnico Científica (IFSC)*, 3, 1, 135-143.

Torres, P., Fernandes, H. R., Olhero, F., e Ferreira, J. M. F. (2009). Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 1, 23-30.

Vieira, C. M. F., e Emiliano, J. V. (2013). Incorporação de pó de rocha sedimentar em massas para telhas cerâmicas - parte 1: efeitos nas propriedades físicas e mecânicas. *Cerâmica*, 59, 351, 389-394.

Vieira, C. M. F., Peçanha, L. A., e Monteiro, S. N. (2004). Reformulation of roofing tiles body with addition of granite waste from sawing operations. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 8, 2349-2356.

5 CAPÍTULO 4 – ARTIGO 4

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE GESSO EM FORMULAÇÃO PARA
ADOQUIM CERÂMICO**

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE GESSO EM FORMULAÇÃO PARA ADOQUIM CERÂMICO

(INCORPORATION OF GYPSUM WASTE IN FORMULATION FOR CERAMIC PAVER)

Kelson Silva de Almeida¹, Roberto Arruda Lima Soares², José Milton Elias de Matos³

¹ Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano, 64800-000, Floriano, PI
e-mail: eng.kelson@ifpi.edu.br

² Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central, 64000-040, Teresina, PI
e-mail: robertoarruda@ifpi.edu.br

³ Universidade Federal do Piauí, 64049-550, Teresina, PI
e-mail: jmematos@ufpi.edu.br

RESUMO

Atualmente, o alto consumo de argila tem causado diversos problemas ambientais, além da redução da própria jazida. Neste sentido tem se buscado incorporar resíduos à massa cerâmica visando diminuir o uso desta matéria prima e aproveitamento de produtos descartados. O presente estudo teve por objetivo analisar a incorporação de resíduo de gesso em formulações para adoquim cerâmico. Inicialmente as matérias-primas foram submetidas a ensaios físicos, químicos e mineralógicos para caracterização. Em seguida, foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial de 30 MPa com adição de percentuais de 5% e 10% de resíduo. Posteriormente, foi realizada a secagem em estufa e a queima em forno a 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Determinou-se, então, a resistência à compressão, porosidade aparente, retração linear de queima, absorção de água, condutividade térmica, índice e resistência à abrasão, além de análise mineralógica, macroestrutural e microestrutural. Os resultados das análises indicaram que o resíduo de gesso, com porcentagens de 5%, possuem características adequadas à adição em cerâmica vermelha para a produção de adoquim e aplicação em áreas externas como praças e locais com tráfego leve, além da possibilidade de utilização como revestimento cerâmico.

Palavras-chave: Argila, Adoquim Cerâmico, Resíduo, Incorporação, Gesso.

ABSTRACT

Currently, the high consumption of clay has caused several environmental problems, in addition to the reduction of the deposit itself. In this sense, it has been sought to incorporate waste into the ceramic mass in order to reduce the use of this raw material and use of discarded products. The present study aimed to analyze the incorporation of gypsum waste in formulation of ceramic paver. Initially the raw materials were submitted to physical, chemical and mineralogical tests for characterization. Then, samples were prepared by uniaxial pressing of 30 MPa with addition of percentages of 5% and 10% of residues. Subsequently, oven drying and oven firing were carried out at 900 °C, 1000 °C and 1100 °C. It was determined the compressive strength, apparent porosity, linear retraction, water absorption, thermal conductivity, index and abrasion resistance, as well as mineralogical, macrostructural and microstructural analysis. The results of the analyzes indicated that the residues of gypsum, with percentages of 5%, have adequate characteristics to the addition in red ceramics for the production of ceramic paver and application in external areas such as squares and places with light traffic, besides the possibility of use as ceramic coating.

Keywords: Clay, Ceramic Paver, Waste, Incorporation, Gypsum.

5.1 INTRODUÇÃO

O gesso é um dos aglomerantes mais antigos da humanidade, principalmente pelas suas propriedades físicas e mecânicas e baixo custo energético de produção (Ferreira, Sousa e Carneiro, 2019; Adrien *et al.*, 2016). A única matéria-prima para sua produção é a gipsita. Este mineral é originário de bacias sedimentares e possui característica compacta de baixa dureza, pouco solúvel em água. O estado de Pernambuco representa 97% do total de produção de gipsita no Brasil e no ano de 2017 extraiu-se cerca de 3,3 milhões de toneladas do mineral em todo o país (Brasil, 2018a; Brasil, 2018b). Deste total, 37% do mineral é encaminhado à indústria cimenteira, 52% é utilizado na construção civil, 9% empregado na indústria agrícola e 2% para outros fins. O gesso é classificado em dois tipos: alfa (α), que é mais caro e possui aplicação mais nobre (medicina, odontologia) e o beta (β), que tem custo mais barato, usado em construção civil, que será o foco do trabalho (SINDUSGESSO, 2018).

O beneficiamento de gesso na construção civil tem como principais fontes de resíduos: as chapas de gesso acartonado (8%), atividades de revestimento (88%) e os componentes pré-moldados (4%); gerando, apenas na construção civil, um montante total de resíduos de gesso de 1,51 milhões de toneladas (SINDUSGESSO, 2018; Teske, Gonçalves e Nagalli, 2015; Santos *et al.*, 2014).

A disposição inadequada de resíduos de gesso tem acarretado sérios problemas ambientais, já que muitas vezes não há tratamento adequado, ocorrendo contaminação do solo e subsolo e assoreamento de córregos e rios, além da possibilidade de formação de gás sulfídrico, que é tóxico e inflamável, e problemas de saúde relacionados à poeira do gesso. Nesta perspectiva, é necessário buscar a gestão e gerenciamento destes resíduos, a fim de diminuir os impactos à natureza (Santos *et al.*, 2014; Vieira *et al.*, 2006).

Neste sentido, o setor produtivo tem buscado opções para minimizar os resíduos gerados, assim como buscar meios de reutilizá-los de maneira adequada, principalmente devido às leis ambientais vigentes. A incorporação em produtos de cerâmica vermelha é uma alternativa tecnológica para a reciclagem deste tipo de resíduo. A indústria de cerâmica vermelha tem apresentado interesse em desenvolver materiais novos com a incorporação de resíduos, podendo apresentar melhores propriedades tecnológicas e assim buscar o desenvolvimento de novas tecnologias viáveis para a reutilização desses rejeitos (Vieira *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017; Areias *et al.*, 2017).

O setor cerâmico utiliza a argila como matéria-prima principal para a obtenção de seus produtos, como blocos de vedação (tijolos comuns), tijolos aparentes, blocos estruturais,

telhas, pisos rústicos e manilhas. Neste sentido a demanda por argila tende a aumentar cada vez mais, no ano de 2017, utilizou-se aproximadamente 140 milhões de toneladas para fabricação de um total de 63,6 bilhões de peças de cerâmica (Areias *et al.*, 2017; Brasil, 2017).

O paver cerâmico ou adoquim é um tipo de pavimento intertravado cerâmico e apresenta características como facilidade de manejo, alta durabilidade (30 anos), economia, possibilidade de paginação e boa resistência (Candido *et al.*, 2013; Saez, 2004). Este produto cerâmico é pouco desenvolvido no Brasil e não possui legislação vigente no país, assim, buscando desenvolvê-lo no mercado local e ainda obter padrões de utilização, o paver cerâmico é o objeto de estudo neste trabalho e são utilizadas normas estrangeiras (Colômbia, Estados Unidos e Espanha) e normas brasileiras voltadas para as PPC (peças pré-moldadas de concreto) como referências para o estudo.

Diversos autores têm confirmado que a incorporação de resíduos de gesso para produção de diversos produtos da indústria cerâmica (tijolos, telhas, adoquim, estrutural, entre outros) é viável e apresenta resultados de acordo com as normas técnicas vigentes (Testolin *et al.*, 2012; Nawi e Badarulzaman, 2015; Cipriano, Rezende e Ferraza, 2019; Radulovic, Terzic e Andric, 2017; Contreras *et al.*, 2018; Melo e Silva, 2013; Duarte e Fernandes, 2009; Rakhila, Mestari e Elmchaouri, 2018; Pereira e Monteiro, 2018; Silva *et al.*, 2010).

Assim, a pesquisa teve por objetivo incorporar resíduos de gesso em massa utilizada para produção de adoquim cerâmico. O artigo busca apresentar uma formulação inédita na literatura, utilizando o resíduo de gesso para produção de adoquim com potencial para diminuição do uso de matérias-primas naturais como a argila, proporcionar uma destinação adequada para os resíduos, contribuindo para a reciclagem e qualidade ambiental. O trabalho também buscou desenvolver o adoquim que possa ser utilizado pelo mercado consumidor, com melhoramento ou manutenção de características e sustentabilidade do setor cerâmico.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A argila utilizada no trabalho é proveniente de jazida localizada na região central do Piauí, mais precisamente no município de Oeiras-PI (7° 5' 3.990" S e 42° 8' 51.737" O). O resíduo de gesso foi adquirido em descarte de obra em fase de revestimento de paredes, ambos localizados também na cidade de Oeiras-PI. A argila foi seca em uma estufa a temperatura de 110 °C, em seguida submetida ao processo de moagem realizado por moinho de martelo, para proporcionar redução da granulometria e o resíduo foi obtido em forma de

pó. Posteriormente, o material foi passado na peneira de malha 200 (0,075 mm) para a caracterização e também para as análises de propriedades tecnológicas.

As matérias-primas foram caracterizadas pelas seguintes técnicas: análise granulométrica - AG (agitador de peneiras elétrico - NBR 7181 (ABNT, 1984c)), análise química por fluorescência de raios X – FRX (Epsilon-XL da PANalytical), análise termogravimétrica - TG e análise térmica diferencial – DTA (SDT-Q600 de marca TA Instruments - Faixa de temperatura: ambiente a 1200 °C; Taxa de aquecimento: 10 °C/min; Atmosfera: Ar; Vazão do gás: 50 mL/min), difração de raios X – DRX (XRD-6000 – SHIMADZU) e índice de plasticidade (limite de liquidez - NBR 6459 (ABNT, 1984b) e limite de plasticidade NBR 7180 (ABNT, 1984a)).

A Tabela 6 apresenta as três formulações, em peso, contendo a argila e o resíduo de gesso, elaboradas para o estudo após a etapa de caracterização. A formulação C0 apresenta apenas a argila, chamada de massa padrão e as formulações C1 e C2 apresentam quantidades de gesso na proporção de 5% e 10% em peso, respectivamente.

Tabela 6: Formulações estudadas

Matérias-primas (% em peso)		
Composição	Argila	Gesso
C0	100	0
C1	95	5
C2	90	10

Fonte: Autoria Própria (2018).

Para a confecção de corpos de prova, as formulações foram preparadas com teor de 7% de umidade (umidade utilizada pela indústria), prensadas a 30 MPa. Foram confeccionados 50 corpos de prova (tamanho - 10,0 cm x 1,5 cm x 1,5 cm) para o trabalho. Em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa a 110 °C por 24 h e submetidos a tratamento térmico (queima) a 900 °C, 1000 °C e 1100 °C a uma taxa de aquecimento 5 °C/min, com permanência de 60 minutos.

Após a queima, foram realizados ensaios tecnológicos nos corpos de prova a fim de determinar as propriedades: porosidade aparente (PA), absorção de água (AA), retração linear de queima (RLQ), resistência à compressão uniaxial (RC), microscopia eletrônica de varredura (MEV – realizado nas amostras sinterizadas a 1000 °C) e análise macroestrutural. Também foi realizada a caracterização por difração de raios X (DRX) das amostras queimadas após os ensaios. Além dessas análises foram verificados também o índice de

abrasão (IA) – NTC 3829 (NTC, 2002) e C902 (ASTM, 2015), resistência à abrasão (RA) – NBR 9781 (ABNT, 2013) e condutividade térmica (CT) – NBR 15220-4 (ABNT, 2005).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 7 apresenta a composição química da amostra de argila e do resíduo de gesso. A argila é constituída basicamente de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), com predominância significativa da sílica, que está associada ao quartzo e à caulinita em combinação com a alumina. Também apresentou teor de 9,25% de óxido de ferro (Fe_2O_3), cuja presença é responsável pela coloração vermelha da peça cerâmica queimada e 1,75% de óxido de potássio (K_2O), que é um componente fundente essencial para fabricação de cerâmica de baixa porosidade, ajudando na sinterização das peças cerâmicas (Candido *et al.*, 2013; Soares *et al.*, 2014). A perda ao fogo é da ordem de 11,83% e está associada principalmente a reações químicas (desidroxilação da caulinita) e decomposição de matéria orgânica presente (Aquino *et al.*, 2015).

O resíduo de gesso apresenta teor de óxido de cálcio (CaO) em torno de 56,06% e trióxido de enxofre (SO_3) em torno de 33,47% apresentando na composição grande quantidade de fundentes. Os óxidos fundentes (CaO e SO_3) são importantes para a sinterização dos produtos cerâmicos na queima (Soares *et al.*, 2014). A perda ao fogo é da ordem de 8,3% e está associada principalmente à perda da água de cristalização que o gesso sofre durante a sua decomposição térmica com formação de anidrita I (CaSO_4).

Tabela 7: Composição química (% em peso)

Amostra	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	SO_3	CaO	Outros	PF*
Argila	48,14	26,00	9,25	-	1,75	0,51	0,27	2,25	11,83
Gesso	-	-	0,34	-	-	33,47	56,06	1,83	8,3

PF* – Perda ao Fogo Out** - Outros

Fonte: Autoria Própria (2018).

A Tabela 8 e Figura 23 apresentam a distribuição granulométrica da amostra de argila e do resíduo de gesso. A referência utilizada na análise foi a classificação da *International Society of Soil Science* (Barnes, 2016). A fração areia é representada pela porcentagem do material que possui dimensão superior a 20 μm (0,02 mm), a fração silte representada pela porcentagem entre 2 μm e 20 μm e a fração argila o material com granulometria menor do que 2 μm . A fração argila (menor que 2 μm) corresponde à fração que confere plasticidade necessária para conformar os produtos. Na amostra de argila, este

valor é alto e tem importância também na resistência do material final após a queima (Araujo *et al.*, 2015).

É possível verificar que a argila e o gesso tem característica distinta em relação à granulometria, assim o comportamento da massa padrão (argila) é modificado com a adição do resíduo. Isto se deve a granulometria mais grosseira do resíduo que apresenta elevado teor da fração areia. Já a massa padrão apresenta elevado conteúdo de partículas com tamanhos inferiores e está fundamentalmente relacionada com a presença de argilominerais. O resíduo apresenta elevado conteúdo da fração silte-areia (cerca de 90% de todo o material), podendo, assim aumentar o empacotamento na conformação dos corpos de prova, conferindo ao material uma maior densidade e resistência.

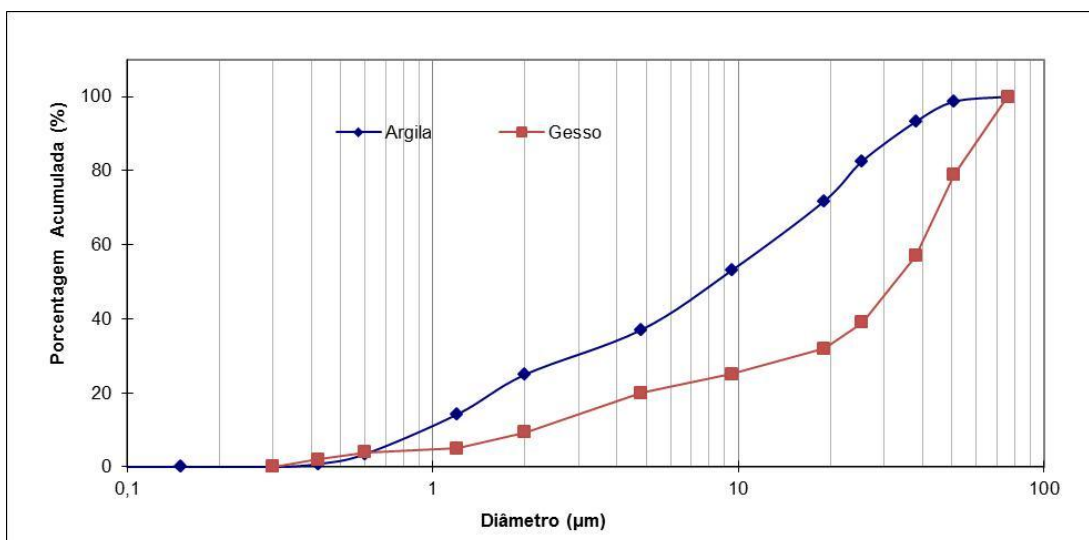
Este resultado pode trazer benefício para a retração linear de queima dos produtos cerâmicos, podendo diminuir possíveis fissuras e danos nos materiais, diminuindo a retração, colaborando para a qualidade dos mesmos (Candido *et al.*, 2013).

Tabela 8: Composição granulométrica.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
	v% ≤ 2 μm	2 μm < v% ≤ 20 μm	v% > 20 μm
Argila	23,5	52,4	24,1
Gesso	9,3	23,2	67,5

Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 23: Distribuição granulométrica.



Fonte: Autoria Própria (2018).

O Índice de Plasticidade (IP) para as amostras está apresentado na Tabela 9. Os valores de referência para o IP são: índice de plasticidade até 7% - fracamente plástico, entre

7% e 15% - medianamente plástico e maior que 15% - altamente plástico (Maestrelli *et al.*, 2013). Os valores obtidos para o índice de plasticidade foram 20,11%, 19,21% e 18,13% para as amostras C0, C1 e C2, respectivamente. Neste sentido, todas as amostras se classificam como altamente plástica, embora a adição de resíduo de gesso tenha reduzido a plasticidade da argila. Deve ser considerado que uma plasticidade alta pode dificultar o processamento/conformação da argila, assim pode se fazer necessário incorporar outra argila com baixa plasticidade ou materiais desplastificantes como o resíduo de gesso, a fim de reduzir a plasticidade (Vieira *et al.*, 2007).

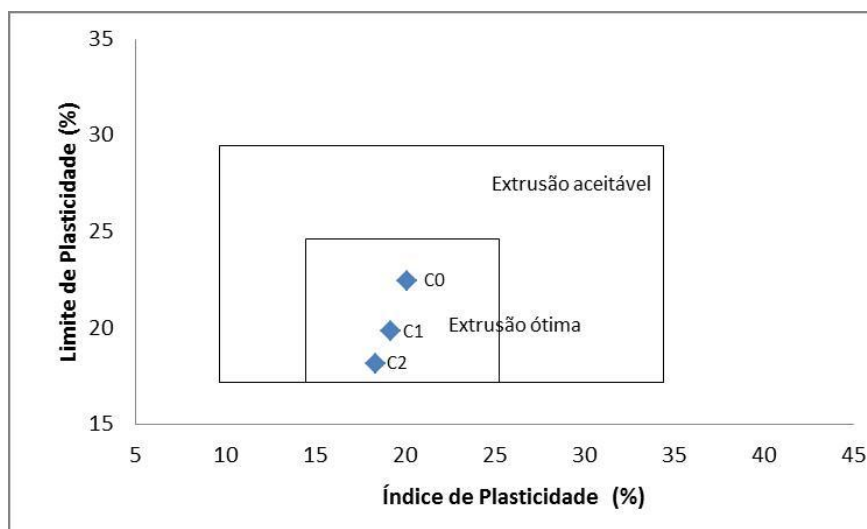
Tabela 9: Índice de Plasticidade das amostras.

Amostra	Limite de Liquidez (LL)	Limite de Plasticidade (LP)	Índice de Plasticidade (IP)
	%	%	%
C0	42,56	22,45	20,11
C1	39,03	19,21	19,82
C2	36,45	18,32	18,13

Fonte: Autoria Própria (2018).

A Figura 24 apresenta o prognóstico de extrusão das formulações através dos limites de liquidez e plasticidade (limites de Atterberg) e aponta que todas as formulações estão dentro da região que compreende uma extrusão ótima, mesmo após a incorporação do resíduo. É válido salientar que a adição do gesso não altera o modo de fabricação dos produtos cerâmicos (Candido *et al.*, 2013; Vieira *et al.*, 2013).

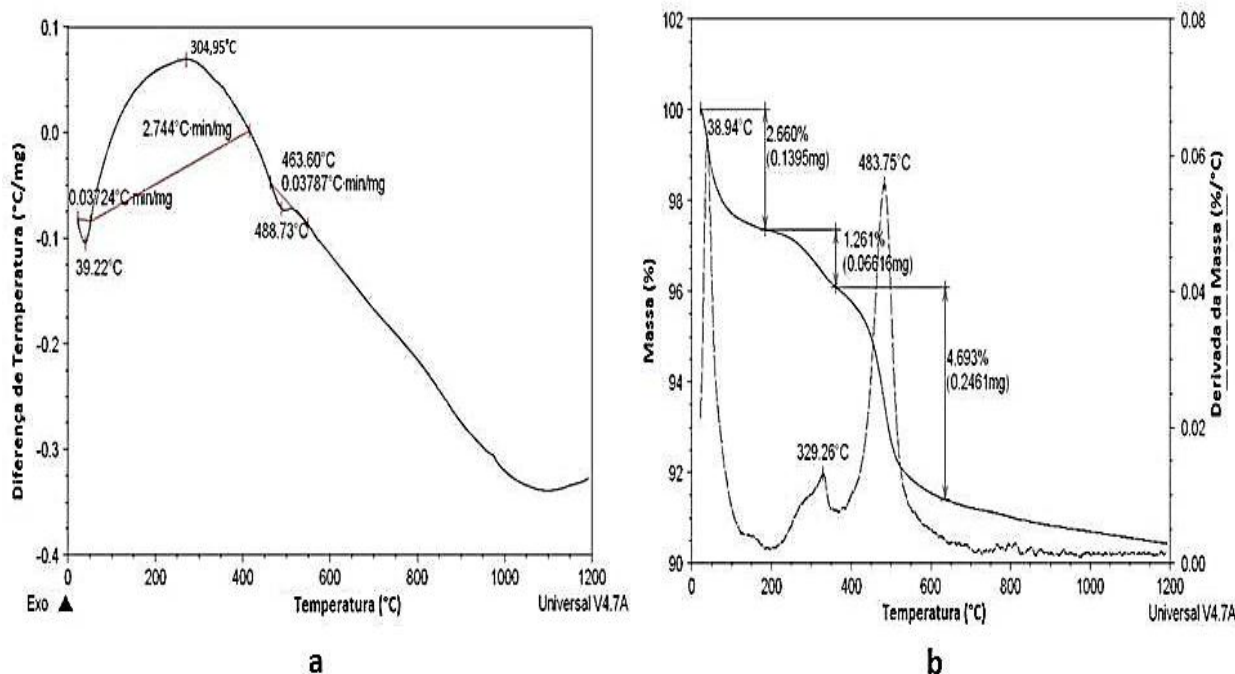
Figura 24: Prognóstico de extrusão.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 25 apresenta os resultados para a Análise Termodiferencial (DTA) e Análise Termogravimétrica (TG) realizada na argila.

