

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
ENGENHARIA DE PETRÓLEO

LARISSA FARIAS QUEIROZ

**Incorporação de Borra Oleosa na Produção de
Materiais de Construção - Adoquim Cerâmico**

MACEIÓ - ALAGOAS

2021

LARISSA FARIAS QUEIROZ

Incorporação de Borra Oleosa na Produção de Materiais de Construção - Adoquim Cerâmico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Petróleo do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Petróleo.

Orientação Prof^ª. Dr^ª. Aline da Silva Ramos Barboza

MACEIÓ - ALAGOAS

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

Q3i

Queiroz, Larissa Farias.

Incorporação de borra oleosa na produção de materiais de construção -
adoquim cerâmico / Larissa Farias Queiroz. – Maceió, 2021.

50 f. : il., graf. e tabs. color.

Orientadora: Aline da Silva Ramos Barboza.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Petróleo) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 45-50.

1. Cerâmica vermelha. 2. Borra oleosa. 3. Resíduos como material de
construção. I. Título.

CDU: 666.7



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 15h:00 horas do dia 04 de agosto de 2021, na sala virtual criada com a Plataforma Google Meet: <https://meet.google.com/arv-uhya-pki>, reuniu-se a banca examinadora para avaliação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do(a) aluno(a) LARISSA FARIAS QUEIROZ, sob o título “Incorporação de Borra Oleosa na Produção de Materiais de Construção - Adoquim Cerâmico”, composta pelos seguintes participantes:

Orientador: Prof(a) (A₁) Aline da Silva Ramos Barboza,

Co-orientador Prof(a) _____,

Prof(a) Avaliador(a) (A₂) Eng. João Marcos Ferreira dos Santos,

Prof(a) Avaliador(a) (A₃) Eng. Rodrigo Mero Sarmiento da Silva.

A apresentação oral do aluno foi realizada em 22 minutos, findos os quais foi iniciado o debate, perfazendo um tempo total de defesa de 01 hora (s) e 36 minutos.

Abaixo, assinatura do orientador, seguida dos membros da banca, de acordo com a ordem listada acima, todos seguidos da respectiva nota, a assinatura do aluno e a assinatura do Coordenador de TCC.

A nota final de cada avaliador, denominada NFA_n, será calculada da seguinte forma:

$$NFA_n = (0,6 \times \text{Monografia} + 0,2 \times \text{Apresentação oral do trabalho} + 0,2 \times \text{Arguição})$$

$$A_1: NFA_1 = (0,6 \times 8,5 + 0,2 \times 9,5 + 0,2 \times 9,0) = \underline{8,8}$$

$$A_2: NFA_2 = (0,6 \times 9,0 + 0,2 \times 9,5 + 0,2 \times 9,0) = \underline{9,1}$$

$$A_3: NFA_3 = (0,6 \times 8,0 + 0,2 \times 10,0 + 0,2 \times 8,0) = \underline{8,4}$$

Prof(a) (A₁) _____, nota final: 8,8

Prof(a) (A₂) JOAO MARCOS FERREIRA DOS SANTOS 09589226400 _____, nota final: 9,1

Prof(a) (A₃) _____, nota final: 8,4

*Para a nota final, deve-se ponderar a média desta etapa com 10% da nota que o aluno obteve no Plano de TCC.

O aluno obteve média final de Trabalho de Conclusão de Curso de: 8,77 (oito, setenta e sete)

Aluno: Larissa Farias Queiroz

Coordenador de TCC: Fenilda Silva Batista



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Sugestões de correções:

- () Questões relativas à Introdução do Trabalho de Conclusão de Curso;
- () Questões relativas aos Objetivos propostos no Trabalho de Conclusão de Curso;
- () Questões relativas à Metodologia executada no Trabalho de Conclusão de Curso;
- () Questões relativas aos Resultados apresentados no Trabalho de Conclusão de Curso;
- () Questões relativas às Conclusões do Trabalho de Conclusão de Curso;
- () Questões relativas às Referências Bibliográficas do Trabalho de Conclusão de Curso;
- (x) Questões relativas à Redação/Ortografia/Gramática no Trabalho de Conclusão de Curso.

Assinatura: A₁ _____

A₂ _____

A₃ _____

Dedico este trabalho aos meus pais, sem eles a minha caminhada até aqui não seria possível.

Agradecimentos

À Deus por sua infinita bondade e misericórdia.

Aos meus pais, Jesuleide e Renaldo, por todo amor, dedicação, confiança, e apoio incondicional. Só tenho a agradecer aos meus pais por acreditarem nos meus sonhos e por me acompanharem em qualquer caminho, o qual decido trilhar. Eles são a minha força e o meu alicerce.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Aline da Silva Ramos Barbosa, pela orientação enriquecedora e paciente, pelo incansável incentivo, pela confiança, e por ser um ponto de equilíbrio, apoio e aprendizagem.

