

**ESTUDO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DO ADOQUIM CERÂMICO  
COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL**

**JULIANA PEIXOTO RUFINO GAZEM DE CARVALHO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
AGOSTO - 2015**

# ESTUDO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DO ADOQUIM CERÂMICO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL

**JULIANA PEIXOTO RUFINO GAZEM DE CARVALHO**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.”

Área de Concentração: Materiais e meio ambiente  
Orientador: Prof. D.Sc. Carlos Maurício Fontes Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

AGOSTO - 2015

# ESTUDO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DO ADOQUIM CERÂMICO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL

**JULIANA PEIXOTO RUFINO GAZEM DE CARVALHO**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.”

Área de Concentração: Materiais e meio ambiente  
Orientador: Prof. D.Sc. Carlos Maurício Fontes Vieira

Aprovado em 20 de agosto de 2015

Comissão Examinadora:

---

Prof.: Mônica Manhães Ribeiro (D. Sc., Eng. e Ciências dos Materiais) - IFF

---

Prof.: Rosane da Silva Toledo Manhães (D. Sc., Eng. e Ciências dos Materiais) – UENF/LCFIS

---

Prof.: Gustavo de Castro Xavier (D. Sc., Eng. Civil) – UENF/LECIV

---

Prof.: Carlos Maurício Fontes Vieira (D. Sc., Eng. e Ciências dos Materiais) – UENF

Orientador

“Você é uma pessoa que se entrega,  
emotiva. As águas vão te levar. Tudo seu  
é com muita dedicação, com tempo e  
esforço. Você é capaz de subir o Everest.  
O legal é que dá resultado.”

***Leda***

Ao meu marido e minha família, que me  
dão o impulso e a segurança de seguir  
em direção aos meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a **Deus**, por toda a força e coragem que sempre me deu! Por conseguir me fazer sentir forte, independente de qualquer dificuldade.

À minha **família**, em especial, **aos meus pais** e **minha irmã**, que sempre entenderam minhas ausências e me formaram como pessoa. Meus fiéis escudeiros *Sem vocês, eu nada seria!*

Ao meu **marido**, companheiro inseparável. Amigo de todas as horas, que sempre respeitou minhas opções e me motivou chegar até aqui. Amo você!

Ao Prof. **D. Sc. Carlos Maurício**, por todas as vezes que me cobrou e me fez sentir capaz de chegar ao meu objetivo. Obrigada pelas orientações, sempre muito valiosas.

À **D. Sc. Rosane Toledo**, um anjo que Deus colocou em meu caminho. Que me ajudou em tudo o que pode. Suas palavras me dão paz e o impulso para continuar.

Ao Prof.: **D. Sc. Eduardo Atem**, por todas as dúvidas tiradas até aqui. Sempre com boa vontade e disposto a ajudar.

Ao Prof. D. Sc. **José Nilson**, coordenador que me apoiou em minhas decisões.

Aos professores **D.Sc. Gustavo Xavier** e **D. Sc. Mônica Manhães**, por terem aceitado fazer parte da minha banca, com todo o carinho e disposição.

Aos meus apoios durante toda essa caminhada, meus amigos: **Geovana**, **Lucas Amaral** e **Micaela**. Sem vocês, certamente, eu não teria chegado até aqui. Obrigada por todos os lanches, conversas, estudos e divertimentos, ajudando a deixar a caminhada menos dolorosa.

Ao meu sócio **Kaue Sant'Ana**, que segurou todas as barras da minha ausência, sempre sendo um amigo fiel. Obrigada, sempre será pouco para agradecer.

Aos meus amigos do IFF, **Cássia**, **Sérgio**, **Aline** e **Raphael**, que me incentivaram a tomar a decisão de encarar mais essa etapa de estudo.

A **todos**, os que **não** foram citados nominalmente, vocês não são menos importante. Sempre me deram o estímulo necessário para continuar a caminhada.

*Juliana Rufino*

## RESUMO

CARVALHO, J. P. R. G. (2015). **Estudo dos parâmetros técnicos do adoquim cerâmico com incorporação de resíduo de rocha ornamental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF/CCT/LAMAV, 126p.

Este trabalho teve como objetivo identificar uma composição ideal de incorporação de resíduo de rocha ornamental para produção de uma massa cerâmica para a produção de adoquim. Este piso cerâmico intertravado é um produto de alto valor agregado com potencial de impulsionar a produção de cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes-RJ. Foram preparados corpos de prova com massas com incorporação de areia e de até 30% de resíduo, em laboratório e industrialmente, para serem queimados em forno industrial tipo abóboda. Em seguida, foram determinadas as propriedades: absorção de água, massa específica a seco e de queima, retração linear, resistência à compressão e resistência à abrasão. Os resultados indicaram que a massa com incorporação de 30% de resíduo apresentou propriedades semelhantes e/ou superiores à massa com adição de areia, tornando-se viável sua incorporação para a produção de adoquins para tráfego leve.

**Palavras-chave:** adoquim, cerâmica vermelha, *paver* cerâmico, rocha ornamental, resíduo.

## ABSTRACT

CARVALHO, J. P. R. G. (2015). **Study of technical parameters of adoquim ceramic with ornamental rock waste incorporation.** Dissertation (Master e in Engineering and Materials Science). Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF/CCT/LAMAV, 126p.

This work has for objective to get a ceramic mass with ornamental rock incorporation, to produce paving bricks. This interlocked ceramic paver is a high value added product with potential to boost the production of red ceramic of Campos dos Goytacazes-RJ. Were prepared specimens with sand and 30% of waste incorporation, in laboratory and industrially, to be fired in an industrial furnace type dome. Then, the properties have been determined: water absorption, dry and burning bulk density, linear shrinkage, compressive strength and abrasion resistance. The results indicated that the mass with incorporation of 30% waste possessed similar and/or higher properties compared with sand addition, making it feasible to incorporate for producing pavers for light traffic.

**Keywords:** paving brick, red ceramic, paver ceramic, ornamental rock, waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a) Adoquim cerâmico; (b) Exemplo de paginação do adoquim. ....	1
Figura 2. Relação dos principais setores cerâmicos, matéria-prima e processos.....	8
Figura 3. Piso em mármore branco e calcário marrom em residência .....	11
Figura 4. Placas de Calcário utilizadas como revestimento de parede .....	12
Figura 5. Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas.....	14
Figura 6. Localização do Município de Santo Antônio de Pádua-RJ.....	16
Figura 7. Exemplos das pedras encontradas em Pádua.....	17
Figura 8. Capacidade das peças resistirem a movimentos .....	24
Figura 9. Exemplos dos PPCs do tipo I.....	26
Figura 10. Exemplos dos PPCs do tipo II.....	26
Figura 11. Exemplos dos PPCs do tipo III.....	26
Figura 12. Exemplos dos PPCs do tipo IV.. ..	27
Figura 13. Exemplos de assentamento das PPCs tipo espinha de peixe. ....	27
Figura 14. Exemplo de assentamento das PPCs tipo fileira e trama.....	27
Figura 15. Diversas cores dos Adoquins produzidos pela Cerâmica Garcia Cuesta.	31
Figura 16. Estrutura do pavimento intertravado flexível. ....	32
Figura 17. Sistema construtivo do pavimento de adoquim.....	33
Figura 18. Adoquim sendo utilizado na Cerâmica Arte Sardinha .....	33
Figura 19. Exemplo de paginações possíveis para adoquim .....	34
Figura 20. Diferentes designs do adoquim. ....	34
Figura 21. Exemplo de colocação do adoquim em espinha de peixe 45°. ....	35
Figura 22. Exemplo de colocação do adoquim em espinha de peixe 90°. ....	35
Figura 23. Escola localizada em Matosinhos utilizando adoquim.....	35
Figura 24. Adoquim para execução de canal de drenagem.. ..	36
Figura 25. Modos de confecção de canais para drenagem de água.....	37
Figura 26. DRX (a) argila Cinza e (b) argila Carolinho.....	44
Figura 27. Distribuição de tamanho de partículas da argila Cinza. ....	46
Figura 28. Distribuição de tamanho de partículas da argila Carolinho. ....	46
Figura 29. Fluxograma de captação de água e geração de resíduos .....	48
Figura 30. (a) Chegada e (b) armazenamento das lajes de granito na serraria. (c) Serragem das lajes. ....	48

Figura 31. (a) Serragem das lajes. (b) Blocos provenientes da serragem das lajes.	
(b) Operação manual de corte para obtenção de lajinhas.....	49
Figura 32. (a) Lajinhas empilhadas para comercialização. (b) Laje, bloco e lajinha. (c)	
Resíduo em forma de lama gerado a partir da serragem das lajes.....	49
Figura 33. (a) Tanque de decantação. (b) e (c) Pátio de armazenamento.....	49
Figura 34. DRX do resíduo de rocha ornamental. Sendo: Am=Anfibólio,	
Fk=Feldspato Potássico, M=Mineral micáceo, Pl=Plagioclásio, Q=quartzo.....	50
Figura 35. Análise térmica do resíduo utilizado neste trabalho..	51
Figura 36. MEV do resíduo de rocha ornamental.....	52
Figura 37. Fluxograma das etapas que serão realizadas.....	53
Figura 38. Argila Cinza que foi utilizada nas formulações.....	54
Figura 39. Resíduo de utilizado na produção das peças.....	54
Figura 40. Prensa que será utilizada para a produção dos corpos de prova. ....	58
Figura 41. Forno tipo abóboda da cerâmica Arte Sardinha.....	59
Figura 42. (A) Material saindo do caixão alimentador, (B) A esteira .....	64
Figura 43. (A) Caixão alimentador com as matérias-primas (B) Maromba .....	65
Figura 44. (A) Boquilha tipo espinha de peixe utilizada. (B) Corte das peças.....	65
Figura 45. (A) Peças prontas para secagem e (B) a caminho do galpão. ....	65
Figura 46. Peças no galpão para secagem.....	66
Figura 47. DRX da areia.....	72
Figura 48. Distribuição de tamanho de partículas. ....	73
Figura 49. Massa específica à seco. ....	75
Figura 50. Massa específica das peças queimadas.....	75
Figura 51. Retração linear das cerâmicas queimadas. ....	76
Figura 52. Absorção de água das cerâmicas queimadas.....	77
Figura 53. Resistência à compressão das peças queimadas.....	78
Figura 54. Adoquins e PPCs selecionados para teste. ....	81
Figura 55. Massa específica à verde das peças. ....	83
Figura 56. Massa específica à seco das peças.....	83
Figura 57. Massa específica de queima das peças.....	84
Figura 58. Retração linear à seco das peças analisadas. ....	85
Figura 59. Retração linear de queima das peças analisadas.....	85
Figura 60. Em destaque, as trincas aparecidas durante a secagem.....	86
Figura 61. Destaque para a trinca .....	86

Figura 62. Absorção de água das cerâmicas queimadas e PPC. ....	87
Figura 63. Resistência à compressão das peças industriais e PPC.....	89
Figura 64. DRX da cerâmica formulada com a massa A.....	93
Figura 65. DRX da cerâmica formulada com a massa P.....	93
Figura 66. Microscopia ótica da massa A, aumento de 108x. ....	94
Figura 67. Microscopia ótica da massa A, aumento de 216x. ....	95
Figura 68. Microscopia ótica da massa P, aumento de 108x. ....	95
Figura 69. Microscopia ótica da massa P, aumento de 216x. ....	96
Figura 70. Microscopia ótica da PPC, aumento de 108x.....	111
Figura 71. Microscopia ótica da PPC, aumento de 216x.....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Panorama do Setor Cerâmico no Brasil .....	7
Tabela 2. Detalhamento da evolução do consumo interno de rochas ornamentais após a crise enfrentada até 2008.....	15
Tabela 3. Indicação da resistência característica à compressão de acordo com a solicitação.....	28
Tabela 4. Critérios para resistência à abrasão.....	29
Tabela 5. Atualização das versões das normas utilizadas em trabalhos anteriores..	38
Tabela 6. Requisitos físicos exigidos para adoquins de tráfego leve.....	39
Tabela 7. Requisitos físicos exigidos para adoquins de tráfego pesado.....	41
Tabela 8. Padrões para adoquim cerâmico extrudado e prensado.....	41
Tabela 9. Requisitos exigidos pela norma DIM 18503 (2003).....	42
Tabela 10. Requisitos para a produção de PPC .....	43
Tabela 11. Composição química das argilas Cinza e Carolinho.....	45
Tabela 12. Composição química do resíduo de rocha ornamental.....	50
Tabela 13. Composição química da areia .....	52
Tabela 14. Formulações utilizadas.....	58
Tabela 15. Dados da queima. Fornecidos pela Cerâmica Arte Sardinha.....	59
Tabela 16. Formulações utilizadas.....	64
Tabela 17. Massa específica aparente (Densidade).....	74
Tabela 18. Massa específica aparente (Densidade) das peças fabricadas na cerâmica.....	82
Tabela 19. Resultados obtidos de resistência à compressão.....	89
Tabela 20. Resultado obtido do ensaio de resistência à abrasão profunda e volume equivalente de material removido, segundo: NBR 13818 (1997) .....	91
Tabela 21. Índices de abrasão exigidos pelas normas.....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABCP	Associação Brasileira De Cimento Portland
ABCRAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ANICER	Associação Nacional das Indústrias Cerâmicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CS	Coeficiente de Saturação
DIN	Deutsches Institut für Normung
DRX	Difração de Raios X
EUA	Estados Unidos das Américas
IA	Índice de abrasão
IBGE	Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística
IFF	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.
IP	Índice de Plasticidade
LAMAV	Laboratório de Materiais Avançados
LCFIS	Laboratório de Ciências Físicas
LECIV	Laboratório de Engenharia Civil
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MME	Ministério de Minas e Energia
MO	Microscopia Ótica
NBR	Norma Brasileira
NTC	Norma Técnica Colombiana
PF	Perda ao Fogo
PPC	Peça Pré-moldada de Concreto
RC	Resistência à Compressão
RJ	Rio de Janeiro
SEBRAE	Serviço de Apoio às Micro Empresas
SETEC	Secretaria de educação profissional e tecnológica
UENF	Universidade do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

UNE-EN	Norma Técnica Espanhola
VA	Perda de Volume por Abrasão
$\rho_{ap}$	Massa Específica Aparente

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiii
1. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
2. <b>OBJETIVOS</b> .....	3
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. <b>JUSTIFICATIVAS</b> .....	4
4. <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
4.1. A indústria de cerâmica vermelha .....	6
4.2. Polo cerâmico de Campos dos Goytacazes .....	9
4.3. Rochas Ornamentais .....	11
4.3.1. Definição .....	11
4.3.2. A importância da Rocha Ornamental para o Brasil.....	13
4.3.3. Produção de Rocha Ornamental no município de Santo Antônio de Pádua – RJ.....	16
4.3.4. A produção e utilização dos resíduos.....	18
4.4. Pavimentos.....	22
4.4.1. Pavimentos intertravados .....	22
4.4.2. Peças pré-moldadas de concreto – PPC.....	24
4.5. Adoquim cerâmico.....	29
4.5.1. Definição .....	29
4.5.1. Fabricação e especificação .....	30
4.5.2. Propriedades físicas e mecânicas .....	37
4.6. Caracterização das Matérias-primas .....	44
4.6.1. Caracterização das Argilas.....	44
4.6.2. Caracterização do Resíduo .....	47
4.6.3. Caracterização da Areia .....	52
5. <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	53
5.1. Materiais empregados .....	54
5.2. Metodologia empregada .....	55
5.2.1. Caracterização das matérias-primas .....	56
5.2.1.1. Caracterização Mineralógica - Difração de raios X (DRX).....	56
5.2.1.2. Caracterização Física - Distribuição de tamanho de partículas.....	56

5.2.2.	<b>TESTE LABORATORIAL</b> .....	57
5.2.2.1.	Beneficiamento das matérias-primas .....	57
5.2.2.2.	Preparação das composições .....	57
5.2.2.3.	Processamento das cerâmicas em laboratório.....	58
5.2.2.4.	Sinterização das composições .....	59
5.2.2.5.	Determinação das propriedades físicas e mecânicas .....	60
5.2.2.5.1.	Retração linear (Rq) .....	60
5.2.2.5.2.	Absorção de água (AA) .....	61
5.2.2.5.3.	Massa específica aparente (pap) .....	62
5.2.2.5.4.	Resistência à compressão simples (RC).....	62
5.2.2.5.4.1.	Preparação da Amostra.....	63
5.2.2.5.4.2.	O ensaio à compressão.....	63
5.2.3.	<b>TESTE INDUSTRIAL</b> .....	64
5.2.3.1.	Preparação das composições .....	64
5.2.3.2.	Processamento das cerâmicas.....	65
5.2.3.3.	Determinação das propriedades físicas e mecânicas .....	66
5.2.3.3.1.	Retração linear (Rq) .....	66
5.2.3.3.2.	Absorção de água (AA) .....	66
5.2.3.3.3.	Massa específica aparente (pap) .....	67
5.2.3.3.4.	Resistência à compressão uniaxial (RC).....	67
5.2.3.3.5.	Índice de abrasão (IA) .....	68
5.2.3.3.6.	Ensaio para determinação da resistência à abrasão.....	69
5.2.4.	Caracterização morfológica das cerâmicas queimadas .....	70
5.2.4.1.	Difração de raios X (DRX) .....	70
5.2.4.2.	Microscopia ótica (MO).....	71
6.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	72
6.1.	Caracterização mineralógica – DRX da areia.....	72
6.2.	Composição física – Distribuição de tamanho de partículas .....	73
6.3.	<b>TESTE LABORATORIAL</b> .....	74
6.3.1.	Propriedades físicas e mecânicas .....	74
6.3.1.1.	Massa específica aparente das peças secas e queimadas.....	74
6.3.1.2.	Retração Linear: .....	76
6.3.1.3.	Absorção de Água: .....	77
6.3.1.4.	Resistência à compressão: .....	78

6.3.2.	Considerações finais do teste laboratorial .....	80
6.4.	<b>TESTE INDUSTRIAL</b> .....	81
6.4.1.	Propriedades físicas e mecânicas .....	82
6.4.1.1.	Massa específica aparente das peças secas e queimadas:.....	82
6.4.1.2.	Retração linear a seco e de queima .....	84
6.4.1.3.	Absorção de água .....	87
6.4.1.4.	Resistência à compressão .....	88
6.4.1.5.	Resistência à abrasão e Índice de abrasão.....	90
6.4.1.6.	Avaliação microestrutural das cerâmicas queimadas.....	92
6.4.1.6.1.	Difração de raios X (DRX) .....	92
6.4.1.6.2.	Microscopia Ótica .....	94
6.4.2.	Considerações finais do teste industrial .....	96
7.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	97
8.	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	99
9.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	100
	<b>APÊNDICE</b> .....	111

## 1. INTRODUÇÃO

A fabricação de produtos de cerâmica vermelha em Campos dos Goytacazes-RJ é voltada para a produção de blocos de vedação, produto de baixo valor agregado, com propriedades não homogêneas e, que muitas vezes, não atendem às normas técnicas. Desta maneira, este setor corrobora à diversificação da produção através da fabricação de produtos com alto valor agregado como telhas, bloco estrutural e pavimentos cerâmicos extrusados, conhecidos como adoquins. Este último destaca-se como um produto promissor por tratar-se de um piso intertravado de cerâmica com características e propriedades semelhantes e/ou superiores ao seu concorrente direto PPC, peça intertravada de concreto. (PINHEIRO, 2012)

No Brasil, a utilização do adoquim (Figura 1) está em processo de propagação, porém em países como Estados Unidos, Espanha, Portugal e Colômbia, sua tecnologia é dominada e características como: variedade de cores naturais, facilidade de aplicação, intertravamento e durabilidade o tornam um produto consolidado. (MALPESA, 2015)



Figura 1. (a) Adoquim cerâmico; (b) Exemplo de paginação do adoquim. Fonte: <http://www.pavimentoselche.com> e <http://www.ecovilaesort.com.br>

Ainda não há norma específica que estabeleça padrões tecnológicos para este *paver* cerâmico, no Brasil, portanto, torna-se necessário a utilização de normas

internacionais, para efeitos comparativos. Dentre as principais exigências para este produto estão: boa resistência à compressão e ao desgaste.

Os adoquins são produzidos utilizando-se, basicamente, matéria-prima argilosa, sendo possível a incorporação de resíduos industriais, por tratar-se de um produto cerâmico e como tal permitir que determinadas quantidades de resíduos sejam adicionadas à massa sem prejuízo das propriedades finais do produto. (RIBEIRO, 2013)

Deste modo, a aproximadamente 150km do município de Campos, localiza-se Santo Antônio de Pádua-RJ, município cuja principal atividade econômica é a extração de blocos de rochas classificadas como Milonito Gnaisse, com elevada produção de resíduos.

É possível afirmar que cerca de 18mil toneladas de resíduo são produzidas por ano. Apesar de haver, no município, uma fábrica de argamassa que utiliza o material descartado como matéria-prima, esta indústria não consegue absorver totalmente o sedimento produzido. Faz-se, então, necessária uma nova destinação ambientalmente correta, tendo como propósito minimizar os impactos da produção das pedras ornamentais, visando impedir que o resíduo seja despejado em locais impróprios. Bem como corrigir as deficiências das argilas de Campos com matérias-primas alternativas para viabilizar a produção do produto de alto valor agregado. (ROCHA *et al.*, 2011; SILVESTRE e SILVA, 2012)

Portanto, este trabalho teve como objetivo obter um produto com incorporação de resíduo de rocha ornamental, de alto valor agregado, e estudar as propriedades técnicas do produto elaborado em laboratório e na indústria.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Neste contexto, devido ao grande volume de resíduo de rocha ornamental gerado e não consumido, este trabalho visa obter um produto com incorporação deste resíduo, de alto valor agregado e dentro das especificações técnicas. Bem como, estudar as propriedades técnicas do produto com incorporação de resíduo e os produzidos em escala industrial na cerâmica Arte Sardinha, localizada em Campos dos Goytacazes-RJ.

### **2.2. Objetivos específicos**

Foram objetivos específicos:

- Determinar a proporção ideal do resíduo estudado na massa cerâmica para fabricação do adoquim.
- Realizar testes industrial e laboratorial das formulações com até 30% de incorporação.
- Comparar os parâmetros técnicos entre o adoquim e o PPC.
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas das cerâmicas produzidas.
- Correlacionar a microestrutura das cerâmicas com as propriedades obtidas.

### 3. JUSTIFICATIVAS

O adoquim, sem incorporação de resíduo, já é comercializado em escala industrial pela cerâmica Arte Sardinha, localizada em Campos dos Goytacazes-RJ. A massa padrão deste produto utiliza como matéria-prima duas argilas, provenientes do município e areia. As matérias-primas argilosas possuem deficiências que podem ser amenizadas com a utilização de um material não plástico, como o resíduo de rocha ornamental.

Sobre este, Rocha *et al.* (2011) afirmaram que 1.500 toneladas de resíduo em forma de pó (após a decantação e evaporação da água) eram produzidos por mês, ou seja, cerca de 18mil toneladas por ano. Em contato direto com a Pedreira São Sebastião Ltda., que utiliza o nome fantasia Argamil, localizada no município de Santo Antônio de Pádua, foi informado que em 2014 foram recolhidos, por ela, cerca de 2 mil toneladas deste sedimento. Isto comprova que, nem toda a quantidade de resíduos produzidos pelas serrarias, consegue ser absorvida pela indústria de argamassa presente, sendo necessária outra destinação ambientalmente correta para este material.

As características de similaridade entre a areia e o resíduo, despertou o interesse da comunidade científica local para a pesquisa que visa uma substituição para a produção de adoquins cerâmicos, produto de alto valor agregado. Entretanto, por não haver legislação brasileira vigente para este produto, é preciso verificar sua adequabilidade às normas internacionais que servem como referência.

Sendo assim, as justificativas para este trabalho basearam-se nos possíveis benefícios da incorporação do resíduo para um produto final de qualidade e com

parâmetros técnicos compatíveis com as normas internacionais, além da tentativa de minimização dos impactos ambientais da produção destes resíduos.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. A indústria de cerâmica vermelha**

O estudo de mercado produzido pelo SEBRAE (2008) relata que, no mundo, os primeiros materiais de construção como tijolos, telhas e blocos foram detectados, por volta de 5000 a 6000a.C., sendo que os primeiros tijolos queimados datam de 3000a.C. Ainda o mesmo autor defende que esta atividade foi evoluindo e, por volta do século Ia.C., começou a revelar o aprimoramento na qualidade proveniente da tecnologia produtiva empregada, resultando em peças de maior valor estético e monetário.

ABCRAM (2015b) define cerâmica como “todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas”. Este material faz parte da vida diária da população, pelo fato de estar presente na maioria dos produtos utilizados em qualquer ocasião, como os pratos da mesa, vidros nas janelas, tijolos nas paredes, porcelanas nas instalações elétricas, aparelhos sanitários etc. Assim como muitas indústrias que dependem desses materiais, como por exemplo a indústria metalúrgica, que requer refratários e a automobilística que necessita de abrasivos. (NORTON, 1973)

Hoje, no Brasil, a indústria cerâmica utiliza na sua produção, processos de moldagem manuais e mecânicos, que podem ser tanto de extrusão quanto de prensagem. Após a conformação, os produtos são sinterizados a altas temperaturas. Segundo Santos (1989), oscilações entre 950 a 1250°C são ideais para produção de cerâmica vermelha. Ainda de acordo com este autor, temperaturas excessivamente altas, como 1450°C, por exemplo, são capazes de gerar trincas e empenamentos

nas peças cerâmicas devido a retrações elevadas. Apesar destas temperaturas consideradas ideais, por questões econômicas, as indústrias insistem em queimar utilizando de 800 a 900°C e como consequência, segundo Motta *et al.* (2001), acabam por produzir produtos de qualidade inferior, devido a alta porosidade aberta decorrente das baixas temperaturas. Mesmo com esta propriedade, algumas indústrias conseguem fabricar produtos com resistência mecânica suficiente para atender as exigências das normas para peças de cerâmica vermelha, não incentivando assim, o aumento da temperatura de queima.

De acordo com dados oficiais da Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2015), atualmente, no Brasil, há aproximadamente, 6903 Cerâmicas e Olarias, responsáveis pela geração de 293 mil empregos diretos e, aproximadamente, 900 mil empregos indiretos, correspondendo um faturamento anual de R\$ 18 bilhões, o que comprova a grande importância desse setor para todo o país. Na Tabela 1, fornecida pela ANICER (2015) é possível observar o panorama do setor cerâmico no Brasil, responsável pelos dados citados anteriormente.

Tabela 1. Panorama do Setor Cerâmico no Brasil. Fonte: ANICER (2015)

	<b>Nº de empresas aproximado</b>	<b>% aproximada por área</b>	<b>Produção/mês (Nº de peças)</b>	<b>Consumo ton/mês (matéria-prima: argila)</b>
Blocos/Tijolos	4346	63%	4.000.000.000	7.800.000
Telhas	2547	36%	1.300.000.000	2.500.000
Tubos	10	0,1%	325,5km*	-

\* Produção apontada pela Associação Latino-Americana de Fabricantes de Tubos Cerâmicos (Acertubos), considerando o número de 10 empresas, responsáveis pela fabricação de 3.906km/ano.

A indústria cerâmica, convencionalmente, divide-se em setores diferenciados pelos produtos obtidos e pelos mercados que estão inseridos. Bustamante e Bressiani (2000) listam os principais segmentos que dividem o setor. São eles:

- Cerâmica Estrutural (Vermelha);
- Revestimentos (pisos e azulejos);
- Matérias-Primas Naturais;



O segmento nomeado cerâmica estrutural ou vermelha, é caracterizado pela cor vermelha presente em seus produtos, como blocos, telhas, tubos, lajes para forros, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida dentre outros. (MOTTA *et al.*, 2001; ABCRAM, 2015)

Na Figura 2 é possível ver relacionados os setores cerâmicos, as matérias-primas utilizadas em cada um deles, bem como o processo e a temperatura de queima de cada produto.

Dentre as indústrias de cerâmica, a mais numerosa é a de cerâmica vermelha (estrutural), devido a sua grande importância no cenário da indústria da construção civil com a expressiva produção de tijolos furados, tijolos maciços, lajes, telhas, manilhas, pisos rústicos, blocos de vedação e estruturais. Este último é indicado como preferência dos consumidores da maioria das regiões do Brasil, mesmo com a existência de outros blocos, como o de concreto e concreto celular, indica os blocos cerâmicos. (GOUVEIA, 2008; BUSTAMANTE e BRESSIANI, 2000)

#### **4.2. Polo cerâmico de Campos dos Goytacazes**

Segundo dados do IBGE (2015), o município de Campos dos Goytacazes, localizado no norte do Estado do Rio de Janeiro, possui população de, aproximadamente, 480.648 habitantes e área territorial de 4.026,696km<sup>2</sup> e possui, como um dos destaques da sua economia, a indústria de cerâmica vermelha. (IBGE, 2015; ALEXANDRE, 2000)

Segundo VIEIRA *et al.* (2000, p. 1):

a região de Campos dos Goytacazes, localizada na região norte do Estado do Rio de Janeiro, apresenta uma grande reserva de argilas, que motivou o desenvolvimento de um pólo de cerâmica vermelha. Atualmente, este pólo cerâmico é responsável por cerca de 40% da produção estadual.