Figura 25: Análises Térmicas para a Argila: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.



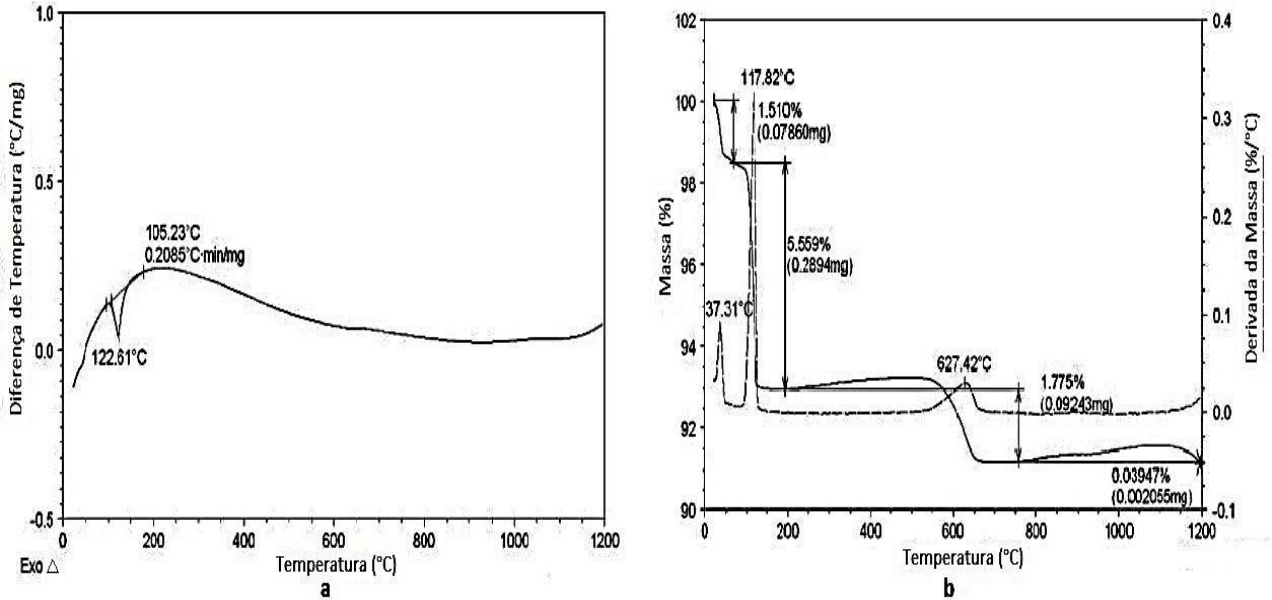
Fonte: CTGAS (2018).

A análise de DTA da argila apresentou três eventos principais, em que o primeiro evento foi endotérmico, com máximo de 39,22 °C, o segundo, exotérmico a uma temperatura de 304,95 °C e o terceiro evento, endotérmico, com máximo de 488,73 °C. Na análise TG da argila, é possível observar a ocorrência de três eventos, onde o primeiro evento caracteriza a liberação de água livre em torno de 39 °C (2,66%), o segundo evento mostra a combustão de matéria orgânica com a perda de massa de 1,26% com máximo em torno de 329,26 °C, já no terceiro evento, referente à liberação de hidroxila da estrutura dos argilominerais, com perda da massa de 4,69%, a temperatura de 483,75 °C, apresentando perda de massa total da ordem de 8,61%, corroborando com os valores encontrados na perda ao fogo apresentado anteriormente.

A Figura 26 apresenta a análise térmica do resíduo de gesso. Na análise DTA do gesso, pode-se verificar dois picos endotérmicos de temperaturas, uma a 37,31 °C e outro a 130 °C, que corresponde à liberação de água livre e estrutural, respectivamente, e formação de bassanita (hemidrato), em seguida, aumentando a temperatura, torna-se insolúvel (CaSO₄ sulfato de cálcio – anidro, insolúvel). No pico a 627 °C ocorre a decomposição do carbonato (impureza) presente no material. A perda de massa pode ser confirmada pela análise TG do

gesso, apresentando dois eventos endotérmicos principais, um na perda de água livre e estrutural (7,07%) e outro na liberação, na decomposição, dos carbonatos (1,77%) do material. A perda de massa total foi de 8,24%, como apresentado na análise química.

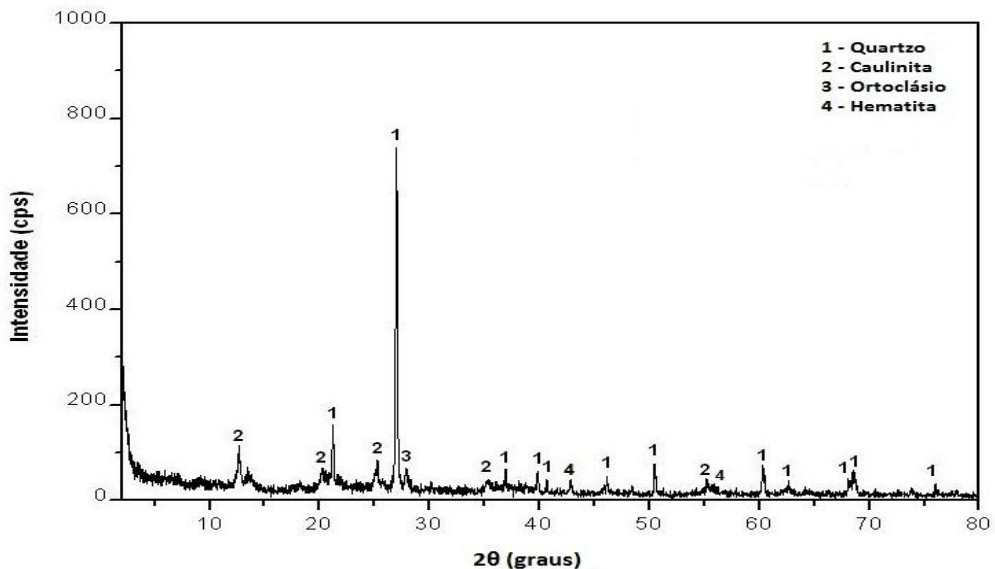
Figura 26: Análises Térmicas para o Gesso: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.



Fonte: CTGAS (2018).

O difratograma de raios X da amostra de argila é apresentado na Figura 27. Verificam-se picos de difração das fases cristalinas referentes à Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Quartzo (SiO_2), Ortoclásio (KAlSi_3O_8) e Hematita (Fe_2O_3), corroborando com os resultados da composição química pela presença dos óxidos: silício, alumínio, potássio e ferro.

Figura 27: Difratograma de raios X da amostra de argila.



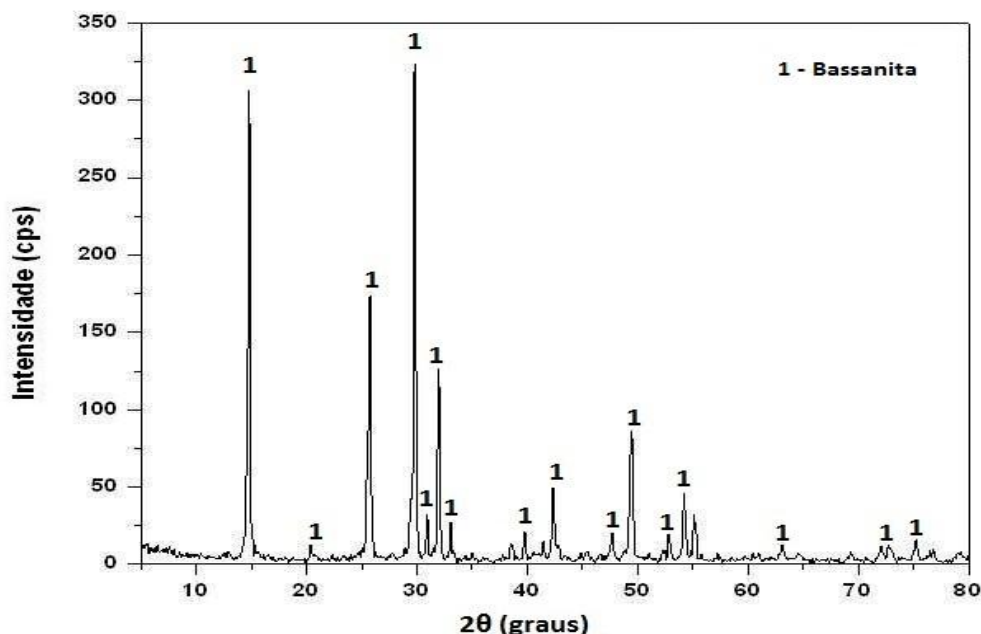
Fonte: CTGAS (2018).

O quartzo atua como mineral predominante e na queima atua como fase inerte e não plástica, podendo ainda apresentar uma parte dissolvida na fase líquida formada. A caulinita é responsável pelo desenvolvimento da plasticidade em mistura com água e ainda apresenta comportamento refratário de queima.

A caulinita é o principal argilomineral componente das argilas, sendo responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos. Já a hematita é responsável pela coloração avermelhada do produto cerâmico queimado, detectada na análise mineralógica (Soares *et al.*, 2014). O ortoclásio ou feldspato potássico é a principal matéria-prima empregada como fundente e com isso é de grande proveito em massas cerâmicas (Lira e Neves, 2013).

O difratograma da Figura 28 obtido para o resíduo de gesso apresenta principalmente o sulfato de cálcio hemidratado (fase mineralógica bassanita - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). O resultado é característico do gesso usado em construção civil e confirma o que foi apresentado na análise química (óxidos CaO e SO_3) (Barbosa, Ferraz e Santos, 2014).

Figura 28: Difratograma de raios X do resíduo de gesso.



Fonte: CTGAS (2018).

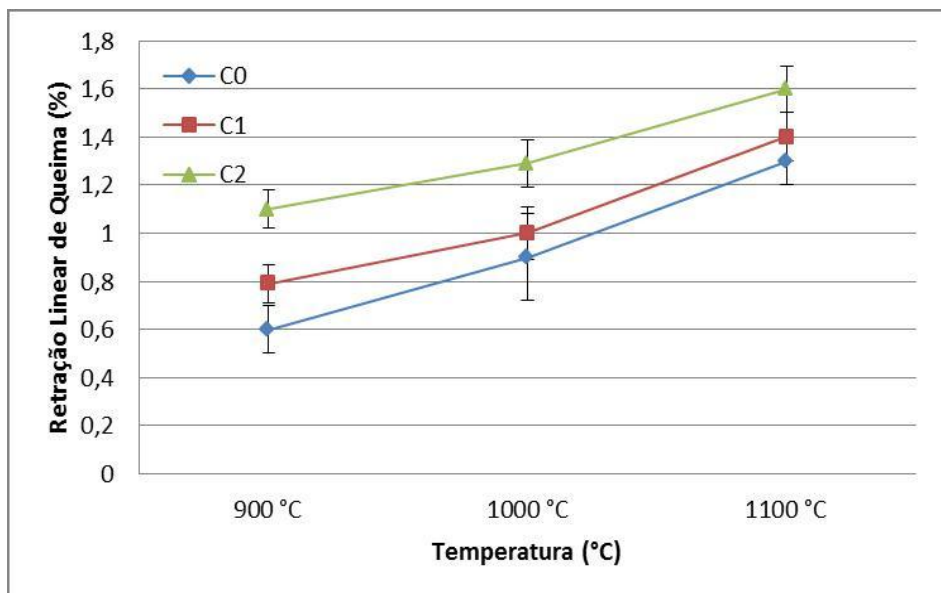
Os resultados dos ensaios tecnológicos das formulações nas temperaturas de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C são apresentados nas Figuras 29 a 35. A Figura 29 apresenta os

resultados para a retração linear de queima, mostrando que a retração linear aumenta com o aumento da temperatura.

Este comportamento é atribuído ao fechamento da porosidade, que possibilita a densificação das peças acompanhada de retração, confirmando o que foi apresentado na composição química.

A presença de óxidos fundentes colaboram para a ocorrência deste fenômeno, formando fase líquida e, com isso, ocorre o fechamento de parte dos vazios no produto cerâmico, modificando outras propriedades tecnológicas como a porosidade, resistência e absorção de água. Os maiores valores de retração foram obtidos na amostra C2 que contém maior quantidade de resíduo (10% de resíduo).

Figura 29: Retração linear de queima das formulações avaliadas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

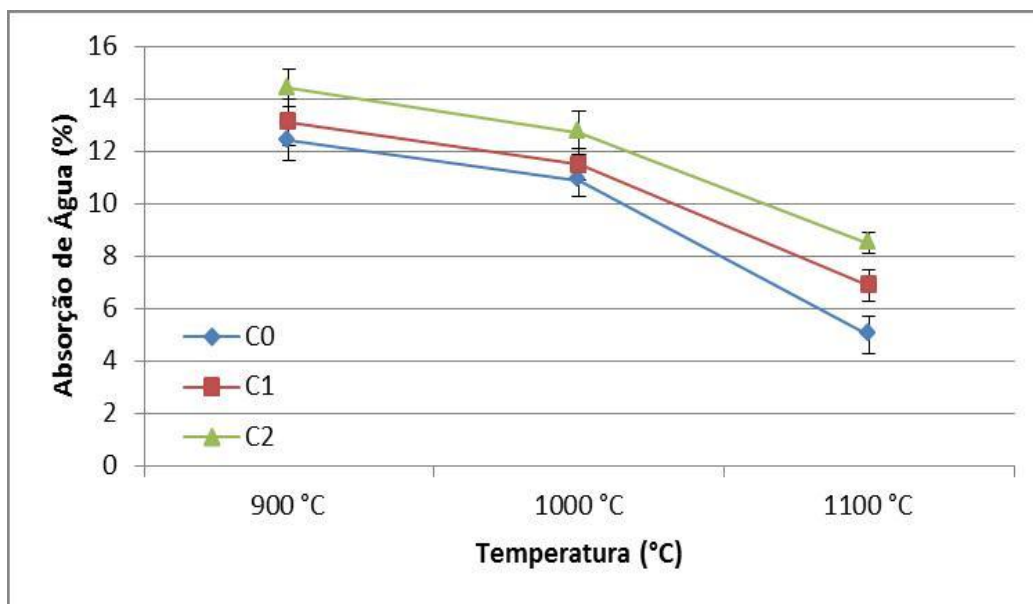
A Figura 30 aponta os valores obtidos para absorção de água após a queima das formulações e massa padrão para as temperaturas. Pode-se notar que o teor de absorção de água diminui com o aumento da temperatura. As normas C1272 (ASTM, 2017) e NTC 5282 (NTC, 2004) regulamentam que os adoquins devem ter valor de absorção de água máximo de 6% para utilização em sistemas de implantação rígidos e flexíveis, assim apenas a amostra C0 (massa padrão) queimada a 1100 °C apresentou-se dentro dos valores das normas C1272 e NTC 5282.

Já as normas NTC 3829 (NTC, 2002) e C902 (ASTM, 2015) regulamentam que os adoquins devem apresentar o valor máximo de 14% para ser utilizado em uso exterior e

não expostos a temperaturas frias, sendo que para uso interno não há limite de valor. Assim, fica claro que as formulações estão em conformidade com as normas para todas as temperaturas de queima, exceto a amostra C2 queimada a 900 °C, que pode ser usada apenas para uso interno.

Observa-se que as formulações apresentam menores valores de absorção de água à temperatura de 1100 °C, principalmente pela presença dos seus fundentes que preencheram parte dos poros presentes no material na queima, e ainda a ocorrência da retração em todas as amostras. Pode-se notar que a amostra C0 apresentou os menores valores de absorção, enquanto as formulações C1 e C2 apresentaram valores maiores. Isso pode ser explicado pela presença do gesso na formulação onde este, queimado a altas temperaturas, provoca liberação de gás proveniente da decomposição parcial do sulfato de cálcio formado da reação do gesso, apresentando uma variação menor da porosidade em relação à massa padrão (Sene e Lindino, 2017).

Figura 30: Absorção de Água das formulações avaliadas.



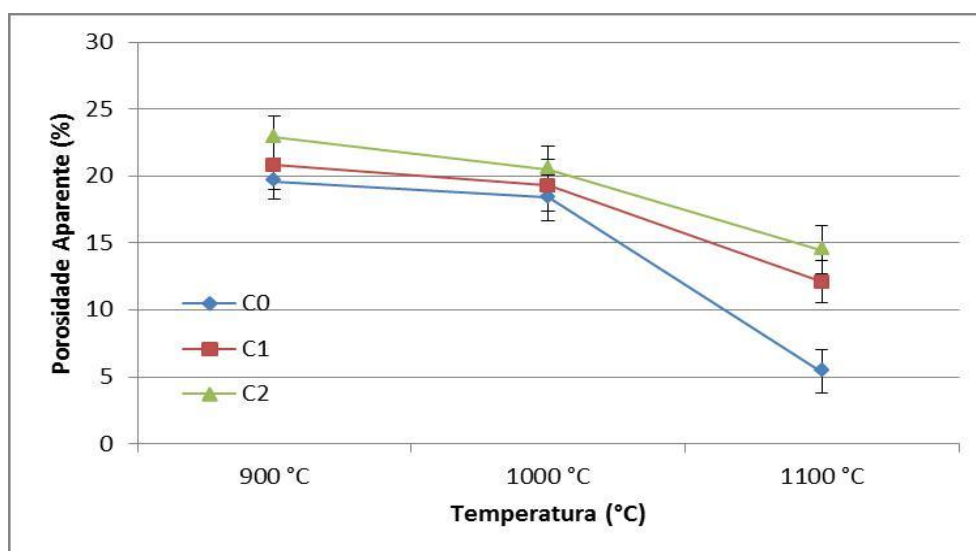
Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 31 mostra a porosidade aparente das amostras queimadas para as temperaturas propostas. O resultado revela uma diminuição da porosidade com o acréscimo da temperatura, onde à temperatura de 1100 °C a diminuição foi mais significativa, onde C0 teve redução de 72% de 900 °C para 1100 °C e os resíduos em média 40% de redução de

900 °C para 1100 °C, mostrando um comportamento semelhante ao obtido na absorção de água mostrado anteriormente.

Este fenômeno pode ser explicado pelo processo térmico (queima) ocorrido, onde o material fundente da composição pode ter promovido a formação de fase líquida. Isto tende a preencher os espaços vazios entre o material do corpo de prova, reduzindo a porosidade do corpo cerâmico (Soares *et al.*, 2014). É possível observar também, como foram mostradas anteriormente, que as formulações não apresentaram uma diminuição tão grande em relação à massa padrão devido à dissociação de parte do sulfato de cálcio presente no gesso queimado a alta temperatura.

Figura 31: Porosidade Aparente das formulações avaliadas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

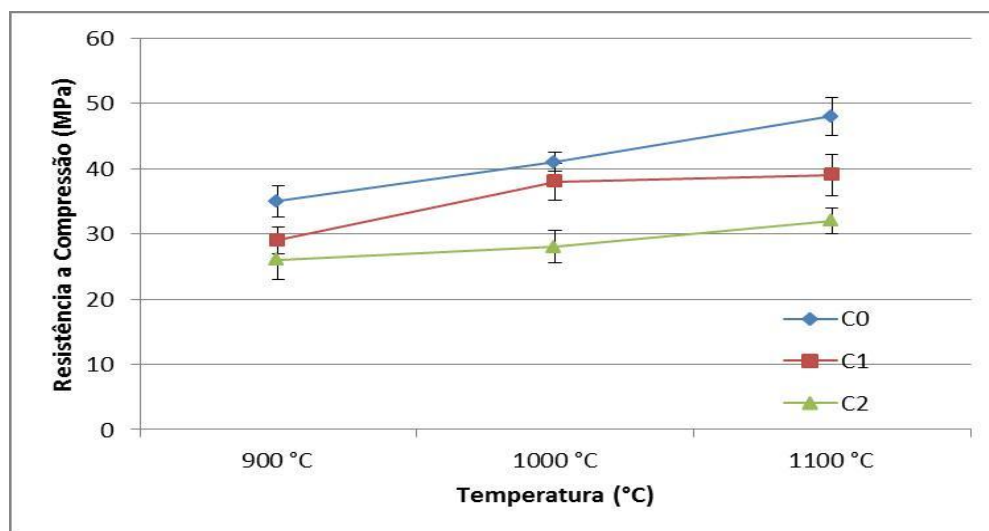
A Figura 32 apresenta o resultado para a resistência à compressão uniaxial após a queima (900 °C, 1000 °C e 1100 °C) dos corpos de prova. Também foi analisado um lote de peças de concreto para pavimentação (PPC), fabricado em Teresina-PI para efeito de comparação de valores. Percebe-se que a resistência à compressão aumenta com o aumento da temperatura, ou seja, aumenta a resistência dos corpos de prova.

A Norma NBR 9781 (ABNT, 2013) regulamenta as especificações de resistência para peças de concreto para pavimento, sendo este o concorrente principal do pavimento cerâmico adoquim. Esta norma dispõe que a resistência mínima para utilização em pavimento para tráfego de pessoas ou veículos leves é de 35 MPa, assim a amostra C0 apresenta possibilidade de utilização em todas as temperaturas, a amostra C1 poderia ser usada apenas

nas temperaturas 1000 °C e 1100 °C e a amostra C2 não correspondeu a este requisito. As amostras de PPC apresentaram, em sua maioria, resultados abaixo do especificado em norma, com média de 30 MPa, embora ainda assim serão utilizados em obras.

Já a norma C902 (ASTM, 2015) regulamenta que o adoquim deve apresentar resistência mínima de 20,7 MPa para ser utilizado em uso interior e exterior não exposto a baixa temperatura, neste sentido todas as amostras estão dentro destas especificações.

Figura 32: Resistência à compressão uniaxial das formulações avaliadas.