Aos meus avós Lia, Lero, Marcelina (*in memoriam*) e João (*in memoriam*). Por todo o apoio incondicional e por me ensinarem que posso ser o que eu quiser.

À toda a minha família, tios, tias, primos e primas.

À família Fernandes que me acolheram, em especial a tia Cassinha, Ritinha e João.

Às minhas amigas irmãs Luceya e Pollyana, obrigada por todo cuidado e momentos de descontração.

Aos meus afilhados Alberti, Maria Luiza e Tailane. O amor e inocência de vocês me torna uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus amigos de início de Graduação Helis, Letícia e Martilianno. Sou grata pela amizade bonita e verdadeira que criamos.

Aos meus amigos Vanessa, Luana, Ravena, Raíssa, Agrielle, Mariana, Fabrício, Beatriz e Maria Clara por todo apoio, conversas e conselhos.

Ao Centro Acadêmico de Engenharia de Petróleo por me proporcionar um ambiente de construção de conhecimento, de desenvolvimento acadêmico, de união para melhorias do nosso curso. Aos amigos da gestão de 2018, e em especial ao Alcoforado. Aos amigos da gestão de 2019, em especial Maria Clara, Gideone, Victor, Erivelton, Marcos e Sayonara.

Aos amigos e colegas de curso pelos momentos de estudo e de descontrações.

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL) por me proporcionar uma educação de qualidade, mesmo com tantas adversidades. Neste ambiente vivi momentos que me fizeram um ser humano melhor, e levarei esses aprendizados para a vida.

Aos meus professores de Graduação, em especial aos professores João Paulo, Rafael, Maria Cristina, Roberto Barbosa, Kleber. Agradeço os conhecimentos ensinados e as conversas inspiradoras.

“Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar.”
(Voltaire)

Resumo

QUEIROZ, L.F. Incorporação de Borra Oleosa na Produção de Materiais de Construção - Adoquim Cerâmico. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Maceió.

O petróleo e seus derivados são bastante nocivos ao meio ambiente, e os resíduos oleosos são considerados de difícil destinação final acarretando prejuízos ambientais e econômicos, surge então a importância da reciclagem destes com o intuito de mitigar os impactos causados por eles. No final do ano de 2019, ocorreu um derramamento de óleo no mar que contaminou ecossistemas do litoral brasileiro, esse fato fomentou a ideia de proporcionar as borras oleosas encontradas nas praias do Estado de Alagoas, uma destinação adequada e eficiente através da incorporação deste resíduo na produção de materiais de construção. O presente trabalho tem como objetivo o estudo da possibilidade da incorporação da borra de petróleo na produção de artefatos da indústria cerâmica – adoquim cerâmico, bem como estabelecer padrões: de dosagem das matérias-primas para a massa cerâmica; de ensaios dos corpos de prova; e de caracterização do produto final. Este trabalho foi desenvolvido através de pesquisas bibliográficas, usando como fontes de dados científicos o Web of Science, o Scielo, Google Acadêmico, no período de dezembro de 2019 a junho de 2021. A análise das informações foi realizada por meio de leitura exploratória do material encontrado, em uma abordagem qualitativa e indutiva. Foi possível verificar que devido à natureza dos argilominerais presentes nas argilas, que é possível incorporar a borra oleosa à massa cerâmica e na produção de artefatos cerâmicos. A partir dos dados analisados e de especificações de normas técnicas brasileiras e internacionais, conseguiu-se estabelecer os padrões descritos no objetivo. A incorporação da borra oleosa na massa cerâmica foi considerada uma disposição final viável e efetiva do resíduo oleoso.

Palavras-chave: Cerâmicos vermelhos. Borra oleosa. Incorporação de resíduos. Adoquim.

Abstract

QUEIROZ, L.F. Incorporation of Oily Sludge in the Production of Construction Materials - Clay Pavers. 2021. Course Completion (Undergraduate - Petroleum Engineering) - Federal University of Alagoas - UFAL, Maceió.

Petroleum and its derivatives are quite harmful to the environment, and oily residues are considered difficult to be disposed of, causing environmental and economic damage, so the importance of recycling these in order to mitigate the impacts caused by them arises. At the end of 2019, there was an oil spill into the sea that contaminated the ecosystems of the Brazilian coast, this fact fostered the idea of providing the oily sludge found on the beaches of the State of Alagoas, an adequate and efficient destination through the incorporation of this residue in the production of building materials. The present work aims to study the possibility of incorporating petroleum sludge in the production of artifacts in the ceramic industry - clay pavers, as well as establishing standards: dosage of raw materials for the ceramic mass; test specimens; and characterization of the final product. This work was developed through bibliographical research, using as scientific data sources the Web of Science, Scielo, Academic Google, from December 2019 to June 2021. The analysis of the information was carried out through exploratory reading of the material found, in a qualitative and inductive approach. It was possible to verify that due to the nature of the clay minerals present in clays, it is possible to incorporate the oily sludge into the ceramic mass and in the production of ceramic artifacts. From the analyzed data and specifications of Brazilian and international technical standards, it was possible to establish the standards described in the objective. The incorporation of the oily sludge into the ceramic mass was considered a viable and effective final disposal of the oily residue.