Ramos *et al.* (2011) fizeram, em 2011, um levantamento e criaram um banco de dados que dimensionou o Parque Cerâmico do Município. Segundo os dados presentes neste artigo, foram identificadas 98 indústrias cerâmicas existentes na região até aquele momento. Das cadastradas, 83 cerâmicas consomem um total de 5.700m<sup>3</sup> de matéria-prima diariamente.

A grande reserva de argila existente no município origina-se na sedimentação de materiais silto-argilosos de carga de suspensão em ambientes de planície de inundação após a ocorrência de eventos de enchentes do Rio Paraíba do Sul. Esses depósitos localizam-se à margem direita do Rio Paraíba do Sul, ao longo da estrada RJ-216 que liga a cidade de Campos ao Farol de São Tomé. (RAMOS *et al.*, 2008)

Lamego, *apud* Alexandre (2000), lembra que o Rio Paraíba do Sul tem início na serra da Bocaina em São Paulo e atravessa os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Ele recebe também contribuição de vários afluentes, sendo o último destes, o rio Muriaé, que possui muita importância na formação do antigo delta do Paraíba. Após todo o trajeto, o município final do rio é São João da Barra, distante, aproximadamente, 35km do Centro da cidade de Campos dos Goytacazes.

Para Alexandre (2000, p. 19):

o Paraíba do Sul é de grande importância para os diversos municípios por onde passa, pois contribui efetivamente no abastecimento de água, na fertilidade de suas margens para a agricultura e no fornecimento de matérias-primas, como por exemplo, argila para indústrias cerâmicas e areia para construção civil.

Uma das dificuldades encontradas pelas cerâmicas, não só do município de Campos, mas de todo o Brasil, é produzir peças idênticas em grande escala, com as mesmas características técnicas e estéticas, tendo como matéria-prima principal, materiais naturais com características variáveis. Isto se deve também ao fato de não possuírem uma metodologia de trabalho rigorosa, gerando a fabricação de produtos com geometria irregular, baixa resistência e pouca uniformidade. (TEIXEIRA *et al.*, 2002; RAMOS *et al.*, 2011)

## 4.3. Rochas Ornamentais

### 4.3.1. Definição

Gonçalves (2000) e Vargas *et al.* (2001) conceituam rocha ornamental como aquela que é extraída na forma de grandes blocos como paralelepípedos de granito, sienito, migmatito, quartzito, arenito, ardósia, serpentinito, mármore, calcário, que, posteriormente, serão serradas em placas e polidas, gerando assim, interesse comercial para fins decorativos. O alto brilho é um fato de extrema importância para esses tipos de rocha, ao contrário daquelas que são utilizadas como materiais de construção em geral, cuja principal importância é a resistência física. Para efeito comercial, todas as rochas com alta resistência ao desgaste e beleza são generalizadas como granito.

Para Mello (2006), rochas ornamentais podem ser, segundo a origem das rochas, tanto as ígneas como as sedimentares e as metamórficas, desde que suas propriedades físicas atendam positivamente aos ensaios de caracterização tecnológica.



Figura 3. Piso em mármore branco e calcário marrom em residência projetada pelo escritório “Project A01 Arquitetos”. Fonte: <http://www.stone-ideas.com/>

Essas rochas, por possuírem características peculiares como textura, cor, desenhos e granulações, são muito usadas em construções; porém, como dito anteriormente, sua aplicação é, em maior quantidade, para áreas decorativas e funcionais, na fabricação de vários produtos como esculturas, pés e tampos de mesas, balcões, lápides e arte funerária em geral, bem como em pilares, colunas, soleiras, revestimentos internos e externos, pisos (Figura 3), escadas e fachadas (Figura 4). (MME, 2009; VARGAS *et al.*, 2001)



Figura 4. Placas de Calcário utilizadas como revestimento de parede em residência projetada pelo escritório “Project A01 Arquitetos”. Fonte: <http://www.stone-ideas.com/>

Apesar da existência de outros tipos de rochas ornamentais, como travertinos, quartzitos, arenitos, conglomerados, ardósias etc, devido ao grande volume de extração dos granitos e mármore, para o mercado, esses são os principais. (MELLO, 2006)

O granito pode ser definido como rocha ígnea silicática, sua composição abrange cristais de feldspato, anfibólio, quartzo e mica (biotita e/ou muscovita), podendo conter minerais acessórios como plagioclásio e piroxênio. A variedade dos seus constituintes mineralógicos garantem as diferentes cores e texturas das rochas. Uma característica importante é a alta resistência ao desgaste abrasivo quanto maior for à quantidade de quartzo presente no material. Devido à alta dureza, o

granito precisa da utilização de serra diamantada para o corte. (MELLO, 2006; SILVA *et al.*, 2005; VARGAS *et al.*, 2001, MME, 2009)

Os mármorees podem ser conceituados como rochas constituídas principalmente por calcita e/ou dolomita, porém, comercialmente, são entendidos como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar (calcários e dolomitos), como metamórfica. Os materiais carbonáticos possuem baixa dureza, por este motivo, são relativamente fáceis de serem cortados e polidos, sendo muito adequados para processamentos industriais. Quanto maior o teor de calcita no material, maior será a vulnerabilidade para o desgaste físico e químico, ou seja, é possível de apresentar eflorescência quando entrar em contato com ácido clorídrico, presente em materiais domésticos. (VARGAS *et al.*, 2001; MELLO, 2006, MME, 2009)

Os quartzitos são rochas derivadas de sedimentos arenosos, compostas essencialmente por quartzo, tendo alta resistência ao risco e ao desgaste abrasivo. As ardósias são rochas metasedimentares compostas essencialmente de mica (muscovita e sericita), quartzo e clorita. E os conglomerados são rochas sedimentares, que diferem dos arenitos por apresentarem constituintes de maior diâmetro (superior a 2mm). (MELLO, 2006, MME, 2009)

#### **4.3.2. A importância da Rocha Ornamental para o Brasil**

Com o crescimento do intercâmbio de rochas ornamentais e de revestimento, as décadas de 1980 e 1990 foram caracterizadas como “a nova idade da pedra” e o próprio setor de rocha foi dito como uma das áreas mais importantes de negócios minero-industriais. Esse desenvolvimento do setor continuou ocorrendo nos anos seguintes, pelo menos da década de 2000 até 2007, marcada principalmente pela multiplicação de informações através de feiras setoriais, modernização das tecnologias produtivas, ampliação da carteira de rochas comercializadas e o grande aquecimento da construção civil. (VARGAS *et al.*, 2001; ABIROCHAS, 2015, MME, 2009)

Em 2008, houve uma diminuição de crédito devido à crise norte-americana e uma redução da importação tanto dos EUA quanto de alguns importadores europeus

e asiáticos. Essa situação começou a mudar a partir de 2010, quando o mercado importador começou a dar sinais de recuperação. (MME, 2009; ABIROCHAS, 2015)

A Figura 5 apresentada por ABIROCHAS (2015) mostra como foi a evolução do faturamento das exportações Brasileiras do setor de Rochas Ornamentais. Nela é possível perceber que o setor estava em crescimento até 2007, quando começou a decrescer. A partir de 2010, é nítido o início da recuperação, chegando a superar o faturamento anterior à crise em 2013.

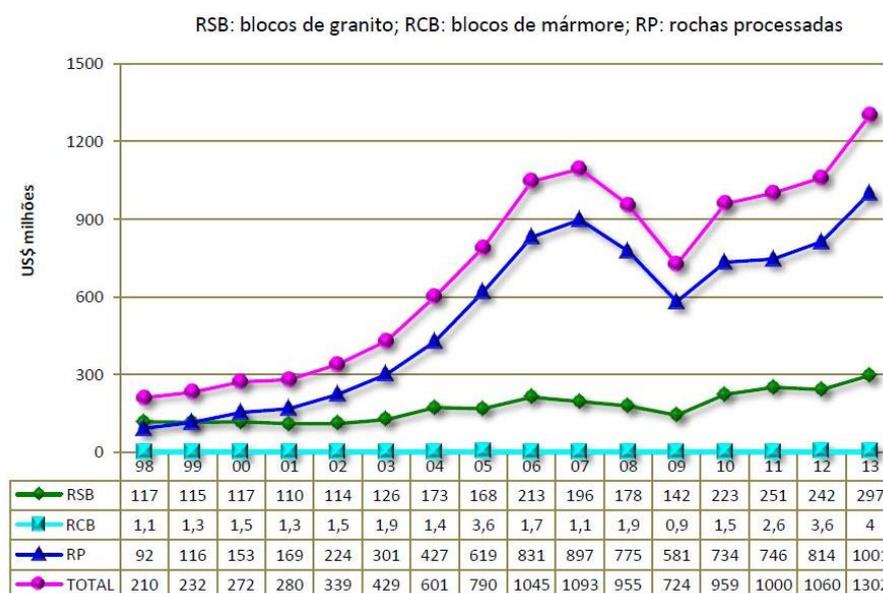


Figura 5. Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais.  
Fonte: ABIROCHAS (2015).

Em 2012, o Brasil passou a ser considerado o 4º maior produtor e o 7º maior exportador de rochas ornamentais do mundo, segundo ABIROCHAS (2015). Essas rochas são empregadas desde quando o homem utilizava caverna para abrigo e proteção e hoje são usadas ao redor do mundo como material para fabricar monumentos, ornamentos na construção civil, pisos, revestimentos etc. (SETEC, 2007, VARGAS *et al.*, 2001)

Ainda segundo o estudo feito por ABIROCHAS (2015), em 2013 as exportações brasileiras de rochas ornamentais e revestimentos cresceram 22,8% totalizando US\$ 1.302,11 milhões, correspondendo 2,73 milhões de toneladas comercializadas, um incremento de 21,8% em comparação ao ano de 2012. Ainda neste ano, foi indicado que o Brasil coloca no mercado interno e externo o relativo a

1.200 variedades de rochas e possui 1.400 pedreiras ativas, que geram 120.000 empregos diretos e 360.000 empregos indiretos.

Acredita-se que o crescimento da exportação das rochas tende a aumentar ainda mais, com projeções de atingir, em 2020, uma produção que ultrapassará 180 milhões de toneladas e um faturamento de US\$ 2,5 bilhões, tendo em vista uma taxa de crescimento anual de 10%. (ABIROCHAS, 2015)

O estudo mostra também a evolução detalhada do consumo interno de rochas ornamentais (Tabela 2) no Brasil. Após a adequação do mercado externo, as empresas brasileiras tiveram condições de enfrentar um significativo aquecimento da demanda do mercado interno. Aquecimento este que pode ser observado a partir da metade da última década e vigente ainda hoje.

Tabela 2. Detalhamento da evolução do consumo interno de rochas ornamentais após a crise enfrentada até 2008. Fonte: ABIROCHAS (2015).

EVOLUÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO BRASIL 2009-2013 (Valores em 1.000t)					
Parâmetros	2009	2010	2011	2012	2013
Produção de rochas brutas	7.600,00	8.900,00	9.000,00	9.300,00	10.500,00
Importação de rochas brutas	15,53	23,00	25,30	26,80	28,20
Disponibilidade de rochas brutas	7.615,53	8.923,00	9.025,30	9.326,80	10.528,20
Exportação de rochas brutas	809,60	1.196,90	1.197,60	1.157,40	1.445,80
Rochas brutas para processamento	6.805,93	7.703,10	7.827,70	8.169,40	9.082,40
Rejeito de processamento (41%)	2.790,43	3.158,00	3.209,40	3.349,50	3.723,80
Produção de rochas processadas	4.015,50	4.544,80	4.618,30	4.819,90	5.858,60
Importação de rochas processadas*	51,08	67,90	111,20	133,00	133,30
Disponibilidade de rochas processadas	4.066,58	4.612,70	4.729,50	4.952,90	5.491,90
Exportação de rochas processadas	863,03	1.042,80	991,30	1.070,00	1.279,80
Consumo interno	3.203,55	3.569,90	3.738,20	3.882,90	4.212,10
Consumo em m <sup>2</sup> equivalente x 1.000.000**	59,33	66,11	69,23	71,89	78,0
Consumo per capita (m <sup>2</sup> x 2cm espessura)***	0,31	0,35	0,36	0,39	0,39
Consumo per capita (kg)***	16,86	18,69	19,44	21,06	21,06

(\*) inclui chapas aglomeradas, de 2011 a 2013; (\*\*) 54 kg/m<sup>2</sup>; (\*\*\*) 200 milhões habitantes em 2013

É possível concluir da Tabela 2 que os índices de todos os parâmetros aumentaram de 2009 até 2013, mostrando um grande crescimento e

desenvolvimento do setor, inclusive no que diz respeito a rejeito de processamento, que será um tópico estudado neste trabalho.

#### 4.3.3. Produção de Rocha Ornamental no município de Santo Antônio de Pádua – RJ

A cidade de Santo Antônio de Pádua (Figura 6), localizada na região Noroeste do estado do Rio de Janeiro possui uma população com 41.035 habitantes, segundo informações do IBGE (2013). É limitada pelos municípios de Miracema, Cantagalo, Cambuci, Aperibé, Itaocara e por cidades de Minas Gerais, como Pirapetinga e Palmas. O Rio que corta o município é denominado Rio Pomba. (IBGE, 2013; SILVA *et al.*, 2002).

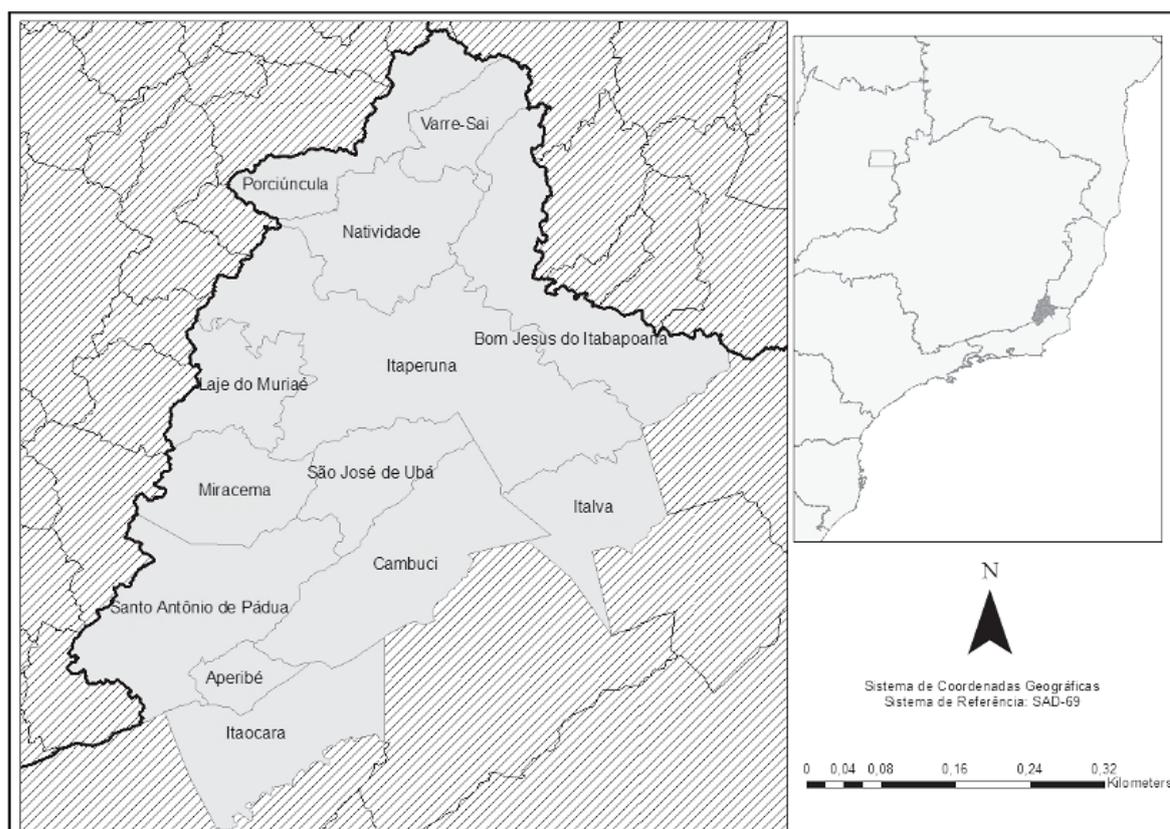


Figura 6. Localização do Município de Santo Antônio de Pádua-RJ. Fonte: <http://www.cetem.gov.br/>

Segundo informações da prefeitura de Pádua, o município encontra-se distante 265km da capital e suas principais atividades locais são extração mineral (pedras), pecuária leiteira, indústria de papéis e comércio.

Pádua é rica em rochas ornamentais e a partir da década de 80, a atividade mineira ganhou impulso, passando a tornar-se a principal fonte de renda e empregos da região, ou seja, foi reconhecida como principal atividade econômica do município. (SILVESTRE e SILVA, 2012; MOREIRA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2002)

Segundo Almeida *et al.* (2002), a cidade conta com uma quantidade expressiva de pedreiras e serrarias registradas, cerca de 100 e 40 respectivamente, cujas aplicações principais são em revestimento de piso e parede. Porém, Silvestre e Silva (2012) relatam, em seu trabalho, a existência de cerca de 300 microempresas que atuam no setor, sendo que, muitas delas, atuam na ilegalidade.

Conforme Almeida *et al.* (2002), a rocha existente e comercializada na região é do tipo “milonito gnaisse”, que “desplaca” com facilidade. Possui variedades locais (Figura 7) conhecidas como “pedra olho de pombo”, “granito fino”, “granito pinta rosa” e “pedra madeira”. (ROCHA *et al.*, 2011; SILVESTRE e SILVA, 2012)

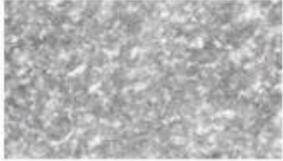
	Pedra Olho-de-Pombo		Pedra Madeira amarela
	Pinta Rosa		Pedra Madeira Rosa
	Granito fino		Pedra Madeira Branca

Figura 7. Exemplos das pedras encontradas em Pádua.  
Fonte: Silvestre e Silva (2012)

#### 4.3.4. A produção e utilização dos resíduos

De acordo com o supracitado, é sabido que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de rochas ornamentais e essa elevada produção gera, por consequência, grandes quantidades de resíduos. Estes, por sua vez, geram custos e dificuldades de destinação e têm sido alvo de estudos para sua reutilização. (BASTOS *et al.*, 2013; AGUIAR, 2012)

As leis brasileiras tentam deter o abandono do resíduo, como é o caso da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) que institui a política nacional de Resíduos Sólidos e determina o gerenciamento destes materiais, incluindo os perigosos, bem como às responsabilidades dos geradores e do poder público perante os casos de despejos. A criação desta legislação minimizou a irresponsabilidade no descarte dos materiais, porém, mesmo assim, ainda há casos de desrespeito com meio ambiente, sendo o rejeito despejado irregularmente, como em rios, lagos e diretamente nos solos, sem nenhum tratamento prévio, contaminando o meio e causando riscos à saúde da população, que entra em contato direto e indireto com estes materiais. (RIBEIRO, 2013; AGUIAR, 2012; SILVA *et al.*, 2005; MANHÃES *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2009)

Em Santo Antônio de Pádua, as pedreiras e serrarias ilegais, existentes na região são as que mais colaboram para o impacto ambiental, pois os descartam em lugares impróprios, contaminando o Rio Pomba e afluentes. Além de prejudicarem o meio ambiente também através do desmatamento. (SILVESTRE e SILVA, 2012)

Segundo Bastos *et al.* (2013), esses problemas de degradação ambiental poderiam ser minimizados com a correta destinação desses materiais, porém a coleta, o manuseio e a destinação adequada são, geralmente, custosos e muitas empresas preferem continuar a despejá-los de forma inadequada.

Os resíduos são gerados após a rocha passar por processo de produção para tornar-se apta a ser aplicada nas mais diversas modalidades de ornamentação e revestimento. (RIBEIRO, 2013)

O processo pode ser dividido, de acordo com SETEC (2007) em três fases principais, tais como beneficiamento, serragem em teares e acabamento de superfícies, que são explicadas a seguir:

- **Beneficiamento:** Trata-se do desdobramento dos materiais brutos extraídos nas pedreiras em forma de blocos. Esses, por sua vez, possuem dimensões que variam de 5m<sup>3</sup> e 12m<sup>3</sup>. O beneficiamento ocorre, sobretudo, através da serragem (processo de corte) em placas, por teares e telha-blocos, para depois receber o acabamento até sua dimensão final. (SETEC, 2007; RIBEIRO, 2005)
- **Serragem:** É executada por um quadro com fixação de lâminas paralelas de aço, que se movimentam de forma retilínea, pendular ou curvo-retilíneo-curvo sobre a rocha. Esse processo nos teares é auxiliado por poupa de água, cal e, algumas vezes, com granalha, que é despejada continuamente sobre a rocha para aperfeiçoar o corte e resfriar as lâminas. (SETEC, 2007; RIBEIRO, 2005)
- **Acabamento final das chapas:** É realizado através de levignamento (desbaste), polimento e lustro. O levignamento trata-se do afinamento das chapas, com a criação de superfícies planas e paralelas. O polimento gera o desbaste fino da chapa e também o fechamento dos poros entre os grãos minerais, criando uma superfície lisa, opaca e mais impermeável que a de uma face natural da mesma rocha. Após esse processo, a rocha poderá ser considerada pronta para ser aplicada em ornamentação e revestimento. (SETEC, 2007; RIBEIRO, 2013)

Segundo Bastos *et al.* (2013), o processo de serragem e acabamento pode gerar uma perda de 25% a 30% do bloco em forma de pó de pedra que ao se misturar com água e outros componentes, geram um resíduo em forma de lama acinzentada, também nomeada como lama abrasiva.

O resíduo gerado passa por filtros e tem a necessidade de ser descartado sendo direcionado a aterros especializados. Porém, devido a grande quantidade, aos custos e dificuldades para destinação, há um esforço considerável dos estudiosos para a sua reutilização de forma prática e econômica, com finalidade de evitar que sejam despejados em locais impróprios. (BABISK *et al.*, 2010; BASTOS *et al.*, 2013)

Quando descartada irregularmente, essa lama, após sofrer o processo de evaporação da água, transforma-se novamente em pó. Em alguns casos, a lama e o pó são jogados em rios sem antes serem tratados. Com isso, contaminam as nascentes e córregos, além de poluírem o ar e o solo, devido à fácil dispersão na água. Além desses prejuízos causados à natureza, quando estocados, afetam negativamente a paisagem, já que é necessário um grande espaço para armazenagem, Além de poder provocar danos também à saúde humana. (RIBEIRO, 2013; MOREIRA *et al.*, 2005, BABISK *et al.*, 2010)

Uma das soluções tecnicamente eficiente e de baixo custo que tem sido estudada é a incorporação desses resíduos em produtos de custo relativamente baixo e inerte, que são fabricados em muita quantidade. (TORRES *et al.*, 2009; MANHÃES *et al.*, 2009; BABISK *et al.*, 2010)

Torres *et al.* (2009) relataram que a incorporação do resíduo de lama de granito em telhas resultou, principalmente, em uma maior resistência mecânica e menor porosidade (com absorção de água menor que 6%). Além de mostrar-se viável para substituir recursos naturais não renováveis, minimizando os impactos ambientais negativos da geração dessas lamas.

Em Vieira *et al.* (2004a), os autores apresentam o resultado da avaliação da incorporação do resíduo em pó de granito proveniente de Santo Antônio de Pádua-RJ na produção de cerâmica vermelha. Os resultados da incorporação foram favoráveis, gerando facilidades de secagem e diminuição de porosidade, devido ao uso do resíduo.

Ainda sobre o resíduo proveniente de Pádua, Moreira *et al.* (2008a) incorporaram o resíduo em pó em massa cerâmica para a produção de peças para a construção civil. Como resultado, caracterizaram o material como não plástico, rico em quartzo, feldspato, calcita e minerais micáceos. Concluíram também que sua utilização é adequada à cerâmica vermelha, auxiliando o meio ambiente, através de destinação apropriada para o resíduo.

Hojamberdiev *et al.* (2001) estudaram as propriedades físicas e mecânicas da incorporação do resíduo de granito muscovita em telhas para produção industrial. O resultado do trabalho levou a afirmação que o resíduo assemelha-se a materiais não plásticos convencionais e, por este motivo, seu uso é benéfico quando incorporado à

massa de telhas cerâmicas. Identificaram também o aumento da resistência à compressão e flexão, bem como a redução na absorção de água.

Bastos *et al.* (2013) identificaram, por exemplo, várias aplicações desse material em matrizes cerâmicas, betuminosas e cimentícias para produtos como blocos, telhas, placas de revestimento, tijolos solo-cimento, argamassas e concreto.

No trabalho de El-Maghraby *et al.* (2011), o granito natural foi peneirado a 200mesh e adicionado à massa de telha com o objetivo de substituir completamente os materiais fundentes e inertes de uma massa cerâmica. Como resultado, obtiveram a redução considerável na absorção de água e aumento da resistência à flexão, além da confirmação da viabilidade do uso deste material em materiais cerâmicos.

Sobre o aproveitamento do resíduo, Gonçalves (2000) explica que na Itália já utilizam-se os resíduos de rocha em confecção de placas prensadas para pavimentação, por exemplo. E que no Brasil, as sobras dos blocos, chamadas de costaneiras, são utilizadas em pavimentação e paisagismo.

Acrescenta-se também que Moreira *et al.* (2005) afirmam que o resíduo das rochas tem potencial para ser utilizado também no desenvolvimento de produtos cerâmicos, inclusive para a construção civil.

Alguns pesquisadores começaram a desenvolver métodos de aproveitamento dos resíduos sem que estes perdessem suas características. Dessa forma, durante a fabricação os gastos de energia poderiam ser reduzidos. Outros estudiosos pretendem diminuir parte do consumo de matéria-prima natural e não renovável, incorporando os resíduos em sua composição. (TORRES *et al.*, 2009; RIBEIRO, 2013)

Silvestre e Silva (2012) afirmam que as serrarias de Santo Antônio de Pádua, geralmente, localizam-se próximas a cursos d'água, pois as máquinas utilizadas necessitam de uma quantidade muito grande de água para refrigeração. Por este motivo, algumas indústrias optaram por construir em seu terreno, tanques de decantação. O objetivo é que, após passar pelos tanques e receber tratamento químico adequado, a água seja reaproveitada no processo de beneficiamento. Esta atitude diminuiu, consideravelmente, a retirada de água do rio Pomba, além de restringir a quantidade de despejos finos no rio, que gerariam assoreamento e

contaminação. Outro benefício deste processo é a utilização destes rejeitos na fabricação de argamassa.

Mármol *et al.* (2010) estudaram as características do resíduo de lama de granito proveniente do corte das pedras para incorporação como matéria-prima em formulações de argamassa à base de cimento. Como resultado obteve-se que o resíduo pode substituir o calcário ou atuar como pigmento. As propriedades mecânicas das formulações estudadas foram ou mantidas ou melhoradas com a incorporação do resíduo.

Sobre o exposto acima, Moreira *et al.* (2010) acrescentam que os resíduos desse setor industrial vêm sendo utilizados em larga escala atualmente, com o objetivo de descobrir e incorporar matérias-primas alternativas e também de fazer uma destinação ambientalmente correta dos resíduos.

Em contato direto com a empresa de nome fantasia Argamil, foi informado que em 2014, cerca de 2mil toneladas de resíduos foram recolhidas das serrarias. A indústria de argamassa existente na região, porém, não consegue utilizar o resíduo em sua totalidade, ainda restando muito o que reutilizar. Portanto, caso haja viabilidade na reutilização dos resíduos industriais, não só do caso citado acima, os resíduos devem, então, tornar-se um subproduto associado ao valor de mercado.

## 4.4. Pavimentos

### 4.4.1. Pavimentos intertravados

Segundo a NBR 15953 (2011), a palavra **pavimento** pode ser definida como uma estrutura construída após terraplanagem destinada a:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que atuam nesta estrutura, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Esses pavimentos são cobertos por uma camada chamada **revestimento**, composta por peças de concreto e material de rejuntamento capaz de receber diretamente a ação do rolamento dos veículos (NBR 1595, 2011).