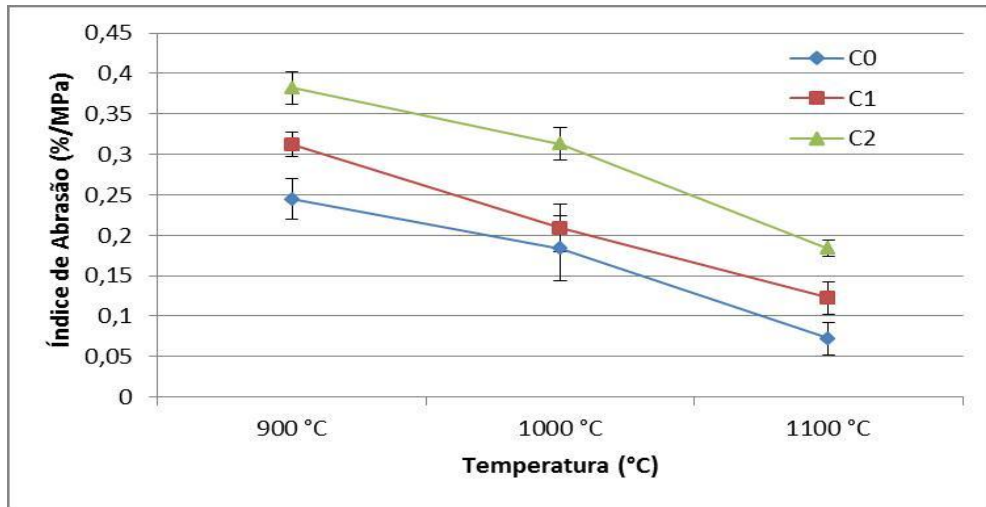


Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 33 aponta os resultados do índice de abrasão (IA) de acordo com as normas NTC 5282 (NTC, 2004) e NTC 3829 (NTC, 2002), que analisam matematicamente o resultado desta propriedade a partir da absorção de água e resistência a compressão. Segundo as normas colombianas, todas as amostras poderiam ser utilizadas para interiores ($IA < 0,50$).

Já para uso externo ($IA < 0,25$), só poderiam ser utilizadas as amostras C0 em todas as temperaturas, a amostra C1 queimada a 1000 °C e 1100 °C e a amostra C2 queimada a 1100 °C. Para uso em pavimento rígido ou flexível de estradas ($IA < 0,11$), apenas as amostras C0 e C1 queimadas a 1100 °C.

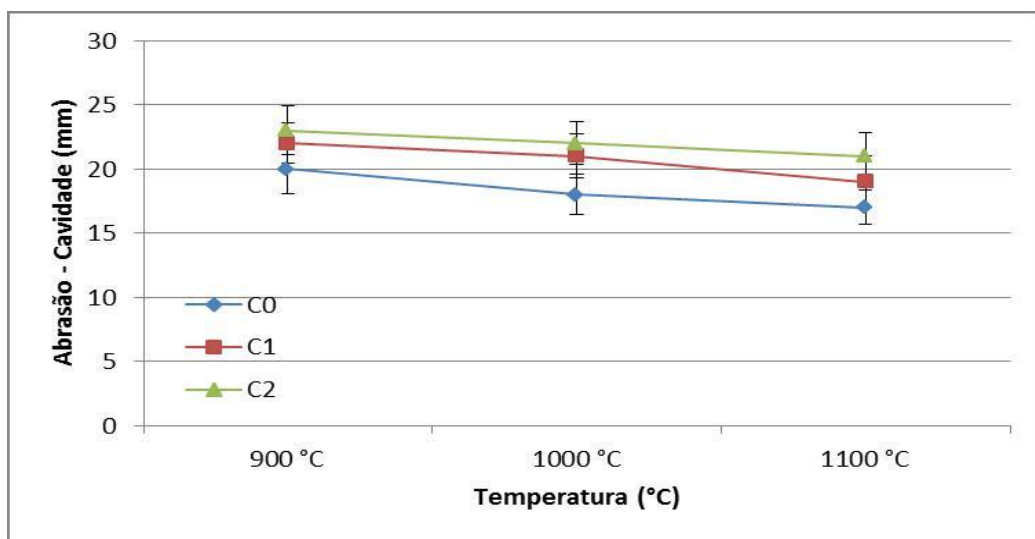
Figura 33: Índice de abrasão das formulações avaliadas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 34 apresenta os resultados de resistência à abrasão (RA) de acordo com a Norma NBR 9781 (ABNT, 2013), embora seja facultativa para peças de concreto para pavimentação. Os resultados apontaram que todas as amostras podem ser utilizadas em locais de tráfego de pedestres e veículos leves ($RA \leq 23$), e que as amostras C0 em todas as temperaturas e C1 queimada a 1100 °C podem ser aplicadas em local com tráfego mais pesado ($RA \leq 20$). Isso confirma os resultados obtidos no índice de abrasão. Este indicador tem grande importância, pois aponta a durabilidade do material.

Figura 34: Resistência à abrasão das formulações avaliadas – cavidade.



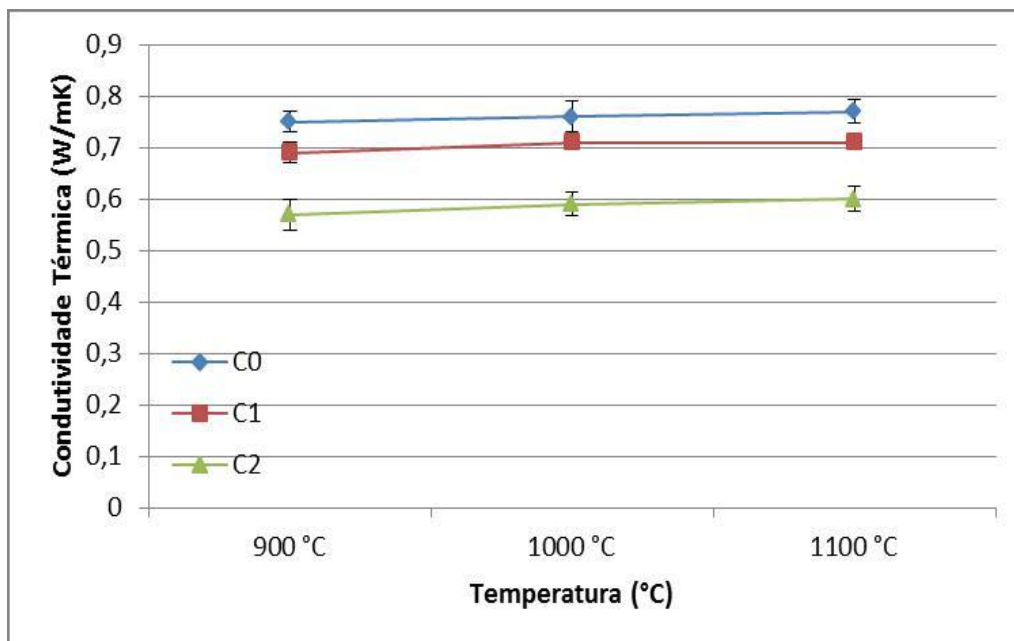
Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 35 apresenta os resultados de condutividade térmica dos corpos de prova. Esta análise trata da quantidade de calor que atravessa o corpo, e em locais com altas temperaturas é essencial utilizar materiais que possuam baixa condutividade térmica, favorecendo assim o conforto térmico em ambientes (Queiroz e Melo, 2018).

Os resultados apontaram para a diminuição da condutividade térmica, com o aumento da porcentagem de resíduo de gesso, que resulta da porosidade no corpo de prova provocado pela saída de gases na dissociação de parte do sulfato de cálcio presente. Neste sentido, o produto cerâmico final é melhor sob o ponto de vista de isolamento térmico, podendo ser utilizado em pisos, possuindo ainda menor condutividade do que o PPC (1,3 W/mK), como também em revestimento de fachadas (Rakhila, Mestari e Elmchaouri, 2018).

A partir das análises tecnológicas apresentadas e dos resultados encontrados, verifica-se a viabilidade e possibilidade de utilização das formulações para o pavimento cerâmico adoquim com incorporação de rejeitos industriais, apresentando resultados plausíveis, de acordo com normas estrangeiras específicas para o produto em determinados ambientes.

Figura 35: Condutividade térmica das formulações avaliadas.

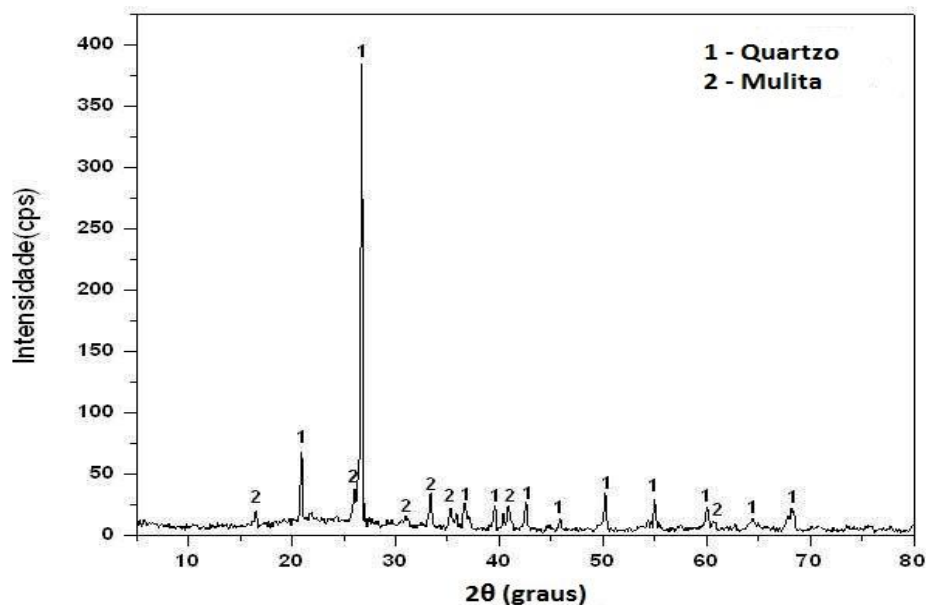


Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 36 apresenta o difratograma da massa padrão queimada na temperatura de 1000 °C. De acordo com o difratograma, pode-se verificar que os picos apresentam as seguintes fases cristalinas: quartzo e mulita.

O quartzo é matéria-prima do seu estado natural. A mulita primária, que ocorre inicialmente a 1000 °C, é proveniente da decomposição da metacaulinita, fase amorfa formada a partir da eliminação de água estrutural da caulinita. A importância da mulita em cerâmicas tradicionais e avançadas deve-se às propriedades do material: baixa densidade, alta estabilidade térmica, estabilidade em ambientes químicos severos, baixa condutividade térmica, boa resistência mecânica e à fluência. A característica primordial da mulita é sua baixa expansão térmica, que explica a sua estabilidade dimensional em altas temperaturas e a excelente resistência ao choque térmico (Santos *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2019).

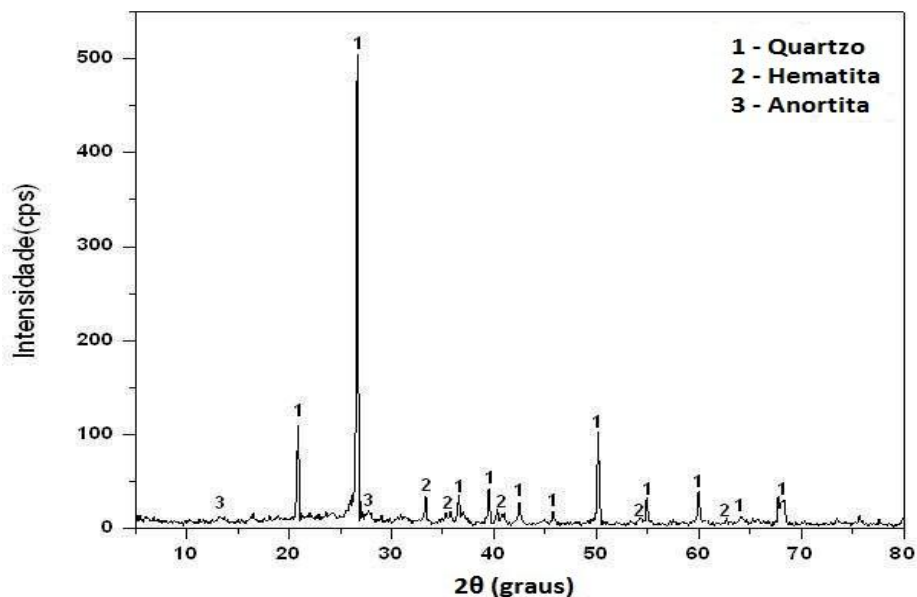
Figura 36: Difratoograma de raios X para a formulação C0 queimada a 1000 °C.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 37 apresenta o difratograma da formulação C2 queimada na temperatura de 1000 °C. Os picos predominantes foram de quartzo, ferro e anortita. A presença de anortita está relacionada à presença de óxido de Cálcio (CaO) no gesso, proveniente da decomposição parcial do sulfato de cálcio. Esta fase cristalina pode ser responsável pela resistência do material, embora apresente maior porosidade e também retração (Frades-de-La-Noval *et al.*, 2016).

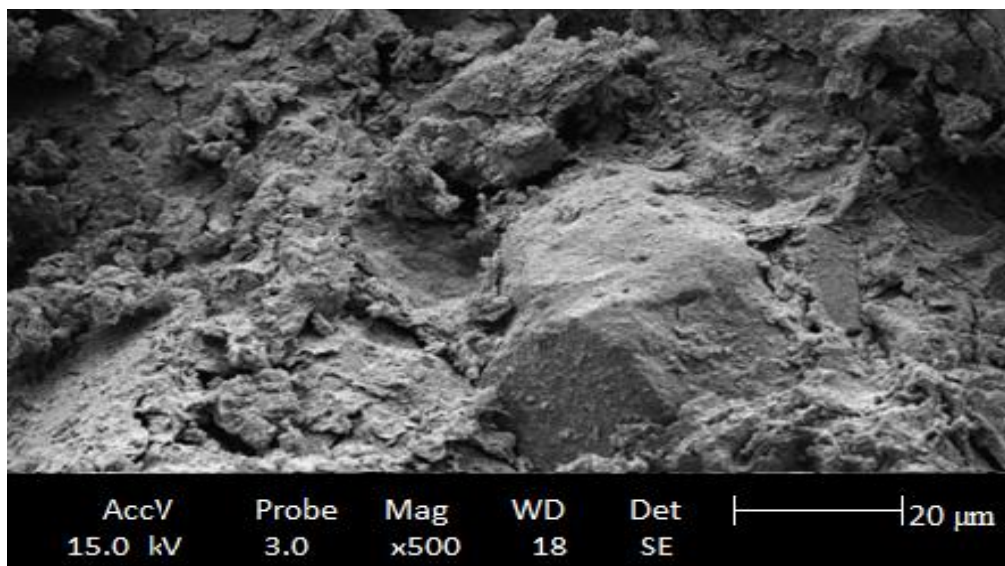
Figura 37: Difratoograma de raios X para a formulação C2 queimada a 1000 °C.



Fonte: Autoria Própria (2019).

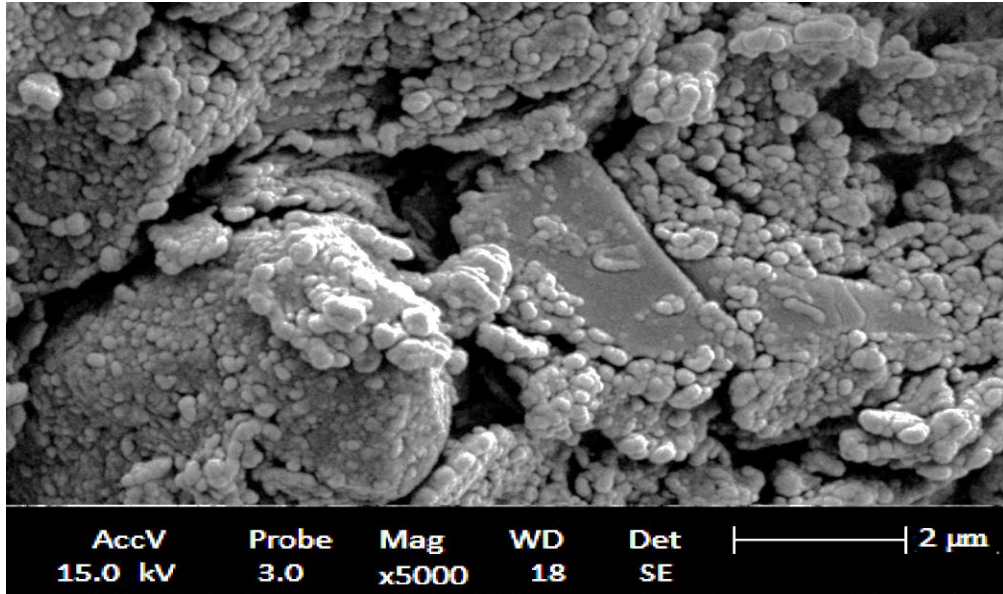
As Figuras 38 e 39 apresentam as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da massa padrão queimada a 1000 °C, com aumento de 500x e 5000x, respectivamente.

Figura 38: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 500x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 39: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 5000x.

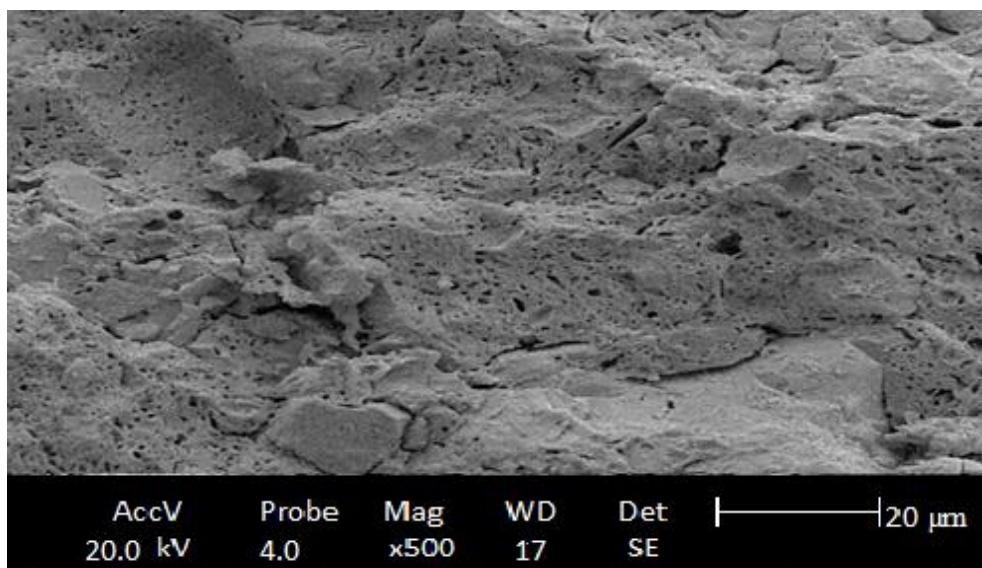


Fonte: Autoria Própria (2019).

As Figuras 38 e 39 mostram uma microestrutura homogênea, com alta compactação e densificação. Este resultado corrobora com os outros obtidos anteriormente: presença de mulita, óxidos fundentes, alta plasticidade, baixa porosidade, alta resistência, entre outros. Isto é possível pelo preenchimento de grande parte dos poros, formando apenas microporos.

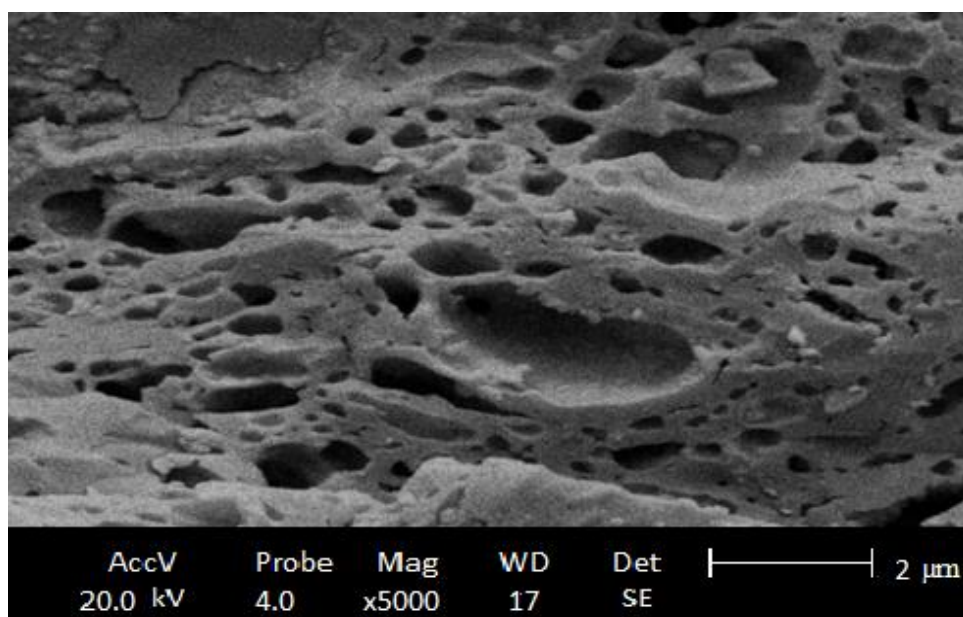
As Figuras 40 e 41 apresentam as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da formulação C2 queimada a 1000 °C, com aumento de 500x e 5000x, respectivamente.