Keywords: Red ceramics. Oily sludge. Incorporation of waste. Clay pavers.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema da perfuração de poço de petróleo.	17
Figura 2 – Fluxograma da classificação dos resíduos sólidos.	19
Figura 3 – Indústria cerâmica	20
Figura 4 – Estocagem de argila armazenada em indústria cerâmica	22
Figura 5 – Fluxograma do processo produtivo, entrada e saída de insumos	23
Figura 6 – Argila armazenada em galpão para uso na produção de cerâmicos	24
Figura 7 – Borra oleosa encontrada nas praias do litoral do Estado de Alagoas devido a um derramamento de petróleo no mar em 2019.	27
Figura 8 – Ilustração de pavimento cerâmico	29
Figura 9 – Seções que constituem a estrutura típica dos pavers cerâmicos	30
Figura 10 – Ilustração da finalização do assentamento de pavimentação cerâmica	31
Figura 11 – Movimentos de deslocamentos das peças de intertravamento	37
Figura 12 – Mapa geral da zona costeira do Estado de Alagoas.	38

Lista de tabelas

Tabela 1 – Referências normativas utilizadas para a conformidade da norma dos resíduos sólidos.	18
Tabela 2 – Dados de mercado do setor de cerâmica vermelha no Brasil.	21
Tabela 3 – Atualizações das Normas usadas para a fabricação do Adoquim.	32
Tabela 4 – Características técnicas para a produção do adoquim cerâmico extrudado e prensado estabelecidos pela UNE-EN (2013)	32
Tabela 5 – Requisitos físicos exigidos de tráfego leve	33
Tabela 6 – Requisitos exigidos pela norma DIN 18503 (2003).	34
Tabela 7 – Padrões estabelecidos pela NBR 9781 ABNT (2013)	35
Tabela 8 – Sugestão da composição da massa cerâmica	41

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria de Cerâmicos
ASTM	American Society for Testing and Materials
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno
CAEP	Centro Acadêmico de Petróleo
CTEC	Centro de Tecnologia
DIN	Deutsches Institut für Normung
E\S	Estabilização e Solidificação
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HPA	Hydrocarboneto Policíclicos Aromáticos
IMC\UCS	Instituto de Materiais Cerâmicos
NBR	Norma Técnica Brasileira
NOS	Nitrogênio, Oxigênio e Enxofre
NTC	Norma Técnica Colombiana
PIB	Produto Interno Bruto
PPC	Peças Pré-moldadas de Concreto
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UNE-EN	Asociación Espanola de Normalización

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Aspectos Gerais	12
1.2	Objetivo	13
1.3	Justificativa	13
1.4	Metodologia	14
1.5	Apresentação do Trabalho	15
1.6	Delimitação do Trabalho	15
2	O Material Petróleo e Seu Processo De Perfuração	16
2.1	Extração	16
2.2	Resíduos Sólidos	17
3	Resíduos Sólidos de Petróleo Como Material Para Construção Civil	20
3.1	Indústria de Cerâmicos	20
3.1.1	Propriedade das Argilas	23
3.1.2	Borra Oleosa	26
3.1.3	Adoquim Cerâmico	28
3.2	Indústria de Pré-moldados de Concreto	36
3.2.1	Blocos de Concreto Para Pavimentação	36
4	Procedimentos Para Aproveitamento de Resíduos Sólidos Provenientes de Deramamento de Petróleo: Estudo de Caso.	38
4.1	Caracterização da Área de Coleta de Resíduos	38
4.2	Beneficiamento das Matérias-primas	39
4.2.1	Argilas	39
4.2.2	Borra Oleosa	39
4.3	Preparação da Massa de Moldagem de Peças Cerâmicas	40
4.3.1	Dosagem da Massa	40
4.3.1.1	Parâmetros de Mistura	41
4.4	Controle de Qualidade dos Produtos	41
4.4.1	Preparação dos Corpos de Prova	41
4.4.2	Determinação de Propriedades Físico-mecânicas	42
4.4.3	Massa Específica Aparente	42
4.4.4	Retração Diametral de Queima	42
4.4.5	Absorção de Água	43
4.4.6	Resistência a Compressão Uniaxial	43
5	Considerações Finais	44
	Referências	46

1 Introdução

1.1 Aspectos Gerais

O ramo das atividades industriais vem crescendo rapidamente no mundo todo. Esse crescimento faz com que a poluição ambiental se alastre, causando verdadeiros impactos na qualidade de vida das pessoas e principalmente no ambiente (LUCAS; BENATTI, 2008). Os resíduos gerados pelas atividades industriais crescem em importância no cenário ambiental, uma vez que são produzidos por vários tipos de indústria, tais como a metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia, etc. Tais resíduos são bastante variados, podendo ser representados por cinza, lodo, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plástico, papel, madeira, fibras, borracha, metais, escórias, vidro, cerâmica e outros (NAUMOFF; PERES, 2000).