O componente estrutural que recebe as tensões distribuídas pela camada de revestimento é a camada de base, que é destinada a resistir e distribuir os esforços verticais causados pelos veículos protegendo estruturalmente o subleito (fundação do pavimento) das cargas externas, evitando deformações permanentes e conseqüentemente a deterioração do pavimento. (CRUZ, 2003; NBR 7207, 1982)

O pavimento conhecido como **intertravado** é conceituado pela NBR 9781 (2013, p. 2), como:

pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.

Segundo ABCP (2014), dentre as vantagens e as propriedades deste tipo de pavimento são destacadas: a imediata utilização do pavimento após o assentamento das peças, fácil reparação ou substituição das peças, fácil execução dos pavimentos, requerem pouca manutenção. Além de ser permeável, permitindo a microdrenagem das águas pluviais.

Ainda de acordo com ABCP (2014), a construção dos pavimentos de tipo intertravado é simples, pois sua construção depende apenas de compactar os blocos sobre uma camada de areia grossa, espalhar areia fina na superfície e compactar novamente, com o objetivo de preencher toda e qualquer junta ainda existente com areia, porém, diferente de outros tipos de pavimentos, é o intertravamento que proporciona a resistência desses.

**Intertravamento**, por sua vez, é definido, segundo a NBR 15953 (2011), como a capacidade das peças resistirem a deslocamentos individuais, sejam eles

verticais, horizontais, de rotação ou giração, em relação às peças adjacentes (Figura 8).

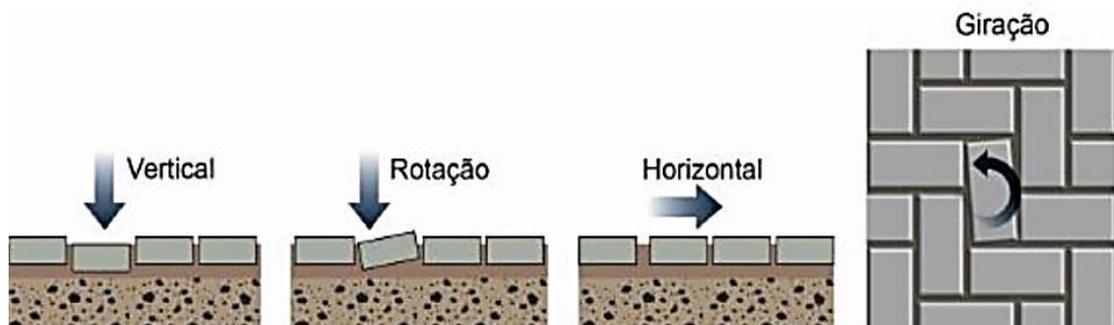


Figura 8. Capacidade das peças resistirem a movimentos devido ao intertravamento dos blocos. Fonte: Martins (2014).

Os quatro tipos de intertravamento que atuam em um pavimento intertravado são detalhados, ainda de acordo com a NBR 15953 (2011) como:

- Intertravamento Vertical – Capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços de cisalhamento entre as peças;
- Intertravamento Horizontal – Capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços causados por forças de aceleração e frenagem das cargas;
- Intertravamento Rotacional – Capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços perpendiculares excêntricos aos eixos das peças;
- Intertravamento Giracional – Capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços pontuais no eixo das peças.

#### 4.4.2. Peças pré-moldadas de concreto – PPC

A NBR 9781 (2013, p. 1) define **peça de concreto** como “componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado”, também conhecido por **PPC**, ou seja, peças pré-moldadas de concreto, termo este que será utilizado ao longo deste trabalho.

De acordo com Cruz (2003, p. 1), a respeito dos pavimentos revestidos de peças pré-moldadas de concreto:

com a disponibilidade no mercado de equipamentos de grande produtividade e com elevado grau de precisão dimensional, a indústria de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto – PPC – vem crescendo em grandes proporções em todo o mundo, inclusive no Brasil. O que era um tipo de material utilizado apenas em áreas que demandavam efeitos arquitetônicos ou paisagísticos, deu lugar a um material único extremamente versátil para harmonizar qualquer tipo de pavimento, inclusive o industrial e rodoviário, tanto esteticamente quanto estruturalmente.

Ainda segundo o mesmo autor, a produção da primeira peça pré-moldada de concreto foi no final do século XIX e algumas patentes foram registradas antes da primeira guerra mundial, a partir de então, começaram a reconhecer que os **PPCs** forneciam melhor uniformidade e não necessitavam de tratamentos especiais antes do assentamento, ao contrário das peças de pedras naturais. Desde o século XIX, o PPC já era um produto consolidado comercialmente na Américas Central e do Sul e África do Sul, além de estar presente em grande parte dos países europeus e ter ganhado espaço nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Japão.

Como especifica a NBR 9781 (2013), para a confecção dos **PPCs**, os materiais utilizados além do concreto, também é permitido o uso de aditivos e pigmentos, principalmente para criar a variedade de coloração existente no mercado.

Ainda sobre a mesma norma, ela regulamenta que é permitida a criação de vários formatos de peças de concreto, que se diferenciam através dos Tipos especificados abaixo:

- Tipo I – Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe;

- Tipo II - Peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras;
- Tipo III – Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triédros etc, com pesos superior a 4kg;
- Tipo IV – Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

A diferença entre os formatos dos tipos anteriormente citados pode ser observada nas Figuras Figura 9 a Figura 12:

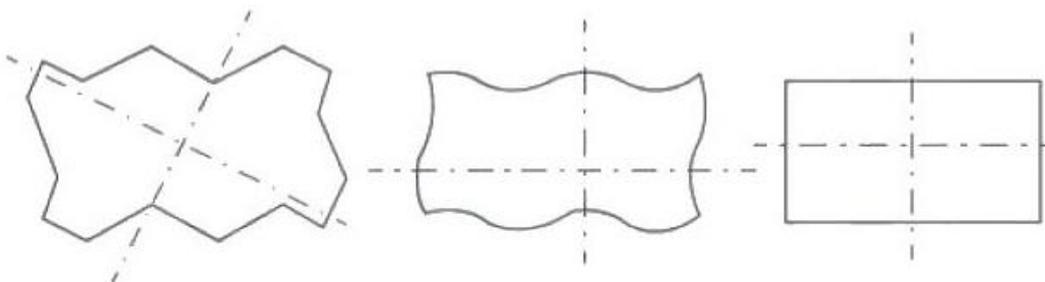


Figura 9. Exemplos dos PPCs do tipo I. Fonte: NBR 9781 (2013).

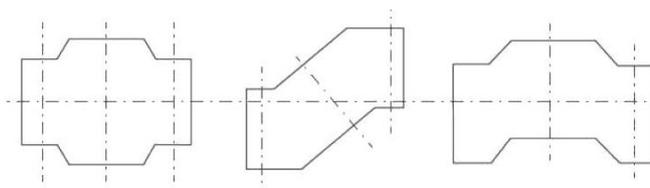


Figura 10. Exemplos dos PPCs do tipo II. Fonte: NBR 9781 (2013).

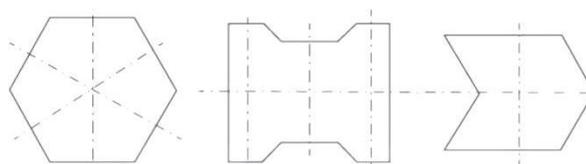


Figura 11. Exemplos dos PPCs do tipo III. Fonte: NBR 9781 (2013).

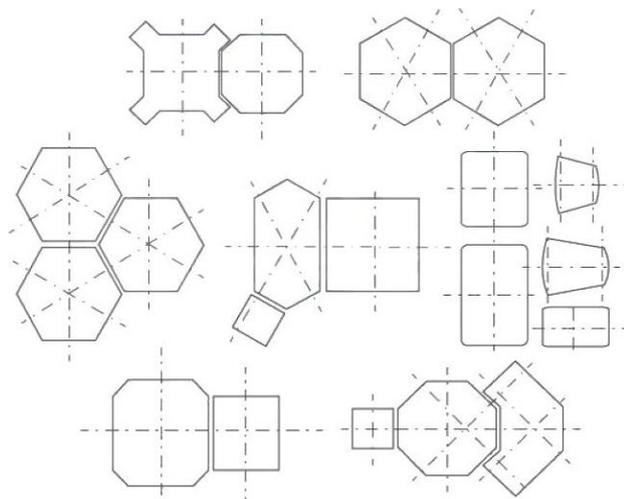
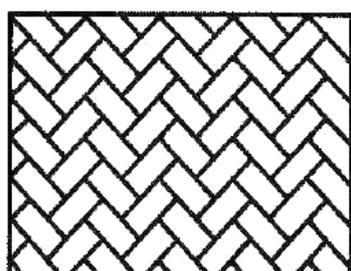
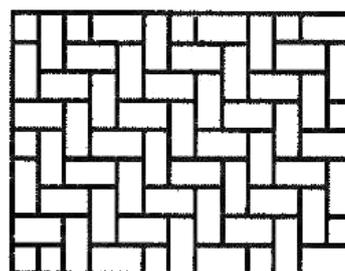


Figura 12. Exemplos dos PPCs do tipo IV. Fonte: NBR 9781 (2013).

A seguir (Figuras Figura 13 e Figura 14) pode-se observar alguns exemplos de paginação de assentamento dos PPCs.



Espinha-de-peixe a 45°



Espinha-de-peixe a 90°

Figura 13. Exemplos de assentamento das PPCs tipo espinha de peixe. Fonte: Cruz (2003).

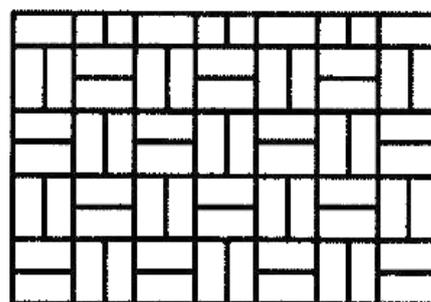
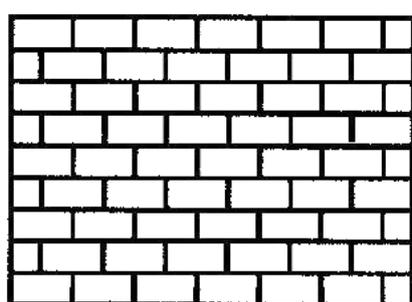


Figura 14. Exemplo de assentamento das PPCs tipo fileira e trama. Fonte: Cruz (2003).

Carmin (2010, p. 62) explica que o pavimento intertravado de peças-pré moldadas de concreto, independente do tipo de assentamento, tende a se tornar mais resistente com o passar do tempo:

a propriedade de distribuição das cargas vai melhorando com a utilização do pavimento, que produz progressivamente um estado de travamento total chamado intertravamento (lock up). A camada de rolamento adquire maior rigidez com o passar do tempo e as peças pré-moldadas de concreto deixam de constituir mera camada de rolamento para transformar-se numa camada estrutural.

Atualmente, dentre as várias vantagens e propriedades dos pavimentos de peças intertravadas de concreto, a ABCP (2014), reconhece também como característica: a possibilidade de reutilização das peças, a resistência ao ataque de óleos e ao derramamento de combustível e além de grande capacidade estrutural, ainda conseguem ter valor paisagístico.

Sobre as propriedades físicas e mecânicas das peças pré-moldadas de concreto, a NBR 9781 (2013) determina alguns valores mínimos que devem ser adotados como condições obrigatórias para utilização das **PPCs** em pavimentação de vias urbanas e pátios. Estas determinações serão apresentadas abaixo:

Sobre a Absorção de água, as amostras de **PPC** devem apresentar valor médio de absorção de água menor ou igual a 6%, não sendo admitido valor individual maior do que 7%.

Tabela 3. Indicação da resistência característica à compressão de acordo com a solicitação. Fonte: NBR 9781 (2013)

<b>SOLICITAÇÃO</b>	<b>RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS</b>
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$\geq 35$ MPa
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50$ MPa

Na Resistência característica à compressão, os valores mínimos admitidos estão descritos na Tabela 3, variando de acordo com a necessidade de uso do produto.

As peças devem passar por uma inspeção visual, visando garantir aspecto homogêneo, arestas retangulares e ângulos retos, livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação. Caso haja alguma variação de coloração, devido ao processo de fabricação e da variação das matérias-primas, essa será descartada.

A regulamentação para resistência à abrasão define que este tipo de ensaio é facultativo, porém, quando essa for realizada, deve atender aos critérios descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Critérios para resistência à abrasão. Fonte: NBR 9781 (2013)

<b>SOLICITAÇÃO</b>	<b>Cavidade máxima (mm)</b>
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$\geq 23$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 20$

## 4.5. Adoquim cerâmico

### 4.5.1. Definição

O adoquim é um pavimento cerâmico intertravado que oferece características e benefícios como resistência, durabilidade, coloração natural com cores exuberantes, aspecto rústico, facilidade de aplicação e reparação, entre outras. (CONORSA, 2015; CANDIDO *et al.*, 2013; PINHEIRO, 2012)

Por proporcionar a micro-drenagem de água da chuva, é tido como pavimento permeável, fator que auxilia a resolver problemas de acumulação de água, tão comum em diversas cidades. Devido a esta qualidade e ao conforto térmico inerente do material, o produto é muito indicado para aplicação ao ar livre, como em zonas

recreativas e calçamento de ruas para tráfego de automóveis e pedestres. (QUINTEIRO *et al.*, 2012; CONORSA, 2015; MALPESA, 2015)

Este produto pode ser produzido a partir de mistura de argilas e materiais não plásticos, que proporcionam correta plasticidade à massa e a variedade de cores desejadas ao produto final. (CANDIDO *et al.*, 2013)

Segundo PINHEIRO (2012), a grande disponibilidade de matérias-primas na região e a necessidade de criação de novos produtos no mercado regional ceramista, são fatores favoráveis para a produção do adoquim, que mostra-se como uma oportunidade inovadora para o mercado campista. Além do produto proporcionar a possibilidade de aproveitamento de resíduos de vários segmentos industriais como matéria-prima para sua confecção, devido aos seus requisitos técnicos de queima.

#### **4.5.1. Fabricação e especificação**

Segundo Quinteiro *et al.* (2012), o Brasil tem experimentado uma demanda crescente em política pública que visa a valorização de produtos que estão em conformidade com as normas de qualidade. Por este motivo, os clientes atuais exigem, cada vez mais, a criação de novos produtos para o mercado com essa característica. Para agradar o mercado, os fabricantes de produtos cerâmicos, que já dominam as técnicas necessárias de fabricação, começaram a dirigir sua atenção para o adoquim cerâmico, produto novo, com alto valor agregado.

Esses *pavers* cerâmicos são vistos como uma solução eficaz para problemas que afetam alguns princípios das vias públicas, como a fluidez, conforto e segurança. Além de qualidades técnicas, estéticas e práticas, gera o equilíbrio dos fatores ambientais e econômicos, o que aumenta a possibilidade de uso em diversas áreas de tráfego. (MALPESA, 2015; QUINTEIRO *et al.*, s/d)

Padilla (2012, p. 2) resume as características do adoquim:

- É fabricado com matérias-primas naturais, não precisando de aditivos especiais;
- Sua coloração é natural das argilas depois de queimadas;

- É capaz de conter materiais reciclados de outros processos industriais.

Sobre os principais trabalhos encontrados que estudaram o adoquim cerâmico, é possível afirmar:

Pinheiro (2012) desenvolveu o *paver* cerâmico utilizando a mistura de duas argilas de Campos dos Goytacazes e incorporando argilito, que consiste em uma rocha de origem sedimentar que contém feldspato, quartzo, argilominerais e clorita. Neste trabalho, foram executados testes laboratoriais e industriais. Na indústria, foram produzidos adoquins em grande escala utilizando a formulação de massa e temperaturas adequadas determinadas em laboratório. Como resultado, obteve-se êxito na fabricação de adoquim para tráfego em vias de pedestres, indicando que as características do argilito são favoráveis para sua incorporação na cerâmica.

Cândido (2012) estudou o comportamento do piso cerâmico intertravado com incorporação de argilito e chamote, que consiste em um resíduo proveniente da queima (em baixas temperaturas, menores que 600°C) de blocos de vedação. Os resultados de resistência mecânica indicaram que esta incorporação produziu um efeito positivo nas massas dos adoquins, ou seja, sendo indicadas para a produção deste *paver* para pavimentação de vias de tráfego pesado.

No trabalho de Santos (2013) executou-se uma formulação de adoquim utilizando resíduos urbanos e industriais, ou seja, sedimentos de lama dragada proveniente do escoamento de águas pluviais, resíduo de manganês e chamote. Os resultados indicaram que as massas com incorporações e sinterizadas acima de 900 °C obtiveram resultados positivos como diminuição da porosidade e aumento da resistência mecânica.



Figura 15. Diversas cores dos Adoquins produzidos pela Cerâmica Garcia Cuesta, Espanha.  
Fonte: Garcia Cuesta (2010)

Na Figura 15 é possível verificar a variedade de cores naturais dos adoquins produzidos pela Cerâmica Garcia Cuesta, localizada na Espanha.

Quando comparado ao produto semelhante de concreto (**PPC**), o adoquim se sobressai, pois não há alteração de cor quando exposto ao sol, além do desgaste natural realçar ainda mais a beleza do produto cerâmico, classificado como rústico. (QUINTEIRO *et al.*, s/d; MALPESA, 2015)

O adoquim pode ser utilizado como pavimento intertravado rígido ou flexível. Quando utilizado como pavimento rígido, seu sistema construtivo deve consistir na colocação de peças sobre uma base de argamassa e devem ser utilizadas juntas também de argamassa, porém essa aplicação torna o pavimento impermeável. (GARCIA CUESTA, 2010)

Ao ser utilizado como pavimento flexível (Figura 16), o sistema construtivo, demonstrado na Figura 17, consistirá na colocação das peças de adoquim sobre uma camada de areia compactada e o fechamento das juntas também com areia, seguido de uma compactação final. Para este tipo de pavimento, será necessária a execução de uma contenção lateral de concreto, para gerar o travamento das peças. Com esse tipo de execução, o pavimento torna-se permeável. (KANPTON e ALGIN, 1998; GARCIA CUESTA, 2010)

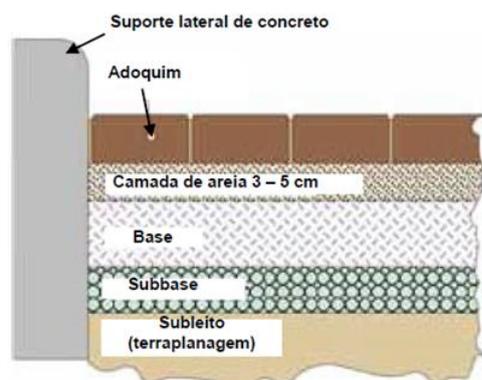


Figura 16. Estrutura do pavimento intertravado flexível. Fonte: Pinheiro (2012).

De acordo com Pinheiro (2012), a camada de base pode ser de cascalho fino e recebe as tensões da camada de revestimento, ou seja, do adoquim. Quando o lençol freático é localizado muito próximo ao subleito, o material utilizado como a sub-base deve ser granular, como o cascalho grosso.



Figura 17. Sistema construtivo do pavimento de adoquim. Em 1- Criação da base de areia; 2- Assentamento das peças; 3- Fechamento das juntas com areia. Fonte: MALPESA (2015), modificado.

A forma geométrica do adoquim, além de torná-lo pequeno e de fácil manejo, foi projetada não apenas para facilitar a instalação, mas também para distribuir corretamente as cargas impostas nele pelos diferentes tipos de tráfego. São diversos os locais aonde o adoquim pode ser utilizado, pois sua aplicação em pavimentos é capaz de atender a diferentes tipos de tráfego, como por exemplo: calçadas, zonas de pedestres, pátios, jardins dentre outros. (CANDIDO *et al.*, 2013)



Figura 18. Adoquim sendo utilizado na Cerâmica Arte Sardinha, em Campos dos Goytacazes-RJ. Fonte: Acervo da autora.

A Figura 18 mostra o adoquim sendo utilizado como pavimento flexível na cerâmica Arte Sardinha, localizada em Campos dos Goytacazes. No alto da imagem,

a diferença de paginação determina o limite do piso, onde está localizada a contenção. As juntas entre as peças servem para tornar o piso permeável, ou seja, facilitar o escoamento da água. Nesta imagem é possível observar também a variedade de cor produzida pela cerâmica.

São várias as possibilidades de paginação do adoquim, inclusive utilizando a mistura de cores disponíveis e *design* diferenciado do formato do produto. Alguns exemplos podem ser observados na Figura 19.

Na Figura 20 é possível observar os diferentes formatos que o adoquim possibilita.

O método de colocação do adoquim cerâmico deve ser planejado para garantir um bom rendimento da obra. A pavimentação deve começar sempre pela linha da borda, que é a linha natural. Para manter o desenho projetado, o adoquim deve seguir a sequência correta. As Figuras Figura 21 e Figura 22 mostram exemplos de colocação das peças para paginação em espinha de peixe a 45° e a 90°. (CONARQUITETURA, 2005)

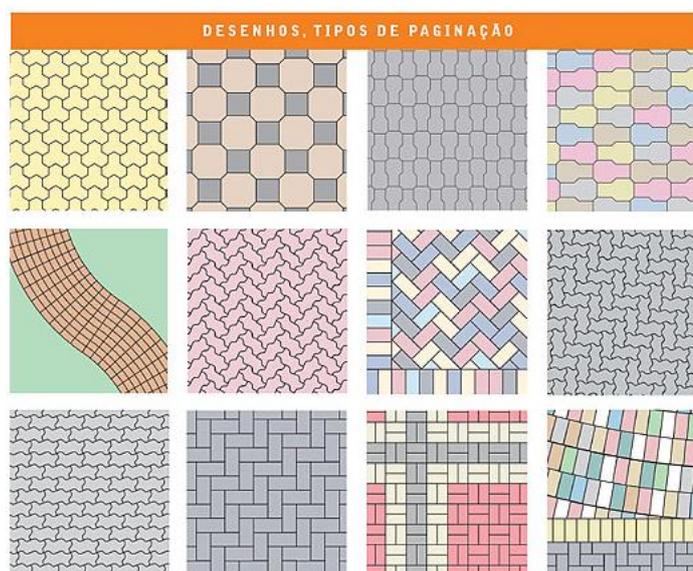


Figura 19. Exemplo de paginações possíveis para adoquim. Fonte: [www.pini.com.br](http://www.pini.com.br)



Figura 20. Diferentes *designs* do adoquim. Fonte: MALPESA (2015)

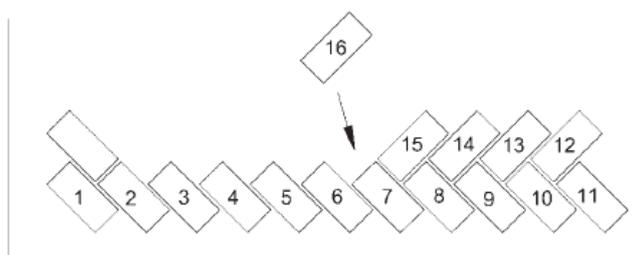


Figura 21. Exemplo de colocação do adoquim em espinha de peixe 45°. Fonte: (CONARQUITETURA, 2005)

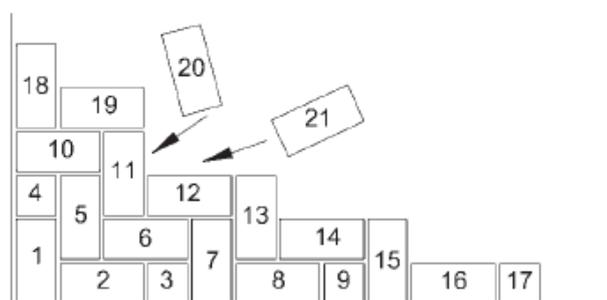


Figura 22. Exemplo de colocação do adoquim em espinha de peixe 90°. Fonte: (CONARQUITETURA, 2005)

Segundo Pinheiro (2012), os adoquins são usados em vários países do mundo como Espanha, Estados Unidos e Colômbia. Países esses que têm investido nesse tipo de produto. Nos Estados Unidos, algumas cidades como Orlando, Houston e Columbus, usam esses pisos intertravados com aspecto rústico e inovador, para pavimentar áreas que variam desde jardins até rodovias com trânsito veicular pesado.



Figura 23. Escola localizada em Matosinhos utilizando adoquim. Ganhador do Prêmio de Arquitetura 2010-2011 Tijolo face à Vista e Paver Cerâmico da Cerâmica do Vale da Gândara, Categoria Absoluta. Fonte: Vale da Gândara (2012)

Em Portugal, desde 2002, a Cerâmica Vale da Gândara (2012) lança periodicamente um concurso para premiar obras realizadas por arquitetos locais utilizando seus produtos, incluindo o adoquim. Dentre os premiados, é possível citar a obra do arquiteto Nuno Brandão Costa, que projetou uma Escola localizada em Matosinhos (Figura 23) e utilizou o *paver* cerâmico, na cor cinza, como piso na parte externa, próximo ao jardim.

Malpesa (2015) e Vale da Gândara (2012) defendem ainda que o adoquim é usado desde a antiguidade para pavimentar caminhos e tem ganhado, cada vez mais, um espaço importante nos ambientes urbanos de todo o mundo. Um dos principais motivos para esse sucesso mundo afora é a durabilidade e a resistência que ele apresenta, quando comparado a outros tipos de pavimentos. O atrativo para profissionais do ramo da arquitetura utilizarem esse produto é a variedade de formatos e cores naturais, o que confere ao projetista inúmeras possibilidades de criação.

A versatilidade deste produto é tanta que permite adaptar-se a espaços diferentes como áreas de pedestres, estradas com circulação de automóveis, acessos a área de piscinas, garagens, terraços, parques de estacionamento etc. (VALE DA GÂNDARA, 2012)

Ainda segundo Malpesa (2015) e Vale da Gândara (2012), a durabilidade do produto é superior a outros pisos intertravados, podendo chegar a 30 anos. Além do *paver* cerâmico conservar sua cor original por mais tempo, conseguindo que sua beleza natural permaneça inalterada e/ou aumente ao longo dos anos.

Sáez (2005) apresenta, nas Figuras Figura 24 e Figura 25, como o adoquim pode ser utilizado em áreas com necessidade de drenagem de água de forma mais eficiente. O produto se adapta facilmente aos recortes e inclinações que são necessários para o pavimento.

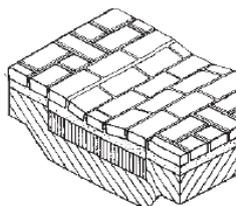


Figura 24. Implantação inclinada do adoquim para execução de canal de drenagem. Fonte: Sáez (2005).

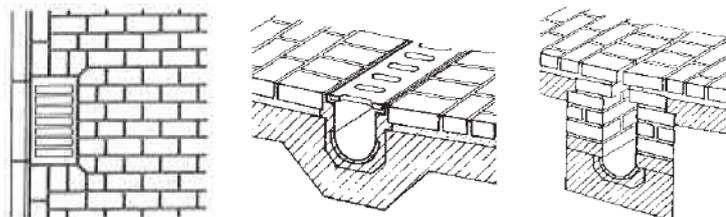


Figura 25. Modos de confecção de canais para drenagem de água. Fonte: SÁEZ (2005).

Ainda de acordo com Sáez (2005) e MALPESA (2015), o adoquim é capaz de resistir condições climáticas adversas, tais como altas temperaturas de verão, congelamento e névoa salina, além de ambientes com altos índices de poluição, incluindo postos de gasolina, áreas industriais, dentre outros. Dentre outras características, também são resistentes à compressão, desgaste e arranhões.

Com sua aplicação em vias, o produto confere também o conforto acústico aos usuários, por sua composição ser capaz de absorver o barulho proveniente do tráfego. (MALPESA, 2015).

#### 4.5.2. Propriedades físicas e mecânicas

Até o momento, não há legislação no Brasil que regule os padrões tecnológicos para a produção do Adoquim Cerâmico. Porém, essa necessidade existe, visto a expansão do produto no mercado devido à demanda de inovação tecnológica dessas indústrias.

Por ser mais frequente o uso do adoquim em países como Espanha, Colômbia e Estados Unidos, esses locais já possuem normatização para o produto. Neste caso, para a produção aqui no Brasil, tem-se utilizado como base de referência, as normas como a UNE-EN da Espanha, NTC da Colômbia e a ASTM dos Estados Unidos, que determinam parâmetros admissíveis para o adoquim cerâmico. (PINHEIRO, 2012; SCARPINI, 2012; SANTOS, 2013).

De acordo com Pinheiro (2012), o Brasil tem como característica seu clima Tropical, aonde variações climáticas não são tão significativas. Portanto, alguns aspectos das normas que serão citadas neste trabalho não se aplicarão à produção

do adoquim cerâmico brasileiro. Este fato justifica ainda mais a necessidade da elaboração de uma norma técnica brasileira para normatizar a produção deste *paver* cerâmico.