Figura 40: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 500x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 41: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 5000x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

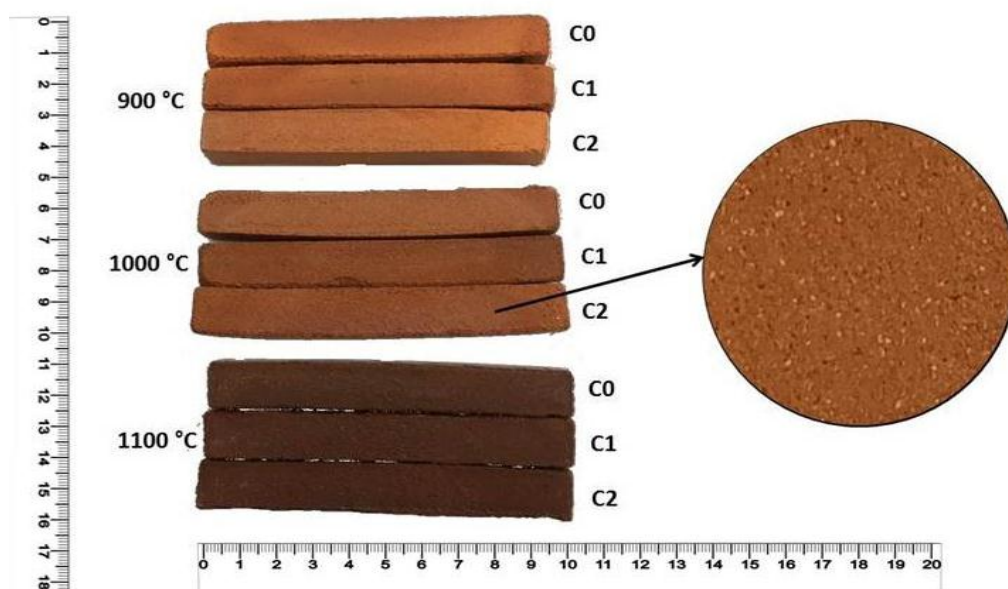
As Figuras 40 e 41 exibem, diferentemente da massa padrão, uma microestrutura com porosidade maior, condutividade térmica menor e também resistência à compressão uniaxial menor, conforme os resultados apresentados anteriormente. É possível analisar que a amostra encontra-se em estágio final de sinterização, com poros isolados, que estão aprisionados no seu interior e apresenta com formas arredondadas.

Esta característica se dá principalmente pela presença do gesso de revestimento, que é própria do gesso tipo beta (β) e pela liberação de gás com a dissociação do sulfato de cálcio (Barbosa, Ferraz e Santos, 2014; Oliveira *et al.*, 2012). Embora os valores de resistência e de porosidade sejam inferiores em relação aos da massa padrão (C0), estes valores já eram esperados e, mesmo com a incorporação de resíduo, as formulações apresentaram-se dentro das normas vigentes.

Apenas as micrografias de C0 e C1 foram acrescentadas no trabalho por serem mais representativas em relação às micrografias da amostra C1 e foi utilizado apenas as amostras queimadas a 1000 °C por serem mais representativas.

A Figura 42 apresenta a análise macroestrutural, necessária para determinar possíveis trincas e fissuras visíveis e também analisar a coloração dos corpos de prova após a queima de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Verifica-se a coloração avermelhada dos corpos de prova, indicando a presença de ferro na composição química (óxido de ferro) e fases cristalinas (hematita).

Figura 42: Amostras das formulações após a queima.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A presença de ferro é responsável pela coloração das peças, e sua intensidade está associada ao aumento da temperatura. Acima de 900 °C, a tonalidade passa de vermelho claro a vermelho escuro atingindo tons de marrom e preto em temperaturas superiores a 1100 °C. Neste intervalo ocorre oxidação do ferro bivalente que passa a ferro trivalente até a superqueima (Teixeira *et al.* 2012; Dondi, 2006; Roveri, Zanardo e Moreno, 2007).

Observa-se que os corpos de prova não apresentam fissuras aparentes, ratificando o que foi apresentado sobre a granulometria (empacotamento e plastificação) e presença de óxidos, indicando homogeneidade nas peças. Pode-se verificar também a presença de pontos brancos na amostra C2 (ampliação na Figura 42), que se deve à existência de anidrita insolúvel de elevada dureza, por conter óxido de cálcio vindo do gesso, mas que não altera a estética da peça (Barbosa, Ferraz e Santos, 2014; Oliveira, 2011).

5.4 CONCLUSÃO

O artigo apresentou a possibilidade e viabilidade de utilização de resíduos de gesso para fabricação de adoquim cerâmico. A formulação com 5% de resíduo apresentou melhores resultados em relação a maior proporção (C2 – 10% de resíduo de gesso). Observou-se que a presença do mesmo não alterou a estética e coloração do adoquim. As melhores propriedades tecnológicas foram identificadas nas amostras queimadas à

temperatura de 1100 °C, confirmadas pela presença de mulita e anortita nas análises e ainda, apontou a possibilidade de utilização dos produtos em praças e áreas de tráfego leve, com viabilidade de ser empregada em cerâmica de revestimento. Finalmente, a utilização de resíduo de gesso, além de apresentar propriedades cerâmicas em conformidade com os padrões estabelecidos pelas normas, contribui com a qualidade do meio ambiente, diminuindo assim os impactos ambientais negativos que possam ser causados por este resíduo.

5.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Piauí (IFPI), à Universidade Federal do Piauí (UFPI), ao CTGAS – ER no Rio Grande do Norte, à Cerâmica Vitória em Oeiras-PI.

5.6 BIBLIOGRAFIA

Adrien, J., Meille, S., Tadier S., Maire, E., Sasaki, L. (2016). In-situ X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting. *Cement and Concrete Research*, 82, 107-116.

American Society for Testing and Materials (2015). *ASTM C902: Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick*, United States, ASTM.

American Society for Testing and Materials (2017). *ASTM C1272: Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick*, United States, ASTM.

Aquino, R. C., Medeiros F. K., Campos, L. F. A., Macedo, D. A., Ferreira, H. S., Dutra, R. P. S. (2015). Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 10, 1, 29-35.

Araújo, N. C., Ramos, A. P., Queiroz, A. J. P., Santos, R. C., e Buriti, J. S. (2015). Propriedades mecânicas de tijolos fabricados com solo e água residuária de mandioca. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10, 2, 213-217.

Areias, I. O. R., Vieira, C. M. F., Manhães, R. da S. T., e Intorne, A. C. (2017). Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 63, 367, 343-349.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984a). *NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*, Rio De Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984b). *NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez*, Rio de Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984c). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*, Rio de Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR 15220-4: Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida*, Rio de Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). *NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio*, Rio de Janeiro, ABNT.

Barbosa, A., Ferraz, A. V., e Santos, G. A. (2014). Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do pólo do Araripe. *Cerâmica*, 60, 356, 501-508.

- Barnes, G. (2016). *Soil Mechanics: Principles and Practice* (4 ed.), Palgrave Macmillan, United Kingdom.
- Brasil (2017). *Anuário Estatístico: Setor Transformação Não Metálicos/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral* (1ª Ed.), Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Brasil (2018a). *Anuário Mineral Estadual – Pernambuco* (1ª Ed.), Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Brasil (2018b). *Sumário Mineral* (1ª Ed.), Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Candido, V. S., Pinheiro, R. M., Monteiro, S. N., e Vieira, C. M. F. (2013). Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínicas, chamote e argilito. *Cerâmica*, 59, 350, 310-316.
- Cipriano, P. B., Rezende, R. T. O., e Ferraza, A. V. (2019). Produção de cerâmica vermelha utilizando argila da mineração de gipsita e resíduo de gesso. *Acta Brasiliensis*, 3, 1, 25-29.
- Contreras, M., Teixeira, S.R., Santos, G.T.A., Gazquez, M.J., Romero, M., e Bolivar, J.P. (2018). Influence of the addition of phosphogypsum on some properties of ceramic tiles. *Construction and Building Materials*, 175, 588-600.
- Dondi, M. (2006). Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. *Cerâmica Industrial*, 11, 3, 36-40.
- Duarte, C. N., e Fernandes, G. (2009). Adição de Fosfogesso em Cerâmica Vermelha para Fabricação de Tijolos. *Revista Processos Químicos*, 3, 6, 55-60.
- Ferreira, F. C.; Sousa, J. G. G. e Carneiro, A. M. P. (2019). Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe. *Ambiente Construído*, 19, 4, 207-221.
- Frades-de-la-Noval, J., Sánchez-Hernández, E., Linares-Alfonso, A. J., Casanova-Gómez, A., e Solís-Escalona, N. (2016). Obtención de cerámica estructural por sinterización reactiva con materia prima nacional. *Revista Cubana de Química*, 28, 1, 431-443.
- Lira, H. L., e Neves, G. A. (2013). Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 8,3, 110-117.
- Maestrelli, S. C., Roveri, C. D., Nunes, A. G. P., Faustino, L. M., Aiello, G. F., Pinto, L. P. A., Manochio, C., Cal, T. M. L., Ribeiro, F. F., e Mariano, N. A. (2013). Estudo de caracterização de argilas não plásticas da região de Poços de Caldas, MG. *Cerâmica*, 59, 350, 242-248.
- Melo, R. A. A., e Silva, D. G. (2013). Estudo da viabilidade do uso do fosfogesso como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos. *E-xacta*, 6, 2, 13-31.
- Nawi, M., e Badarulzaman, N. A. (2015). Effect of Gypsum of Paris Waste and Sintering Temperatures on Physical Properties of Pottery. *Procedia CIRP*, 26, 752-755.
- Norma Técnica Colombiana (2002). *NTC 3829: Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular liviano*, Colombia, NTC.
- Norma Técnica Colombiana (2004). *NTC 5282: Adoquin de arcilla para tráfico vehicular pesado*, Colombia, NTC.
- Oliveira, F., Borges, L., Melo, E., e Barros, M. (2012). Características Mineralógicas e Cristalográficas da Gipsita do Araripe. *HOLOS*, 28, 5, 71-82.
- Oliveira, M. M. (2011). *Tecnologia da conservação e da restauração - materiais e estruturas: um roteiro de estudos* (4ª Ed.), EDUFBA, Brasil.
- Pereira, C. L., e Monteiro, F. M. (2018). Estudo das propriedades tecnológicas de massas cerâmicas para revestimento com adição de resíduo de gesso da construção civil- parte 1. *Abm Proceedings*, 18, 18, 144-155.

- Queiroz, C. e Melo, A. (2018). Caracterização das propriedades térmicas da pedra reconstituída com resíduos da extração de quartzito para aplicação em revestimento de fachadas de edifícios. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 15, 1, 136-150.
- Radulović, D., Terzić, A., e Andrić, L. (2017). The Construction and Ceramics Industry Waste Gypsum Valorization Possibilities. In: *Proceedings of the IV Advanced Ceramics and Applications Conference*, Atlantis Press, 475-491.
- Rakhila, Y. A., Mestari, S. A., e Elmchaouri, A. (2018). Elaboration and characterization of new ceramic material from clay and phosphogypsum. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11, 4, 1552-1563.
- Roveri, C. D., Zanardo, A., e Moreno, M. M. T. (2007). Variação da cor e propriedades cerâmicas com o aumento da temperatura de queima de uma argila proveniente da formação Corumbataí, região de Piracicaba, SP). *Cerâmica*, 53, 328, 436-441.
- Saez, R. G. (2004). *Manual para el uso de Adoquín Cerámico* (1ª Ed.), Grupo Gráfico Ser 2000, Espanha.
- Santos, K. C. V., Gonçalves, W. P., Silva, V. J., Santana, L. N. L., e Lira, H. L. (2016). Formação de Mulita a Partir de Composições de Caulim e Alumina com Diferentes Tamanhos de Partículas. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 11, 3, 136-142.
- Santos, P. M., Rolim, M. M., Duarte, A. S., Barros, M. F. C., e Silva, Ê. F. F. (2014). Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44, 1, 95-103.
- Senes, C. E. R. e Lindino, C. A. (2017). Resíduos de gesso de construção civil: minimização e estudos de lixiviação. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 38, 1, 43-54.
- Silva, A. L., Chaves, A. C., Luna, C. B. B., Neves, G. A., e Lira, H. L. (2017). Avaliação das composições de massas argilosas a partir da incorporação de resíduo da indústria de cerâmica vermelha na obtenção de membranas cerâmicas tubulares. *Matéria*, 22, 1.
- Silva, J. B., Cinthya, P., Gondim, A., Nascimento, R. M., Gomes, U. U., e Acchar, W. (2010). Incorporation of Coating Gypsum Residues in the Formulation of Red Ceramic Mass. *Materials Science Forum*, 636-637, 1397-1403.
- Silva, R. H. L., Neves, G. A., Ferreira, H. C., Santana, L. N. L., Nóbrega, A. C. V., e Menezes, R. R. (2019). Uso de dióxido de silício em massas cerâmicas para grés sanitários. *Cerâmica*, 65, 1-12.
- Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Cal-Cáreos, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco (2018). *Informações Técnicas* (1ª Ed.). Recife, SINDUSGESSO.
- Soares, R. A. L., Nascimento, R. M. do, Paskocimas, C. A., e Castro, R. J. S.. (2014). Avaliação da adição de dolomita em massa de cerâmica de revestimento de queima vermelha. *Cerâmica*, 60, 356, 516-523.
- Teixeira, A. L., Borges, D. C. M., Silva, J. A., Ferreira, N. M. M., e Cargin, M. (2012). Influência dos tipos de matérias-primas e das condições de queima na cor do suporte cerâmico. *Rev. Técnico Científica (IFSC)*, 3, 1, 135-143.
- Teske, S., Gonçalves, P. F. A., e Nagalli, A. (2015). Development of a conceptual model of an eco-logic tile using building gypsums waste. *Cerâmica*, 61, 358, 190-198.
- Testolin, R. C., Godinho-Castro, A. P., Janke, L., Correa, A. X. R., e Radetski, C. M. (2012). Incorporation of gypsum waste in ceramic block production: Proposal for a minimal battery of tests to evaluate technical and environmental viability of this recycling process. *Waste Management*, 32, 1, 153-157.
- Vieira, C. M. F., Andrade, P. M., Maciel, G. S., Vernilli, F., e Monteiro, S. N. (2006). Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic. *Materials Science And Engineering*, 427, 1-2, 142-147.

Vieira, C. M. F., e Emiliano, J. V. (2013). Incorporação de pó de rocha sedimentar em massas para telhas cerâmicas - parte 1: efeitos nas propriedades físicas e mecânicas. *Cerâmica*, 59, 351, 389-394.

Vieira, C. M. F., Morais, A. S. C., Monteiro, S. N., e Delaqua, G. C. G. (2016). Teste industrial de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de vidro de lâmpada fluorescente. *Cerâmica*, 62, 364, 376-385.

Vieira, C. M. F., Terrones, L. A., Sánchez, R., e Monteiro, S. N. (2007). Características e efeito da fração granulométrica $<2 \mu\text{m}$ no comportamento de queima de uma argila. *Cerâmica*, 53, 327, 249-254.

6 CAPÍTULO 5 – ARTIGO 5

**DESENVOLVIMENTO DE ADOQUIM CERÂMICO COM RESÍDUOS DE GESSO E
GRANITO**

DESENVOLVIMENTO DE ADOQUIM CERÂMICO COM RESÍDUOS DE GESSO E GRANITO

(DEVELOPMENT OF CERAMIC PAVER WITH WASTE OF GYPSUM AND GRANITE)

Kelson Silva de Almeida¹, Roberto Arruda Lima Soares², José Milton Elias de Matos³

¹ Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano, 64800-000, Floriano, PI
e-mail: eng.kelson@ifpi.edu.br

² Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central, 64000-040, Teresina, PI
e-mail: robertoarruda@ifpi.edu.br

³ Universidade Federal do Piauí, 64049-550, Teresina, PI
e-mail: jmematos@ufpi.edu.br

RESUMO

A utilização de recursos naturais como a argila que não são renováveis e o descarte de resíduos industriais tem sido motivo de preocupação atualmente. Neste sentido, o uso de resíduos na massa cerâmica é uma possibilidade adequada. O presente estudo teve por objetivo o desenvolvimento de adoquim cerâmico com a incorporação de resíduos de gesso e granito. As matérias-primas, inicialmente, foram submetidas a ensaios físicos, químicos e mineralógicos para caracterização. Em seguida, foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial de 30 MPa com adição de percentuais de 5% e 10% de resíduos. Posteriormente foi realizada a secagem em estufa e a queima em forno a 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Determinou-se, então, a resistência à compressão, porosidade aparente, retração linear de queima, absorção de água, índice e resistência à abrasão, além de análise mineralógica, macroestrutural e microestrutural. Os resultados das análises indicaram que os resíduos de gesso e granito, com porcentagens de 5%, possuem características adequadas à adição em cerâmica vermelha para a produção de adoquim e tem possibilidade em áreas externas como praças e locais com tráfego leve.

Palavras-chave: Argila, Adoquim Cerâmico, Resíduo, Granito, Gesso.

ABSTRACT

The use of natural resources such as clay that are not renewable and the inadequate disposal of industrial waste has been of concern. In this sense, the use of residues in the ceramic mass is an adequate possibility. The present study had to the development of ceramic tile with the incorporation of gypsum and granite residues. The raw materials were initially submitted to physical, chemical and mineralogical tests for characterization. Then, samples were prepared by uniaxial pressing of 30 MPa with addition of percentages of 5% and 10% of residues. Subsequently, oven drying and oven firing were carried out at 900 °C, 1000 °C and 1100 °C. It was determined the compressive strength, apparent porosity, linear retraction, water absorption, index and abrasion resistance, as well as mineralogical, macrostructural and microstructural analysis. The results of the analyzes indicated that the residues of gypsum and granite, with percentages of 5%, have adequate characteristics to the addition in red ceramics for the production of ceramic paver and it is possible in external areas such as squares and places with light traffic.

Keywords: Clay, Ceramic Paver, Waste, Granite, Gypsum.

6.1 INTRODUÇÃO

Atualmente os materiais cerâmicos estão em plena utilização e possuem diversas aplicações, desde o adobe, utensílios e ladrilhos até isolantes elétricos, próteses odontológicas e revestimento de reatores nucleares, mas a utilização mais visível dos materiais cerâmicos é na indústria da construção civil (Brito *et al.*, 2015).

O setor da construção civil, em particular na manufatura de insumos, está em constante crescimento, a mesma, embora seja responsável por relevante demanda ambiental, também apresenta grande impacto positivo na sociedade e na economia. O setor, no Brasil, representa atualmente 5% do PIB nacional e apresenta indícios de crescimento. A indústria de cerâmica vermelha é considerada como atividade de base para a construção civil, pois seus produtos são utilizados desde a obra mais simples até a mais sofisticada (Inocente *et al.*, 2018).

Neste sentido, se faz necessário pensar em produtos eficientes, tanto no ponto de vista da qualidade e do desempenho quanto em relação ao seu design. Assim é apresentado como alternativa para as empresas do setor brasileiro e piauiense de cerâmica vermelha, o desenvolvimento de novos produtos, como o pavimento cerâmico adoquim, com o intuito de aumentar a diversidade de seus produtos, que são, principalmente, tijolos e telhas (Dias *et al.*, 2016).

O adoquim é um tipo de pavimento intertravado cerâmico de estilo não decorativo e apresenta características como aspecto rústico e a coloração natural dos produtos da indústria. O adoquim, que também pode ser chamado de paver cerâmico, apresenta característica pequena e com facilidade de manejo, com forma geométrica capaz de distribuir as diversas cargas a que forem impostas (Candido *et al.*, 2013).

Este produto pode ser utilizado tanto para pavimentação de estradas com diversos tipos de tráfego além de áreas de pedestres, jardins, calçadas e pátios. O mesmo possui diversas vantagens em relação aos seus concorrentes de mercado, a pavimentação de asfalto ou por peças de pré-moldadas de concreto – PPC, como por exemplo, durabilidade (30 anos), cores diversas e possibilidade de paginação, conforto térmico, facilidade de manutenção e instalação, economia e boa resistência. A argila é a matéria-prima para a produção dos diversos produtos de indústria de cerâmica vermelha, como é o caso do adoquim, que pode ser conformado por extrusão ou prensagem e posteriormente ocorre o processo de queima do mesmo (Saez, 2004; Malpesa, 2018).

O Brasil ainda não possui legislação própria para determinar os padrões tecnológicos de pavimentos cerâmicos como o adoquim, sabe-se que é bastante necessário que seja regulamentado, tendo em vista a sua possibilidade de expansão e desenvolvimento por parte das indústrias do país. Neste sentido, são utilizadas como referências algumas normas brasileiras (NBR 9781, NBR 13817, NBR 13818) voltadas para peças para pavimento de concreto e revestimento em placas de cerâmica para a utilização em alvenaria ou piso, embora não sejam voltadas para o pavimento cerâmico. Existem normas estrangeiras em países como Colômbia (NTC 3829 e NTC 5282), Estados Unidos (ASTM C902, ASTM C1272) e Espanha (UNE-EM 1344), que são utilizadas especificamente para o adoquim e servirão como referência para o produto gerado neste trabalho.

A argila é a principal fonte de matéria-prima da indústria cerâmica, como é o caso do adoquim, produziu-se no ano de 2017 um total de 63,6 bilhões de peças/ano de cerâmica e utilizou-se cerca de 140 milhões de toneladas de argila (Brasil, 2017). Neste sentido, tem crescido a demanda por minerais industriais, como a argila, causando uma diminuição da quantidade de matéria-prima e maior degradação ao meio ambiente. Assim, tem se buscado a incorporação de resíduos no processo produtivo a fim de minimizar este problema e ainda com possibilidade de buscar características específicas inerentes aos materiais economicamente viáveis disponíveis na região (Biff e Silva, 2016). Desta forma, materiais como o gesso de revestimento e granito podem ser incorporados à massa cerâmica para confecção de produtos cerâmicos, esta mistura pode melhorar a plasticidade, quando pode ser alta, e ainda contribuir para a secagem e empacotamento e resistência (Amaral *et al.*, 2019).

O granito é uma rocha de origem ígnea intrusiva com alto grau de dureza e coloração variada, pertence ao ramo de rochas ornamentais. No Brasil, a produção de rochas ornamentais tem bastante importância, chegando a 9,2 milhões de toneladas no ano de 2017; sendo que, deste total, 5,0 milhões de toneladas são apenas de granito (ABIROCHAS, 2018a). A gipsita é o mineral que se origina em bacias sedimentares e advém de uma rocha chamada gipso; a mesma possui característica compacta de baixa dureza, pouco solúvel em água e é a matéria-prima para o gesso. O estado de Pernambuco representa 97% do total de produção de gipsita no Brasil e no ano de 2017 extraiu-se cerca de 3,3 milhões de toneladas do mineral em todo o país (Brasil, 2018a; Brasil, 2018b). Deste total, 37% do mineral é encaminhado à indústria cimenteira, 52% é utilizado na construção civil, 9% empregado na indústria agrícola e 2% para outros fins; o gesso é classificado em dois tipos: alfa (α), que é mais caro e possui

aplicação mais nobres (medicina, odontologia) e o beta (β), que tem custo mais barato, é usado em construção civil e será o foco do trabalho (SINDUSGESSO, 2018).