Souza e Holanda (2003) afirmam que, diariamente, a indústria petrolífera produz enormes quantidades de resíduos com níveis de periculosidade em suas quatro áreas principais (extração de óleo cru, transporte para refinarias e centros de distribuição de produtos, refino de produtos acabados e venda dos produtos aos consumidores), que são basicamente constituídos de hidrocarbonetos na forma de óleo, água e sólidos em diferentes proporções de acordo com cada área. O resíduo mais abundante é o oleoso, o qual apresenta capacidade abrasiva de aglomerar areia ou pó de pedra, podendo formar uma massa de resíduo final entre 10-20 vezes maior que o resíduo inicial (SANTOS; SOUZA; HOLANDA, 2002).

Durante anos o material oleoso era descartado em diques sobre o solo, valas, trincheiras ou em tambores para posterior aterro. A acumulação deste resíduo pode vir a contaminar os corpos hídricos adjacentes, provocando o assoreamento dos rios, mortandade de peixes, contaminação pela presença de metais pesados, substâncias tóxicas, degradação do solo devido à alta salinidade presente na água produzida e comprometer áreas de preservação ambiental (GUIMARÃES, 2008).

Ainda segundo Guimarães (2008), com o avanço tecnológico, soluções relacionadas ao tratamento, reutilização e recuperação, tanto do óleo presente no material quanto de solos contaminados por borra de petróleo, têm apontado resultados satisfatórios possibilitando o acoplamento a outros materiais, como na construção civil em processos de sinterização de massas argilosas concomitantemente sendo uma forma de reciclagem de resíduos do setor petrolífero, bem como em sistemas de impermeabilização em aterros industriais.

Uma solução tecnicamente eficiente e econômica é a incorporação de resíduos sólidos em produtos inertes e de custo relativamente baixo que são fabricados em grandes quantidades. Cerâmica vermelha, como tijolos e telhas feitos de matéria-prima argilosa é atualmente uma das melhores alternativas para a incorporação de resíduos sólidos (NAGA; EL-MAGHRABY,

2003). Devido à natureza dos minerais de argila, esta incorporação também permite quantidades relativamente pequenas de resíduos tóxicos, como metais pesados, de forma a se tornarem dispersos com segurança no corpo cerâmico (CAMARGO; PORTELA; YOSHIMURA, 2005; YOSHIMURA; CAMARGO; PORTELA, 2005) .

Dentro da construção civil, a reutilização dos resíduos sólidos pode ajudar a reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e/ou disposição final desses resíduos, e também na redução dos impactos ambientais decorrentes da extração de matéria-prima diretamente do ambiente. Assim, a indústria da construção civil pode ter um papel relevante como receptora de resíduos sólidos no tocante à sua disposição final. A incorporação desses resíduos em matrizes cerâmicas e cimentícias com o objetivo de produção de artefatos para a construção civil, se feita de maneira criteriosa, permite dar um destino ambientalmente correto para resíduos que, de outra forma, seriam fontes de poluição (LUCAS; BENATTI, 2008).

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é proporcionar uma solução viável para disposição final dos resíduos oleosos coletados no litoral do Estado de Alagoas, devido a um derramamento de óleo no mar no final de 2019. Para tanto, iremos estudar a possibilidade de incorporação destes resíduos na produção de artefatos da indústria de cerâmica vermelha, como forma redução de passivo ambiental da mesma.

Visando o desenvolvimento de uma solução duradoura e final desse resíduo, pretende-se estabelecer:

- Padrão de dosagens das matérias-primas na obtenção da massa cerâmica;
- Padrão de ensaios;
- Padrão da caracterização do produto final.

1.3 Justificativa

As organizações industriais geram um grande volume de resíduos devido à ineficiência dos seus processos, o que afeta o meio ambiente e a saúde humana. Porém, nos últimos anos a reciclagem desses resíduos pelas próprias indústrias vem crescendo, devido à disponibilidade dos recursos naturais serem finitos e ao reduzirem os impactos ambientais as empresas também melhoram as suas imagens.

As indústrias de cerâmicos vermelhos geram uma quantidade significativa de desperdício e resíduos em seus processos, destacando as fases de extrusão, corte, secagem e queima. Em

contra partida, os cerâmicos são uma boa opção para a reciclagem de resíduos, devido às especificidades dos seus processos e as características físico-químicas das suas matérias-primas.

No final do ano de 2019, o Brasil foi surpreendido por um derramamento de óleo que assolou o seu litoral, a área contaminada se estendeu da região nordeste a região sudeste do país, afetando áreas de conservação ambiental, provocando a contaminação do ambiente e provocando um número significativo de mortes de animais e plantas locais.