Em publicações das cerâmicas Garcia Costa (2014) e Vale da Gândara (2014) e no estudo de Padilla (2002), os adoquins foram testados em laboratório segundo a norma UNE-EN 1344, 2002. No caso, a Cerâmica Vale da Gândara (2014) e a MALPESA (2015), divulgam em seu site todos os resultados dos testes que provam que o produto vendido por eles, atende às exigências da norma.

Scarpini (2012) e Pinheiro (2012) referenciaram em seus trabalhos normas internacionais dos principais países onde o adoquim está consolidado. As normas, apresentadas são provenientes dos seguintes países: Estados Unidos (ASTM), Colômbia (NTC), Espanha (UNE), Alemanha (DIM) e Brasil (ABNT), sendo esta última a mesma norma utilizada para pavimentos intertravados de concreto (**PPC**). A versão da ASTM utilizada por elas é de 2006, da NTC versão de 2002, da UNE de 2002, da DIN de 2003 e da ABNT versão de 1987.

Em pesquisa realizada por esta autora, foram detectadas atualizações em algumas normas utilizadas nos trabalhos citados e que são também adotadas neste trabalho. A Tabela 5 ilustra o conjunto de normas e suas atualizações.

Tabela 5. Atualização das versões das normas utilizadas em trabalhos anteriores

<b>Norma Internacional</b>	<b>Instituto Responsável</b>	<b>Nacionalidade</b>	<b>Versão mais Recente</b>
DIN 18503	Beuth	Alemanha	2003-12
ASTM C1272	ASTM	Estados Unidos	2014
ASTM C902	ASTM	Estados Unidos	2014
NTC 5282	ICONTEC	Colômbia	2004
NTC 3829	ICONTEC	Colômbia	2004
UNE-EN 1344	AENOR	Espanha	2002
NBR 9781	ABNT	Brasileira	2013

A ASTM C902 e a NTC 3829 estabelecem padrões para utilização de adoquins em locais com circulação de pedestres e tráfego veicular leve e para

regiões com baixa, média e alta circulação de pedestres. É relevante informar que os limites dos índices de abrasão e perda de volume por abrasão são iguais para ambas as normas, inclusive utilizando a classificação quanto ao tráfego (tipo I, II e III). A Tabela 6 apresenta os limites dos requisitos físicos exigidos pelas normas americana e colombiana.

Tabela 6. Requisitos físicos exigidos para adoquins de tráfego leve.  
Fonte: ASTM C902 (2014) e NTC 3829 (2004)

ASTM C902:2014						
Classe	RC (MPa)		AA (máx. %)		CS	
	A	B	A	B	A	B
<b>SX</b>	55,2	48,3	8	11	0,78	0,80
<b>MX</b>	20,7	17,2	14	17	S.L.	S.L.
<b>NX</b>	20,7	17,2	S.L.	S.L.	S.L.	S.L.
NTC 3829:2004						
Tipo	RC (MPa)		AA (máx. %)		CS	
	A	B	A	B	A	B
<b>I</b>	55,2	48,3	8	11	0,78	0,80
<b>II</b>	38,0	33,0	14	17	S.L.	S.L.
<b>III</b>	20,7	17,2	S.L.	S.L.	S.L.	S.L.
ASTM C902:2014 e NTC 3829:2004						
Tipo	IA (Máx.)		VA (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )			
<b>I</b>	0,11		1,7			
<b>II</b>	0,25		2,7			
<b>III</b>	0,50		4,0			

Sendo: **RC** – Resistência à Compressão; **AA** – Absorção de água; **CS** – Coeficiente de Saturação; **IA** – Índice de Abrasão; **VA** – Perda de volume por abrasão; **A** – Média de 5 adoquins; **B** – Individual; **S.L.** – Sem limite

A ASTM classifica os adoquins de acordo com o (1) tempo e (2) tráfego, enquanto que a NTC só os classifica de acordo com o (2) tráfego. Portanto, de acordo com o (1), as peças podem ser classificadas em:

- **SX** – São os adoquins indicados para aplicação em ambiente externos, onde as peças podem ser congeladas enquanto saturadas com água.
- **MX** – São indicados também para áreas externas, porém onde a resistência ao congelamento não necessita ser considerada.
- **NX** – São indicados para uso em ambientes internos.

De acordo com (2) tráfego, podem ser:

- **Tipo I** – Adoquim exposto à alta abrasão. Como em edifícios públicos e comerciais.
- **Tipo II** – Adoquim exposto à abrasão intermediária. Como em lojas e corredores ao ar livre.
- **Tipo III** – Adoquim exposto à baixa abrasão. Como em pisos de casas quintais de casas unifamiliares.

A ASTM C1272 e a NTC 5282 estabelecem requisitos para a utilização de adoquins cerâmicos em regiões com tráfego veicular pesado, pavimentação de ruas, calçadas comerciais, aplicações industriais, utilização em aeroportos e centros comerciais. Nessas normas, a classificação é feita de acordo com o tipo da base na qual o adoquim será executado. Esta pode ser de dois tipos:

- **Tipo R ou Rígidos** – Adoquins assentados sobre uma camada de argamassa e apoiados por uma base de concreto, ou assentados sobre asfalto e apoiados sobre a base de concreto ou asfalto.
- **Tipo F ou Flexível** – Adoquins assentados sobre uma base de areia com juntas também de areia e apoiados por uma base adequada, conformada por materiais granulares compactados.

Na Tabela 7 é possível observar as exigências técnicas requeridas pelas normas ASTM C1272 e a NTC 5282, para o adoquim cerâmico.

Tabela 7. Requisitos físicos exigidos para adoquins de tráfego pesado.  
Fonte: ASTM C1272 (2014) e NTC 5282 (2004)

<b>ASTM C1272:2014</b>						
<b>Espec.</b>	<b>RC (MPa)</b>		<b>Módulo de Ruptura (kN/mm)</b>		<b>AA (máx. %)</b>	
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>Tipo R</b>	55,2	48,3	...	...	6	7
<b>Tipo F</b>	69,7	60,7	83	53	6	7

<b>NTC 5282:2004</b>						
<b>Espec.</b>	<b>RC (MPa)</b>		<b>Módulo de Ruptura (MPa)</b>		<b>AA (máx. %)</b>	
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
<b>Tipo R</b>	55	48	8	7	6	7
<b>Tipo F</b>	69	61	10	9	6	7

<b>ASTM C1272:2014 e NTC 5282:2004</b>		
<b>Tipo</b>	<b>IA (Máx.)</b>	<b>VA (cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>R e F</b>	0,11	1,7

Tabela 8. Padrões para adoquim cerâmico extrudado e prensado.  
Fonte: UNE-NE 1344 (2002)

<b>UNE-NE 1344:2002</b>		
<b>Propriedades</b>	<b>Adoquim Extrudado</b>	<b>Adoquim Prensado</b>
<b>Resistência a gelo/degelo</b>	Resistente	Resistente
<b>Carga de ruptura transversal</b>	Valor médio $\geq 80\text{N/mm}$	Valor médio $\geq 30\text{N/mm}$
<b>Resistência à abrasão</b>	Valor médio $\leq 450\text{N/mm}^3$	Valor médio $\leq 450\text{N/mm}^3$
<b>Resistência ao deslizamento</b>	$\geq 45$	$\geq 45$
<b>Resist. aos ácidos</b>	$\leq 7\%$	$\leq 7\%$
<b>Tolerância dimensional por dimensão</b>	$\leq 0,5\sqrt{d}$ mm	$\leq 0,5\sqrt{d}$ mm

A norma regulamentadora espanhola UNE-NE-1344 estabelece padrões para adoquins cerâmicos extrudados e prensados (Tabela 8).

A alemã DIN 18503 instituiu requisitos específicos, principalmente, para a absorção de água e para densidade aparente dos adoquins (Tabela 9).

Tabela 9. Requisitos exigidos pela norma DIM 18503 (2003).

Propriedades	DIM 18503:2003	
	Média (mín.)	Individual (mín.)
<b>Resistência à flexão</b>	T1: $\geq 30\text{N/mm}$	T1: $\geq 15\text{N/mm}$
	T2: $\geq 30\text{N/mm}$	T2: $\geq 24\text{N/mm}$
	T3: $\geq 80\text{N/mm}$	T3: $\geq 50\text{N/mm}$
	T4: $\geq 80\text{N/mm}$	T4: $\geq 64\text{N/mm}$
<b>Densidade aparente</b>	2kg/dm <sup>3</sup>	1,9kg/dm <sup>3</sup>
<b>Absorção de água</b>	Não deve exceder 6% em massa.	
<b>Resistência ao deslizamento</b>	U1: $\geq 35$	
	U2: $\geq 45$	
	U3: $\geq 55$	
<b>Resistência à abrasão</b>	A1: $\leq 2100\text{mm}^3$	
	A2: $\leq 1100\text{mm}^3$	
	A3: $\leq 450\text{mm}^3$	
<b>Resistência ao degelo</b>	FP100 – 100 ciclos de congelamento e descongelamento	

No Brasil, por não existir ainda norma reguladora para fabricação dos adoquins, utiliza-se como método comparativo a norma que regulamenta requisitos de produção do PPC, onde são estabelecidos alguns padrões com limites admissíveis. Os limites são mostrados na Tabela 10:

Por ser um produto ainda novo produzido no Brasil e o PPC ser seu concorrente direto, é de extrema importância a comparação dos parâmetros técnicos entre eles para solucionar dúvidas sobre a qualidade do adoquim.

Tabela 10. Requisitos para a produção de PPC. Fonte: NBR 9781 (2013)

Requisitos Físicos		Limites admissíveis
Tolerâncias Dimensionais (mm)	Comprimento	$\pm 3\text{mm}$
	Largura	$\pm 3\text{mm}$
	Altura	$\pm 3\text{mm}$
	Medida Nominal do comprimento de no máx.:	250mm
	Medida real da largura de no mínimo:	97mm
	Medida nominal da espessura de no mínimo:	60mm
Resistência característica à Compressão aos 28 dias MPa	Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha:	$\geq 35$
	Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados:	$\geq 50$
Absorção de água	Valor médio menor ou igual a:	6%
	Não será admitido nenhum valor individual maior do que:	7%
Resistência à Abrasão (Facultativa)	Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha:	$\leq 23\text{mm}$
	Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados:	$\leq 20\text{mm}$

## 4.6. Caracterização das Matérias-primas

Algumas das matérias-primas utilizadas neste trabalho já foram amplamente estudadas e discutidas pela literatura. Por este motivo, este item visa relatar a caracterização encontrada que determina o comportamento e norteia os resultados discutidos no Item 6.

### 4.6.1. Caracterização das Argilas

É possível reportar a trabalhos existentes na literatura para caracterizar as argilas denominadas Cinza e Carolinho, que foram utilizadas neste trabalho, ambas provenientes de Campos dos Goytacazes.

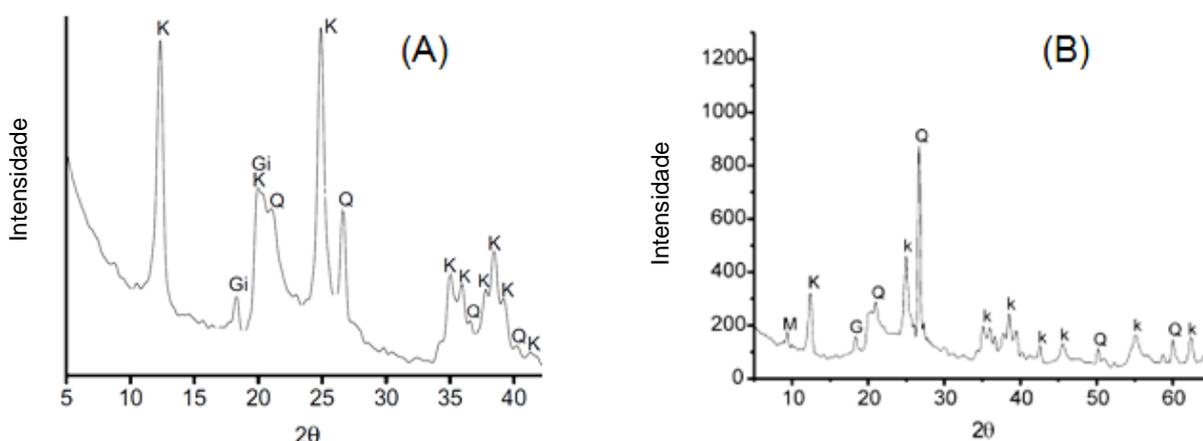


Figura 26. DRX (a) argila Cinza e (b) argila Carolinho. Onde: K=caulinita, Q=quartzo, G=gibsite, M=mica. Fonte: VIEIRA *et al.* (2008) e MONTEIRO *et al.* (2004) - modificados.

A Figura 26 apresenta os resultados da análise de difração de raios X das matérias-primas argilosas, Argila Cinza e Argila Carolinho, respectivamente. Segundo Vieira *et al.* (2008) e Monteiro *et al.* (2004), ambas possuem picos expressivos de caulinita e quartzo, características tipicamente encontradas nas argilas da região. Na argila cinza é possível visualizar também a presença de gibsite e na Carolinho, de mica. Vieira e Monteiro (2003) afirmam que a presença da gibsite é capaz de aumentar a perda ao fogo e a refratariedade do material.

Em trabalhos anteriores, como em Vieira e Monteiro (2003) e Vieira (2001), foi detectado, através da análise de difração de raios X, a presença de rutilo nas argilas de Campos, bem como a presença de goetita.

Através da composição química, Tabela 11, observa-se que os dois materiais plásticos possuem como óxidos predominantes o  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Na maioria das vezes, esses estão associados à estrutura da caulinita, apresentada no DRX. É possível assimilar também que a presença alta taxa de  $\text{SiO}_2$  pode estar interligada à presença do quartzo. Assim como a alta concentração de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pode estar ligada à mica.

Tabela 11. Composição química das argilas Cinza e Carolinho.  
Fonte: VIEIRA *et al.* (2008) e MONTEIRO *et al.* (2004) - modificados.

Argilas	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	PF
<b>Cinza</b>	43,64	33,76	5,36	1,36	--	1,20	--	--	0,79	--	13,75
<b>Carolinho</b>	50,79	29,15	3,63	1,83		1,83	0,22	0,15	0,96	--	11,84

Ribeiro *et al.* (2003) analisou os aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas cerâmicas e afirmou que a quantidade de quartzo na massa, interfere diretamente na plasticidade da mesma. Sendo assim, as massas com teor maior de quartzo, conhecidas como “magras” ou “fracas”, possuem plasticidade menor, quando comparadas às massas com teores menores de quartzo, ou seja, maior quantidade de argilominerais. Estas são comumente chamadas de “gordas” ou “fortes”, caracterizadas pela alta plasticidade.

O teor de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) é responsável pela coloração avermelhada após a queima das massas cerâmicas. Portanto, quanto maior seu valor, mais avermelhado é o produto final. É importante notar, a baixa quantidade de material fundente ( $\text{K}_2\text{O}$ ) que caracteriza um comportamento refratário durante a queima. A perda ao fogo (PF) está diretamente relacionada à desidroxilação dos argilominerais, oxidação da matéria orgânica, decomposição de carbonatos, sulfatos, hidróxidos, dentre outros. (VIEIRA *et al.*, 2008; MONTEIRO *et al.*, 2004)

Em seus trabalhos, Vieira *et al.* (2008) e Monteiro *et al.* (2004) apresentaram também os prognósticos de como seria a extrusão usando a plasticidade das argilas.

Para isso, foi investigado o Índice de plasticidade (IP) do material. O IP associa-se ao intervalo entre a faixa de consistência plástica e de lama da matéria-prima. Índices inferiores a 10% determinam materiais com dificuldade de conformação por extrusão, podendo acarretar danos nas características dimensionais e até mesmo rachaduras nas peças verdes, ou seja, não secas. Os resultados, mostraram que, tanto a argila Cinza quanto a Carolinho, obtiveram índices elevados, indicando alta plasticidade, localizando-se fora da faixa de extrusão ótima.

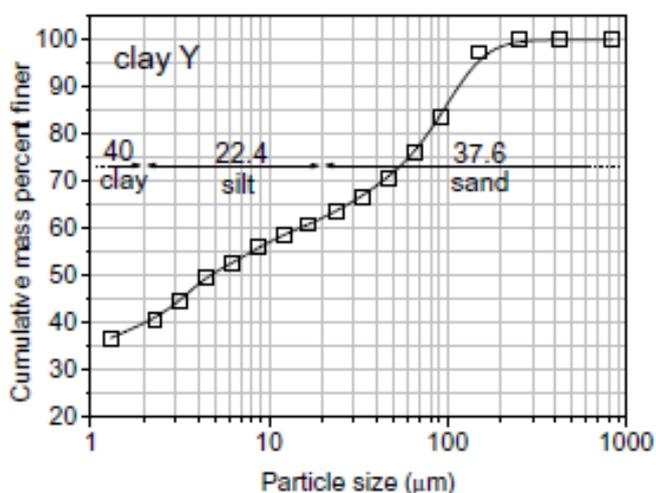


Figura 27. Distribuição de tamanho de partículas da argila Cinza. Fonte: VIEIRA *et al.* (2008)

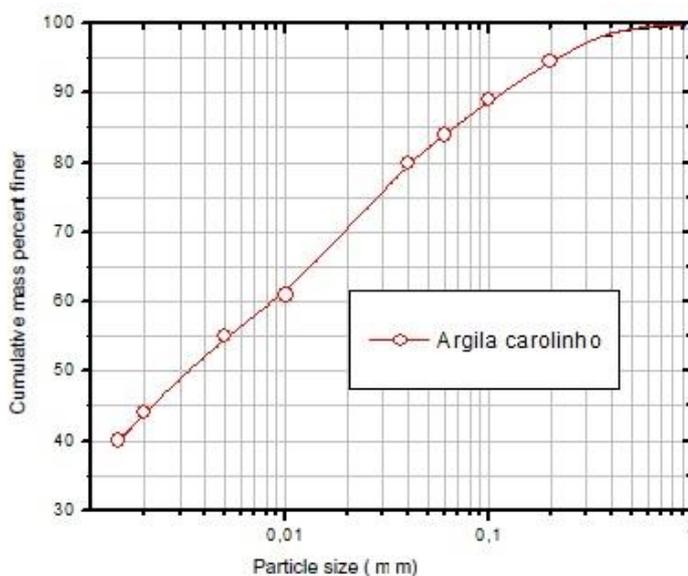


Figura 28. Distribuição de tamanho de partículas da argila Carolinho. Fonte: MONTEIRO *et al.* (2004) – modificado.

As Figuras Figura 27 e Figura 28 mostram a distribuição granulométrica das matérias-primas argilosas. A partir desses gráficos é possível quantificar o percentual existente de argila, silte e areia no material. Por definição, são considerados fração-argilas, partículas de tamanho inferior a  $2\mu\text{m}$ . Estas são as principais responsáveis pela elevada plasticidade da massa e apresentam-se em grande quantidade nos materiais analisados. (VIEIRA *et al.*, 2008; MONTEIRO *et al.*, 2004)

#### 4.6.2. Caracterização do Resíduo

O resíduo de rocha ornamental utilizado neste trabalho é proveniente de uma serraria do município de Santo Antônio de Pádua-RJ. As serrarias recebem as lajes de rocha provenientes das pedreiras. A partir deste momento, ocorre um corte com discos diamantados para a redução da dimensão destas para o tamanho 20x30cm, gerando os chamados blocos. Durante esta etapa, a serra necessita de água para sua refrigeração.

Silvestre e Silva (2012) lembram que as serrarias localizam-se, geralmente, próximas ao rio Pomba, justamente para facilitar a captação da água e levá-la ao processo produtivo. Assim que a água entra em contato com o pó que sai das rochas, gera-se um resíduo em forma de lama que, atualmente, é despejado em um tanque de decantação localizado na própria serraria.

Rocha *et al.* (2011) afirmam que antes da intermediação do Poder Público, obrigando a retenção dos resíduos em tanques de decantação, na própria serraria, este material era lançado diretamente nos corpos hídricos, o que gerava assoreamento e a turbidez da água.

Posteriormente à retenção no tanque, o resíduo decantado é bombeado para outro tanque de armazenamento e depois está pronto para ser comercializado, voltando a ser matéria-prima para outras indústrias, como a de argamassa. A água que sobra da decantação, volta ao processo produtivo da serraria, sendo reaproveitada para, novamente, resfriar as serras e gerar os blocos. O fluxograma do funcionamento deste ciclo fechado, que favorece o meio ambiente, pode ser observado na Figura 29. (SILVESTRE e SILVA, 2012)

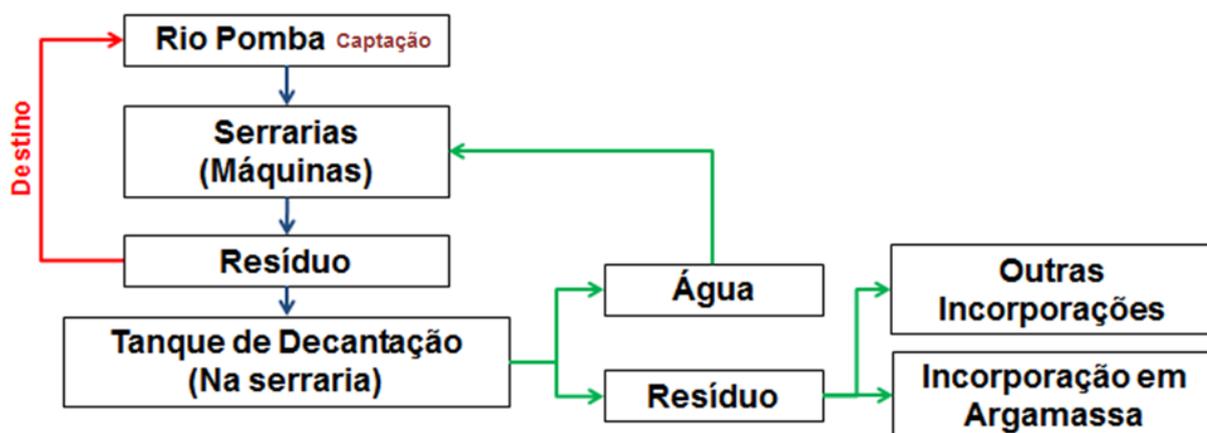


Figura 29. Fluxograma de captação de água e geração de resíduos pelas serrarias.

É importante destacar que em 2011, Rocha *et al.* (2011) afirmaram que 1.500 toneladas de resíduo em forma de pó (após decantação da água) eram produzidos por mês, ou seja, cerca de 18mil toneladas por ano. Em contato direto com a Pedreira São Sebastião Ltda., que utiliza o nome fantasia Argamil, foi informado que em 2014 foram recolhidos, por ela, cerca de 2mil toneladas de resíduo. Isto comprova que, nem toda a quantidade de sedimentos produzidos pelas serrarias, consegue ser absorvidas pela indústria de argamassa presente na região, sendo necessária outra destinação ambientalmente correta para este material.



Figura 30. (a) Chegada e (b) Armazenamento das lajes de granito na serraria. (c) Serragem das lajes. Fonte: Acervo da autora.



Figura 31. (a) Serragem das lajes. (b) Blocos provenientes da serragem das lajes. (c) Operação manual de corte para obtenção de lajinhas. Fonte: Acervo da autora.

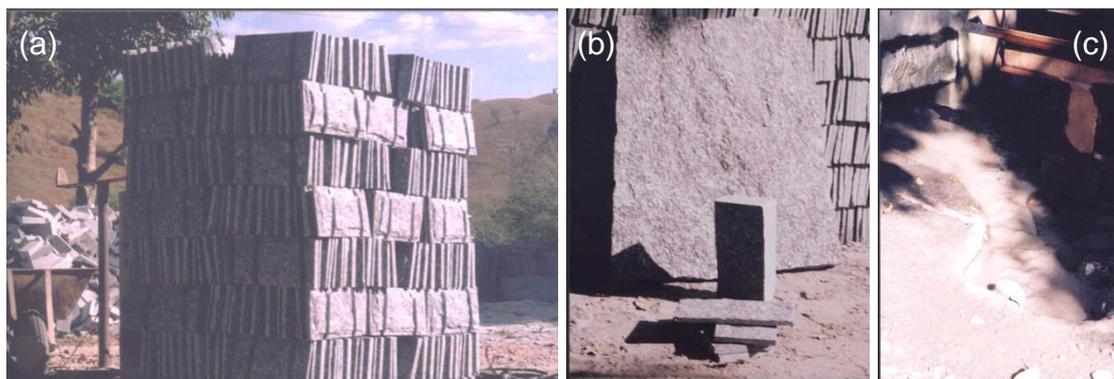


Figura 32. (a) Lajinhas empilhadas para comercialização. (b) Laje, bloco e lajinha. (c) Resíduo em forma de lama gerado a partir da serragem das lajes. Fonte: Acervo da autora.



Figura 33. (a) Tanque de decantação. (b) e (c) Pátio de armazenamento do resíduo. Fonte: Acervo da autora.

Vieira *et al.* (2004a) analisaram este resíduo através da difração de raios X e o resultado é visto na Figura 34. Foi detectada a presença de mineral micáceo, anfibólio, feldspato potássico, quartzo e plagioclásio. Os minerais micáceos e feldspatos são fontes de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , podendo atuar como fundentes, em altas temperaturas, e melhorar o processo de sinterização.

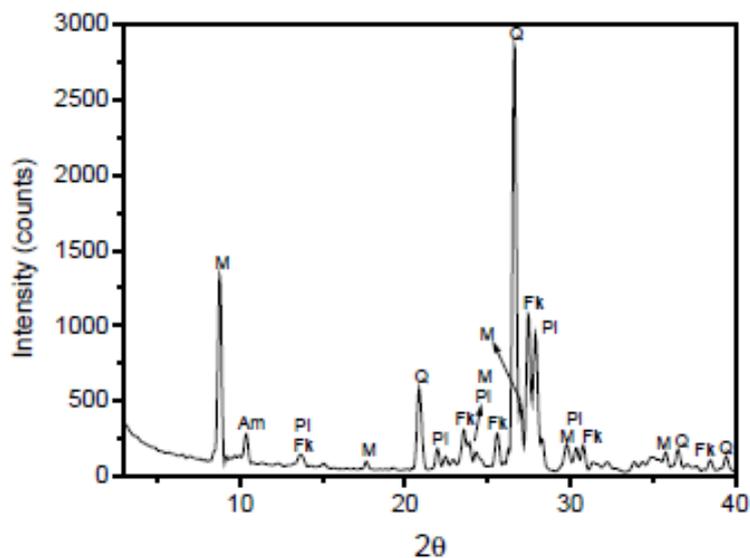


Figura 34. DRX do resíduo de rocha ornamental. Sendo: Am=anfíbólio, Fk=feldspato potássico, M=mineral micáceo, PI=plagioclásio, Q=quartzo. Fonte: VIEIRA *et al.* (2004a)

A Tabela 12 apresenta a composição química do resíduo de rochas ornamentais obtida por Vieira *et al.* (2004a). É interessante perceber a alta quantidade de óxidos alcalinos e alcalinos-terrosos, que confirmam uma tendência a material fundente, corroborando com os resultados encontrados no DRX. O alto valor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  confirma uma possibilidade de cor avermelhada no produto final. É interessante perceber também a baixa perda ao fogo (PF) que o resíduo apresenta. A PF está diretamente relacionada com a água de hidroxilas dos argilominerais, bem como os componentes voláteis de matéria orgânica. (SANTOS, 1989)

Tabela 12. Composição química do resíduo de rocha ornamental.  
Fonte: VIEIRA *et al.* (2004a)

Composição (%)	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	MnO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	CaO	MgO	$\text{P}_2\text{O}_5$	PF
Resíduo	67,14	14,92	4,40	0,73	--	5,18	2,93	1,91	0,73	--	0,50

Em seu trabalho, Soares (2005) analisou termicamente o resíduo de rocha ornamental e concluiu que a  $97,3^\circ\text{C}$  foi identificado um pico endotérmico devido à perda de água fisicamente adsorvida, associado a uma perda de massa de 0,54%. Entre  $125^\circ\text{C}$  e  $327^\circ\text{C}$  houve um aumento de peso que pode ser explicado pela

oxidação dos compostos de ferro. Uma possível combustão de matéria orgânica foi detectada entre 327°C e 588°C, associado a uma perda de massa de 0,49%, seguida de uma nova perda de massa (0,18%) que possivelmente atribui-se à eliminação de água de constituição do mineral micáceo. Um importante pico endotérmico a 565,9°C foi percebido e, provavelmente, está associado à transformação alotrópica do quartzo- $\alpha$  em quartzo- $\beta$ .