Todo processo produtivo industrial, como o beneficiamento de gesso e granito, é caracterizado pela utilização de insumos que, submetidos a uma transformação, dão lugar a produtos e com eles, os resíduos. No beneficiamento do granito, estima-se uma perda de 20 a 25% do volume dos blocos, em que o principal resíduo gerado é de baixa granulometria, que, normalmente, é descartado pela indústria (Santos, Destefani e Holanda, 2013; ABIROCHAS, 2016). As principais fontes de resíduos de gesso na construção civil são as chapas de gesso acartonado (8%), atividades de revestimento (88%) e os componentes pré-moldados (4%), gerando, apenas na construção civil, um montante total de resíduos de gesso de 1,51 milhões de toneladas (SINDUSGESSO, 2018; Teske, Gonçalves e Nagalli, 2015; Santos *et al.*, 2014). A disposição final destes resíduos (gesso e granito) tem acarretado sérios problemas ambientais já que muitas vezes não há tratamento adequado, ocorrendo contaminação do solo e subsolo e assoreamento de córregos e rios. Nesta perspectiva é necessário buscar maneiras de reciclar esses resíduos a fim de diminuir os impactos à natureza (Andrade *et al.*, 2006).

Atualmente as indústrias têm buscado formas de minimizar os resíduos gerados, assim como encontrar meios de reutilizá-los de maneira adequada, principalmente devido às novas leis ambientais em vigor. A possibilidade de incorporação de rejeitos em produtos da indústria cerâmica, como o paver cerâmico (adoquim), é uma forma de tratamento para os resíduos industriais, reduzindo o volume de matéria-prima e imobilizando os mesmos a fim de evitar o impacto negativo ao meio ambiente. A indústria de cerâmica vermelha tem apresentado interesse em desenvolver materiais novos com a incorporação de resíduos, podendo apresentar propriedades tecnológicas melhores e assim buscar o desenvolvimento de novas tecnologias viáveis para a reutilização desses rejeitos (Silva *et al.*, 2017; Areias *et al.*, 2017).

Diversos autores têm confirmado que a incorporação de resíduos de gesso e granito para produção de diversos produtos da indústria cerâmica (tijolos, telhas, adoquim, estrutural, entre outros) é viável e apresenta resultados de acordo com as normas técnicas vigentes (Carreiro *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2015; Alexandre *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2012; Acchar *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2009; Segadães *et al.*, 2006; Testolin *et al.*, 2012; Camarini *et al.*, 2015; Geraldo *et al.*, 2018).

Neste sentido a pesquisa teve por objetivo incorporar resíduos de gesso e granito em massa utilizada para produção de adoquim cerâmico. O artigo busca apresentar uma

formulação inédita na literatura, utilizando dois tipos de resíduos diferentes (gesso e granito) com potencial para diminuição do uso de matérias primas naturais como a argila, proporcionar uma destinação adequada para os resíduos, contribuindo-se assim para a reciclagem e qualidade ambiental. O trabalho também buscou desenvolver um produto novo (adoquim) que possa ser utilizado pelo mercado consumidor, com melhoramento ou manutenção de características e sustentabilidade do setor cerâmico.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A argila utilizada no trabalho é proveniente de jazida localizada na região central do Piauí mais precisamente no município de Oeiras (7° 5' 3,990" S e 42° 8' 51,737" O), o resíduo de granito foi obtido em empresa que faz o beneficiamento final do granito, já o gesso foi em descarte de obra em fase de revestimento de paredes, ambos localizados também na cidade de Oeiras – Piauí.

A argila foi seca em uma estufa a temperatura de 110 °C, em seguida submetida ao processo de moagem realizado por moinho de martelo, para proporcionar redução da granulometria e os resíduos foram obtidos em forma de pó. Em seguida o material foi passado na peneira ASTM 200 (0,075 mm) para a caracterização e também para as análises de propriedades tecnológicas.

As matérias-primas foram caracterizadas pelas seguintes técnicas: análise granulométrica - AG (agitador de peneiras elétrico - ABNT NBR 7181 (ABNT, 1984c). [31]), análise química por fluorescência de raios X – FRX (Epsilon-XL da PANalytical), análise termogravimétrica - TG e análise térmica diferencial – DTA (SDT-Q600 de marca TA Instruments - Faixa de temperatura: ambiente a 1200 °C; Taxa de aquecimento: 10 °C/min; Atmosfera: Ar; Vazão do gás: 50 mL/min), difração de raios X – DRX (XRD-6000 – SHIMADZU) e índice de plasticidade (limite de liquidez - ABNT NBR 6459 (ABNT, 1984a) e limite de plasticidade ABNT NBR 7180 (ABNT, 1984b).

A Tabela 10 apresenta as três formulações, em peso, contendo a argila e os resíduos de gesso e granito, elaboradas para o estudo após a etapa de caracterização. A formulação C0 apresenta apenas a argila, sendo a massa padrão e as formulações C1 e C2 apresentam quantidades iguais de gesso e granito na proporção de 5% e 10%, respectivamente.

Tabela 10: Formulações estudadas.

Composição	Matérias-primas (% em peso)		
	Argila	Gesso	Granito
C0	100	0	0
C1	90	5	5
C2	80	10	10

Fonte: Autoria Própria (2018).

Para a confecção de corpos de prova, as formulações foram preparadas com teor de 7% de umidade (umidade utilizada pela indústria), prensadas a 30 MPa. Foram confeccionados 50 corpos de prova (tamanho - 10,0 cm x 1,5 cm x 1,5 cm) para o trabalho. Em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa a 110 °C por 24 h e submetidos a tratamento térmico (queima) a 900 °C, 1000 °C e 1100 °C a uma taxa de aquecimento 5 °C/min, com permanência de 60 minutos.

Após a queima, foram realizados ensaios tecnológicos nos corpos de prova a fim de determinar as propriedades: porosidade aparente (PA), absorção de água (AA), retração linear de queima (RLQ), resistência à compressão uniaxial (RC), microscopia eletrônica de varredura (MEV – realizado nas amostras sinterizadas a 1000 °C) e análise macroestrutural. Também foi realizada a caracterização por difração de raios X (DRX) das amostras queimadas após os ensaios. Além dessas análises foram verificados também o índice de abrasão (IA) – NTC 3829 (NTC, 2002) e ASTM C902 (ASTM, 2015) e resistência à abrasão (RA) – ABNT NBR 9781 (ABNT, 1987).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 11 apresenta a composição química da amostra de argila e dos resíduos de gesso e granito. A argila é constituída basicamente de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, com predominância significativa da SiO₂ que está associada ao quartzo e à caulinita em combinação com a Al₂O₃. Também apresentou teor de 9,25% de Fe₂O₃, cuja presença é responsável pela coloração vermelha da peça cerâmica queimada e 1,75% de K₂O que é um componente fundente essencial para fabricação de cerâmica de baixa porosidade, ajudando na sinterização das peças cerâmicas (Candido *et al.*, 2013; Soares, 2014). A perda ao fogo é da ordem de 11,83% e está associada principalmente a reações químicas (desidroxilação da caulinita) e decomposição de matéria orgânica presente (Dutra *et al.*, 2015).

A composição do granito apresentou como constituintes básicos, os óxidos SiO₂, Al₂O₃ e óxidos fundentes, típico de rochas magmáticas ornamentais. A quantidade do óxido

fundente Na_2O é da ordem de 4,15%, e K_2O é da ordem de 2,32%, óxidos importantes nas formulações de massas argilosas, pois atuam como agentes fundentes ajudando na sinterização das peças cerâmicas. Os óxidos alcalinos são provenientes principalmente dos feldspatos e mica presentes no resíduo de granito (Chinelatto *et al.*, 2015). As presenças de Fe_2O_3 e CaO estão provavelmente relacionadas aos constituintes do próprio resíduo, assim como no processo de serragem de granito se utiliza granalha, água e cal para facilitar o corte e resfriar a lâmina. A perda ao fogo (1,03%) do resíduo de granito é baixa, dentro da faixa para rochas ornamentais, uma alta perda ao fogo provoca retração e aumento de porosidade durante o processo de queima (Amaral *et al.*, 2019). O resíduo de gesso apresenta teor de CaO em torno de 56,06% e SO_3 em torno de 33,47% apresentando na composição grande quantidade de fundentes. Os óxidos fundentes como CaO e SO_3 são importantes para a sinterização dos produtos cerâmicos na queima (Soares *et al.*, 2014). A perda ao fogo é da ordem de 8,3% e está associada principalmente à perda da água de cristalização que o gesso sofre durante a sua decomposição térmica com formação de anidrita I (CaSO_4).

Tabela 11: Composição química (% em peso).

Amostra	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	SO_3	CaO	Outros	PF*
Argila	48,14	26,00	9,25	-	1,75	0,51	0,27	2,25	11,83
Granito	65,62	15,05	5,01	4,15	2,32	1,10	3,97	1,75	1,03
Gesso	-	-	0,34	-	-	33,47	56,06	1,83	8,3

PF* – Perda ao Fogo Out** - Outros

Fonte: Autoria Própria (2018).

A Tabela 12 e Figura 43 apresentam a distribuição granulométrica da amostra de argila, gesso e granito. Foi utilizada como referência a classificação da *International Society of Soil Science* (Barnes, 2016). A fração areia é representada pela porcentagem do material que possui dimensão superior a 20 μm (0,02 mm), a fração silte representada pela porcentagem entre 2 μm e 20 μm e a fração argila o material com granulometria menor do que 2 μm . A fração argila (menor que 2 μm) corresponde à fração que confere plasticidade necessária para conformar os produtos. Na amostra de argila este valor é alto e tem importância também na resistência do material final após a queima (Maestrelli *et al.*, 2013).

Também se pode verificar que a argila e os resíduos (gesso e granito) são distintos do ponto de vista granulométrico, assim o comportamento da massa padrão (argila) é modificado com a adição dos resíduos. Isto se deve a granulometria mais grosseira dos resíduos que apresenta elevado teor da fração areia. Já a massa padrão argilosa apresenta elevado conteúdo de partículas com tamanhos inferiores e está fundamentalmente relacionada

com a presença de argilominerais, já o resíduo apresenta elevado conteúdo da fração silte-areia, podendo, assim aumentar o empacotamento na conformação dos corpos de prova, conferindo ao material uma maior densidade e resistência.

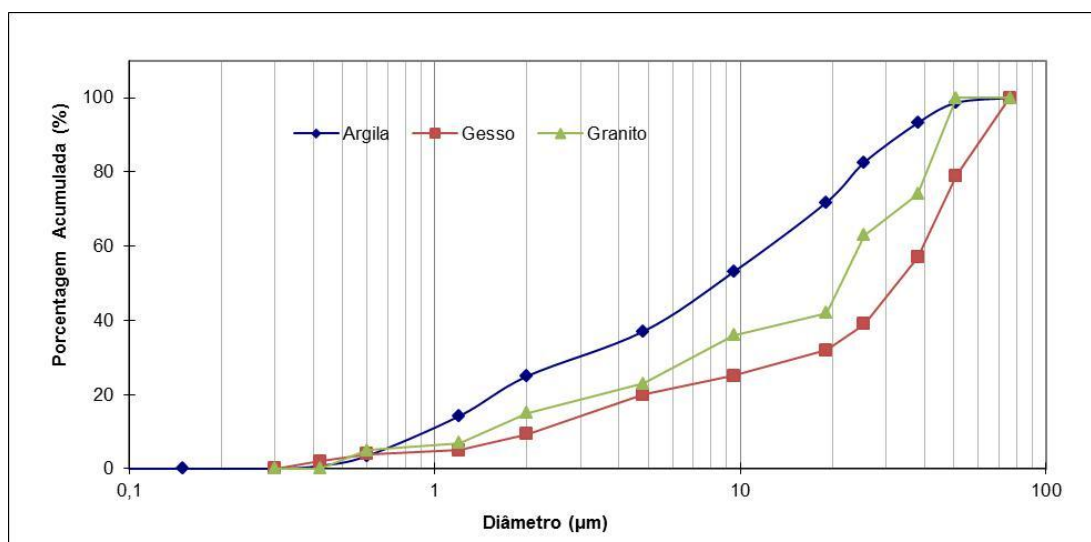
Este resultado pode trazer benefício para a retração linear de queima dos produtos cerâmicos podendo diminuir possíveis fissuras e danos nos materiais, diminuindo a retração, colaborando para a qualidade dos mesmos.

Tabela 12: Composição granulométrica.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
	v% ≤ 2 μm	2 μm < v% ≤ 20 μm	v% > 20 μm
Argila	23,5	52,4	24,1
Granito	15,4	26,6	58,0
Gesso	9,3	23,2	67,5

Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 43: Distribuição granulométrica.



Fonte: Autoria Própria (2018).

O Índice de Plasticidade (IP) da amostra de argila também foi calculado e está apresentado na Tabela 13. O valor obtido para o índice de plasticidade da argila foi de 20,11%. Este valor a classifica como material altamente plástico, porque o valor está acima de 15% (índice de plasticidade até 7% - fracamente plástico, entre 7% e 15% - medianamente plástico e maior que 15% - altamente plástico) (Maestrelli *et al.*, 2013). A diferença entre as porcentagens obtidas no índice de plasticidade e a classificação está ligada à distribuição granulométrica que foi mostrada anteriormente, assim há boa quantidade da fração argila (caso da amostra apresentada) e proporciona maior resistência mecânica dos produtos (Oliveira *et al.*, 2017). Também deve ser considerado que uma plasticidade alta pode

dificultar o processamento/conformação da argila, assim pode se fazer necessário incorporar alguma argila com baixa plasticidade ou materiais desplastificantes como os resíduos de granito e gesso, a fim de reduzir a plasticidade (Vieira *et al.*, 2007).

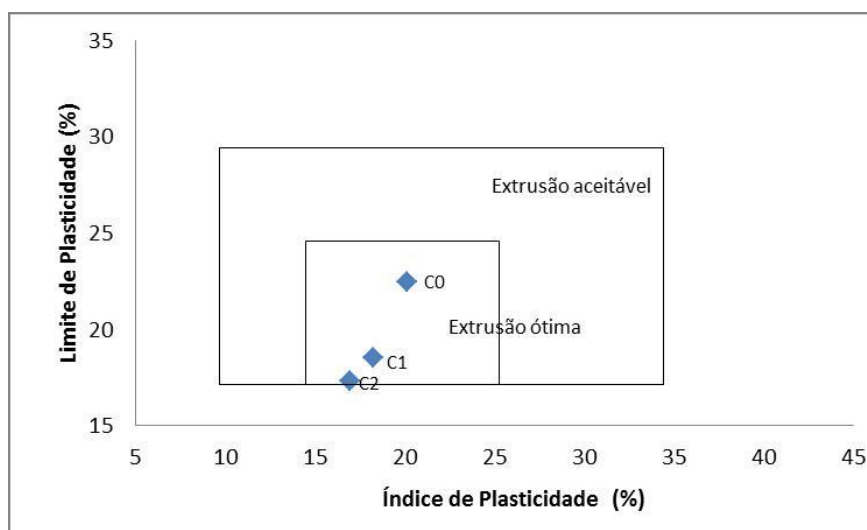
Tabela 13: Índice de Plasticidade das amostras.

Amostra	Limite de Liquidez (LL)	Limite de Plasticidade (LP)	Índice de Plasticidade (IP)
	%	%	%
Argila – C0	42,56	22,45	20,11
C1	39,03	19,21	19,82
C2	36,45	18,32	18,13

Fonte: Autoria Própria (2018).

A Figura 44 apresenta o prognóstico de extrusão das formulações através dos limites de liquidez e plasticidade (limites de Atterberg) e aponta que todas as formulações estão dentro da região que compreende uma extrusão ótima mesmo após a incorporação dos resíduos (Candido *et al.*, 2013; Vieira e Emiliano, 2013). Neste sentido é importante pontuar que a incorporação de resíduo não alterou a característica de extrusão das amostras, assim pode executar os mesmos padrões de maquinário e método já utilizado para a massa cerâmica na indústria.

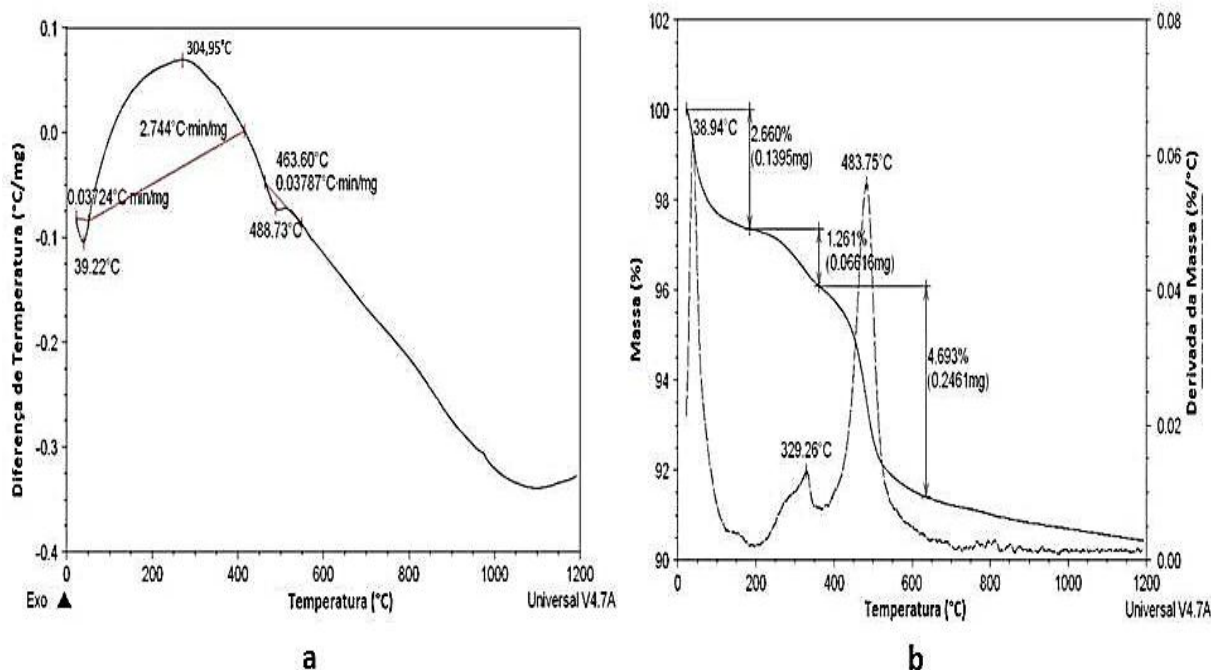
Figura 44: Prognóstico de extrusão.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 45 apresenta os resultados para a Análise Termodiferencial (DTA) e Análise Termogravimétrica (TG) realizada na argila.

Figura 45: Análises Térmicas para a Argila: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.

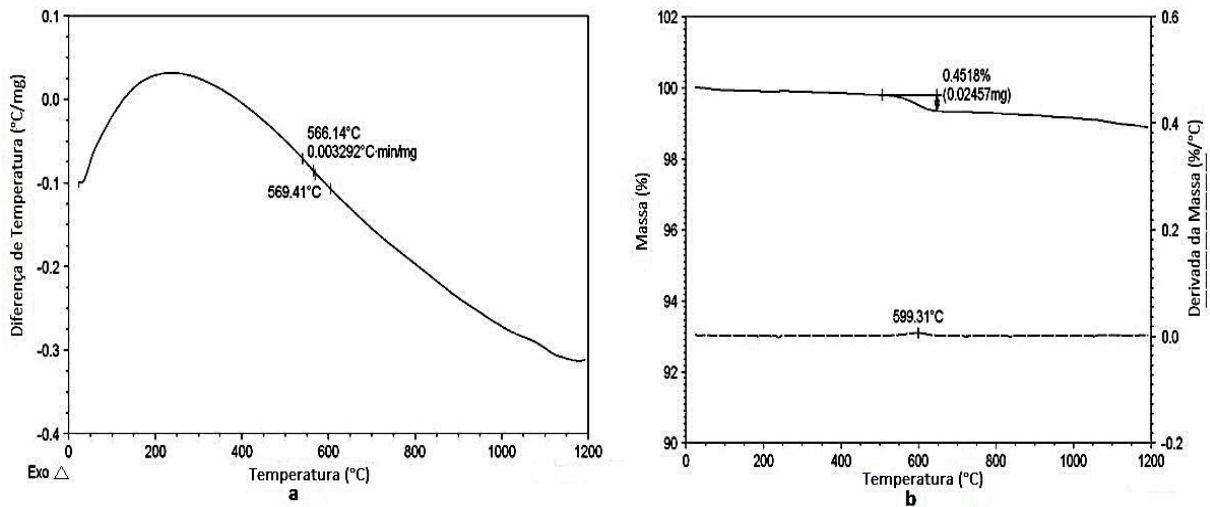


Fonte: CTGAS (2018).

A análise de DTA da argila apresentou três eventos principais, em que o primeiro evento foi endotérmico, com máximo de 39,22 °C, o segundo, exotérmico a uma temperatura de 304,95 °C e o terceiro evento, endotérmico, com máximo de 488,73 °C. Na Análise Termogravimétrica da argila, é possível observar a ocorrência de três eventos, onde o primeiro evento caracteriza a liberação de água livre em torno de 39 °C (2,66%), o segundo evento mostra a combustão de matéria orgânica com a perda de massa de 1,26% com máximo em torno de 329,26 °C, já no terceiro evento, referente à liberação de hidroxila da estrutura dos argilominerais, com perda da massa de 4,69%, a temperatura de 483,75 °C, apresentando perda de massa total da ordem de 8,61%, corroborando com os valores encontrados na perda ao fogo apresentado anteriormente.

A Figura 46 apresenta os resultados da Análise Termodiferencial (DTA) e Análise Termogravimétrica (TG) realizada no granito. Na análise Termodiferencial do Granito, é possível observar a ocorrência de apenas um evento endotérmico, a uma temperatura de 569,41 °C, indicando transformação do quartzo alfa para quartzo beta. Na Análise Termogravimétrica é possível observar a ocorrência de um único evento, com pequena perda de massa de 0,45%, com máximo em torno de 599,31 °C.