Tendo em vista o que foi dito, a reciclagem do resíduo oleoso coletado nas praias e sua utilização na fabricação de cerâmicos vermelhos é uma solução sustentável, que visa à diminuição dos impactos ambientais no litoral do Estado de Alagoas. O óleo é adicionado à massa cerâmica na busca por uma boa homogeneização e plasticidade da mesma, contribuindo assim para o processo de conformação das peças, e consequentemente, beneficiar a uniformidade das propriedades físico-mecânicas dos materiais.

1.4 Metodologia

Com o intuito de atender os objetivos propostos para o presente trabalho realizou-se uma pesquisa bibliográfica. Nesta perspectiva abrangeu-se um levantamento e análise de literatura a respeito dos processos de produção de cerâmicos vermelhos e a compatibilidade de incorporação de resíduos oleosos na massa cerâmica.

Segundo Severino (2017), a pesquisa bibliográfica é caracterizada pelos registros disponíveis, que são os resultados das pesquisas realizadas, incluindo livros, artigos, teses e documentos impressos. Consequentemente, o texto passa a ser fonte de tópicos a serem estudados e aperfeiçoados. Durante o levantamento bibliográfico, foram selecionados livros, artigos científicos, revistas científicas, banco de teses e dissertações de universidades, disponibilizados na internet.

Para a pesquisa foi usados como fontes de dados científicos o Web of Science, o Scielo, Google Acadêmico. Os trabalhos utilizados na fundamentação deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), foram selecionados a partir do uso das palavras-chaves: indústria cerâmica, cerâmicos vermelhos, resíduo oleoso, incorporação de resíduo à massa cerâmica, adoquim cerâmico, propriedades físico-mecânicas de cerâmicos vermelhos, no período de dezembro de 2019 a junho de 2021.

O tema que norteou a pesquisa pelos artigos nessa revisão foi: É possível incorporar borra oleosa a massa cerâmica de forma a obter adoquins cerâmicos com propriedades físico-mecânicas dentro dos padrões estabelecidas pelas Normas Regulamentadoras Brasileiras (NBR)?

A análise das informações foi realizada por meio de leitura exploratória do material encontrado, em uma abordagem qualitativa e indutiva.

1.5 Apresentação do Trabalho

Este trabalho inicia-se com a apresentação do tema de estudo, seu objetivo, sua justificativa e a metodologia do trabalho. No segundo capítulo será realizada uma revisão bibliográfica sobre o material petróleo e seu processo de perfuração, extração e resíduos sólidos. Na sequência, o capítulo 3 contém uma revisão bibliográfica sobre resíduos sólidos de petróleo como material para a construção civil, a indústria de cerâmicos e a indústria de pré-moldados de concreto. O procedimento para o aproveitamento de resíduos sólidos provenientes de derramamento de petróleo: estudo de caso, está exposto no capítulo 4. Por fim, no capítulo 5 serão apresentadas as conclusões do trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros.

1.6 Delimitação do Trabalho

O presente trabalho foi delimitado em colher informações sobre a viabilidade da reciclagem de resíduos oleosos, incorporando borra oleosa na produção de artefatos da indústria de cerâmica vermelha empregados na construção civil, especificamente adoquins cerâmicos.

Analisar a partir dos dados coletados a possibilidade de estabelecer: padrão de dosagens das matérias-primas na obtenção da massa cerâmica; padrão de ensaios; e padrão da caracterização do produto final. De forma que, os produtos cerâmicos resultantes desse processo de produção tenham alta qualidade e estejam dentro das normas técnicas vigentes.

2 O Material Petróleo e Seu Processo De Perfuração

2.1 Extração

O petróleo é um óleo natural, normalmente de coloração escura, constituído quase que exclusivamente de hidrocarbonetos. Em seu estado natural só pode ser aproveitado com o fim de fornecimento de energia via combustão, porém, a partir de seu refino, é possível produzir uma diversidade de produtos tais como combustíveis, nafta, lubrificantes e produtos petroquímicos, conhecidos como derivados do petróleo.

A composição química dos elementos do petróleo é composta basicamente de carbono, hidrogênio e, em menor proporção, enxofre, nitrogênio, oxigênio e alguns metais. Porém, suas propriedades físicas podem variar bastante de acordo com proporção presente desses compostos (BIONDI et al., 2016). Dessa forma, o petróleo pode ser classificado em diferentes tipos, sendo avaliado pela facilidade de movimentação e processamento e o potencial produtivo, características que vão quantificar seu valor.