Soares (2005) afirma ainda, que o processamento térmico do resíduo não deve causar nenhum problema de poluição atmosférica. Isto se deve ao fato das reações térmicas associadas com a queima de material, resultarem, basicamente, em vapor de água e, possivelmente, uma baixa quantidade de óxido de carbono.

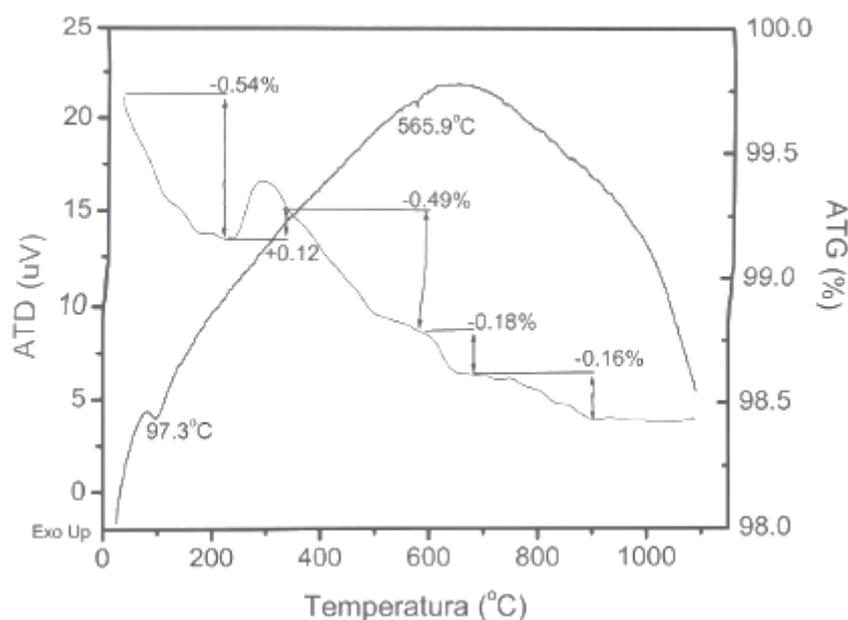


Figura 35. Análise térmica do resíduo utilizado neste trabalho. Fonte: SOARES (2005).

Imagens fotografadas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) podem ser observadas na Figura 36. Soares (2005) afirma que nelas é possível observar a variação do tamanho de partículas, entre submicrometro e 20 $\mu$ m. Também é perceptível a presença de possíveis grãos de quartzo, destacados pela presença de partículas de tamanho e morfologia compacta.

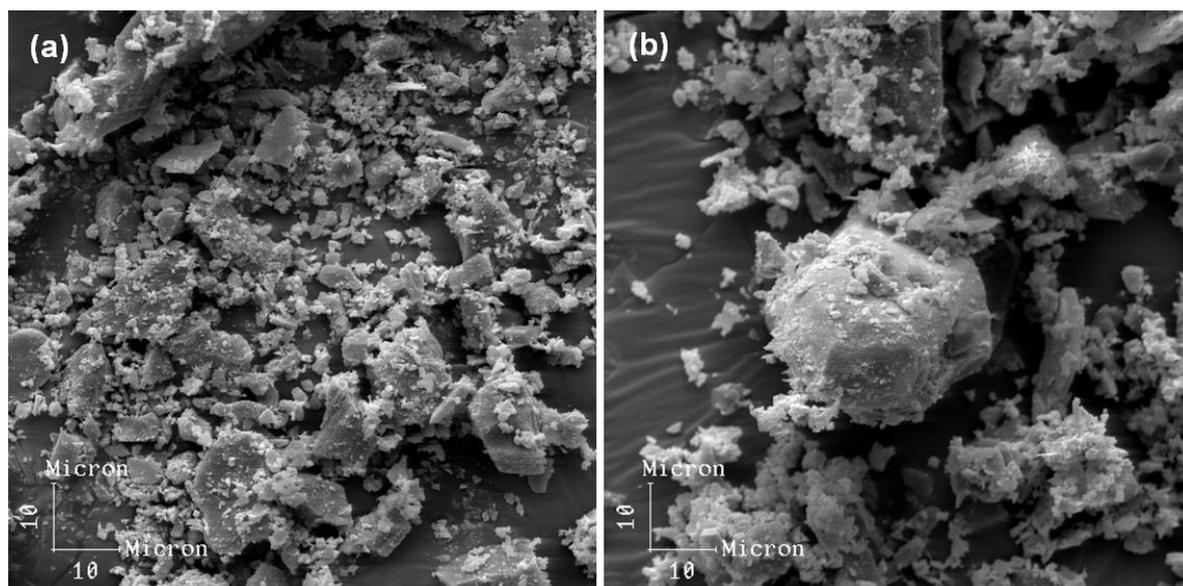


Figura 36. MEV do resíduo de rocha ornamental. Fonte: SOARES (2005).

#### 4.6.3. Caracterização da Areia

A areia utilizada neste trabalho foi previamente caracterizada quimicamente por Vieira *et al.* (2006), através de espectrometria de Fluorescência de raios X. O resultado é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13. Composição química da areia. Fonte: Vieira *et al.* (2006)

Composição (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF
Areia	86,66	7,53	0,82	0,31	--	1,90	0,67	0,45	--	--	0,50

É possível notar que este material é predominantemente constituído de SiO<sub>2</sub>, além de conter óxidos alcalinos e alcalinos-terrosos, que são caracterizados como fundentes, quando em altas temperaturas.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo serão descritos os materiais e a metodologia que foram utilizados nesta pesquisa. O fluxograma (Figura 39) descreve as etapas realizadas.

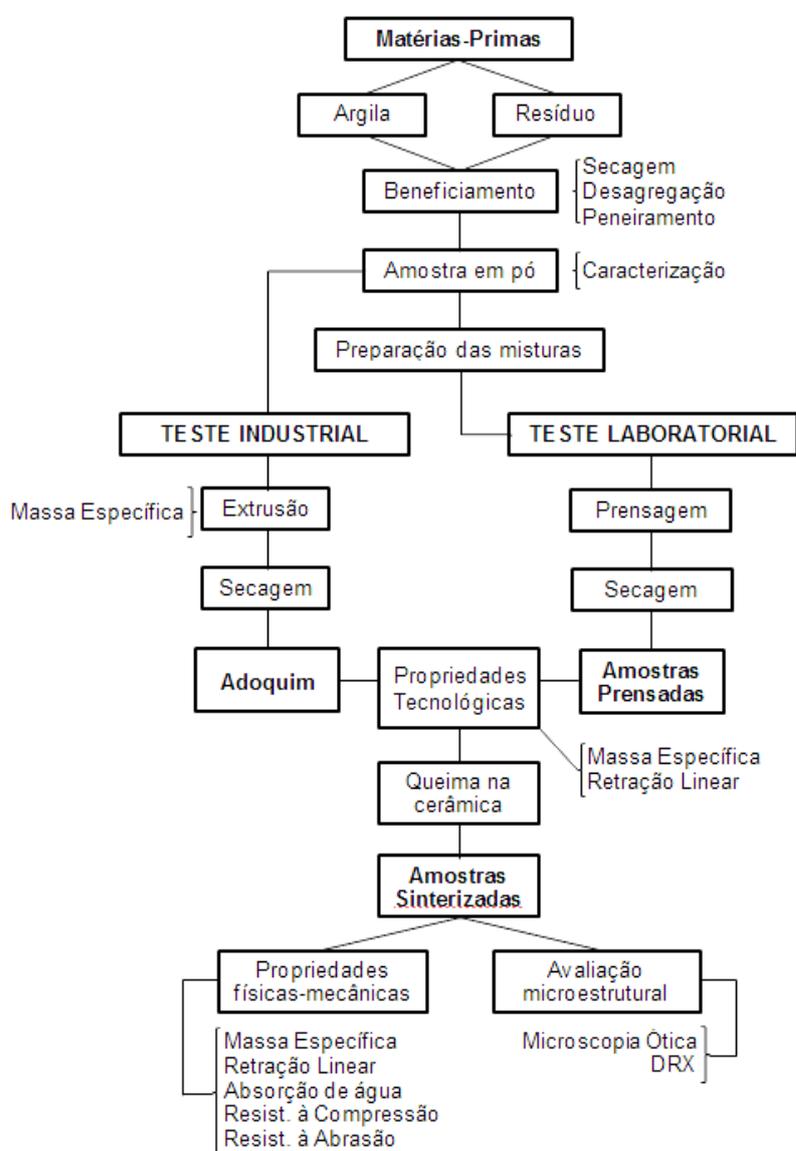


Figura 37. Fluxograma das etapas realizadas.

### 5.1. Materiais empregados

No desenvolvimento deste trabalho, foram empregadas as seguintes matérias-primas:

Massa argilosa: composta por areia e duas argilas. A primeira é conhecida como Argila cinza e/ou Barro forte (Figura 38), proveniente de Campos dos Goytacazes e a outra é denominada Argila Carolinho, também deste município. Esses materiais foram fornecidos pela Cerâmica Arte Sardinha, localizada em São Sebastião de Campos, nesta cidade.



Figura 38. Argila Cinza que foi utilizada nas formulações.

Resíduo (Figura 39): foi fornecido por uma serraria localizada em Santo Antônio de Pádua, produzido na etapa de beneficiamento de rochas ornamentais, conforme descrito no Item 4.6.2.



Figura 39. Resíduo utilizado na produção das peças.

O material, utilizado no teste laboratorial, foi coletado e direcionado ao Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF para realização dos ensaios.

Para o teste industrial, toda a matéria-prima foi coletada e beneficiada na própria indústria Cerâmica Arte Sardinha.

## **5.2. Metodologia empregada**

A metodologia empregada para o procedimento experimental envolveu:

- Caracterização da areia;
- Análises específicas do resíduo para complementar a caracterização existente e referenciada no Item 4.6.2.

### **Procedimento Laboratorial**

- Preparação das composições;
- Conformação dos corpos de prova por compressão uniaxial em matriz metálica;
- Secagem em estufa à 110°C;
- Sinterização em forno industrial (830°C);
- Determinação das propriedades físicas e mecânicas da cerâmica;
- Análise microestrutural.

### **Procedimento Industrial**

- Conformação dos adoquins por extrusão;
- Secagem em galpão coberto;
- Sinterização em forno industrial (830°C);
- Avaliação das propriedades físicas e mecânicas;
- Análise microestrutural.

### 5.2.1. Caracterização das matérias-primas

A caracterização do resíduo foi amplamente abordada no Item 4.6.2, porém, ainda assim, houve a necessidade da caracterização física que consistiu na determinação da distribuição do tamanho das partículas.

A areia, caracterizada no Item 4.6.3, foi submetida à análise de caracterização mineralógica, através das técnicas de difração de raios X (DRX) e características físicas que consistiu na determinação da distribuição do tamanho das partículas.

#### 5.2.1.1. Caracterização Mineralógica - Difração de raios X (DRX)

A técnica de difração de raios X determinou os minerais presentes na areia. Foram utilizadas amostras em forma de pó para identificação das fases cristalinas presentes. A análise foi realizada no difratômetro Bruker-AXS D5005, do CETEM (Centro de Tecnologia Mineral). A radiação empregada foi a linha  $K\alpha$  de um anodo de Co ( $\lambda=1,78897\text{\AA}$ ), para  $2\theta$  variando de  $5^\circ$  a  $80^\circ$  com varredura na forma de passo de  $0,02^\circ/1s$ .

#### 5.2.1.2. Caracterização Física - Distribuição de tamanho de partículas

As análises granulométricas, do resíduo e da areia, foram executadas por peneiramento e sedimentação de acordo com a norma NBR 7181 (1984), no Laboratório de Engenharia Civil da UENF (LECIV/UENF). Inicialmente, as amostras passaram por operações preliminares de peneiramento grosseiro (até a peneira de 2mm – 10 *mesh*) e peneiramento fino (até a peneira de 0,075mm – 200 *mesh*). Para a realização do ensaio de sedimentação o resíduo foi passado na peneira 200 *mesh*.

$$V = gd^2 \frac{(\rho - \rho_f)}{18\eta} \quad (1)$$

O procedimento para o ensaio de sedimentação se baseou na Lei de Stokes, na qual a velocidade terminal de sedimentação depende do tamanho de partícula e viscosidade do fluido determinado pela Equação (1), sendo:  $V$  a velocidade terminal;  $g$  a gravidade;  $d$  o diâmetro esférico equivalente;  $\rho$  a massa específica do material;  $\rho_f$  a massa específica do fluido;  $\eta$  a viscosidade do meio fluido.

## 5.2.2. TESTE LABORATORIAL

### 5.2.2.1. Beneficiamento das matérias-primas

Os materiais foram colocados em estufa à 110°C por 24 horas e, posteriormente, desagregados manualmente com almofariz e pistilo. Após este procedimento, foram peneirados utilizando-se a peneira de 20 *mesh* (abertura 850µm).

### 5.2.2.2. Preparação das composições

Esta etapa consistiu na formulação de quatro massas com utilização do resíduo em substituição parcial e total à areia e/ou argila Carolinho. Foram confeccionados 14 corpos de prova de cada massa com objetivo de comparar os resultados encontrados, duas, das quatro formulações, foram utilizadas tanto para a elaboração de corpos de prova laboratoriais quanto para os industriais, As outras duas formulações elaboradas foram utilizadas para o processamento dos corpos de prova, exclusivamente, laboratoriais. As massas foram executadas com as formulações indicadas na Tabela 14.

A massa P consistiu na massa padrão com proporção de matéria-prima que é comumente utilizada na cerâmica. Como o resíduo, neste trabalho, cumpre a função da areia, o objetivo foi avaliar o comportamento da argila com a substituição total da areia pelo resíduo. Por este motivo, foi escolhida a incorporação máxima de 30% de resíduo, substituindo os 30% de areia que são utilizados na indústria. A escolha da

utilização da argila Cinza teve como objetivo aumentar a resistência mecânica das peças.

Tabela 14. Formulações utilizadas.

Massa	Argila cinza	Argila Carolinho	Areia	Resíduo	Processamento
<b>P</b>	60%	10%	30%	--	Laboratorial e industrial
<b>A</b>	70%	--	--	30%	Laboratorial e industrial
<b>B</b>	80%	--	--	20%	Laboratorial
<b>C</b>	90%	--	--	10%	Laboratorial

### 5.2.2.3. Processamento das cerâmicas em laboratório

As formulações preparadas foram umedecidas com spray de água, até 8%, possibilitando assim, a conformação dos corpos de prova por prensagem uniaxial. As dimensões das peças prontas foram de, aproximadamente, 114,0 x 25,0 x 11,0mm. A carga utilizada foi 38MPa, capaz de simular a pressão de extrusão que ocorre na indústria, proporcionando às peças, densidades equivalentes. Após a prensagem, utilizando-se a prensa mostrada na Figura 40, os corpos de prova foram secos, em estufa, a 110°C por 24 horas.



Figura 40. Prensa utilizada para a produção dos corpos de prova. Fonte: Acervo da autora.

#### 5.2.2.4. Sinterização das composições

Os corpos de prova secos foram encaminhados para a cerâmica Arte Sardinha para que sua queima fosse efetuada em conjunto com os adoquins industriais, sob as mesmas condições de temperatura. O forno utilizado foi intermitente tipo abóboda (Figura 41), produzido com material refratário compatível com o comportamento térmico das argilas da região. Este tem como característica, suportar altas temperaturas, possibilitando alcançar o nível de porosidade compatível com as características requeridas do produto.



Figura 41. Forno tipo abóboda da cerâmica Arte Sardinha. Fonte: Acervo da autora

Como os corpos de prova seguiram as condições de queima da cerâmica, é válido conhecer alguns dados e etapas, explicitadas na Tabela 15.

Tabela 15. Dados da queima. Fornecidos pela Cerâmica Arte Sardinha.

<b>CONTROLE DE QUEIMA</b>	
<b>Etapas de Exaustão</b>	Duração: aprox. 60 horas Temperatura máx. atingida: 180°C
<b>Etapas de Queima</b>	Duração: 120h Temperatura: 830°C

Ao colocar o produto seco no forno, inicia-se uma etapa, chamada pela indústria, de exaustão. Neste momento, o forno recebe calor de outro que foi recém-desligado. Após ter passado o período de transferência de calor, com duração de 50h à 70h, é adicionada lenha ao forno e este é efetivamente aceso, iniciando-se a etapa de queima.

Os fornos atuais construídos nas cerâmicas campistas, não suportam temperaturas acima 950°C, porém, para a massa argilosa utilizada neste trabalho, que foi formulada com materiais de característica fundente, esperou-se a obtenção de *pavers* com porosidade, microestrutura e fases formadas compatíveis com os valores de resistência mecânica e absorção de água que são exigidos pelas normas internacionais. (CANDIDO, 2012)

#### **5.2.2.5. Determinação das propriedades físicas e mecânicas**

Após a sinterização, os adoquins das composições elaboradas foram submetidos à determinação de propriedades físicas e mecânicas como: retração linear, absorção de água, massa específica aparente, resistência à compressão uniaxial, índice de abrasão e ensaio para determinação de resistência a abrasão.

##### **5.2.2.5.1. Retração linear (Rq)**

A retração linear é a redução do tamanho após a secagem ou queima, usualmente, sofrida por uma peça, composta por argila. Esta retração após a secagem refere-se à eliminação da água que foi utilizada para a formação da peça. Quando há a eliminação desta água, surgem vazios deixados por ela, neste momento ocorre uma aproximação das partículas em face das forças eletrostáticas, o que provoca a chamada aglomeração ou adensamento. A retração que ocorre após a queima é uma consequência da sinterização. (SANTOS, 2013).

Para a determinação da retração linear neste trabalho, os corpos de prova tiveram suas dimensões medidas antes e após a queima, utilizando-se um paquímetro digital marca MITUTOYO (resolução  $\pm 0,01\text{mm}$ ). As peças industriais

tiveram suas medidas obtidas utilizando-se um paquímetro universal de marca DIGIMESS (resolução  $\pm 0,05\text{mm}$ ).

Posteriormente, foi utilizada a Equação (2) para calcular os valores da retração. Segundo Santos (1989), se o resultado for negativo, significa que houve retração, caso contrário, expansão.

$$Rq (\%) = \frac{Ls - Lq}{Lq} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

$Rq$  = Variação da retração linear após a queima (em porcentagem);

$Ls$  = Comprimento do corpo de prova seco;

$Lq$  = Comprimento do corpo de prova após a queima.

#### 5.2.2.5.2. Absorção de água (AA)

Este ensaio foi executado de acordo com a norma ASTM C373-72. Os corpos de prova foram pesados e colocados em água fervente por 2 horas. Em seguida foram resfriados submersos em água corrente. Posteriormente retirou-se a água superficial de cada peça e as massas foram registradas.

O índice de absorção de água foi calculado de acordo com a Equação (3)

$$AA (\%) = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

$AA$  = Índice de absorção de água (em porcentagem);

$Pu$  = Peso da peça saturada em água; úmida (g);

$Ps$  = Peso da peça seca (g).

### 5.2.2.5.3. Massa específica aparente (pap)

Para a determinação da massa específica aparente, foi utilizada como base a norma ASTM C373-72. Este ensaio determinou a razão entre o peso da peça após a queima e o seu volume total, composto pelo volume das partículas e o volume dos poros. Após o registro da massa, determinada utilizando-se uma Balança digital Instrutherm Modelo Bd-600 (precisão 0,1g), a massa específica aparente foi calculada segundo a Equação (4):

$$\rho_{ap} = \frac{M}{V} \quad (4)$$

Sendo:

$\rho_{ap}$  = Massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>) do corpo seco ou queimado;

M = Massa do corpo seco ou queimado (g);

V = Volume do corpo seco ou queimado (cm<sup>3</sup>).

### 5.2.2.5.4. Resistência à compressão simples (RC)

Sobre ensaio de resistência à compressão longitudinal simples, Garcia *et al.* (2000, p. 46) afirmam:

Ensaio de Compressão é a aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo-de-prova. A deformação linear obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo *versus* a carga de compressão consiste na resposta desse tipo de ensaio, basicamente utilizado nas indústrias de construção civil e materiais cerâmicos. Além disso, fornece resultados de análise estatística, permitindo quantificar o comportamento mecânico do concreto, da madeira, dos compósitos e de materiais de baixa ductilidade (frágeis). Na indústria de conformação, o ensaio de compressão é utilizado para parametrizar condições de processos que envolvam laminação, forjamento, extrusão e semelhantes.

Os resultados numéricos obtidos no ensaio de compressão são

similares aos obtidos no ensaio de tração. Os resultados de ensaio são influenciados pelas mesmas variáveis do ensaio de tração (temperatura, velocidade de deformação, anisotropia do material, tamanho de grão, porcentagem de impurezas e condições ambientais).

#### **5.2.2.5.4.1. Preparação da Amostra**

A partir dos corpos de prova prismáticos, com tamanho, aproximado, de 114,0 x 25,0 x 11,0mm, queimados em forno industrial na cerâmica Arte Sardinha, foram obtidos oito corpos de prova, de cada formulação, com dimensões aproximadas de 25,0 x 25,0 x 11,0mm, empregando-se um disco de corte diamantado.

Após a realização das medidas com um paquímetro digital marca MITUTOYO (resolução  $\pm 0,01\text{mm}$ ), os corpos de prova já cortados receberam em suas extremidades (ao longo do seu comprimento), duas placas metálicas retificadas, coladas com adesivo epóxi de marca comercial BRASCOLA. Antes que o adesivo sofresse cura completa, as duas placas foram submetidas ao alinhamento e paralelismo de suas superfícies, empregando-se um aparelho que consiste em uma haste fixada sobre uma base de suporte que possui uma guia de deslize para punção de caída. A presença das placas e do adesivo nas extremidades de contato dos corpos de prova se fez necessária para impedir a fratura localizada do material, o que perturbaria a distribuição de tensões no corpo, tornando inválido o emprego da Equação (7).

#### **5.2.2.5.4.2. O ensaio à compressão**

O ensaio de resistência à compressão longitudinal simples foi realizado no LAMAV/UENF, utilizando-se a máquina universal para ensaios INSTRON 5582, empregando-se dois pratos de proteção paralelos, com travessão movendo-se à 0,1mm/min.

Em seguida, RC foi calculado utilizando-se a Equação (7):

$$RC = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Sendo:

RC = Resistência à compressão uniaxial (MPa);

P = Carga de ruptura (kN);

A = Área da secção transversal (mm<sup>2</sup>).

### 5.2.3. TESTE INDUSTRIAL

#### 5.2.3.1. Preparação das composições

Esta etapa consistiu na produção de adoquins cerâmicos em escala industrial na cerâmica Arte Sardinha, localizada em São Sebastião de Campos. Para o teste industrial, foram recolhidas para as análises um lote com 24 peças de cada uma das composições industriais formuladas descritas na Tabela 16.

Antes do processo de conformação das peças, a matéria-prima sofreu etapas de desagregação e laminação industrial (Figura 42) para maior uniformidade das mesmas.

Tabela 16. Formulações utilizadas.

Massa	Argila Cinza	Argila Carolinho	Areia	Resíduo
P	60%	10%	30%	--
A	70%	--	--	30%



Figura 42. (A) Material saindo do caixão alimentador, (B) Matérias-primas na esteira, em direção à maromba. Fonte: Acervo da autora.

### 5.2.3.2. Processamento das cerâmicas

O processo de conformação das peças ocorreu com o auxílio de uma extrusora (maromba) industrial (Figura 43) em formato espinha de peixe (Figura 44). As Figuras Figura 43 a Figura 45, apresentam detalhadamente o processo de fabricação das peças industriais.



Figura 43. (A) Caixa alimentador com as matérias-primas (B) Maromba utilizada no processo. Fonte: Acervo da autora.



Figura 44. (A) Boquilha tipo espinha de peixe utilizada. (B) Corte das peças. Fonte: Acervo da autora.



Figura 45. (A) Peças prontas para secagem e (B) a caminho do galpão. Fonte: Acervo da autora.

As peças conformadas foram encaminhadas para galpão coberto onde ficaram durante 28 dias (Figura 46), quando foram encaminhadas para o forno, processo detalhado no Item 5.2.2.4.



Figura 46. Peças no galpão para secagem.  
Fonte: Acervo da autora.

### **5.2.3.3. Determinação das propriedades físicas e mecânicas**

Após a sinterização, os adoquins das composições elaboradas foram submetidos à determinação de propriedades físicas e mecânicas como: retração linear, absorção de água, massa específica aparente, resistência à compressão uniaxial, índice de abrasão, ensaio para determinação de resistência à abrasão.

#### **5.2.3.3.1. Retração linear (Rq)**

Este processo foi realizado com os corpos de prova confeccionados em laboratório seguindo a metodologia empregada em 5.2.2.5.1.

#### **5.2.3.3.2. Absorção de água (AA)**

Este ensaio foi executado de acordo com a norma ASTM C373-72 e NBR 9781 (2013). Para efeito comparativo, este teste foi realizado em adoquins e PPCs.

Os mesmos foram pesados e em seguida, colocados submersos em água durante 24h. Posteriormente, a água superficial de cada peça foi retirada e a massa registrada.

É sabido que a capacidade de absorção de água do corpo sinterizado relaciona-se com a quantidade de água, em porcentagem, que o corpo é capaz de absorver após a queima, sendo assim, o índice de absorção de água foi calculado de acordo com a Equação (6), para todas as 24 peças de cada formulação.

$$AA (\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

AA = Índice de absorção de água (em porcentagem);

Pu = Peso da peça saturada em água; úmida (g);

Ps = Peso da peça seca (g).

#### **5.2.3.3.3. Massa específica aparente (pap)**

A massa específica aparente dos corpos de prova confeccionados industrialmente foi analisada seguindo a metodologia empregada em 5.2.2.5.3.

#### **5.2.3.3.4. Resistência à compressão uniaxial (RC)**

A NBR 9781 (2013) regulamenta o ensaio de resistência à compressão para peças de concreto (**PPC**) e foi utilizada para comparar a resistência entre os **PPCs** e de adoquins, produzidos industrialmente formuladas com a massa P e massa A (com incorporação de 30% de resíduo).

Este ensaio foi necessário para demonstrar que o material não se deforma com facilidade, assegurando uma boa precisão dimensional quando expostos a esforços de compressão.

O ensaio foi realizado em sete corpos de prova, utilizando peças auxiliares de ensaio confeccionadas em aço e circulares, com o diâmetro de  $(85 \pm 0,5)$ mm e espessura de 20mm.

Para o cálculo de RC foi aplicada a Equação (7):

$$RC = \frac{P}{A} \quad (7)$$

Sendo:

RC = Resistência à compressão uniaxial (MPa);

P = Carga de ruptura (kN);

A = Área da secção transversal (mm<sup>2</sup>).

O ensaio foi realizado no LECIV/UENF, para amostras de adoquim e PPC, em máquina SHIMADZU UH F500 KNI.

#### 5.2.3.3.5. Índice de abrasão (IA)

Para o cálculo do índice de abrasão foram utilizadas como referência as normas NTC 5282 e 3829 (2004), que determinam que o IA deve ser calculado relacionando a porcentagem de absorção de água, em valor absoluto, e a resistência à compressão em MPa, seguindo a Equação (8):

$$IA = \frac{0,69 \times AA}{RC} \quad (8)$$

Sendo:

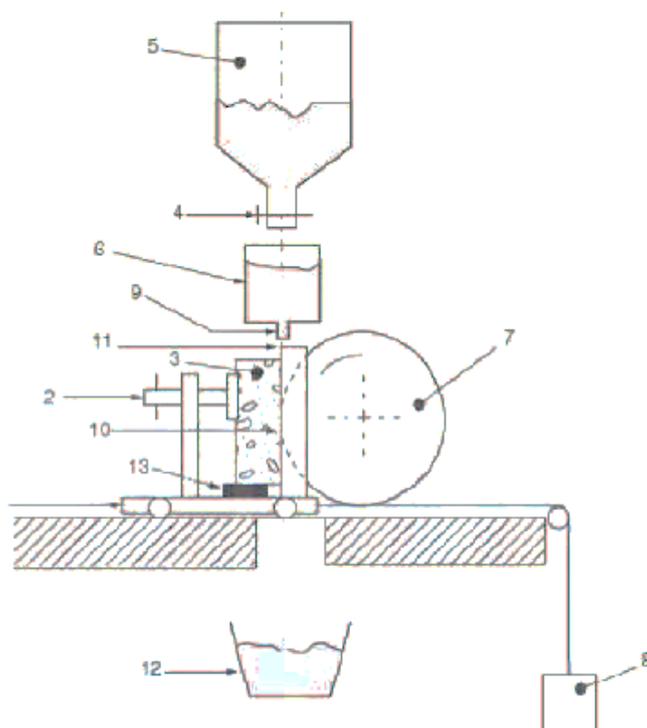
IA = Índice de abrasão;

AA = Absorção de água em valor absoluto (%);

RC = Resistência à compressão (MPa).