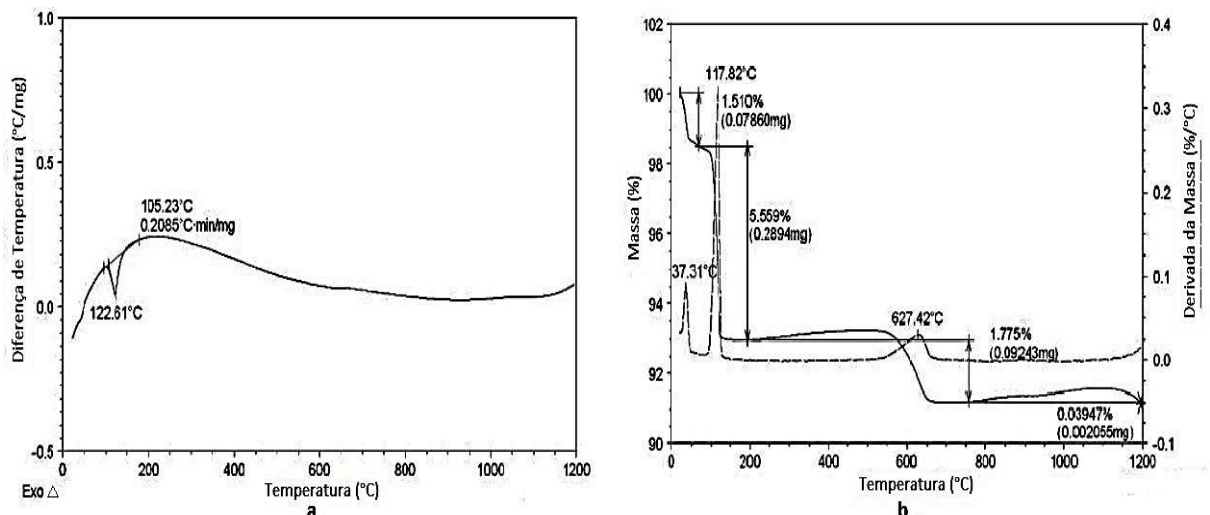
Figura 46: Análises Térmicas para o Granito: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.



Fonte: CTGAS (2018).

A Figura 47 apresenta a análise térmica da amostra de gesso. Na Análise Termogravimétrica do gesso, pode-se verificar dois picos endotérmicos de temperaturas, uma 37,31 °C e outro a 130 °C que corresponde à liberação de água livre e estrutural, respectivamente, e formação de bassanita (hemidrato), em seguida com aumentando-se a temperatura tornando-se insolúvel (CaSO₄ sulfato de cálcio – anidro, insolúvel). No pico a 627 °C ocorre à decomposição do carbonato (impureza) presente no material. A perda de massa pode ser confirmada pela Análise Termogravimétrica do gesso apresentando-se dois eventos endotérmicos principais, um na perda de água livre e estrutural (7,07%) e outro na liberação, na decomposição, dos carbonatos (1,77%) do material. Apresentando perda de massa total da ordem de 8,24%, como apresentado na análise química.

Figura 47: Análises Térmicas para o Gesso: (a) Termodiferencial, (b) Termogravimétrica.



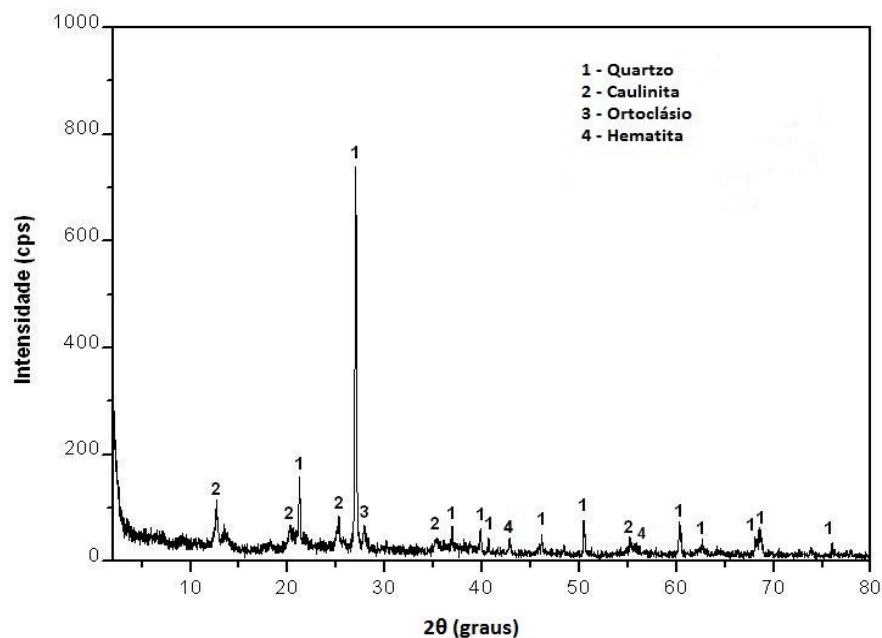
Fonte: CTGAS (2018).

O difratograma de raios X da amostra de argila é apresentado na Figura 48. Verificam-se picos de difração das fases cristalinas referentes à Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Quartzo (SiO_2), Ortoclásio (KAlSi_3O_8) e Hematita (Fe_2O_3) corroborando com os resultados da composição química pela presença dos óxidos: silício, alumínio, potássio e ferro.

O quartzo atua como mineral predominante, e na queima atua como fase inerte e não plástica, podendo ainda apresentar uma parte dissolvida na fase líquida formada. A caulinita é responsável pelo desenvolvimento da plasticidade em mistura com água e ainda apresenta comportamento refratário de queima.

A caulinita é o principal argilomineral componente das argilas, sendo responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos. Já a hematita é responsável pela coloração avermelhada do produto cerâmico queimado, detectada na análise mineralógica (Soares *et al.*, 2014). O ortoclásio ou feldspato potássico é a principal matéria-prima empregada como fundente e com isso é de grande proveito em massas cerâmicas (Lira e Neves, 2013).

Figura 48: Difratograma de raios X da amostra de argila.

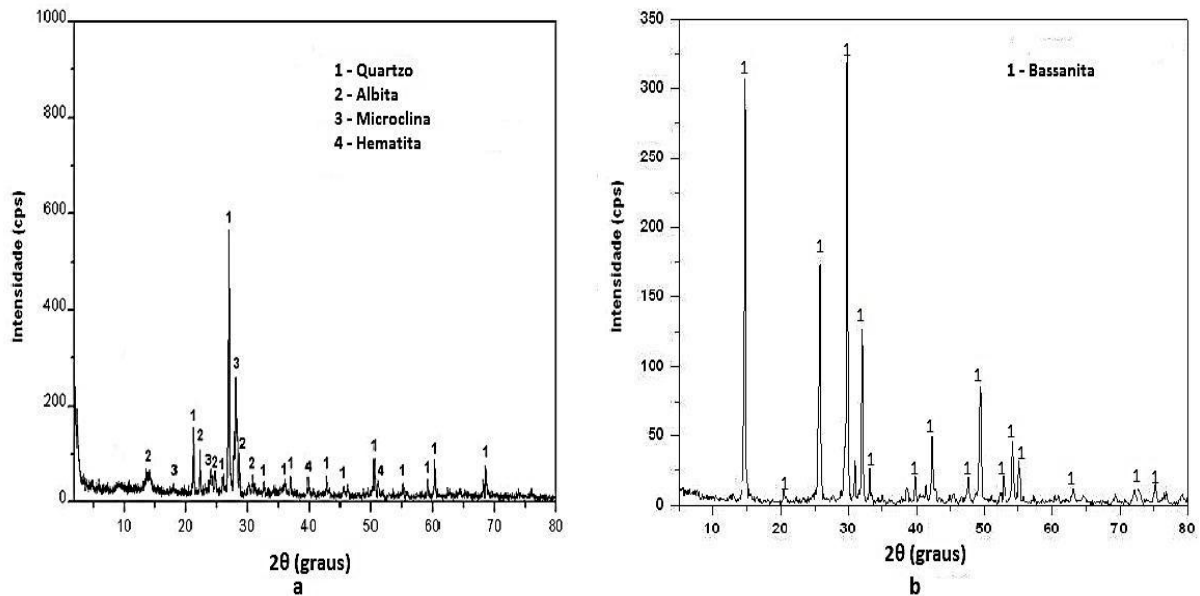


Fonte: CTGAS (2018).

A Figura 49 apresentam os difratogramas de raios x dos resíduos de gesso e granito. O difratograma do granito (Figura 7a) mostra picos de difração das fases cristalinas referentes ao quartzo (SiO_2), microclina (KAlSi_3O_8), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e indícios de

presença de hematita (Fe_2O_3), confirmado também pela análise química (FRX) pela presença dos óxidos de silício, sódio, magnésio, cálcio, alumínio e ferro, respectivamente.

Figura 49: Difratoograma de raios X dos resíduos: (a) – Granito, (b) – Gesso.



Fonte: CTGAS (2018).

A albita e a microclina são feldspatos, desempenham a função de fundentes, sendo, portanto, os componentes formadores de fase vítrea em corpos cerâmicos e esmaltes, auxiliando no fechamento da porosidade entre as partículas, conferindo aumento da densidade relativa do material sinterizado (Santos *et al.*, 2016).

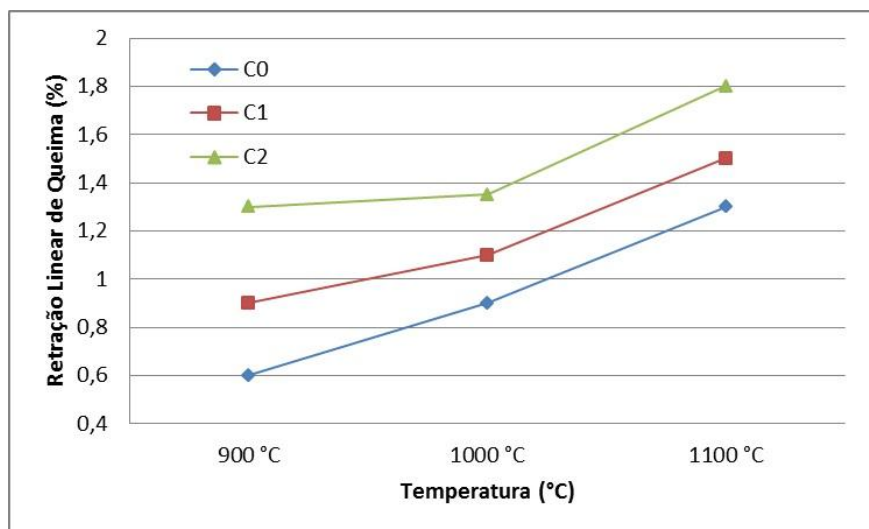
O difratograma da Figura 7b obtido para o gesso apresenta principalmente o sulfato de cálcio hemidratado (fase mineralógica bassanita - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). O resultado é característico do gesso usado em construção civil e confirma o que foi apresentado na análise química (óxidos CaO e SO_3) (Barbosa, Ferraz e Santos, 2014).

Os resultados dos ensaios tecnológicos das formulações nas temperaturas de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C são apresentados nas Figuras 50 a 55. A Figura 50 apresenta os resultados para a retração linear de queima, pode-se notar que a retração linear aumenta com o aumento da temperatura.

Este comportamento é atribuído ao fechamento da porosidade, que possibilita a densificação das peças acompanhada de retração, confirmando o que foi apresentado na composição química; a presença de óxidos fundentes presentes, tanto no gesso quanto no granito, contribuem para a ocorrência deste fenômeno, formando fase líquida e com isso

ocorre o fechamento de parte dos vazios no produto cerâmico, modificando outras propriedades tecnológicas como a porosidade, resistência e absorção de água.

Figura 50: Retração linear de queima das formulações avaliadas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 51 aponta os valores obtidos para absorção de água após a queima das formulações e massa padrão para as temperaturas. Pode-se notar que o teor de absorção de água diminui com o aumento da temperatura. As normas ASTM C1272 (ASTM, 2017) e NTC 5282 (NTC, 2004) regulamentam que os adoquins devem ter valor de absorção de água máximo de 6% para utilização em sistemas de implantação rígidos e flexíveis, assim apenas a amostra C0 (massa padrão) queimada a 1100 °C apresentou-se dentro dos valores da norma.

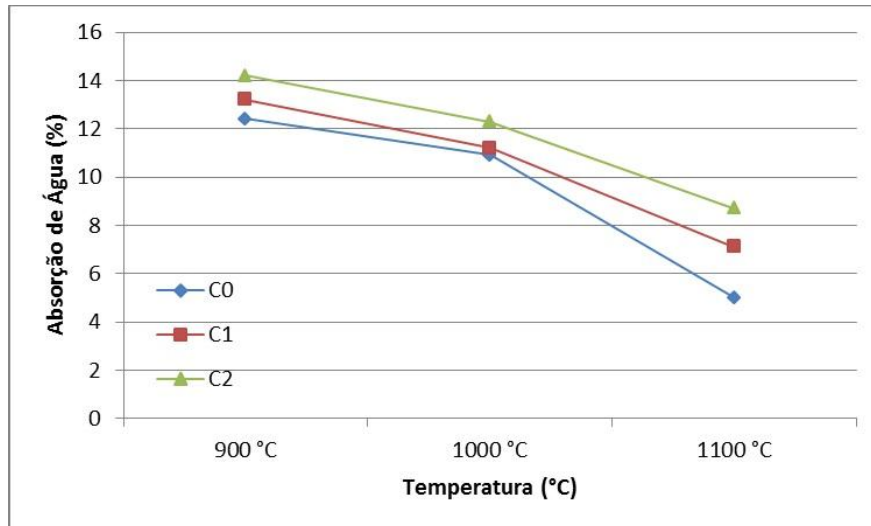
Já as normas ASTM C902 (ASTM, 2015) e NTC 3829 (NTC, 2002) regulamentam que os adoquins devem apresentar o valor máximo de 14% para ser utilizado em uso exterior e não expostos a temperaturas frias, para uso interno não há limite de valor. Assim, fica claro que as formulações estão em conformidade com as normas para todas as temperaturas de queima, exceto a amostra C2 queimada a 900 °C que pode ser usada apenas para uso interno.

Observa-se que as formulações apresentam menores valores de absorção de água à temperatura de 1100 °C, principalmente pela presença dos seus fundentes que preencheram parte dos poros presentes no material na queima, e ainda a ocorrência da retração em todas as amostras.

Pode-se notar que a amostra C0 apresentou os menores valores de absorção, enquanto as formulações apresentaram valores maiores, isso pode ser explicado pela presença

do gesso na formulação onde, este, queimado a altas temperaturas, provoca liberação de gás proveniente da decomposição parcial do sulfato de cálcio formado da reação do gesso, assim apresenta uma variação menor da porosidade em relação à massa padrão (Senes e Lindino, 2017).

Figura 51: Absorção de Água das formulações avaliadas.

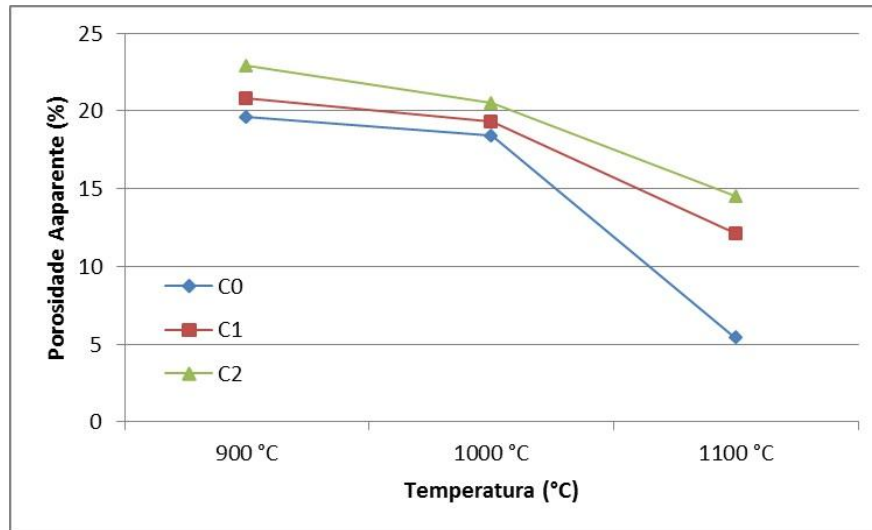


Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 52 apresenta a porosidade aparente das amostras queimadas para as temperaturas propostas. O resultado mostra uma diminuição da porosidade com o acréscimo da temperatura, onde à temperatura de 1100 °C a redução foi mais significativa, mostrando um comportamento semelhante ao obtido na absorção de água mostrado anteriormente.

Este fenômeno pode ser explicado pelo processo térmico (queima) ocorrido, onde o material fundente da composição pode ter promovido a formação de fase líquida. Isto tende a preencher os espaços vazios entre o material do corpo de prova, reduzindo a porosidade do corpo cerâmico (Soares *et al.*, 2014). É possível observar também, como foram mostradas anteriormente, as formulações não apresentaram uma diminuição tão grande em relação à massa padrão devido à dissociação de parte do sulfato de cálcio presente no gesso queimado a alta temperatura.

Figura 52: Porosidade Aparente das formulações avaliadas.



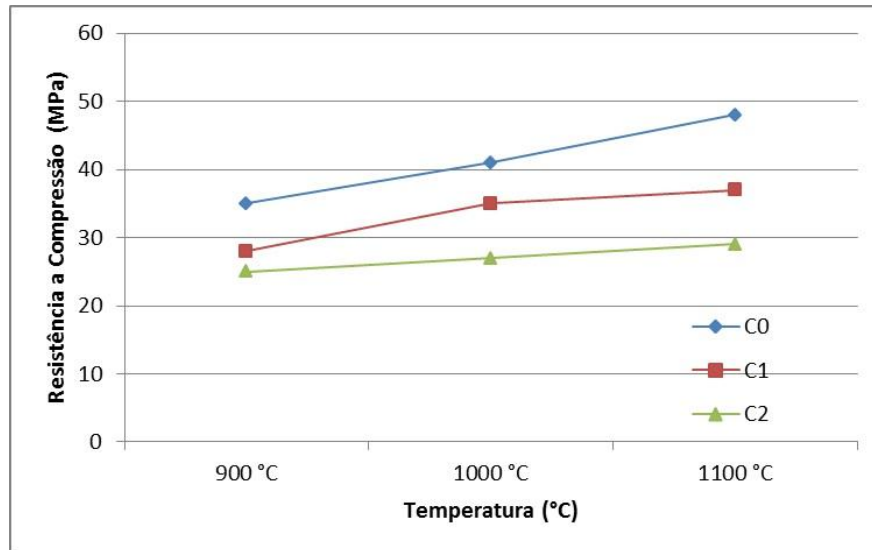
Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 53 apresenta o resultado para a resistência à compressão uniaxial após a queima (900 °C, 1000 °C e 1100 °C) dos corpos de prova. Também foi analisado um lote de peças de concreto para pavimentação (PPC) fabricado em Teresina-PI para efeito de comparação de valores. Pode-se notar que a resistência à compressão aumenta com o aumento da temperatura, ou seja, aumenta a resistência dos corpos de prova.

A Norma NBR 9781 (ABNT, 2013) regulamenta as especificações de resistência para peças de concreto para pavimento, sendo este o concorrente principal do pavimento cerâmico adoquim. Esta norma dispõe que a resistência mínima para utilização em pavimento para tráfego de pessoas ou veículos leves é de 35 MPa, assim a amostra C0 apresenta possibilidade de utilização em todas as temperaturas, a amostra C1 poderia ser usada apenas nas temperaturas 1000 °C e 1100 °C e a amostra C2 não correspondeu a este requisito. As amostras de PPC apresentaram, em sua maioria, resultados abaixo do especificado em norma com média de 30 MPa, também fora do padrão da norma, mesmo que na prática ainda serão utilizados em parques e praças por exemplo.

Já as normas ASTM C902 (ASTM, 2015) regulamenta que os adoquins devem apresentar o valor mínimo de 20,7 MPa para ser utilizado em uso interior e exterior não exposto a baixa temperatura, neste sentido todas as amostras estão dentro destas especificações.

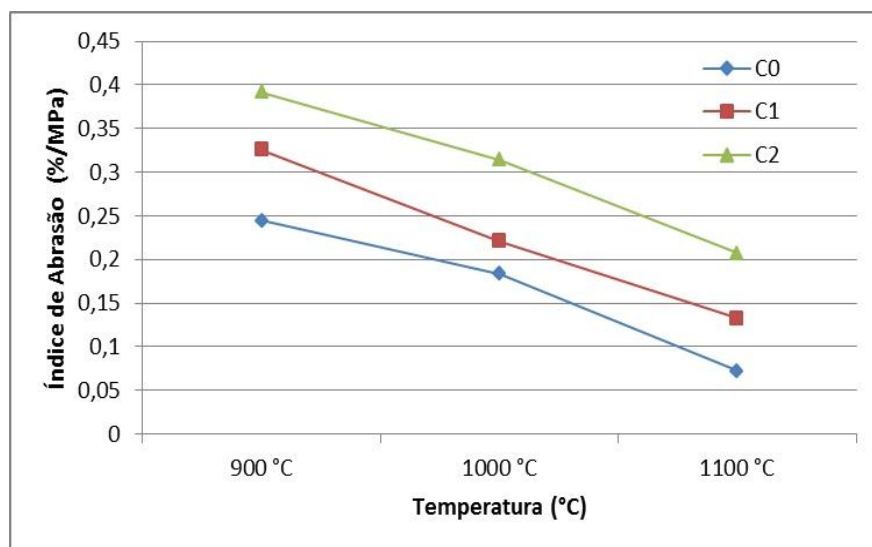
Figura 53: Resistência à compressão uniaxial das formulações avaliadas.



Fonte: Autorial Própria (2019).

A Figura 54 aponta os resultados do índice de abrasão (IA) de acordo com as Normas NTC 5282 (NTC, 2004) e NTC 3829 (NTC, 2002) que analisam matematicamente o resultado desta propriedade a partir da absorção de água e resistência a compressão. Segundo as normas colombianas, todas as amostras poderiam ser utilizadas para interiores ($IA < 0,50$); para uso externo ($IA < 0,25$) apenas as amostras C0 para todas as temperaturas, amostra C1 queimada a 1000 °C e 1100 °C e amostra C2 queimada a 1100 °C; e para uso em pavimento rígido ou flexível de estradas ($IA < 0,11$) apenas as amostras C0 e C1 queimadas a 1100 °C.

Figura 54: Índice de abrasão das formulações avaliadas.