O petróleo encontra-se na natureza ocupando os vazios de uma rocha porosa chamada rocha reservatório. O poço de petróleo é o elo entre esta rocha e a superfície. Porém, antes de se perfurar um poço de petróleo, várias ações devem ser executadas. Inicialmente, um estudo sísmico é efetuado, visando pesquisar entre as formações do subsolo aquelas com potencial para armazenar petróleo. Além disso, esta rocha deve estar envolta em uma formação impermeável (por exemplo, folhelho), que garanta o confinamento do petróleo na rocha reservatório. Feita esta análise e definidos os prováveis pontos a serem explorados, deve ser feita uma análise de campo, nos locais definidos, a fim de se verificar a viabilidade da perfuração (SOUZA; LIMA, 2002).

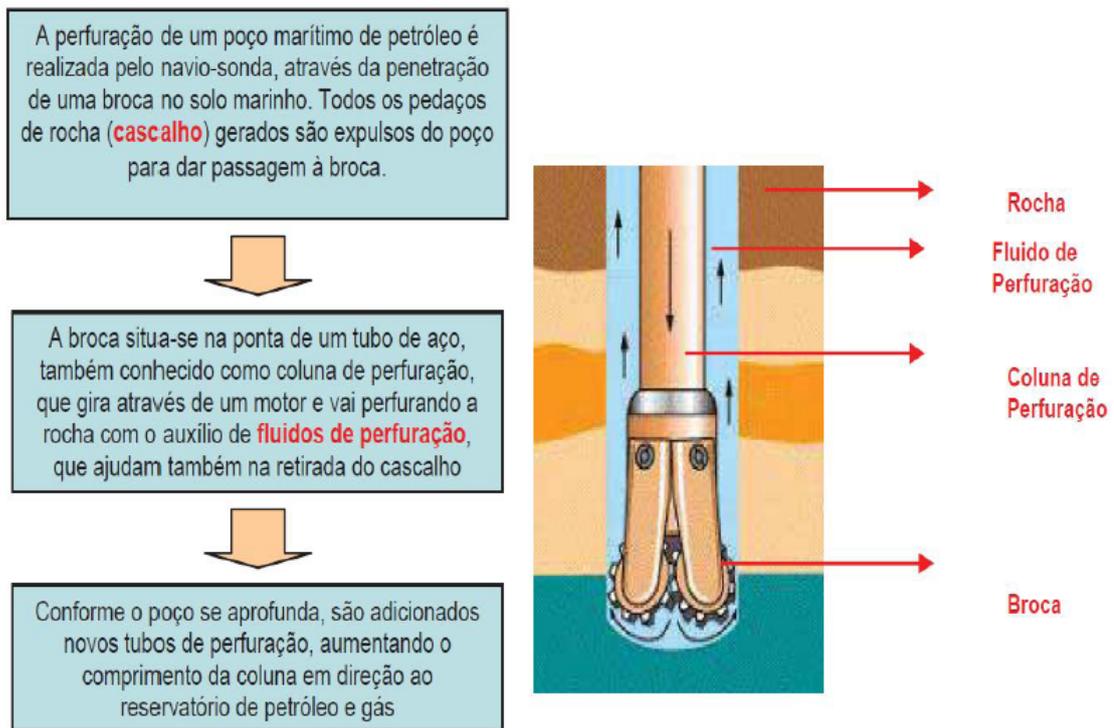
Nas operações de perfuração, conduzidas como parte do processo de extração de óleo e gás, destaca-se a fase exploratória, que envolve a perfuração de poços para se determinar a presença de hidrocarbonetos. As atividades de exploração são normalmente de curta duração, envolvendo um número relativamente pequeno de poços (SANTOS; FACHEL; PULGATI, 2004).

Segundo Souza e Lima (2002), durante o processo de extração do petróleo existem dois métodos de perfuração: a percussão e rotativo. No método a percussão, é deferida uma série de golpes por uma broca pontiaguda de aço com movimentos alternados gerando o esmagamento da rocha. Este processo, por suas características, é limitado, alcançando profundidades máximas entre 200 e 250 metros. O método rotativo por sua vez adota uma tecnologia diferente. Neste, a broca é girada e comprimida sobre as formações, que se fragmentam. Esses fragmentos são carregados por um fluido que é inserido pelo interior de tubos de aço até o fundo do poço,

retornando à superfície pelo espaço anular entre o poço e as paredes externas da tubulação.

A Figura 1 elucida o esquema simplificado de uma sonda de perfuração de petróleo - o método usado na exemplificação é o rotativo - no qual a broca de perfuração por meio da haste rotativa acoplada a mesa rotativa na torre de sondagem, perfura a rocha com o auxílio de lamas especiais que são bombeadas pela bomba de lama e são carregadas até a superfície para a segregação do cascalho e a recuperação de amostras e lamas (BANDEIRA, 2019).

Figura 1 – Esquema da perfuração de poço de petróleo.