### 5.2.3.3.6. Ensaio para determinação da resistência à abrasão

Este ensaio seguiu a normatização da NBR 9781 (2003), cuja norma determina que o material abrasivo deve ser composto de óxido de alumínio fundido branco grana F80, devendo descartar este material logo após o ensaio.



#### Legenda

- 1 Dispositivo móvel para empurrar a amostra
- 2 Dispositivo para fixação
- 3 Amostra
- 4 Válvula de controle
- 5 Reservatório de material abrasivo
- 6 Guia para fluxo de material abrasivo
- 7 Cilindro metálico para abrasão
- 8 Contrapeso
- 9 Saída do material abrasivo
- 10 Moidura
- 11 Fluxo de material abrasivo
- 12 Reservatório para coleta do material
- 13 Apoio para centralizar a amostra

Figura 47. Dispositivo utilizado no ensaio de resistência à abrasão. Fonte: NBR 9781 (2003)

O dispositivo de abrasão (Figura 47) consistiu em disco rotativo de aço com diâmetro de 200mm e espessura de 70mm, um funil de escoamento para alimentação de material abrasivo, um suporte para o corpo de prova, um contrapeso e uma caixa de armazenamento de material abrasivo utilizado.

Foi testada uma peça de cada formulação cerâmica e um PPC. Os corpos de prova foram lavados em água corrente e enxutos com um pano úmido, antes da finalização do ensaio.

O resultado do ensaio teve dimensão corrigida por um fator de calibração (mm), sendo este a diferença aritmética entre 17mm e o valor obtido na última calibração do dispositivo.

#### **5.2.4. Caracterização morfológica das cerâmicas queimadas**

Após a queima dos corpos de prova laboratoriais e industriais, foi realizada a difração de raios X para a investigação das fases cristalinas formadas durante a sinterização. A avaliação microestrutural foi realizada através de microscopia ótica.

##### **5.2.4.1. Difração de raios X (DRX)**

As fases cristalinas, bem como as transformações da estrutura cristalina decorrentes do processo de queima das cerâmicas foram analisadas por difração de raios X, em amostras em pó dos corpos cerâmicos das massas A e P. Foi utilizado um difratômetro de raios X da Rigaku, modelo ULTIMA IV (UENF/CCT/LCFis), equipado com geometria Bragg-Brentano, detector contador de cintilação e alvo Cu- $\alpha$ , nas seguintes condições de operação: 30 kV e 40 mA, com varredura de 3 a 60°, passo de 0,02° e tempo de acumulação de 5 s por passo.

As identificações das fases mineralógicas foram realizadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de Bragg com aquelas registradas nas fichas PDF-2 (Powder Diffraction File) do ICDD (International Center for Diffraction Data).

#### **5.2.4.2. Microscopia ótica (MO)**

Para esta análise foram preparadas, previamente, com lixa nº 1200 (apropriada para superfícies molhadas), amostras sinterizadas dos corpos cerâmicos de massa A, massa P e PPC. Foi utilizado um microscópio ótico OLYMPUS, modelo OLS4000 do LAMAV/UENF.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. Caracterização mineralógica – DRX da areia

A Figura 48 apresenta o difratograma de raios X da areia que foi utilizada na formulação da massa P deste trabalho. De acordo com os picos identificados, percebe-se que este material é predominantemente constituído de quartzo, mas apresenta picos de microclina, ou seja, feldspato, que pode gerar características fundentes à massa, em altas temperaturas. Este resultado está de acordo com a composição química apresentada no Item 4.6.3, onde Vieira *et al.* (2006) confirmaram a existência de  $\text{SiO}_2$  em maior quantidade e presença de óxidos alcalinos e alcalinos-terrosos.

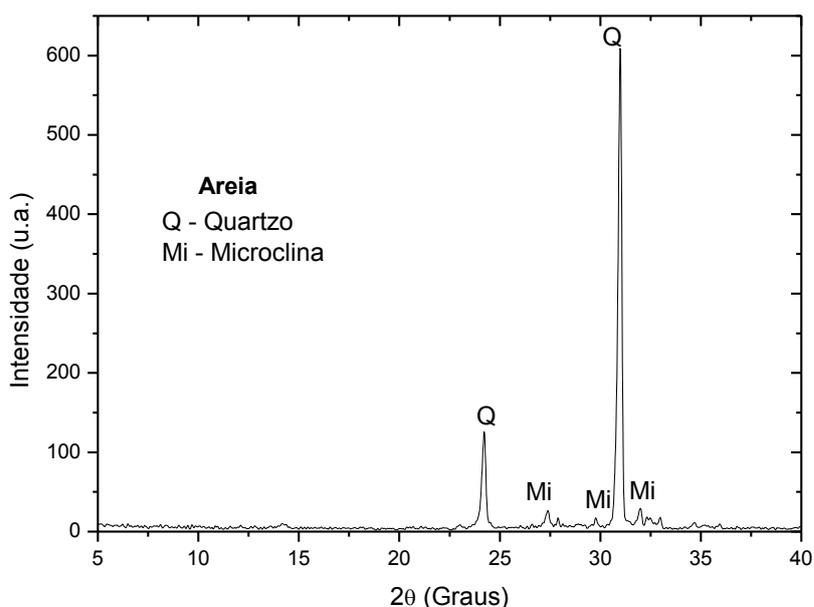


Figura 48. DRX da areia.

## 6.2. Composição física – Distribuição de tamanho de partículas

A Figura 49 apresenta os resultados obtidos da granulometria do resíduo e da areia. É possível perceber que os materiais, não plásticos, apesar de semelhantes na composição, apresentam diferenças quanto ao tamanho de partículas. O diâmetro esférico equivalente das partículas do resíduo é menor, quando comparado a areia. Este último apresenta sua distribuição concentrada na faixa de 50 a 500 $\mu$ m.

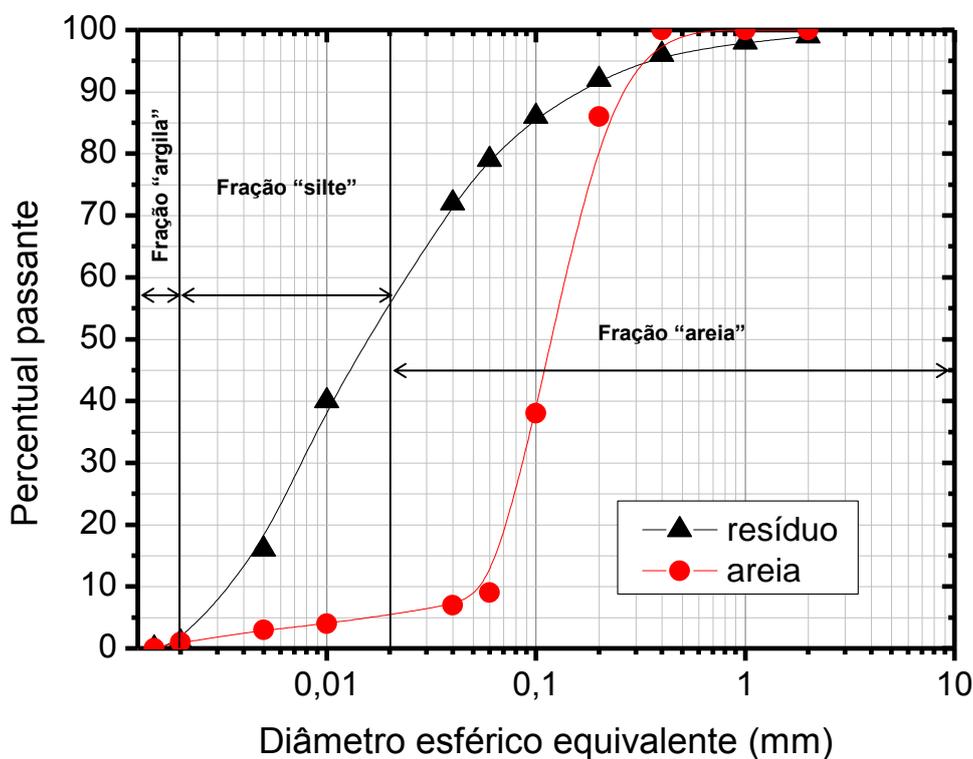


Figura 49. Distribuição de tamanho de partículas.

É provável que esta diferença granulométrica favoreça a produção de adoquim, possibilitando uma textura mais fina e redução de defeitos associados, sobretudo, às partículas de quartzo de elevado tamanho.

### 6.3. TESTE LABORATORIAL

#### 6.3.1. Propriedades físicas e mecânicas

##### 6.3.1.1. Massa específica aparente das peças secas e queimadas:

A Tabela 17, apresenta a densidade aparente a seco das formulações. As barras de erro apresentadas nas Figuras Figura 50 e Figura 51 correspondem ao desvio padrão.

Nos resultados obtidos de densidade aparente, nota-se que, as massas B e C, apresentaram valores menores, porém, estatisticamente, semelhantes entre si. Por sua vez, as massas A e P apresentaram maior densificação, tanto a seco quanto de queima.

Tabela 17. Massa específica aparente (Densidade).

MASSA	RESÍDUO	M. E. APARENTE A SECO	M. E. APARENTE QUEIMA (830°C)
P	0%	1,96 ± 0,10	1,82 ± 0,10
C	10%	1,80 ± 0,08	1,72 ± 0,08
B	20%	1,77 ± 0,06	1,70 ± 0,06
A	30%	1,90 ± 0,08	1,82 ± 0,06

Isto se explica pelo resíduo de rocha ornamental ser composto por partículas grosseiras, quando comparado à argila, portanto, o maior teor de incorporação, de 30%, promove um incremento no empacotamento das diferentes partículas, aumentando a densidade das peças, quando comparado às massas B e C. Este efeito foi semelhante ao encontrado na massa padrão (P) por esta ser composta de dois tipos de argilas e areia, que através da diferença no tamanho das partículas, também promove uma melhor compactação. Este fato pode reduzir a retração e favorecer também a consolidação das partículas durante a queima (MOREIRA *et al.*, 2005; SOARES, 2005; VIEIRA *et al.*, 2004, AGUIAR, 2012).

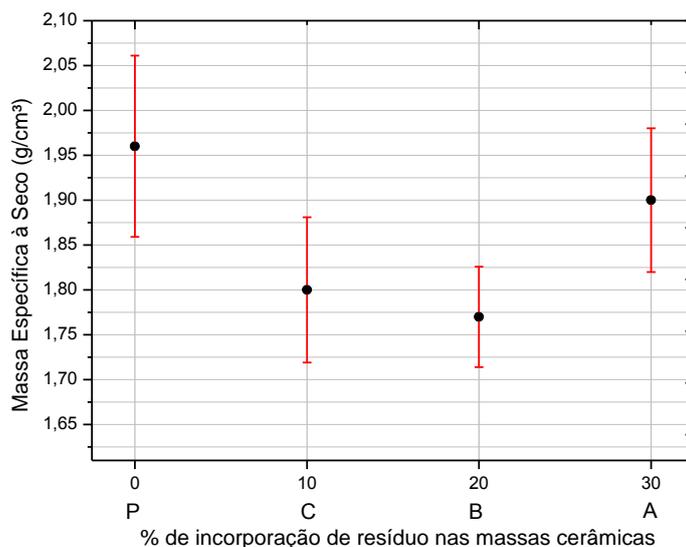


Figura 50. Massa específica à seco.

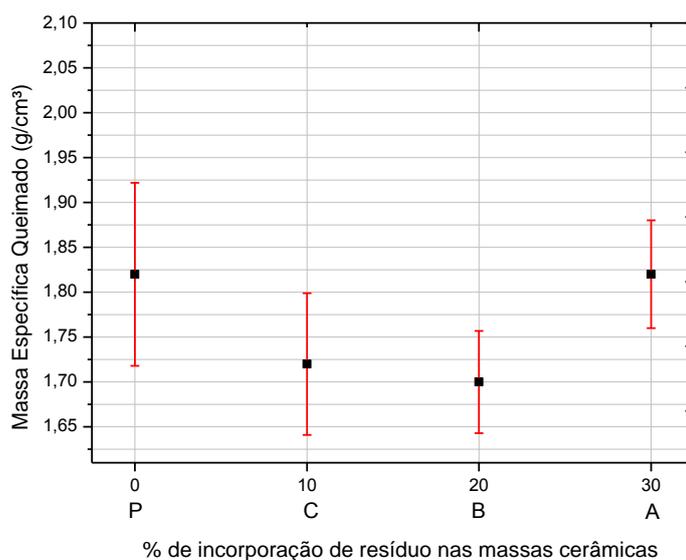


Figura 51. Massa específica das peças queimadas (830°C).

Ainda na Tabela 17, as similaridades também são observadas nos valores de densidade aparente de queima. Os menores teores de incorporação de resíduo, referentes às massas B e C, determinam maiores quantidades de argila, com pouca variedade de tamanhos de partículas, fator este que promove menor empacotamento, apesar dos valores obtidos, quando analisados os desvios padrões, não alterarem significativamente, como pode ser confirmado nas Figuras

Figura 50 e Figura 51. Os resultados corroboram com as análises de granulometria descritas nos Itens 4.6, 6.1 e 6.2.

### 6.3.1.2. Retração Linear:

Verifica-se na Figura 52 uma diminuição da retração linear de queima de acordo com o aumento da incorporação do resíduo.

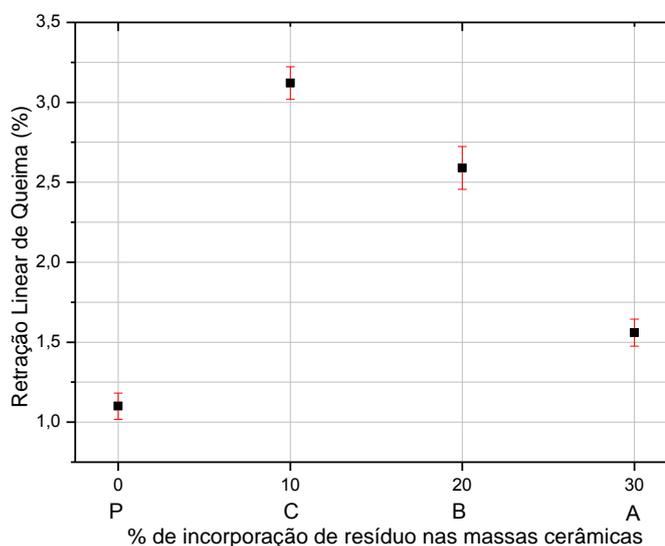


Figura 52. Retração linear das cerâmicas queimadas.

Essa redução da retração é importante para contribuir com a diminuição de defeitos dimensionais nas peças e a minimização do aparecimento de trincas. Porém, é possível notar que a retração das peças com inclusão de resíduo ainda apresenta valor superior à retração sofrida pela massa padrão, com 0% de incorporação. Isto ocorre devido à massa padrão ser composta por 30% de areia, material constituído principalmente por quartzo, que possui caráter inerte.

Em contrapartida, a inclusão de alto teor de resíduo (como em 30%), material não plástico, também rico em quartzo, poderá gerar o aparecimento de trincas de resfriamento devido à baixa adesão das partículas e causado pela transformação alotrópica do quartzo a partir de 500°C. (NORTON, 1973; VIEIRA *et al.*, 2004; SOARES, 2005)

Os resultados encontrados neste trabalho corroboram os encontrados por Vieira *et al.* (2004) mas diferem de Soares (2005) onde a incorporação do resíduo de rocha ornamental até a ordem de 30% não gerou significativas diferenças na retração linear de queima. A diferença somente foi percebida com a incorporação de 40% do material não plástico.

### 6.3.1.3. Absorção de Água:

A Figura 53 apresenta os resultados encontrados de absorção de água em relação ao percentual de resíduo de rocha ornamental incorporado. É notável que a massa A, com 30% de resíduo incorporado, resultou em uma absorção de água 1,74% menor, quando comparado à massa padrão, P. Esta redução possibilita a elaboração de massa para adoquins de classe MX e tipo II, segundo as normas internacionais ASTM C902 (2014) e NTC 3829 (2004).

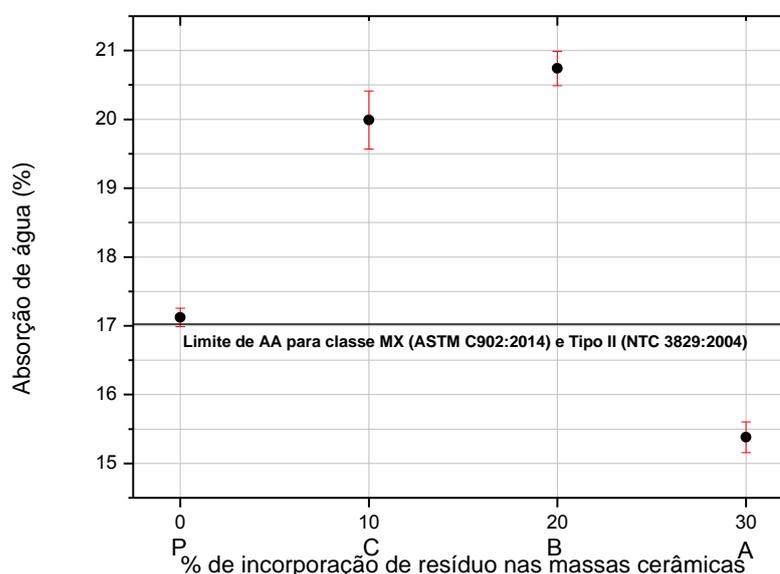


Figura 53. Absorção de água das cerâmicas queimadas.

Moreira *et al.* (2008) afirmam que a propriedade de capacidade de absorção de água relaciona-se com a microestrutura da matriz cerâmica sinterizada e é

relevante sobre a determinação do nível de porosidade aberta das amostras avaliadas.

Portanto, os resultados encontrados corroboram com a densidade de queima das peças, o que sugere uma melhora no empacotamento e uma diminuição de perda de massa durante a queima na massa A e massa P, devido à reação dos materiais presentes no resíduo e na areia, durante a sinterização em forno industrial, com temperatura de 830°C. (TORRES *et al.*, 2009; AGUIAR, 2012)

Nas massas C e B, foram verificadas menores valores de densidade aparente, bem como maiores taxas de retração linear o que autenticam os altos índices de absorção de água, referentes ao menor empacotamento, ou seja, maior porosidade aberta.

#### 6.3.1.4. Resistência à compressão:

A Figura 54 representa a resistência à compressão dos corpos de prova em função da quantidade de resíduo incorporado.

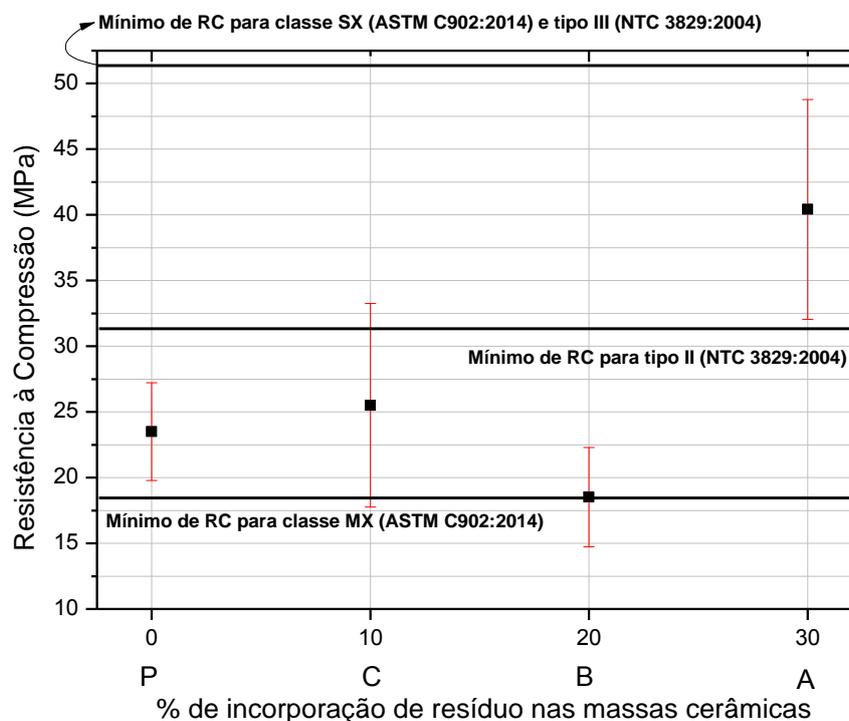


Figura 54. Resistência à compressão das peças queimadas.

É notável a alta resistência à compressão das peças formuladas com 30% de resíduo. Somente a massa A superou os resultados mínimos exigidos pelas normas internacionais para fabricação de adoquins tipo II (NTC 3829:2004) e classe MX (ASTM C902:2014). Ao considerar as barras de desvio padrão, nota-se que a massa A se aproximou muito do limite mínimo para criação de adoquins classe SX (ASTM C902:2014) e de tipo III (NTC 3829:2004). Apesar do material incorporado ser considerado pela literatura como fundente, segundo Vieira *et al.* (2008) a temperatura em que as peças foram queimadas (830°C) é um fator limitante para uma considerável formação de fase líquida, fazendo com que o resíduo não atuasse efetivamente como fundente. Portanto, esta resistência atingida pela massa A, pode ser explicada pelo material não plástico estar atuando, principalmente, como material de preenchimento, reduzindo a porosidade aberta e aumentando a resistência mecânica.

Em contrapartida, analisando as barras de desvio padrão existentes no gráfico, não houve variação significativa nas resistências com incorporação de 0%, 10% e 20%.

Os resultados deste trabalho contrariam os encontrados na literatura. Era esperada a redução da resistência mecânica das peças cerâmicas produzidas com maiores incorporações de resíduo. Esta redução seria explicada pela alta quantidade de quartzo presente no resíduo. O quartzo gera tensões no interior das peças em temperaturas acima de 573°C devido à sua transformação alotrópica. Estas tensões são responsáveis pelo aparecimento de micro-trincas, atuantes como concentradores de tensão, o que contribuiria para a redução na resistência. (NORTON, 1973; QUEIROZ *et al.*, 2010; AGUIAR, 2012)

O que provavelmente colaborou para o resultado obtido foi a granulometria fina da argila utilizada, em conjunto com as partículas de tamanhos maiores do resíduo, que geraram um melhor empacotamento das peças. Este acontecimento possivelmente foi o principal determinante para a superação do efeito antagônico do aparecimento de trincas causadas pelo quartzo. (SANTOS, 1989; QUEIROZ *et al.*, 2010)

### 6.3.2. Considerações finais do teste laboratorial

De acordo com os resultados obtidos das massas avaliadas, é possível afirmar que as massas P, C e A são indicadas, com base nas normas ASTM C902 (2014) e NTC 3829 (2004), para adoquins de tráfego leve. Ou seja, são admitidas para uso em ambientes internos e expostos à baixa abrasão, como em pisos e quintais de casas unifamiliares, quando analisados os limites de absorção de água e resistência à compressão para as peças.

A massa A, é admitida também, pelas normas citadas, para confecção de adoquins a serem utilizados em áreas externas (**classe MX**), sem que haja necessidade de resistência ao congelamento, e também onde ocorra exposição à abrasão intermediária (**tipo II**), ou seja, lojas e corredores ao ar livre.

A única exceção quanto à utilização é a massa B, que apesar do valor da absorção de água estar dentro dos padrões aceitos, ao analisar o desvio padrão, não atingiu o mínimo de resistência à compressão determinado pelas normas. O que determina que esta massa, com 10% de incorporação de resíduo, não é indicada para confecção do piso intertravado estudado.

#### **6.4. TESTE INDUSTRIAL**

Foram produzidos, na cerâmica Arte Sardinha, dois lotes de diferentes adoquins com formato espinha de peixe, para a realização do teste industrial. As dimensões médias das peças foram de, aproximadamente, 19,5cm de comprimento, 9,5cm de largura e 6,5cm de altura.

Como descrito no Item 5.2.3.1, um lote, de 24 peças, foi produzido com a massa padrão utilizada na cerâmica, composto por uma mistura de duas argilas e areia. A este adoquim foi adotada a nomenclatura massa P.

O outro lote, também de 24 peças do piso intertravado, foi fabricado com a mistura de argila e resíduo de rocha ornamental. A massa deste produto foi nomeada como massa A.

Desses lotes foram feitas as determinações das propriedades: massa específica aparente, retração linear, absorção de água, resistência à compressão e resistência à abrasão profunda.

Com objetivo de comparar as propriedades do adoquim ao seu concorrente direto, a peça pré-moldada de concreto (**PPC**), um lote de 7 **PPCs** foi utilizado para a determinação da absorção de água, resistência à compressão e resistência à abrasão.

Os **PPCs** foram adquiridos de uma fábrica de artefatos de concreto do Espírito Santo e possuem dimensões médias de 21,0cm de comprimento, 10,0cm de largura e 4,0cm de altura. A Figura 55 mostra algumas peças utilizadas para os ensaios.



Figura 55. Adoquins e PPCs selecionados para teste.

### 6.4.1. Propriedades físicas e mecânicas

#### 6.4.1.1. Massa específica aparente das peças secas e queimadas:

A Tabela 18 apresenta os valores das densidades a verde, a seco e de queima das peças fabricadas. Analisando estatisticamente os resultados, é possível notar que a incorporação do resíduo em quantidades equivalentes de areia não resultou em diferenças significativas nas densidades das peças analisadas.

Tabela 18. Massa específica aparente (Densidade) das peças fabricadas na cerâmica.

MASSA	RESÍDUO	M. E. APARENTE A VERDE	M. E. APARENTE A SECO	M. E. APARENTE QUEIMA
P	0%	2,03 ± 0,03	1,93 ± 0,03	1,71 ± 0,02
A	30%	1,95 ± 0,12	1,93 ± 0,03	1,75 ± 0,06

As massas apresentam resultados semelhantes, o que demonstra que a combinação das partículas mais grossas do resíduo e as finas da argila proporcionaram um empacotamento equivalente à massa com adição de areia. Isto ocorre, de acordo com Norton (1973), pois quando os tamanhos de partículas distintos são misturados, as partículas finas se ajustam nos poros das maiores, gerando um melhor empacotamento. Estes dados corroboram com as análises granulométricas descritas em 4.6 e 6.2.

Um dos benefícios do resíduo de rocha ornamental quando comparado à areia é que os mesmos possuem um tamanho mais fino e uma melhor distribuição granulométrica, enquanto que a areia possui partículas mais grosseiras com tamanhos entre 50 a 500µm. (MONTEIRO *et al.*, 2004; QUEIROZ *et al.*, 2010).

Os resultados obtidos estão em acordo com Monteiro *et al.* (2004), que analisou a reformulação de uma massa para telhas com incorporação de granito e obteve resultado semelhante de massa específica aparente.

Nas Figuras Figura 56 a Figura 58 são observados os gráficos do comportamento da massa específica aparente a verde, a seco e de queima, respectivamente. De modo geral, observa-se que as barras de erro encontram-se elevadas. Uma explicação para essa variação é a dificuldade de medir as dimensões da peça que possui formato irregular, tipo espinha de peixe.

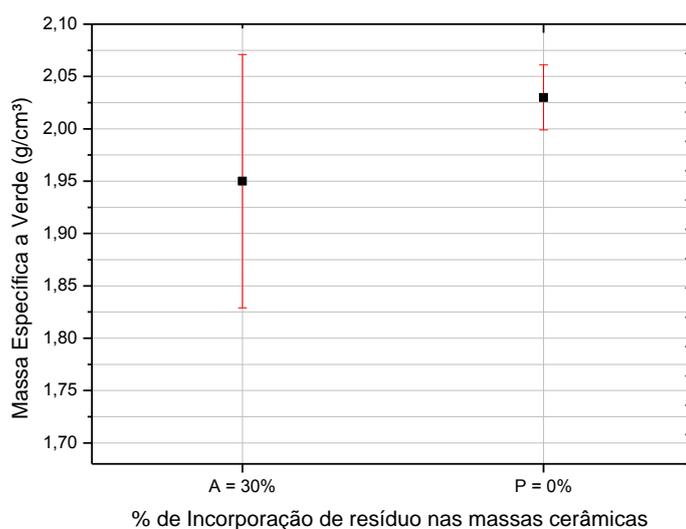


Figura 56. Massa específica a verde das peças.

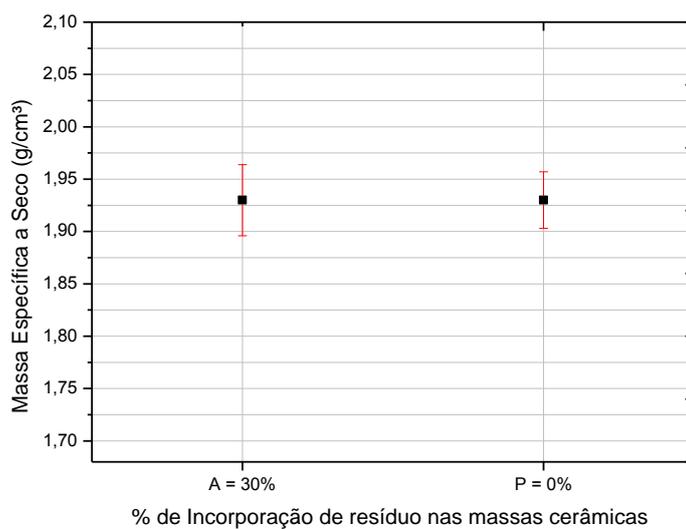


Figura 57. Massa específica a seco das peças.