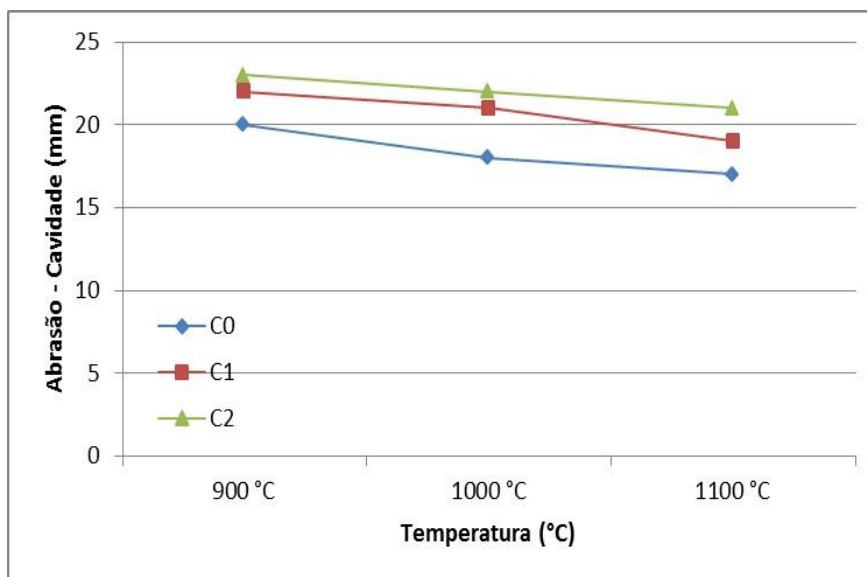
Fonte: Autorial Própria (2019).

A Figura 55 apresenta os resultados de resistência à abrasão (RA) de acordo com a Norma NBR 9781 (ABNT, 2013), embora seja facultativa para peças de concreto para pavimentação.

Os resultados apontaram que todas as amostras podem ser utilizadas em locais de tráfego de pedestres e veículos leves ($RA \leq 23$), e que as amostras C0 em todas as temperaturas e C1 queimada a 1100 °C podem ser aplicadas em local com tráfego mais pesado ($RA \leq 20$). Isso confirma os resultados obtidos no índice de abrasão. Este indicador tem grande importância para apontar a durabilidade do material.

A partir das análises tecnológicas já apresentadas e dos resultados encontrados, se confirma a viabilidade e possibilidade de utilização das formulações para o pavimento cerâmico adoquim com incorporação de rejeitos industriais, apresentando resultados plausíveis, de acordo com normas estrangeiras específicas para o produto em determinados ambientes apresentados.

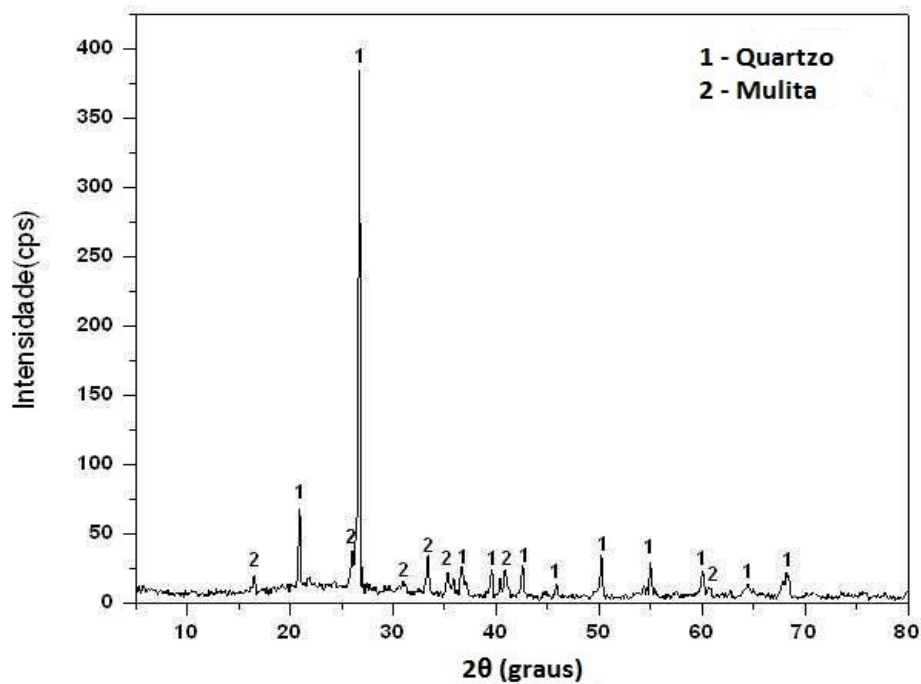
Figura 55: Resistência à abrasão das formulações avaliadas – cavidade.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 56 apresenta o difratograma da massa padrão queimada na temperatura de 1000 °C. De acordo com o difratograma, pode-se verificar que os picos apresentam as seguintes fases cristalinas: quartzo e mulita.

Figura 56: Difratograma de raios X para a formulação C0 queimada a 1000 °C.

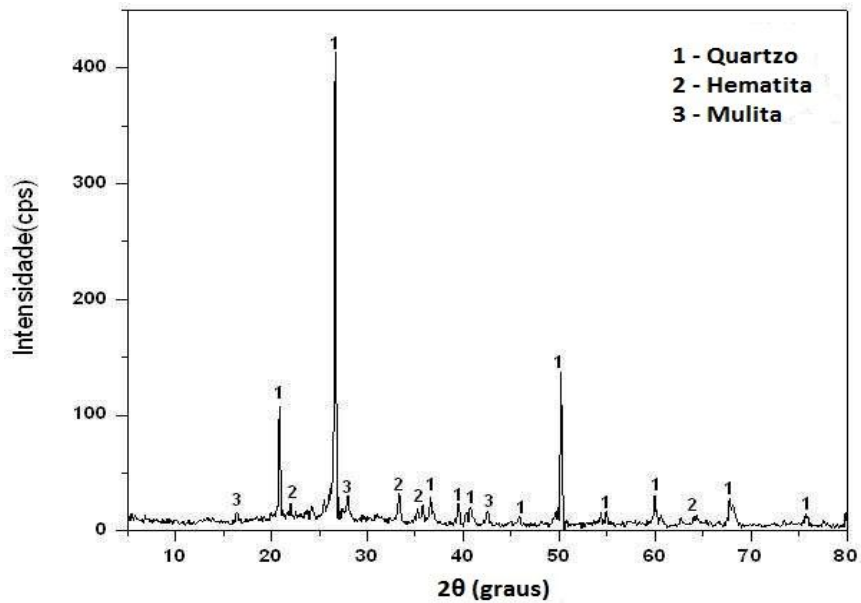


Fonte: Autoria Própria (2019).

O quartzo é matéria-prima do seu estado natural. A mulita primária, que ocorre inicialmente a 1000 °C, é proveniente da decomposição da metacaulinita, fase amorfa formada a partir da eliminação de água estrutural da caulinita. A importância da mulita em cerâmicas tradicionais e avançadas pode ser explicada pelas propriedades do material: baixa densidade, alta estabilidade térmica, estabilidade em ambientes químicos severos, baixa condutividade térmica, boa resistência mecânica e à fluência. A mais importante característica da mulita e cerâmicas de mulita é sua baixa expansão térmica, que explica a sua estabilidade dimensional em altas temperaturas e a excelente resistência ao choque térmico (Santos *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2019).

A Figura 57 apresenta o difratograma da formulação C1 queimada na temperatura de 1000 °C, os picos predominantes foram de quartzo, mulita primária e ferro. É possível analisar que este difratograma apresentou as mesmas fases cristalinas que o da massa padrão (quartzo e mulita) e também a presença de ferro (hematita), como foi apresentado também na composição química, e indica a alteração da cor avermelhada, característica dos produtos de cerâmica vermelha.

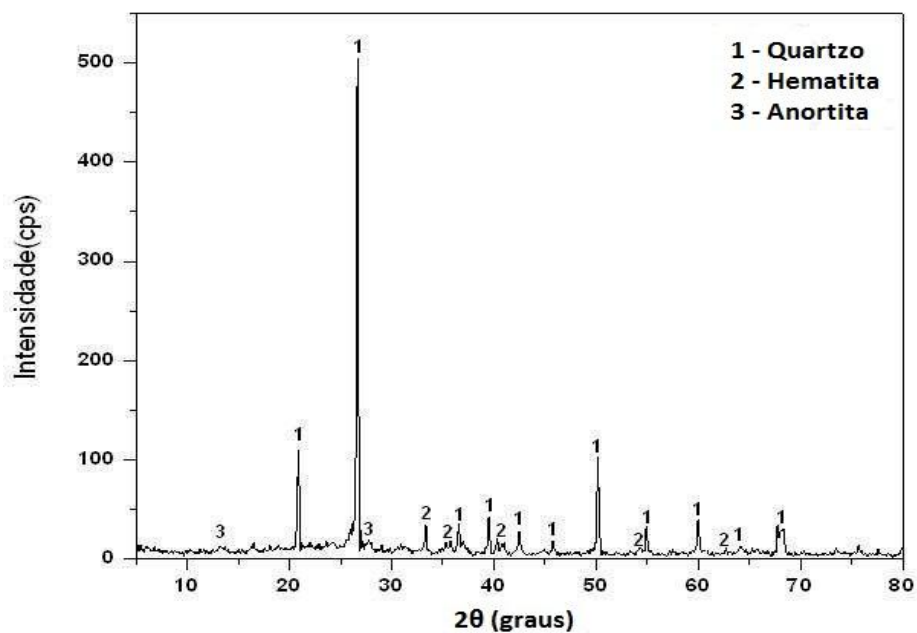
Figura 57: Difratograma de raios X para a formulação C1 queimada a 1000 °C.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 58 apresenta o difratograma da formulação C2 queimada na temperatura de 1000 °C. Os picos predominantes foram de quartzo, ferro e anortita. A presença de anortita está relacionada à presença de óxido de Cálcio (CaO) no gesso, proveniente da decomposição parcial do sulfato de cálcio. Esta fase cristalina pode ser o responsável pela resistência do material, mesmo com maior porosidade, como foi confirmado na porosidade aparente e resistência a compressão (Frades-de-la-Noval *et al.*, 2016).

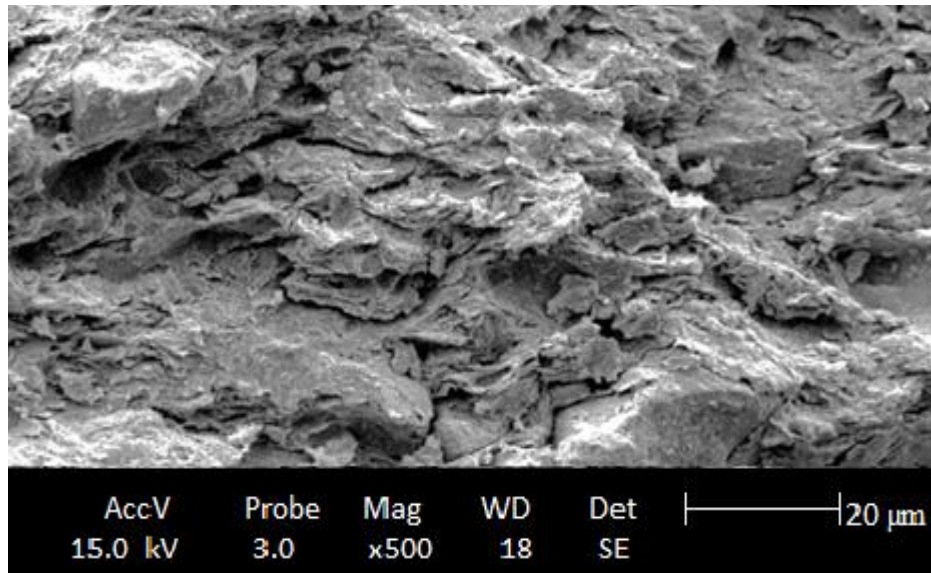
Figura 58: Difratograma de raios X para a formulação C2 queimada a 1000 °C.



Fonte: Autoria Própria (2019).

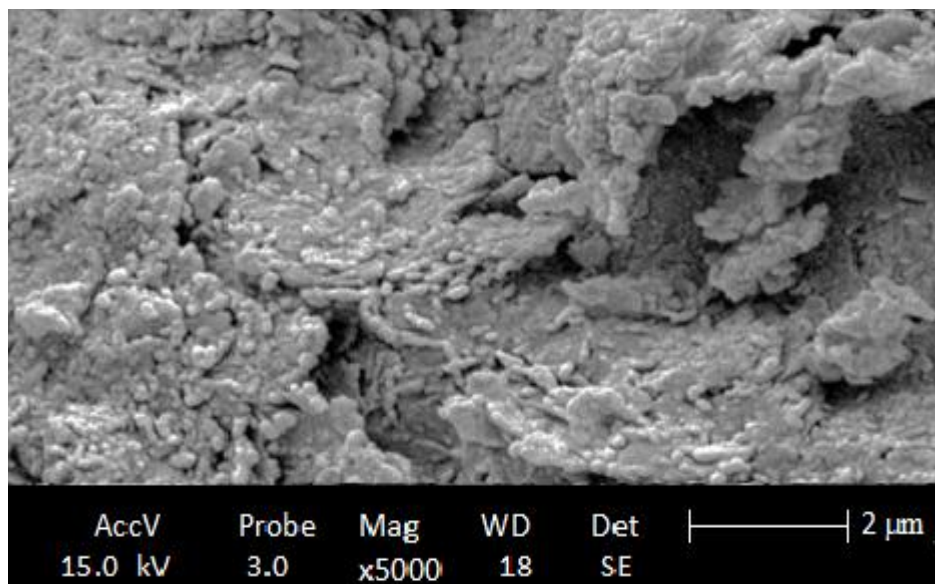
As Figuras 59 e 60 apresentam as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da massa padrão queimada a 1000 °C, com aumento de 500x e 5000x, respectivamente.

Figura 59: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 500x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 60: Micrografia por MEV da formulação C0 queimada a 1000 °C, 5000x.



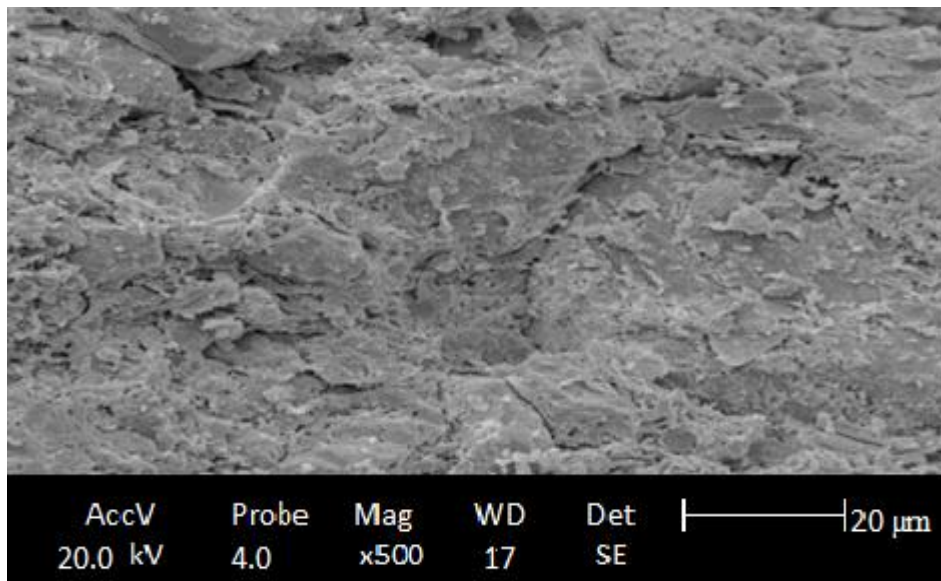
Fonte: Autoria Própria (2019).

As Figuras 61 e 62 mostram uma microestrutura homogênea, com alta compactação e densificação. Este resultado corrobora com os outros obtidos anteriormente:

presença de mulita, óxidos fundentes, alta plasticidade, baixa porosidade, alta resistência, entre outros. Isto é possível pelo preenchimento de grande parte dos poros, formando apenas microporos.

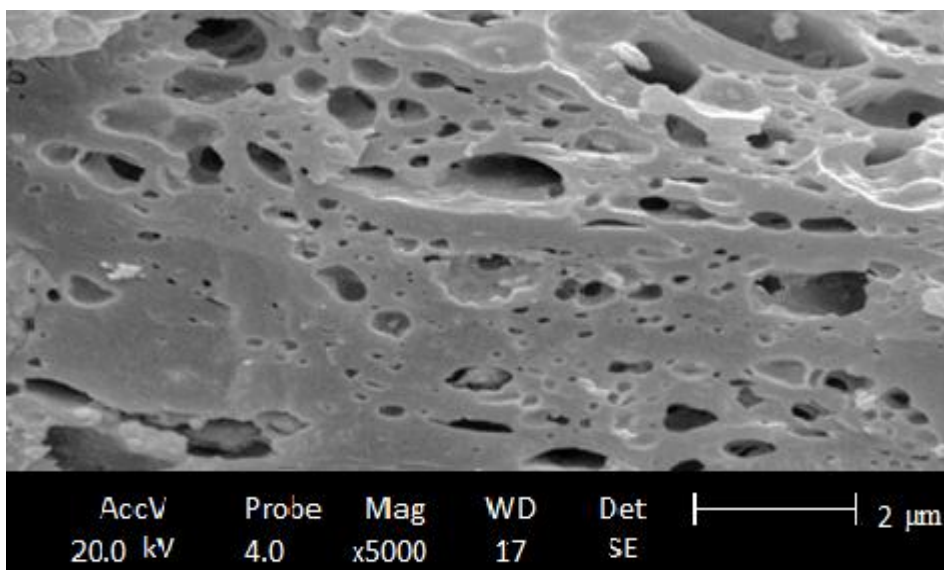
As Figuras 61 e 62 apresentam as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da formulação C2 queimada a 1000 °C, com aumento de 500x e 5000x, respectivamente.

Figura 61: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 500x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 62: Micrografia por MEV da formulação C2 queimada a 1000 °C, 5000x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

As Figuras 61 e 62 apresentam diferentemente da massa padrão, uma microestrutura com porosidade maior e também a resistência à compressão uniaxial menor, como fica confirmado pelos resultados apresentados anteriormente. Esta característica se dá principalmente pela presença do gesso de revestimento, que é característica do gesso tipo beta (β) e pela liberação de gás com a dissociação do sulfato de cálcio.

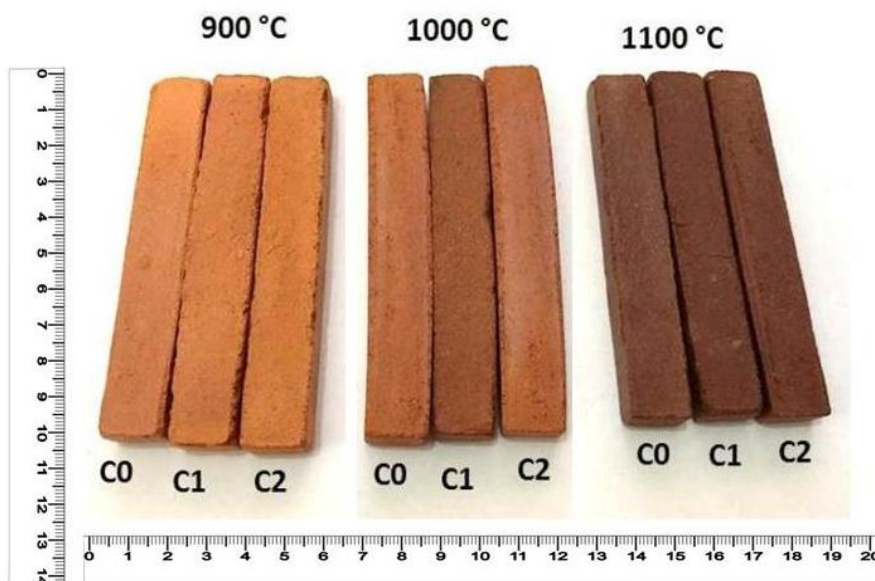
É possível analisar que a amostra encontra-se em estágio final de sinterização, com poros isolados, que estão aprisionados no seu interior e apresenta com formas arredondadas.

Assim, as figuras confirmam o que foi apresentado anteriormente, tanto nos gráficos quanto nas composições e análises (Barbosa, Ferraz e Santos, 2014; Oliveira *et al.*, 2012). Embora os valores de resistência e de porosidade sejam inferiores em relação aos da massa padrão (C0). Estes valores já eram esperados e a ainda com a incorporação de resíduos, as formulações apresentaram-se dentro das normas vigentes.

Apenas as micrografias de C0 e C1 foram acrescentadas no trabalho por serem mais representativas em relação às micrografias da amostra C1 e foi utilizado apenas as amostras queimadas a 1000 °C por serem mais representativos.

A Figura 63 apresenta a análise macroestrutural, necessária para determinar possíveis trincas e fissuras visíveis e também analisar a coloração dos corpos de prova após a queima de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Verifica-se a coloração avermelhada dos corpos de prova, o que confirma a presença de ferro na composição química (óxido de ferro) e fases cristalinas (hematita).

Figura 63: Amostras das formulações após a queima.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pode-se notar que com o aumento de temperatura a tonalidade do vermelho se torna mais intenso partindo do vermelho (900 °C) chegando aos tons de vermelho escuro (1100 °C). Acima de 1000 °C, temperatura em que iniciou a liberação de ferro bivalente, que por oxidação passa a ferro trivalente responsável pela cor vermelha. As temperaturas da ordem de 1100 °C, temperatura que começa a ocorrer a superqueima e o ferro trivalente começa a reduzir gerando a cor marrom avermelhado escuro a preto (Teixeira *et al.*, 2012; Dondi, 2006; Roveri, Zanardo e Moreno, 2007).

É possível verificar também que os corpos de prova não apresentam fissuras aparentes, o que ratifica o que foi apresentado sobre a granulometria (empacotamento e plastificação) e presença de óxidos, onde fica clara a homogeneidade das peças.