Fonte: RIMA (2010)

Da década de trinta, até os dias atuais, a indústria do petróleo vem crescendo progressivamente. Foram descobertos novos campos petrolíferos, aperfeiçoadas as explorações submarinas, construídos superpetroleiros transoceânicos, inaugurados terminais de carga e descarga de petróleo e derivados de refinarias e oleodutos interestaduais e internacionais. Conseqüentemente, foi sendo liberado cada vez mais petróleo, seus derivados e resíduos oleosos ao meio ambiente, provenientes dos motores e das lavagens de tanques de navios cargueiros, petroleiros e pesqueiros, da descarga de água de lastro, e os vazamentos provenientes das operações de carga e descargas de portos (VIEIRA et al., 2004), além de outros advindos das atividades onshore (produção em terra) e offshore (produção no mar).

2.2 Resíduos Sólidos

Os resíduos oleosos foram caracterizados e classificados segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004a), essa norma trata da classificação dos resíduos sólidos. Ainda segundo esta

norma, os resíduos sólidos são,

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004a, pg-1)

Assim, a norma NBR 10004 (ABNT, 2004a), tem como finalidade a padronização, a nível nacional, da classificação de resíduos. Na Tabela 1, temos a apresentação dos nomes e objetivos de referências normativas utilizadas para a conformidade da norma dos resíduos sólidos.

Tabela 1 – Referências normativas utilizadas para a conformidade da norma dos resíduos sólidos.

Norma	Nome e Objetivo
NBR 10004/2004	Classificação de Resíduos
NBR 10005/2004	Lixiviação de Resíduos
NBR 10006/2004	Solubilização de Resíduos
NBR 10007/2004	Amostragem de Resíduos
NBR 14598/2000	Produtos de petróleo - Ponto de fulgor

Fonte: Autor, 2021.

Conforme a norma descrita, os resíduos podem ser classificados em três classes:

- **Resíduos Classe I - Perigosos**

Conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004a), resíduos considerados perigosos são aqueles que podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças; riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

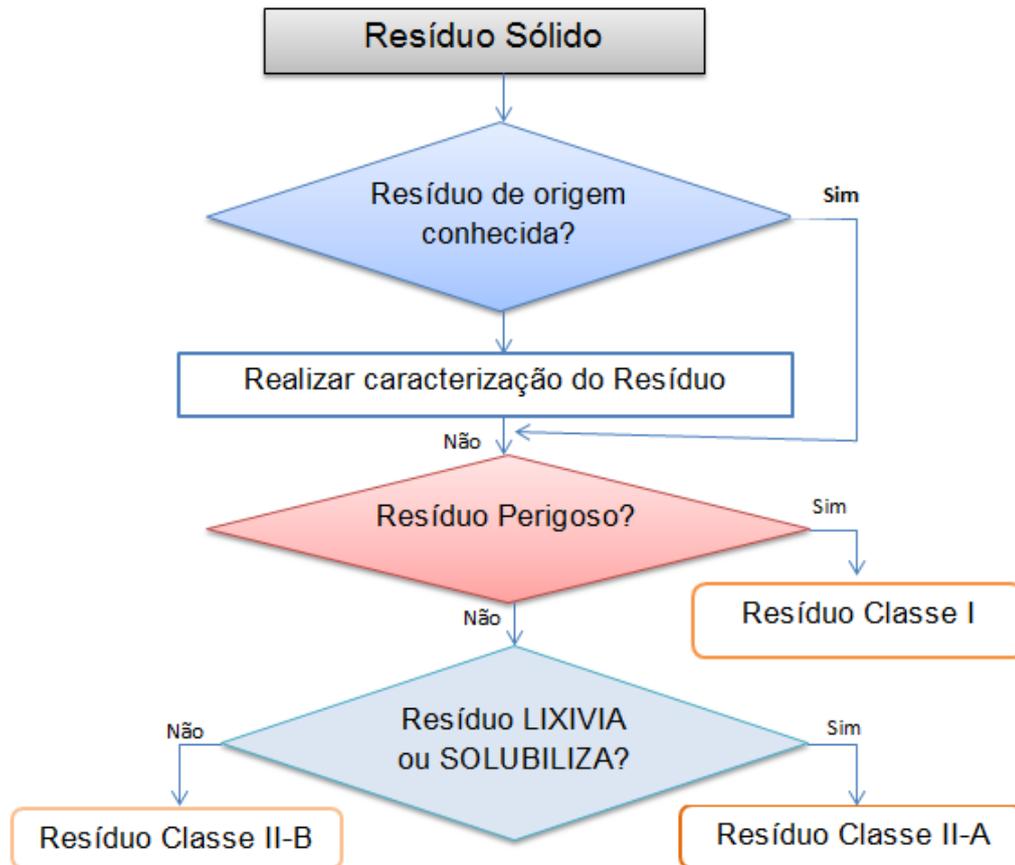
Esses resíduos podem apresentar qualquer uma das seguintes características: corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade e toxicidade.

- **Resíduos Classe II A - Não Inertes**

De acordo com a NBR 10006 (ABNT, 2004b), são resíduos que ao serem submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, em temperatura ambiente, apresentarem um ou mais de seus constituintes solubilizados ou lixiviados. Eles podem conter algumas propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

- **Resíduos Classe II B - Inertes**

Figura 2 – Fluxograma da classificação dos resíduos sólidos.