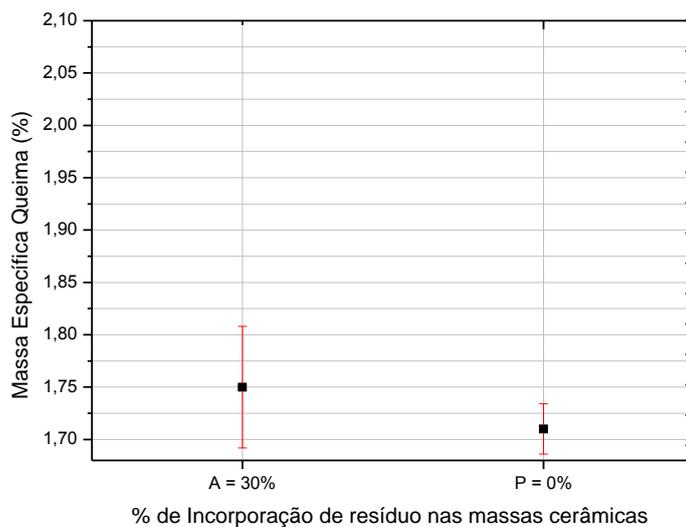


Figura 58. Massa específica de queima das peças.

#### 6.4.1.2. Retração linear a seco e de queima

É possível observar, através das Figuras Figura 59 e Figura 60, a retração linear a seco e de queima das peças cerâmicas formuladas industrialmente. Segundo Norton (1973), a retração de secagem é um fator relevante na conformação ou moldagem das peças, pois uma grande retração necessita de secagem muito lenta com o objetivo de se evitar trincas e alcançar as dimensões desejadas. Hojamberdiev *et al.* (2011) complementa afirmando que a retração de queima é de extrema importância, pois uma pequena alteração que ocorra nela por motivo de sinterização, pode acarretar mudanças nas propriedades mecânicas da peça.

A retração linear a seco (Figura 59) foi obtida medindo as peças recém saídas das extrusora e após secagem em galpão coberto. Neste momento, observa-se que a massa com incorporação de resíduo de rocha ornamental obteve uma retração um pouco inferior à massa com adição de areia, mas não muito significativa, ao observar o desvio padrão. Este resultado corrobora com o encontrado na literatura e com os resultados de densidade a seco obtidos. Isto indica que o empacotamento obtido foi semelhante quando analisadas as duas massas.

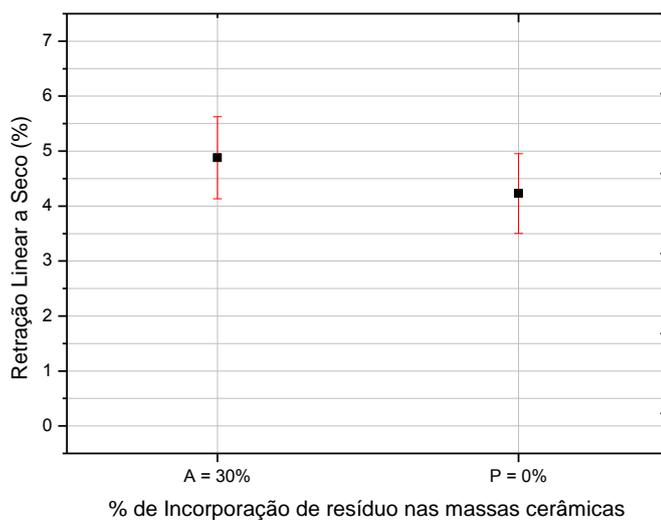


Figura 59. Retração linear a seco das peças analisadas.

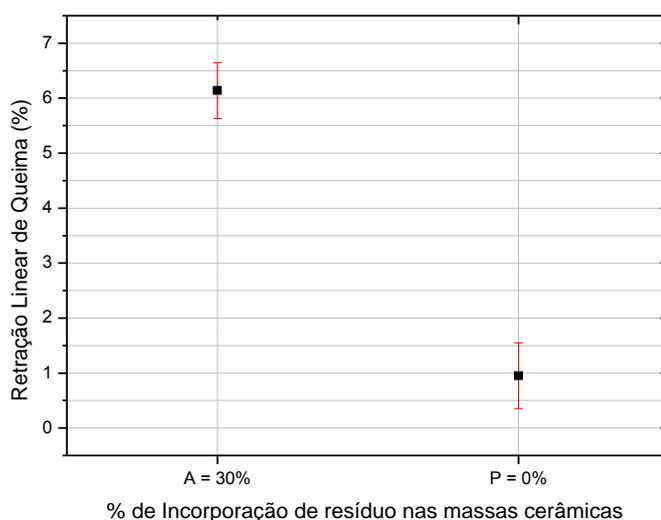


Figura 60. Retração linear de queima das peças analisadas.

Segundo Monteiro *et al.* (2004) este comportamento obtido refere-se à quantidade de água que foi exigido no processo de extrusão das peças. Ainda segundo o mesmo autor, uma retração linear de secagem reduzida pode trazer benefícios às peças cerâmicas, tais como: processo de secagem mais rápido, diminuição no consumo de energia, menores riscos de rachaduras e de defeitos dimensionais.

Faz-se importante relatar o aparecimento de trincas de secagem na massa A, que não foram notadas na massa P (Figuras Figura 61 e Figura 62). Assim que saíram da extrusora, foram encaminhadas ao galpão coberto para que permanecessem secando até o momento da queima. Após 7 dias neste galpão, as peças com incorporação de 30% de resíduo apresentaram trincas que, possivelmente, são explicadas pela inexperiência do técnico em trabalhar com uma massa com grande teor deste tipo de material não plástico, acarretando, talvez, pouca quantidade de água adicionada para umedecimento da massa. É provável que uma pequena adaptação na umidade antes de extrusar a peça, resolva este problema.

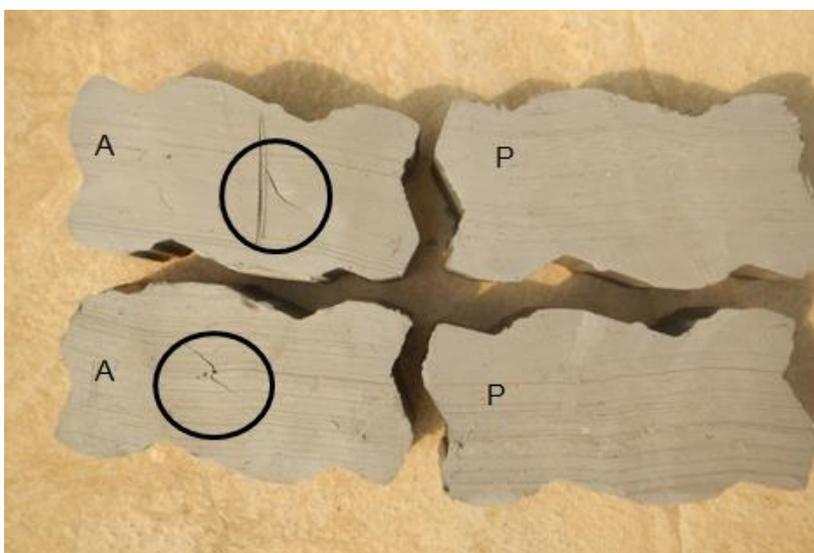


Figura 61. Adoquins de massa A e P. Em destaque, as trincas aparecidas durante a secagem.

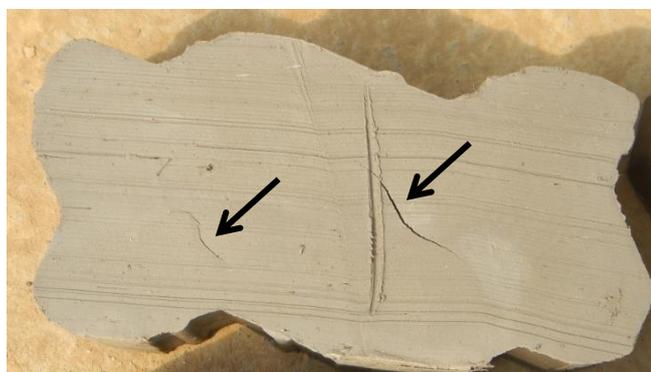


Figura 62. Destaque para a trinca da massa A.

As peças foram produzidas segundo o processo convencional utilizado pela cerâmica e a queima foi efetuada em forno comumente utilizado para esses produtos, sob mesmas condições de temperatura. Porém, algum erro foi cometido no processo de obtenção dos valores de retração linear de queima da massa P, que traduziram alto desvio padrão e inutilizaram os resultados obtidos desta formulação. Fato este que impede a comparação dos resultados entre a massa A e a massa padrão.

#### 6.4.1.3. Absorção de água

Na Figura 63 é possível notar os resultados obtidos no ensaio de absorção de água entre os adoquins com massa A, massa P e **PPC**. Para este ensaio foram utilizados 7 peças de cada composição. As barras de erro encontram-se representadas no gráfico, porém de forma pequena, mostrando uma regularidade maior dos resultados obtidos.

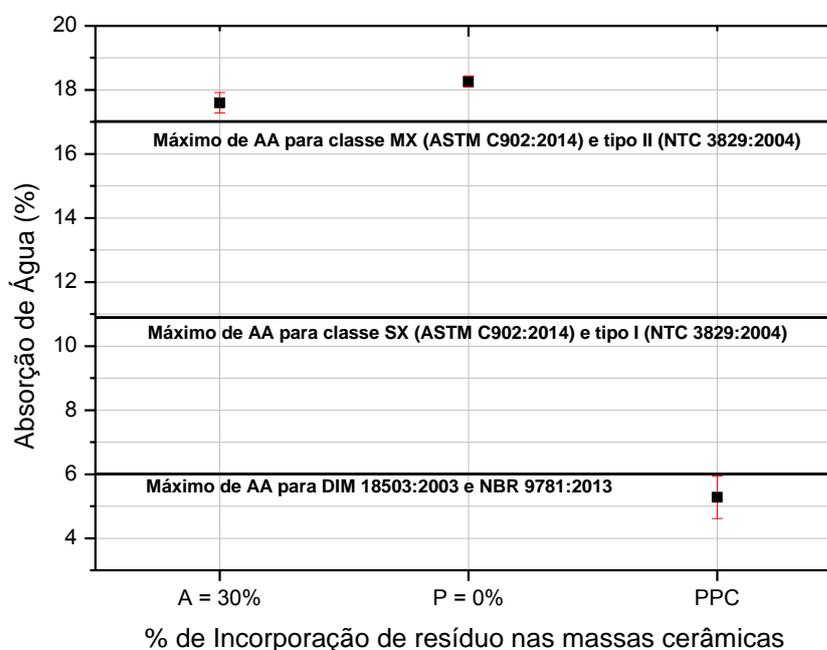


Figura 63. Absorção de água das cerâmicas queimadas e PPC.

É importante observar que a massa A, mesmo com a existência das barras de erro, produziram um resultado de absorção sutilmente inferior (<1%) quando comparado às peças confeccionadas com a massa P, aproximando-se muito do limite máximo de AA permitidos para adoquins de classe MX e tipo II, segundo ASTM C 902 (2014) e NTC 3829 (2004).

El Maghbary *et al.* (2011) explicam que a absorção de água está estritamente relacionada à microestrutura do material e à porosidade aberta. Portanto, pode-se afirmar que, no teste com as peças industriais, o resíduo de rocha ornamental produziu um empacotamento um pouco maior das partículas, ou seja, trabalhou como material de preenchimento, diminuindo a porosidade aberta, o que conseqüentemente reduziu a absorção de água das peças.

Ao observar o comportamento do **PPC** no ensaio de absorção de água, é possível notar a diferença entre os resultados. Os adoquins absorveram água em maiores proporções quando comparado à peça pré-moldada de concreto. O valor médio máximo de absorção do **PPC**, indicado pela norma NBR 9781 (2013) seria de 6%, porém o valor alcançado por ele é inferior ao limite estabelecido.

Ao comparar os resultados das massas A e P, que haviam sido previamente aprovadas no ensaio laboratorial, pelas normas de referências internacionais ASTM C902 (2014) e NTC 3829 (2004) para adoquins de tráfego leve, observa-se que estas encontram-se dentro dos limites apresentados pela norma também no teste industrial para adoquins de uso em ambientes internos e expostos à baixa abrasão como em pisos residenciais e de quintais de casas unifamiliares, ou seja, classificados como classe NX (ASTM C902:2014) e tipo III (NTC 3829:2004).

É importante ressaltar que os adoquins produzidos ficaram com os limites de absorção de água muito próximos ao exigido pela norma, para atuação em áreas externas e de exposição à abrasão intermediária, ou seja, classe MX (ASTM C902:2014) e tipo II (NTC 3829:2004). Portanto, uma solução que poderia ser melhor estudada para o problema, seria o aumento na incorporação de resíduo, material não plástico. Esta adição é capaz de alterar a etapa de conformação, através da quantidade de água de plasticidade, com finalidade de gerar um grau de empacotamento maior das partículas. (PINHEIRO, 2012; NORTON, 1973)

#### 6.4.1.4. Resistência à compressão

A Tabela 19, bem como o gráfico, mostrado na Figura 64, apresentam os resultados do ensaio de resistência à compressão executado para as 7 peças de cada composição. As barras de erro existentes no gráfico determinam desvio padrão.

Tabela 19. Resultados obtidos de resistência à compressão.

Ensaio	MASSA A	MASSA P	PPC
RC (MPa)	47,70 ± 5,26	43,89 ± 2,95	70,00

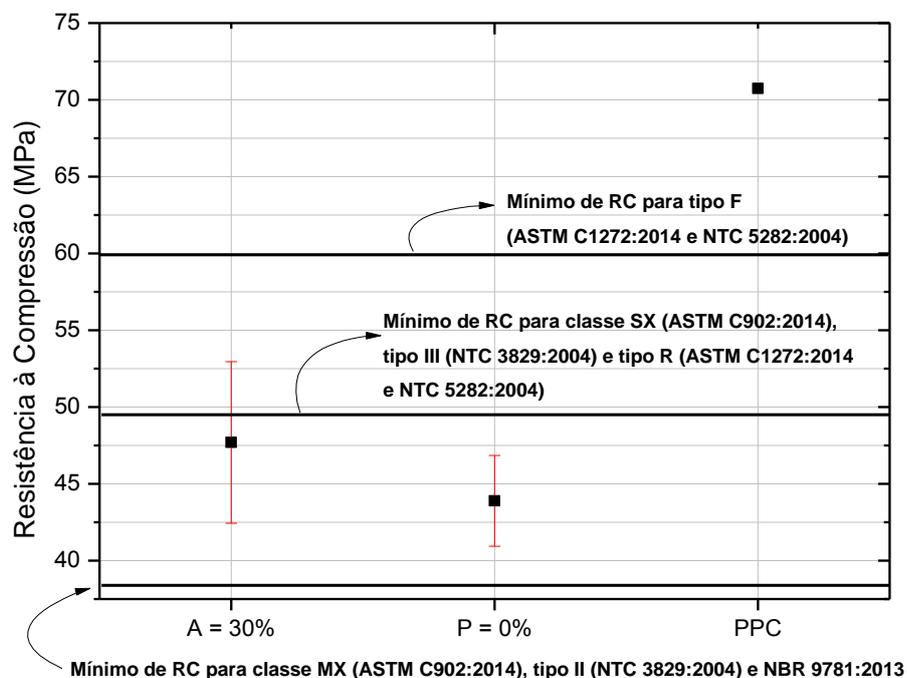


Figura 64. Resistência à compressão das peças industriais de adoquim cerâmico e PPC.

O lote de **PPC** analisado não pode ter o ensaio concluído devido ao fato de resistir mais que o limite da máquina de prensa utilizada. Este ocorrido não impediu a comparação dos resultados entre os produtos, pois foi admitido o fato das peças pré-moldadas de concreto possuírem a resistência à compressão superior a 70 MPa, limite alcançado pela máquina.

Sobre os adoquins, pode-se verificar que, estatisticamente, as massas A e P produziram valores semelhantes de resistência mecânica, embora a massa com 30% de incorporação de resíduo tenha obtido um resultado um pouco superior à massa com adição de areia.

Quando comparado o resultado deste trabalho com o de Pinheiro (2012), que testou adoquim de forma industrial com a incorporação de argilito na massa, é possível afirmar que a adição de resíduo de rocha ornamental, possui resistência mecânica superior. Com o argilito, o valor máximo atingido foi de  $28,29 \pm 0,58$ MPa.

Os resultados de resistência mecânica, quando analisados isoladamente, permitem concluir que os adoquins formulados com a massa A e massa P são aptos, segundo a ASTM C902 (2014) e NTC 3829 (2004), para utilização em áreas externas e expostos à abrasão intermediária (classe MX e tipo II, respectivamente). Segundo a NBR 9781 (2013), que regulamenta o uso do PPC no Brasil, é possível afirmar que as massas também estão de acordo para a fabricação de produtos para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, cuja resistência mínima admitida seria 35,00MPa.

É importante ressaltar que os adoquins confeccionados com a massa A se aproximaram muito dos valores mínimos, de 48,30MPa, determinados pelas normas ASTM C902 (2014) e NTC 3829 (2004) para sua aplicação onde seriam expostos à alta abrasão (Classe SX e Tipo I, respectivamente), como em edifícios públicos e comerciais. Além de também terem alcançado resistência próxima ao determinado pela NBR 9781 (2013) para “tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados”, ou seja, tráfego pesado, que seria o mínimo de 50,00MPa.

#### **6.4.1.5. Resistência à abrasão e Índice de abrasão**

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado em uma peça de cada lote, respeitando a NBR 13818 (1997) que indica, para revestimentos não esmaltados, a execução do ensaio de abrasão profunda. Como resultado deste teste, obteve-se a medida da cavidade alcançada pelo disco na peça abrasonada. Através deste valor,

foi possível determinar, com o auxílio da mesma norma, o volume de material do material removido das peças.

Tabela 20. Resultado obtido do ensaio de resistência à abrasão profunda e volume equivalente de material removido, segundo: NBR 13818 (1997)

<b>Ensaio</b>	<b>MASSA A</b>	<b>MASSA P</b>	<b>PPC</b>
Cavidade (mm)	20,60	20,80	17,20
Volume do material removido (mm <sup>3</sup> )	72	77	43

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 20) observa-se que as peças cerâmicas, com e sem incorporação de resíduo de rocha ornamental apresentaram perda de massa de 67% a 79% maior que a peça pré-moldada de concreto. É importante notar ainda que o adoquim com adição do resíduo (Massa A) sofreu menor abrasão, quando comparado ao adoquim formulado com areia (Massa P), ou seja, aproximadamente 7% a menos de material removido.

Tomando-se como referência a norma brasileira existente para peças pré-moldadas de concreto (NBR 9781:14), é possível estabelecer usos específicos para cada valor de cavidade obtido. Esta norma estabelece o requisito de cavidade máxima menor ou igual a 20mm para “veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuado”. Para peças que serão utilizadas para tráfegos de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, a exigência de cavidade máxima é menor ou igual a 23mm, sendo esta aplicação indicada para todas as amostras testadas.

Pelas normas internacionais, como a ASTM C902 (2014) e NTC (2004), o requisito de resistência à abrasão pode ser analisado utilizando-se a Equação ((9), denominado “índice de abrasão” (IA), abordado no Item 5.2.3.3.5. deste trabalho.

$$IA = \frac{0,69 \times AA}{RC} \quad (9)$$

A Tabela 21 apresenta o índice de abrasão calculado para cada amostra testada. É importante lembrar que as normas referidas estabelecem que adoquins do Tipo I devem possuir IA máximo de 0,11, sendo o IA máximo para o Tipo II de

0,25 e IA máximo para Tipo III de 0,50. Por este motivo, todas as amostras são compatíveis com o Tipo III, ou seja, adoquins expostos à baixa abrasão, com sua aplicação indicada para pisos e quintais de casas unifamiliares. Sendo que a peça de massa A, com incorporação de 30% de resíduo de rocha ornamental esteve muito próxima de satisfazer a exigência do Tipo II, indicado para a exposição à abrasão intermediária, com uso em lojas e corredores ao ar livre.

Tabela 21. Índices de abrasão exigidos pelas normas ASTM C902 (2014) e NTC 3829 (2004).

	<b>MASSA A</b>	<b>MASSA P</b>	<b>PPC</b>
Índice de Abrasão (IA)	0,254	0,287	0,051

Analisando-se as normas ASTM C1272 (2014) e NTC 5282 (2004) é possível afirmar que nenhuma das peças cerâmicas satisfaz a norma que estabelece o uso de adoquins para tráfego pesado. O valor de IA máximo admitido pelas normas é 0.11. Sendo assim, somente o PPC cumpriu este requisito físico.

Segundo Fioriti (2007), o ensaio de resistência à abrasão pode ser um bom indicador da durabilidade do material. Portanto, é possível observar que a incorporação do resíduo de rocha é capaz de aumentar a durabilidade da peça cerâmica e, mesmo com índices maiores que o PPC, estas peças apresentam excelente durabilidade.

#### **6.4.1.6. Avaliação microestrutural das cerâmicas queimadas**

##### **6.4.1.6.1. Difração de raios X (DRX)**

Nas Figuras Figura 65 e Figura 66 são apresentadas as difrações de raios X das cerâmicas queimadas em temperatura de 830°C.

A massa A (Figura 65) apresenta como fases predominantes, o quartzo, feldspatos potássicos, que podem ser microclina e/ou ortoclásio, bem como a mica muscovita. Os picos de quartzo e mica são tidos como fases residuais, ou seja, provenientes da matéria-prima em estado natural. É possível que nessa

temperatura, não tenha ocorrido alteração de fase cristalina de queima, com exceção tem-se a caulinita, tipicamente encontrada nas argilas de Campos, que perde sua água de constituição e se transforma em metacaulinita, fase amorfa. (PINHEIRO, 2012)

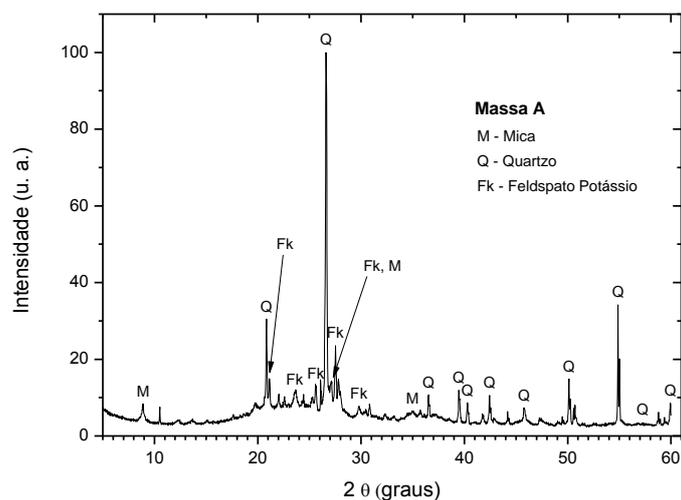


Figura 65. DRX da cerâmica formulada com a massa A.

A Figura 66 apresenta o DRX da cerâmica que foi formulada com a massa P. Similarmente à massa A, é possível perceber novamente a presença predominante de quartzo, mica, feldspatos (microclina e/ou ortoclásio).

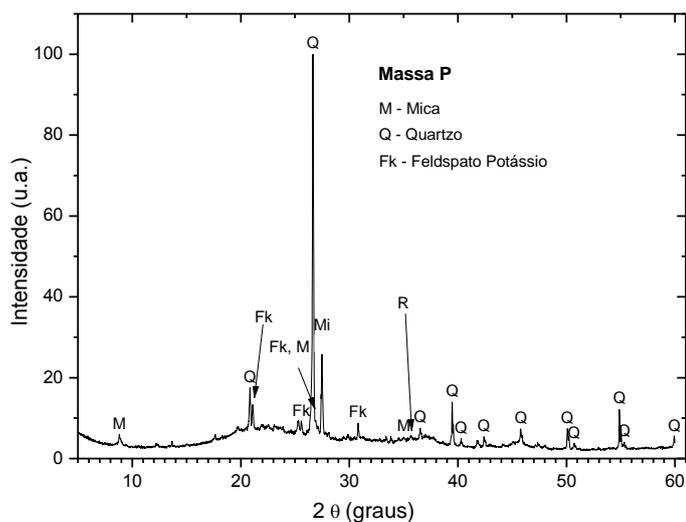


Figura 66. DRX da cerâmica formulada com a massa P.

#### 6.4.1.6.2. Microscopia Ótica

A Figura 67 e a Figura 68 representam micrografias óticas das cerâmicas formuladas com a composição A, ou seja, 30% de resíduo de rocha ornamental. A Figura 69 e Figura 70 apresenta a da composição P.

De modo geral, as características visuais das massas A e P são semelhantes. Ambas apresentaram coloração clara, devido a baixa quantidade de Óxido de Ferro existente na massa, como é apresentado pela composição química no item 4.6. Observa-se também a existência de quartzo (setas em preto), algumas partículas avermelhadas, que possivelmente estão associadas à hematita (setas brancas). Circulado em preto, algumas partículas que provavelmente indicam feldspatos e circulado em branco, partículas que se destacam, assemelhando-se às micas.

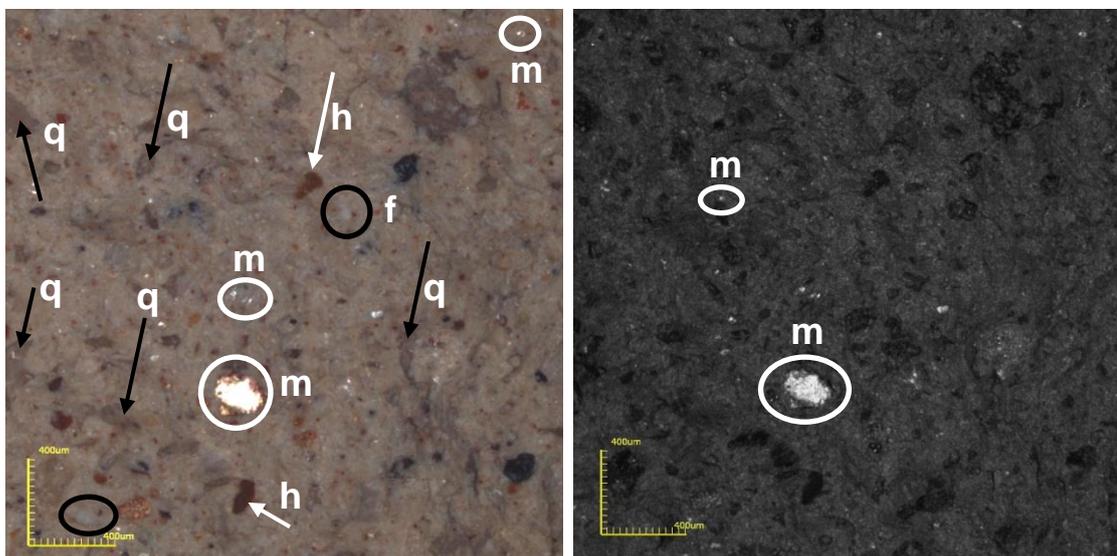


Figura 67. Microscopia ótica da massa A, aumento de 108x.

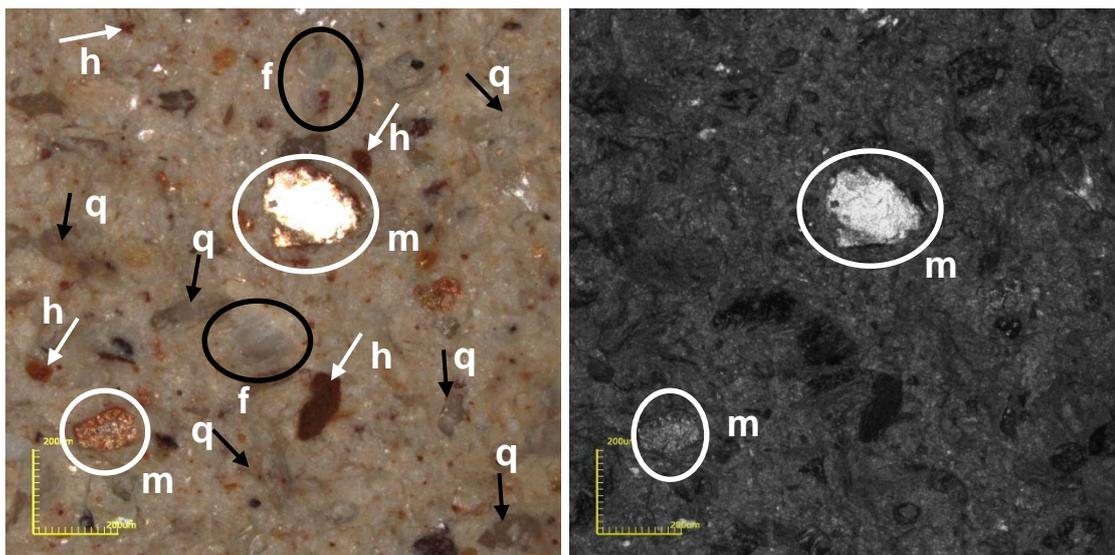


Figura 68. Microscopia ótica da massa A, aumento de 216x.