6.4 CONCLUSÃO

O estudo confirmou a possibilidade e viabilidade de utilização de resíduos de gesso e granito para fabricação de adoquim cerâmico. A formulação com 5% de peso de cada resíduo apresentou melhores resultados em relação a maiores proporções. Observou-se que a presença dos mesmos não alterou a estética e coloração do adoquim. As melhores propriedades tecnológicas foram identificadas nas amostras queimadas à temperatura de 1100 °C confirmadas pela presença de mulita e anortita nas análises, e ainda, apontou a possibilidade de utilização dos produtos em praças e áreas de tráfego leve. Finalmente, o uso desses resíduos, além de apresentar propriedades cerâmicas em conformidade com os padrões estabelecidos pelas normas, contribui com a qualidade do meio ambiente, diminuindo assim, os impactos ambientais negativos que possam ser causados por estes resíduos.

6.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Piauí (IFPI), à Universidade Federal do Piauí (UFPI), ao CTGAS – ER no Rio Grande do Norte, à Cerâmica Vitória em Oeiras-PI.

6.6 BIBLIOGRAFIA

Acchar, W., Silva, M., Vieira, F.A., e Hotza, D. (2006). Effect of marble and granite sludge in clay materials. *Materials Science and Engineering*, 419, 1, 306-309.

- Alexandre, J., Azevedo, A. R. G., Xavier, G. C., Margem, F. M., Monteiro, S. N., e Braga, F. O. (2016). Influence of Weather Exposure on Dimensional Changes in Clay Ceramics Incorporated with Granite Residue. *Materials Science Forum*, 869, 131-135.
- Amaral, L. F., Carvalho, J. P. R. G., Silva, B. M., Delaqua, G. C. G., Monteiro, S. N., Vieira, C. M. F. (2019). Development of ceramic paver with ornamental rock waste. *Journal of Materials Research and Technology*, 8, 1, 599-608.
- American Society for Testing and Materials (2015). *ASTM C902: Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick*, United States, ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2017). *ASTM C1272: Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick*, United States, ASTM.
- Andrade, P. M., Vieira, C. M. F., Maciel, G. S., Vernilli, F. e Monteiro, S. N. (2006). Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic. *Materials Science and Engineering* 427, 1, 142-147.
- Araújo, N. C., Ramos, A. P., Queiroz, A. J. P., Santos, R. C., e Buriti, J. S. (2015). Propriedades mecânicas de tijolos fabricados com solo e água residual de mandioca. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10, 2, 213-217.
- Areias, I. O. R., Vieira, C. M. F., Manhães, R. da S. T., e Intorne, A. C. (2017). Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 63, 367, 343-349.
- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (2016). *Setor de rochas ornamentais e de revestimento situação atual, demandas e perspectivas frente ao novo marco regulatório da mineração brasileira* (1ª Ed.). São Paulo, ABIROCHAS.
- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (2018). *O setor brasileiro de rochas ornamentais* (1ª Ed.). Nota Técnica, São Paulo, ABIROCHAS.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984a). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*, Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984b). *NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez*, Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984c). *NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*, Rio De Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). *NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio*, Rio de Janeiro, ABNT.
- Barbosa, A., Ferraz, A. V., e Santos, G. A. (2014). Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do pólo do Araripe. *Cerâmica*, 60, 356, 501-508.
- Barnes, G. (2016). *Soil Mechanics: Principles and Practice* (4 ed.), Palgrave Macmillan, United Kingdom.
- Biff, S., e Silva, M. R. (2016). Uso do resíduo sólido proveniente do processo de beneficiamento de areia na indústria de revestimentos cerâmicos e sua influência nas propriedades físicas dos produtos cerâmicos. *Matéria*, 21, 4, 853-865.
- Brasil (2017). *Anuário Estatístico: Setor Transformação Não Metálicos/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral* (1ª Ed.), Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Brasil (2018a). *Anuário Mineral Estadual – Pernambuco* (1ª Ed.), Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Brasil (2018b). *Sumário Mineral* (1ª Ed.), Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME.
- Brito, I. P., Almeida, E. P., Neves, G. A., Menezes, R. R., Silva. V. J., e Santana. L. N. L. (2015). Assessment of new clay deposits of Paraíba State for application as ceramic raw materials. *Cerâmica*, 61, 391-398.

- Camarini, G., Lima, K. D. S., e Pinheiro, S. M. M. (2015). Investigation On Gypsum Plaster Waste Recycling: An Eco-Friendly Material. *Green Materials*, 3, 1-9.
- Candido, V. S., Pinheiro, R. M., Monteiro, S. N., e Vieira, C. M. F. (2013). Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínicas, chamote e argilito. *Cerâmica*, 59, 350, 310-316.
- Carreiro, M. E. A., Santos, R. C., Silva, V. J., Lira, H. L., Neves, G. A., Menezes, R. R., e Santana, L. N. L. (2016). Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. *Cerâmica*, 62, 362, 170-178.
- Chinelatto, A. S. A., Chinelatto, A. L., Ferreira, D. E. M., e Gralik, G. (2015). Estudo da viabilidade do uso de resíduo de polimento de rochas ornamentais em porcelanas. *Matéria*, 20, 4, 1075-1086.
- Dias, L. L., Menegazzo, A. P. M., Quinteiro, E. e Serafim, M. A. (2016). Desenvolvimento de um novo produto cerâmico para pavimentação de passeios e áreas públicas. *Ambiente Construído*, 16, 4, 155-165.
- Dondi, M. (2006). Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. *Cerâmica Industrial*, 11, 3, 36-40.
- Dutra, R., Aquino, R., Campos, L., Macedo, D., Ferreira, H., e Medeiros, F. (2015). Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. *Revista Eletrônica De Materiais e Processos*, 10, 1, 29-35.
- Ferreira, S. B., Domingues, P. C., Soares, S. M., e Camarini, G. (2015). Recycled Gypsum and Red Ceramic Waste Based Mortars. *International Journal of Engineering and Technology*, 7, 3, 209-214.
- Frades-de-la-Noval, J., Sánchez-Hernández, E., Linares-Alfonso, A. J., Casanova-Gómez, A., e Solís-Escalona, N. (2016). Obtención de cerâmica estrutural por sinterización reactiva con materia prima nacional. *Revista Cubana de Química*, 28, 1, 431-443.
- Geraldo, R. H., Souza, J. D., Campos, S. C., Fernandes, L. F. R., e G. Camarini (2018). Pressured recycled gypsum plaster and wastes: Characteristics of eco-friendly building components. *Construction and Building Materials*, 191, 136-144.
- Inocente, J. M., Nandi, V. S., Rosso F., Oliveira, A., e Zaccaron, A. (2018). Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, 23, 3, 34-39.
- Lira, H. L., e Neves, G. A. (2013). Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 8.3, 110-117.
- Maestrelli, S. C., Roveri, C. D., Nunes, A. G. P., Faustino, L. M., Aiello, G. F., Pinto, L. P. A., Manocchio, C., Cal, T. M. L., Ribeiro, F. F., e Mariano, N. A. (2013). Estudo de caracterização de argilas não plásticas da região de Poços de Caldas, MG. *Cerâmica*, 59, 350, 242-248.
- Malpesa (2018). *Adoquín Cerámico Catálogo 2017 – 2018* (1ª Ed.). Cerámico Malpesa, Espanha.
- Norma Técnica Colombiana (2002). *NTC 3829: Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular liviano*, Colombia, NTC.
- Norma Técnica Colombiana (2004). *NTC 5282: Adoquin de arcilla para tráfico vehicular pesado*, Colombia, NTC.
- Oliveira, F., Borges, L., Melo, E., e Barros, M. (2012). Características Mineralógicas e Cristalográficas da Gipsita do Araripe. *HOLOS*, 28, 5, 71-82.
- Oliveira, H. A., Santos, C. P., Oliveira, R. M. P. B., Jesus, E., e Macedo, Z. S. (2017). Avaliação do potencial de argilas de Sergipe e Alagoas na produção de agregados para uso em concreto. *Cerâmica*, 63, 367, 318-328.

- Roveri, C. D., Zanardo, A., e Moreno, M. M. T. (2007). Variação da cor e propriedades cerâmicas com o aumento da temperatura de queima de uma argila proveniente da formação Corumbataí, região de Piracicaba, SP). *Cerâmica*, 53, 328, 436-441.
- Saez, R. G. (2004). *Manual para el uso de Adoquín Cerámico* (1ª Ed.), Grupo Gráfico Ser 2000, Espanha.
- Santos, C. P., Oliveira, H. A., Oliveira, R. M. P. B., e Macedo, Z. S., “Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado de Sergipe – Brasil”, *Cerâmica*, v.62, n.362, pp.147-156, 2016.
- Santos, K. C. V., Gonçalves, W. P., Silva, V. J., Santana, L. N. L., e Lira, H. L. (2016). Formação de Mulita a Partir de Composições de Caulim e Alumina com Diferentes Tamanhos de Partículas. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 11, 3, 136–142.
- Santos, M. M. A., Destefani, A.Z., e Holanda, J. N. F. (2013). Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. *Matéria*, 18, 4, 1442-1450.
- Santos, P. M., Rolim, M. M., Duarte, A. S., Barros, M. F. C., e Silva, Ê. F. F. (2014). Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44, 1, 95-103.
- Segadães, M., Vieira, F. A., e Acchar, W. (2006). Using ornamental stone cutting rejects as raw materials for red clay ceramic products: Properties and microstructure development. *Materials Science and Engineering*, 435-436, 5, 606-610.
- Senes, C. E. R. e Lindino, C. A. (2017). Resíduos de gesso de construção civil: minimização e estudos de lixiviação. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 38, 1, 43-54.
- Silva, A. L., Chaves, A. C., Luna, C. B. B., Neves, G. A., e Lira, H. L. (2017). Avaliação das composições de massas argilosas a partir da incorporação de resíduo da indústria de cerâmica vermelha na obtenção de membranas cerâmicas tubulares. *Matéria*, 22, 1.
- Silva, B. J., Menezes, R. R. I., Santana, L. N. L. I., Melo, L. R. L. I., Neves, G. A. I., e Ferreira, H. C. (2012). Uso de técnicas estatísticas para modelar a resistência à flexão de corpos cerâmicos contendo resíduo de granito. *Matéria*, 17, 1, 919-930.
- Silva, R. H. L., Neves, G. A., Ferreira, H. C., Santana, L. N. L., Nóbrega, A. C. V., e Menezes, R. R. (2019). Uso de dióxido de silício em massas cerâmicas para grés sanitários. *Cerâmica*, 65, 1-12.
- Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Cal-Cáreos, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco (2018). *Informações Técnicas* (1ª Ed.). Recife, SINDUSGESSO.
- Soares, R. A. L., Nascimento, R. M. do, Paskocimas, C. A., e Castro, R. J. S.. (2014). Avaliação da adição de dolomita em massa de cerâmica de revestimento de queima vermelha. *Cerâmica*, 60, 356, 516-523.
- Teixeira, A. L., Borges, D. C. M., Silva, J. A., Ferreira, N. M. M., e Cargin, M. (2012). Influência dos tipos de matérias-primas e das condições de queima na cor do suporte cerâmico. *Rev. Técnico Científica (IFSC)*, 3, 1, 135-143.
- Teske, S., Gonçalves, P. F. A., e Nagalli, A. (2015). Development of a conceptual model of an eco-logic tile using building gypsums waste. *Cerâmica*, 61, 358, 190-198.
- Testolin, R. C., Godinho-Castro, A. P., Janke, L., Correa, A. X. R., e Radetski, C. M. (2012). Incorporation of gypsum waste in ceramic block production: Proposal for a minimal battery of tests to evaluate technical and environmental viability of this recycling process. *Waste Management*, 32, 1, 153-157.
- Torres, P., Fernandes, H. R., Olhero, F., e Ferreira, J. M. F. (2009). Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 1, 23-30.

Vieira, C. M. F., e Emiliano, J. V. (2013). Incorporação de pó de rocha sedimentar em massas para telhas cerâmicas - parte 1: efeitos nas propriedades físicas e mecânicas. *Cerâmica*, 59, 351, 389-394.

Vieira, C. M. F., Terrones, L. A., Sánchez, R., e Monteiro, S. N. (2007). Características e efeito da fração granulométrica <2 µm no comportamento de queima de uma argila. *Cerâmica*, 53, 327, 249-254.

7 CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO DA TESE

A tese apresentou o desenvolvimento de adoquim cerâmico com resíduos de gesso e granito. Foram apresentados 5 artigos enviados para revistas científicas e tratavam de revisão bibliográfica sobre o uso de resíduos de gesso e granito em cerâmica vermelha, impacto ambiental da indústria de cerâmica vermelha, caracterização de jazida de argila, análise da incorporação de resíduo de gesso para produção de adoquim cerâmico e análise da incorporação de resíduo de gesso e granito para produção de adoquim cerâmico.

A tese mostrou que há trabalhos escassos na área de uso de resíduos de gesso e granito, ainda que a indústria cerâmica seja geradora de diversos impactos negativos ao meio ambiente mas que podem ser atenuados ou até totalmente solucionados.

Conclui-se que o uso de resíduos de gesso e resíduos de gesso e granito são viáveis e podem ser utilizados para produção de adoquim cerâmico em baixas formulações (5% em peso de resíduo) para uso em locais de tráfego leve como praças e calçadas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas as principais sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar a adição de gesso e granito em outros tipos de argilas;
- Testar outros parâmetros de processo (pressão de compactação da prensagem, temperatura de queima e tempo de queima
- Estudar a adição de gesso e granito em maiores proporções;
- Testar outros parâmetros de processo (pressão de compactação da prensagem, temperatura de queima e tempo de queima;
- Analisar a possibilidade de produção em escala industrial do adoquim com resíduos de gesso e granito;
- Analisar o comportamento a longo prazo do uso de adoquim com resíduos.

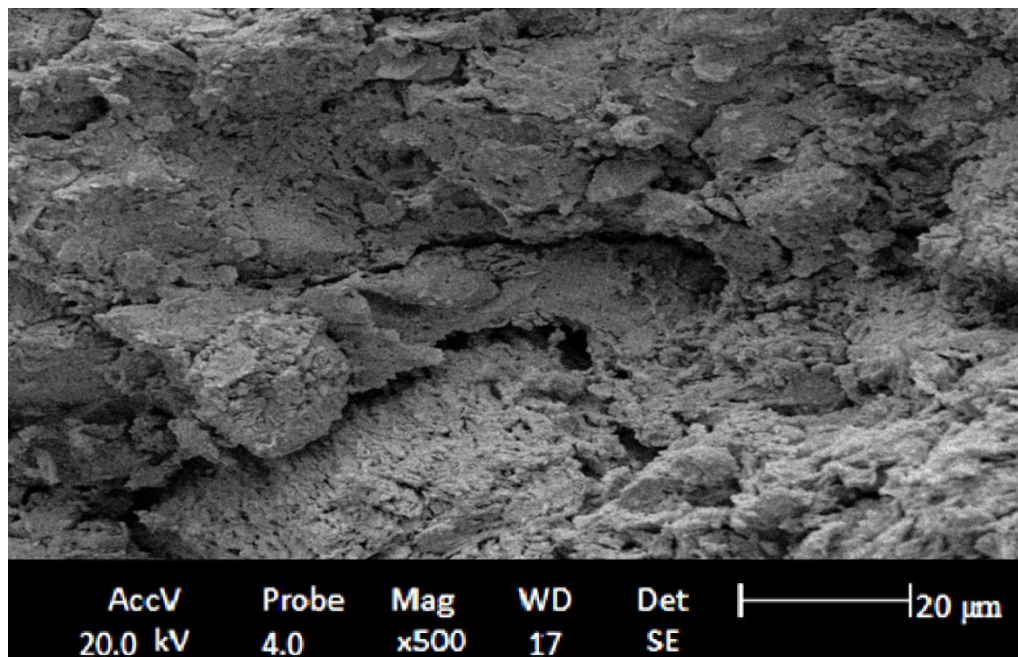
ANEXOS

ANEXO A - Anexo ao Capítulo 4

Artigo: Incorporação de resíduo de gesso em formulação para adoquim cerâmico.

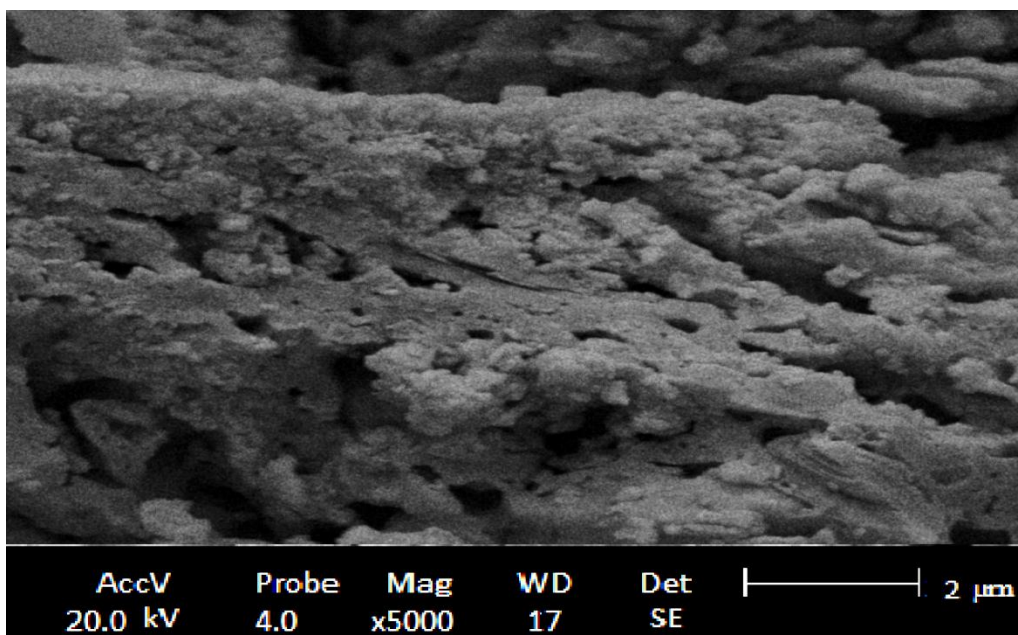
As figuras abaixo apresentam as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da formulação C1 (massa argilosa com 5% em peso de gesso) queimada a 1000 °C, com aumento de 500x e 5000x, respectivamente.

Figura 64: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 500x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 65: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 5000x.



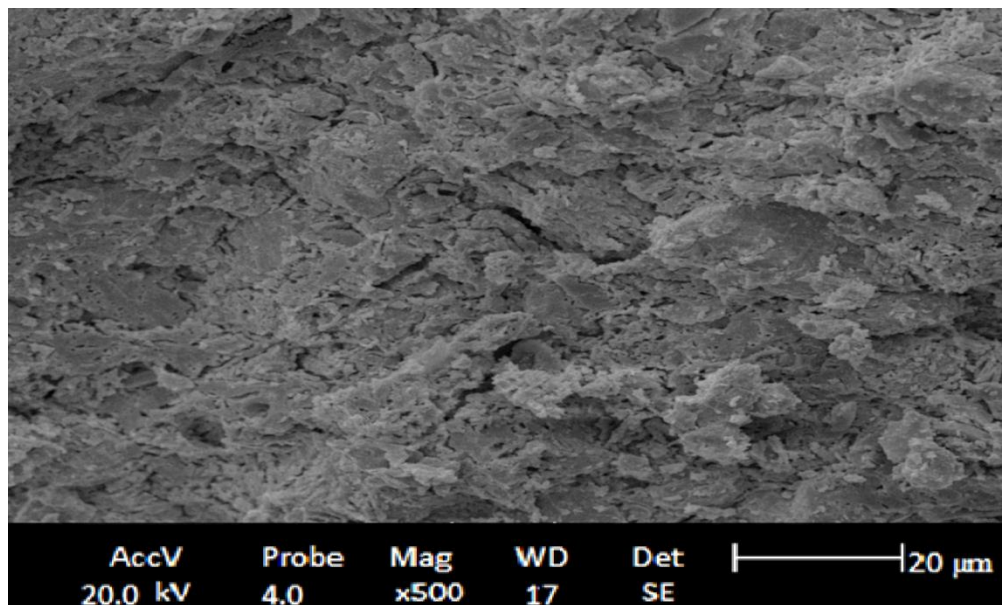
Fonte: Autoria Própria (2019).

ANEXO B - Anexo ao Capítulo 5

Artigo: Desenvolvimento de adoquim cerâmico com resíduos de gesso e granito

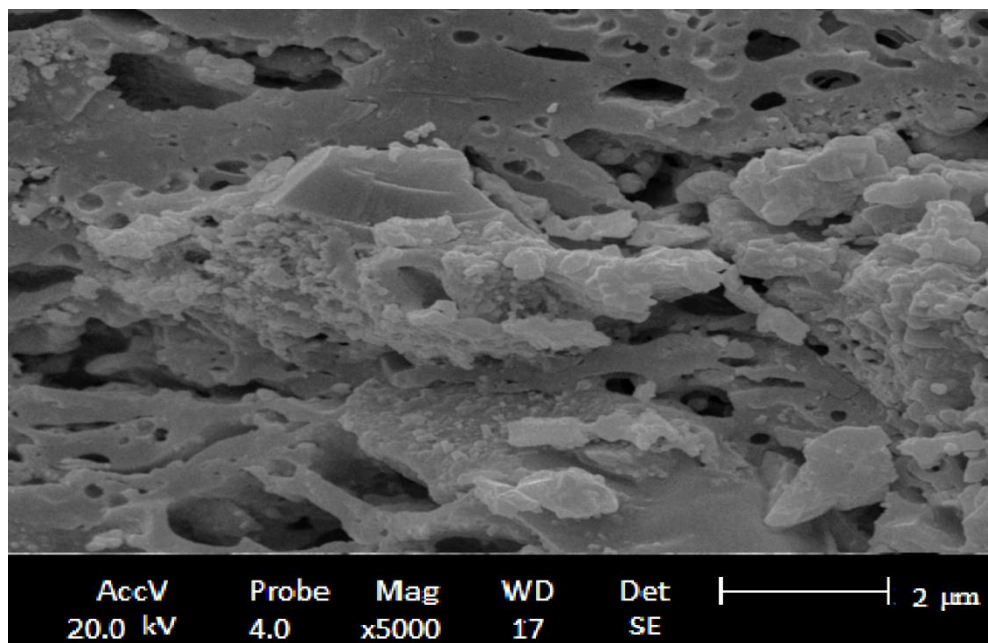
As figuras abaixo apresentam as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da formulação C1 (massa argilosa com 5% em peso de gesso e 5% em peso de granito) queimada a 1000 °C, com aumento de 500x e 5000x, respectivamente.

Figura 66: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 500x.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 67: Micrografia por MEV da formulação C1 queimada a 1000 °C, 5000x.



Fonte: Autoria Própria (2019).