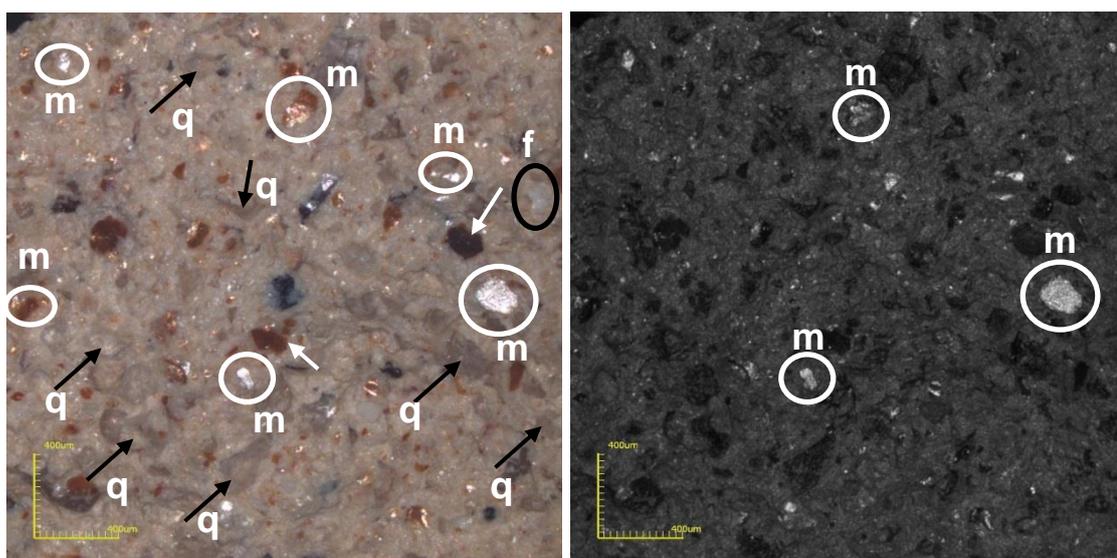


Figura 69. Microscopia ótica da massa P, aumento de 108x.

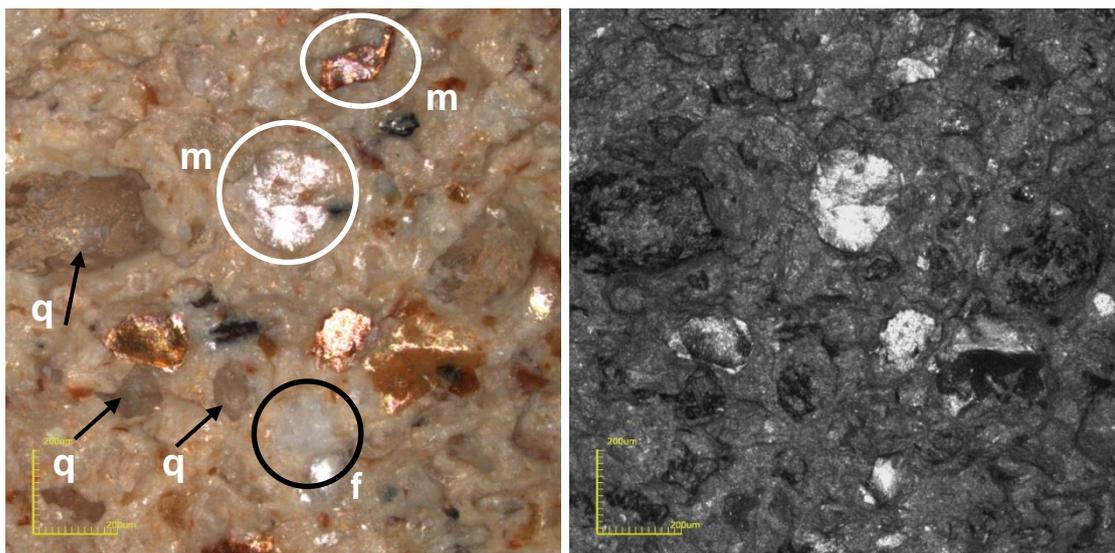


Figura 70. Microscopia ótica da massa P, aumento de 216x.

#### 6.4.2. Considerações finais do teste industrial

De acordo com os resultados do teste industrial, é possível concluir que o resíduo de rocha ornamental produziu um efeito na massa cerâmica semelhante e/ou superior ao encontrado com a massa padrão. Este fato pode ser explicado pelo melhor empacotamento das partículas devido à granulometria mais fina do resíduo, quando comparado à areia. Tornando-se um bom substituto gerando benefícios ambientais, pelo fato de reduzir o descarte inadequado do resíduo ao meio ambiente.

É provável que a incorporação de uma maior quantidade do resíduo, bem como um aumento na temperatura de queima, poderiam melhorar ainda mais as propriedades da massa. Essas alterações gerariam a redução da água de plasticidade, melhorando o empacotamento, conseqüentemente, a redução da porosidade das peças e diminuição da absorção de água.

Provavelmente, essas pequenas modificações na massa, bem como alguns cuidados do técnico da extrusora na hora da conformação, conseguirão tornar o adoquim um produto com qualidade superior, capaz de tornar-se um produto com características técnicas ainda melhores.

## 7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que:

- O DRX da areia confirmou a presença predominante de quartzo, bem como a existência de feldspatos.
- As granulometrias, do resíduo e da areia, são semelhantes. Porém, o resíduo de rocha apresenta partículas um pouco mais finas que a areia, fator que proporcionou melhor empacotamento das massas e das propriedades obtidas.
- Nas propriedades de queima, afirma-se que o quartzo, presente no resíduo e na areia, não atuou como fundente na temperatura utilizada (830°C), porém possuiu importante participação como material inerte de preenchimento.
- O grau de empacotamento das partículas influenciou positivamente as propriedades tecnológicas alcançadas. As cerâmicas de massa P e A, com maiores densidades, apresentaram melhores resultados de retração, absorção de água, resistência à compressão e resistência à abrasão. Neste ponto, os resultados do teste laboratorial e industrial foram semelhantes.
- Em laboratório observou-se que as massas P, C e A são indicadas, pelas normas internacionais, para fabricação de adoquins de tráfego leve, com usos admitidos para ambientes internos expostos à baixa abrasão. Tendo, a massa A, ficado muito próxima de ser considerada apta a aplicações em áreas externas e a abrasão intermediária.
- Ao analisar o desvio padrão dos resultados de ensaio de resistência à compressão das peças laboratoriais, afirma-se que a massa B não

atende às normas internacionais para confecção de massa para *pavers* cerâmicos. Não sendo indicados para a produção de adoquins.

- Com base em todos os resultados encontrados no teste industrial, a principal conclusão é que todas as formulações cerâmicas (massa A e massa P) estão aptas a serem utilizadas como adoquins de classe NX (ASTM C902:2014) e Tipo III (NTC 3829:2014) e indicados, pela norma NBR 9781 (2013) como adoquins permitidos para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Sendo importante ressaltar que as peças com formulação A se aproximaram, e muito, de um nível melhor de classificação. Sendo necessárias algumas pequenas alterações na conformação do produto para obtenção de melhores resultados.
- Os testes, laboratorial e industrial, provaram que é viável, do ponto de vista qualitativo, a incorporação de resíduo de rocha ornamental em substituição à areia.
- Por fim, os resultados indicaram que o uso do resíduo na formulação da massa para a produção de adoquim tem potencial para ser utilizado.

## 8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste Capítulo, são listadas algumas sugestões e recomendações para possíveis trabalhos:

- Realizar testes industriais e laboratoriais com incorporação maior que 30%;
- Novo teste laboratorial, com as peças queimadas em forno industrial, com criação de corpos de prova suficientes para uma análise estatística mais apurada;
- Realizar teste industrial para confecção de peças com espessuras idênticas às dos PPCs e avaliar as propriedades tecnológicas encontradas;
- Submeter os produtos produzidos nesta pesquisa a ensaios de degradação, com objetivo de avaliar as características e o tempo de vida útil das peças;
- Realizar novos testes, com outras argilas e comparar com os resultados encontrados neste trabalho;
- Analisar a viabilidade econômica na substituição da areia pelo resíduo.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. (2014). **Manual Técnico para implementação – Habitação 1.0**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 23 junho 2014.

ABCRAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas - Matérias-Primas Naturais**. Disponível em: <[www.abcram.org.br](http://www.abcram.org.br)>. Acesso em: 10 de março de 2015.

ABCRAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas – Definição e Classificação**. Disponível em: <[www.abcram.org.br](http://www.abcram.org.br)>. Acesso em: 02 de agosto de 2015b.

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **APEX e ABIROCHAS: Uma parceria de sucesso**. Informe 02. 2014. Disponível em: <[www.abirochas.com.br](http://www.abirochas.com.br)>. Acesso em: 20 julho 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982). **Terminologia e classificação de pavimentação**, NBR 7207, 1982.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). **Determinação do Limite de plasticidade**, NBR 7181, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997). **Placas cerâmicas para revestimentos: Especificação e métodos de ensaio**, NBR 13818, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2011). **Pavimento intertravado com peças de concreto: Execução**, NBR 15953, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). **Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio**, NBR 9781, 2013.

AGUIAR, M. C. (2012). **Utilização do resíduo de serragem de rocha ornamental com tecnologia de fio diamantado em cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

ALEXANDRE, J. (1997). **Caracterização das argilas do município de Campos dos Goytacazes para utilização em Cerâmica Vermelha**. 174p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

ALEXANDRE, J. (2000). **Análise de matéria-prima e composições de massa utilizada em cerâmicas vermelhas**. 174p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes/RJ, 2000.

ALMEIDA, S. L. M.; CHAVES, A. P. (2014). **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de santo Antonio de Pádua-RJ. Série Rochas e Minerais Industriais. CETEM/MCT**. Vol 6. Rio de Janeiro. 35p. 2002. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao>>. Acesso em: 21 julho 2014.

ANICER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS INSÚSTRIAS CERÂMICAS. (2015). Disponível em: <<http://www.anicer.com.br>>. Acesso em: 14 junho. 2015.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2014) **Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick**, C1272, 2014.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2014) **Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick**, C902, 2014.

BABISK, M. P.; VIDAL, F. W. H.; RIBEIRO, W. S. AGUIAR, M. C., GADIOLI, M. C. B.; VIEIRA, C. M. F. (2010). **Incorporação de resíduo de quartzitos em cerâmica vermelha**. Holos. 9p.

BARBA, A.; BELTRÁN, V.; FELIU, C.; GARCIA, J.; GINÉS, F.; SÁNCHEZ, E.; SANZ, S. (1997). **Materias primas para la fabricacion de soportes de baldosas cerámicas**. Instituto de Tecnologia Cerámica – ITC. Castellón/Espanha. 292p.

BASTOS, R. S.; ULIANA, J. G.; CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; VIEIRA, G. L.; Degen M. K. (2013). **Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção**. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto. 16p.

BOTELHO, M. H. C. (2006). *Concreto armado eu te amo – para arquitetos*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 224p.

BRASIL. (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF.

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. (2000). **A indústria cerâmica brasileira**. *Cerâmica Industrial*, v. 5, nº 3, p. 31–36.

CANDIDO, V. S. (2012). **Utilização de argilito e chamote de blocos de vedação na composição de massa de pavimento intertravado cerâmico**. 156p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goyatacazes-RJ.

CANDIDO, V. S.; PINHEIRO, R. M.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. (2013). **Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas cauliníticas, chamote e argilito**. *Cerâmica*, São Paulo, p. 310-316.

CARMIN, R. L. P.; SILVA, C. O.; POZZI, R.J.; JUNIOR, D.C.; FOLGUERAS, M. V.; MALKOWSKY, W. (2010). **Desenvolvimento de peças de concreto (paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado**. *Revista*

Pavimentação, Ano V, p. 56-67. Disponível em: <<http://www.tupy.com.mx/>>. Acesso em: 23 junho. 2014.

CONARQUITETURA. (2005). **Ejecucion de pavimentos com adoquines cerâmicos**. nº 13. Disponível em: <<http://conarquitectura.com/>>. Acesso em: 24 de julho de 2014

CONORSA. (2015). Disponível em <<https://www.conorsa.es>>. Acesso em: Janeiro 2015.

CRUZ, L. O. M. (2003). **Pavimento intertravado de concreto: Estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 281p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro.

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. (2003). **Clinker bricks for paving: Requirements and test methods**, DIM 18503, 2003

EL-MAGHRABY, H.F.; EL-OMLA, M.M.; BONDIOLI, F.; NAGA, S.M. (2011). Granite as flux in stoneware tile manufacturing. **Journal of the European Ceramic Society**, 31, p. 2057–2063.

FIORITI, C.F. (2007). **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo – USP. São Carlos-SP. 218p.

GARCIA CUESTA, Cerâmica. (2014). **Catálogo 2010-2011**. Disponível em: <<http://www.garciacuesta.es/files/fck/file/ADOQUINES.pdf>>. Acesso em: 19 julho 2014.

GARCIA, A.; SIPIN, J. A.; SANTOS, C. A. (2000). **Ensaio dos materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora S. A., 245p.

GONÇALVES, J. P. (2000). **Utilização do Resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre.

GOUVEIA, F. P. (2008). **Efeito da incorporação de chamote (Resíduo cerâmico queimado) em massa cerâmicas para a fabricação de blocos**

**cerâmicos para o Distrito Federal.** 104p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília.

HOJAMBERDIEV, M.; EMINOV, A.; XU, Y. (2001). Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles. **Ceramics International**, 37, p. 871–876.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2014). Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 junho. 2015.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. (2015). Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em 20 fevereiro.

JUNIOR, L. A. F. P. (2006). **Reformulação de massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes.** (Dissertação) Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, UENF, Campos dos Goytacazes.

KNAPTON, J.; ALGIN, H. M. (1998). **Research into the structural performance of interlocking block pavements.** Anais: 3º International Workshop on Concrete Block Paving. Cartagena de Indias, Colômbia.

MALPESA. (2015). Disponível em < <https://www.malpessa.es> >. Acesso em: Janeiro 2015.

MANHÃES, J. P. V. T.; MOREIRA, J. M. S.; HOLANDA, J. N. F. (2009). **Varição microestrutural de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental.** Cerâmica. V55. 371-378p.

MÁRMOL, I.; BALLESTER, P.; CERRO, S.; MONRÓS, G.; MORALES, J.; SÁNCHEZ, I. (2010). Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-bases mortars. **Cement & Concrete Composites**, v. 32, p. 617-622.

MARTINS, R.M. (2014). **Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto.** 48p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

MELLO, R. M. (2006). **Utilização do Resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – USP. São Paulo. 69p.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (2009) Relatório Técnico 33: Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em: 11 de março de 2015

MONTEIRO, S. N.; PEÇANHA, L. A.; VIEIRA, C. M. F. (2004). Reformulation of roofing tiles body with addition of granite waste from sawing operations. **Journal of the European Ceramic Society**, v.24, Pág. 2349-2356.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. (2002). Characterization of Clays from Campos dos Goytacazes, North Rio de Janeiro State (Brasil). **Tile e Brinck Int.**, V.18, no. 3.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. (2005). Effect of oily waste addition to clay ceramic. **Ceramics International**, v. 30. Pág. 353-358.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. (2005). **Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica Vermelha**. *Cerâmica*. P. 180-186.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. (2008). Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste. **Journal of materials processing technology**, v. 196, p. 88-93.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; JUNIOR, M.C. (2001). **As matérias-primas cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias e seus produtos**. *Cerâmica Industrial*, v6, nº 2, março/abril.

NEUMANN, M. G.; GESSNER, F.; CIONE, A. P. P, SARTORI, R. A.; CAVALHEIRO, C. C. S. (2000). **Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa**. *Química Nova*, p. 818-824. Disponível em <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 06 julho. 2014.

NORTON, F. H. (1973). **Introdução à tecnologia cerâmica**. Tradução: Jefferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blucher.

NTC - NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (2004). **Adoquin de arcilla para tránsito peatonal e vehicular liviano**, NTC 3829, 2004.

NTC - NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (2004). **Adoquin de arcilla para tráfico vehicular pesado**, NTC 5282, 2004.

PADILLA, F. E. N. (2002). **Utilización a nivel de laboratorio de los desechos de cerâmica sanitária generados en la fábrica EDESA para la fabricación de adoquines cerâmicos**. Monografía (Graduação). Escuela Politécnica Nacional. Quito/Equador. 140p.

PINHEIRO, R. M. (2012). **Desenvolvimento de pavimento argiloso extrudado: adoquim cerâmico**. 148p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes/RJ.

QUEIROZ, L. F. T.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. (2010). **Efeito da utilização de areia no processamento e nas propriedades de cerâmica vermelha**. Cerâmica, São Paulo, v. 56, p. 279-284.

QUINTEIRO, E.; SERAFIM, M. A.; MENEGAZZO, A. P. M.; DIAS, L. L.; PASCHOAL, J. O. A.; FRANCIELE, M.; PEREIRA, B. P. (2012). **Desarrollo de un nuevo concepto en la indústria brasileña: Adoquín Cerámico**. Centro Cerâmico do Brasil – CCB. Qualicer'12. Castellón/Espanha.

RAMOS, I. S.; ALEXANDRE, J.; ALVES, M.G.; VOGEL, V.; GANTOS, M. (2008). **A indústria cerâmica vermelha de Campos dos Goitacazes e a inclusão social das artesões da baixada campista através do projeto Caminhos de Barro**. Cerâmica, São Paulo, v. 54, p. 280-286.

RAMOS, I. S.; ALVES, G. A.; ALEXANDRE, J. (2011). **Diagnóstico do polo cerâmico de Campos dos Goytacazes-RJ**. Cerâmica Industrial, v. 11, n. 1. p. 28-31.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. (2003). **Aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas cerâmicas vermelhas**. Cerâmica Industrial, v. 8, n. 1. p. 37-42.

RIBEIRO, S. V. (2013). **Reutilização de resíduos de rocha ornamental na produção de tijolo solo-cimento**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacazes-RJ. 96p.

ROCHA, L. S. R.; NICOLITE, M.; VIANA, D.P.C.; NUNES, H. H. R. (2011). **Impactos ambientais ocasionados pelas serrarias de pedras paduana e madeira em Santo Antônio de Pádua-RJ**. Anais do 16º Simpósio de Geologia do Sudeste.

SÁEZ, R. G. (2005). **Criterios de diseño em pavimentaciones con adoqín cerâmico**. **Conarquitectura**. nº 15. 65-80p. Disponível em: <<http://conarquitectura.com/>>. Acesso em: 24 de julho de 2014

SANTOS, O. C. (2013). **Formulação de bloco intertravado cerâmico com adição de resíduos urbanos e industriais**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal-RN. 178p.

SANTOS, P. S. (1989). **Ciência e tecnologia de argilas**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher. 408.91p

SCARPINI, V. (2012). **Desenvolvimento de pavimento argiloso extrudado: adoquim cerâmico**. Dissertação (Mestrado). 156p. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes/RJ.

SEBRAE – SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. (2008). **Cerâmica Vermelha para construção: Telhas, Tijolos e Tubos – Relatório completo**. 93p.

SETEC – SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA. (2007). **Rochas Ornamentais – Ornamental Rocks**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br>>. Acesso em: 21 julho 2014

SILVA, C.O. (2014). **Execução e manutenção de pavimentos intertravados**. Disponível em <<http://www.rpu.org.br>>. Acesso em: 23 junho 2014.

SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W. (2005). **Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas**. Cerâmica, São Paulo, v. 51, p. 325-330.

SILVA, R. E. C.; MARGUERON, C. (2002). **Estudo Ambiental de uma pedreira de rocha ornamental no município de Santo Antônio de Pádua – Rio de Janeiro**. Anuário do Instituto de Geociências. UFRJ. Vol. 25. 151-171p.

SIVESTRE, C. P.; SILVA, A. L. C. (2012). **Problemas ambientais decorrentes da exploração de rochas ornamentais no município de Santo Antônio de Pádua – RJ**. Revista Geonorte, v. 3, n. 4, p. 281-289.

SOARES, T. M. (2005). **Avaliação da incorporação do resíduo de granito de Santo Antônio de Pádua-RJ em massa argilosa para telhas de Campos dos Goytacazes**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacazes-RJ.84f.

SOUZA, A. J.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. (2009). Recycling of gneiss rock waste in the manufacture of vitrified floor tiles. **Journal of Environmental Management**, 9, p. 685-689.

TEIXEIRA, R.A.; MELCHIADES, F.G.; BOSCHI A.O. (2002). **A variação das características das argilas e o processo cerâmico**. Cerâmica Industrial, Vol 7. Nº 3. Maio/Jun. p. 29-32.

TORRES, P.; FERNANDES, H.R.; OLHERO, S.; 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, p. 23–30.

VALE DA GÂNDARA. (2012). **Prémio de Arquitectura – Tijolo Face à vista Cerâmica Vale da Gândara 2010-2011**. Rograf. Disponível em: <<http://www.valegandara.com>>. Acesso em: 20 julho 2014.

VARGAS, T.; MOTOKI, A.; NEVES, J. L. P. (2001). **Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção**. Revista de Geociências. UFF, v. 2, n. 2, p. 119-132.

VIEIRA, C. M. F. (2001). **Caracterização das argilas de Campos dos Goytacazes visando à fabricação de revestimento cerâmico semiporoso**. (Tese) Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais, UENF, Campos dos Goytacazes.

VIEIRA, C. M. F.; HENRIQUES, D. N.; PEITER, C. C.; CARVALHO, E. A.; MONTEIRO, S. N. (2006). **Utilização de gnaiss fino em massa cerâmica para telhas**. Matéria, Rio de Janeiro, v. 11, nº3.

VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F. de; PINATTI, D. G. (2000). **Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes - RJ**. Cerâmica, São Paulo, v. 46, n. 297, Mar. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 14 junho. 2014.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. (2005). **Incorporation of solids wastes in red ceramics – na updated review**. Revista Matéria, v.4, nº 3. P. 881-905.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N.; BARRETO, C. G. W.; CARVALHO, E. A.; PEITER, C. C. (2008). **Substituição de areia de quartzo por finos de gnaiss em massa cerâmica para telhas: Teste industrial**. Cerâmica, São Paulo, v. 54, p. 480-486.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. (2011). **Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha**. Cerâmica, v. 57. Pág. 319-323.

VIEIRA, C. M. F.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. (2008). Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Construction and Building Materials**. v. 22. Pág. 781-787.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. (2004a). Incorporation of granite waste in red ceramics. **Materials Science and Engineering**. P. 115-121.

VIEIRA, C. M. F.; SOUZA, E. T. A.; MONTEIRO, S. N. (2004). **Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha**. Cerâmica, v. 50. Pág. 254-260.

VIEIRA, C. M. F.; TERRONES, L. A.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. (2007). **Características e efeito da fração granulométrica menor que 2  $\mu\text{m}$  no comportamento de queima de uma argila**. Cerâmica. V. 53. Pág. 249-254.

VIEIRA, C.M.F.; PEÇANHA, L.A.; MONTEIRO, S.N. (2003). **Efeito da incorporação de resíduo da serragem em massa de cerâmica vermelha**. Vértices, Rio de Janeiro. Ano 5, Nº 3, Set/Dez. p. 143-157.

## APÊNDICE

As Figuras Figura 71 e Figura 72 representam as micrografias óticas do PPC. É visível que o material é um agregado de brita e areia, envolto por cimento, bem adensado.

Sobre a definição e composição do concreto, Botelho (2006, p. 8) explica:

Concreto – pedra artificial, constituída da mistura de pedras de um ou dois tamanhos, areia, cimento e água. Tem boa resistência à compressão e fraca resistência à tração. Tem grande vantagem de ser moldável na forma que se queira, usando-se para isso as fôrmas.

Observando a micrografia, identifica-se provavelmente as pedras, ou britas, como são conhecidas no mercado (setas brancas), bem como partículas que indicam a presença de quartzo (setas pretas).

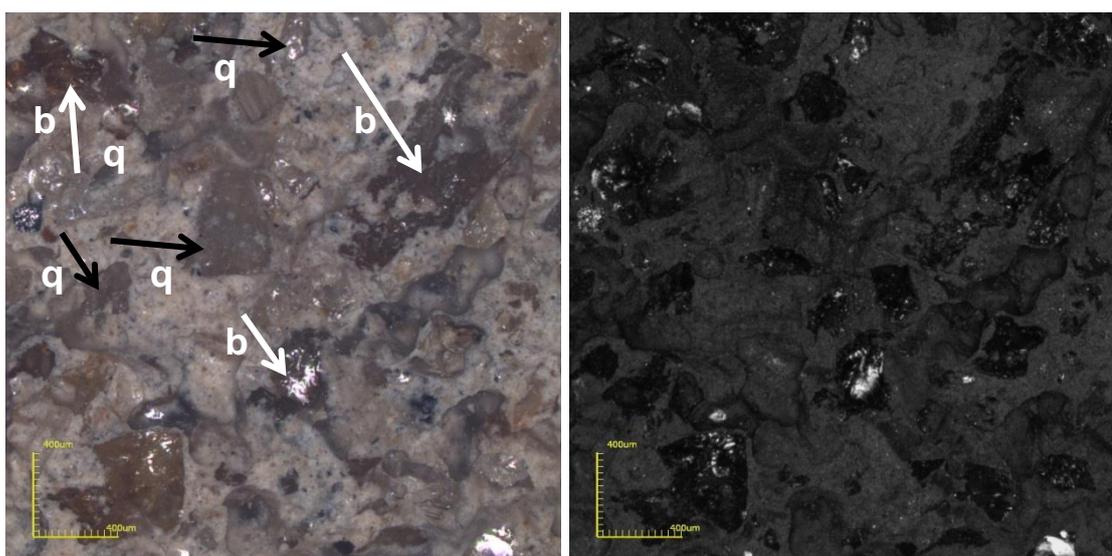


Figura 71. Microscopia ótica da PPC, aumento de 108x.

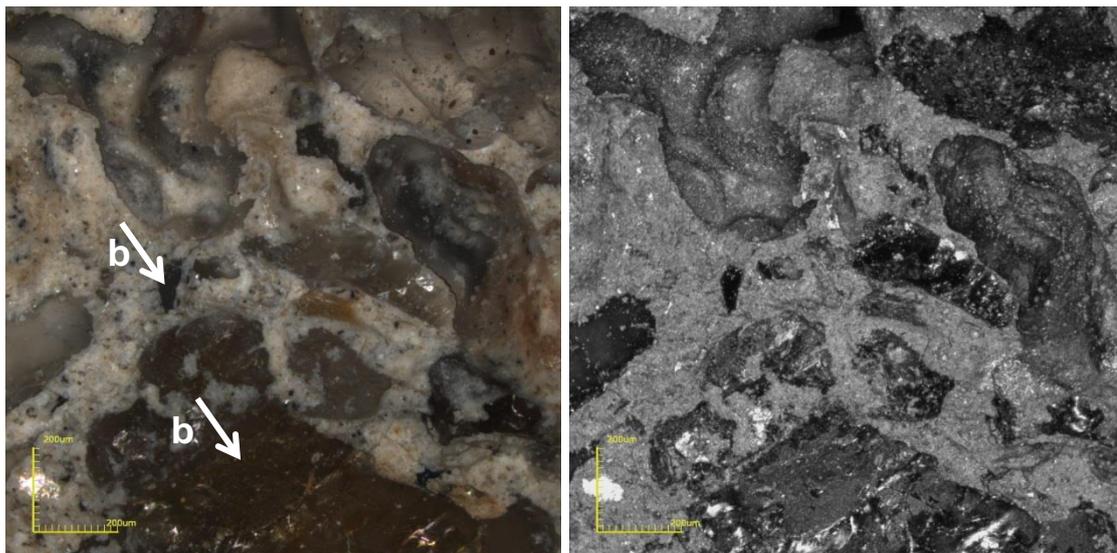


Figura 72. Microscopia ótica da PPC, aumento de 216x.