Fonte: Adaptado, NBR 10004 (ABNT, 2004a).

São resíduos que ao serem submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10006 (ABNT, 2004b), nenhum de seus constituintes devem estar solubilizados a concentrações superiores aos padrões definidos na NBR 10004 (ABNT, 2004a).

Os resíduos inertes são os resíduos ou substâncias que não solubilizam nem lixiviam. A amostragem dos resíduos é realizada através da NBR 10007 (ABNT, 2004c).

Os resíduos oleosos advindos das atividades da indústria de petróleo são classificados de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004a), como sendo Resíduos Classe I - Perigosos. Isso deve-se ao seu potencial poluidor e suas características químicas como inflamabilidade, por exemplo.

3 Resíduos Sólidos de Petróleo Como Material Para Construção Civil

3.1 Indústria de Cerâmicos

Historicamente o setor cerâmico ficou conhecido por significar a atividade de produção de artefatos a partir de argilas, que se torna muito plástica e fácil de moldar quando umedecida. Depois de submetida a uma secagem lenta para retirar a maior parte da água, à sombra, a peça moldada é submetida a altas temperaturas que lhe atribuem rigidez e resistência mediante a fusão de certos componentes da massa, fixando os esmaltes das superfícies (SEBRAE, 2012).

A atividade cerâmica tem um papel importante para economia do país, com participação no Produto Interno Bruto (PIB) estimado em 1%, correspondendo a cerca de 6 bilhões de dólares (ABCERAM, 2010). A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente (ABCERAM, 2010). Isso permitiu que muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem os níveis de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada (ABCERAM, 2010).

Figura 3 – Indústria cerâmica



Fonte: Autor, 2021

O setor industrial da cerâmica apresenta grande variedade de produtos e processos produtivos, em que se verifica a convivência de diferentes tipos de estabelecimentos com diferentes características quanto a qualidade dos produtos, níveis de produção, índices de produtividade e grau de mecanização (CATAFESTA, 2017). A Figura 3, apresenta uma indústria cerâmica o qual o seu principal produto, o bloco de vedação cerâmico, está sendo armazenado após o processo de queima.

Cerâmica vermelha é um termo com significado amplo, alcançando alguns materiais aplicados na Construção Civil, como argila expandida, tijolos, blocos, canaleta, elementos vazados, lajes, telhas e tubos cerâmicos, e compreendendo até alguns de uso doméstico e afins. Nos casos apresentados os produtos, predominantemente, têm coloração avermelhada (ABCERAM, 2021a).

Ainda segundo a ABCERAM (2021a), as regiões que mais se desenvolveram foram a Sudeste e a Sul, devido a maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura, melhor distribuição de renda, e ainda associadas às facilidades de matérias primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas. Justamente por isso, são nelas onde se tem uma grande concentração de indústrias de todos os segmentos cerâmicos. Vale salientar que outras regiões do país têm apresentado certo grau de desenvolvimento, principalmente no Nordeste, onde tem aumentado à demanda de materiais cerâmicos, principalmente nos segmentos ligados a indústria da construção civil, o que tem levado a implantação de novas fábricas cerâmicas nessa região.

Segundo dados fornecidos pela Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2021), a indústria de cerâmica vermelha é um setor de relevância nacional, o setor cerâmico industrial brasileiro possui quase 7.000 fábricas de cerâmica e olarias, com potencial gerador de 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos, isso implica em um faturamento anual de R\$ 18 bilhões, no qual a indústria cerâmica vermelha representa aproximadamente 4,8% da Indústria da Construção Civil, representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de mercado do setor de cerâmica vermelha no Brasil.

Parâmetros	Quantidade
Número de Unidades Produtoras	6.903
Faturamento (R\$ bilhões)	18
Número de Peças/mês - Tijolos/Blocos	4.000.000.000
Número de Peças/mês - Telhas	1.300.000.000
Consumo de matéria-prima - Argila - (t/mês)	10.300.000
Empregos Diretos	293.000

Fonte: (ANICER, 2021).

O setor cerâmico demanda de grandes quantidades de matérias-primas mineral (argila) e vegetal (combustível fóssil), para as operações de produção de artefatos cerâmicos. Devido a necessidade de abundância dessa matérias-primas, as unidades fabris se localizam, geralmente, próximas aos locais de lavra da argila que são em ambiente rural em sua maioria. Com isso, a

indústria de cerâmica vermelha recebe o título de indústria “interiorizada”, o que não deixa de ser algo positivo, pois movimenta a economia local absorvendo uma significativa parte da ocupação de mão-de-obra, já que esta é uma atividade que não precisa necessariamente de especialização (BEZERRA, 2005).

Figura 4 – Estocagem de argila armazenada em indústria cerâmica

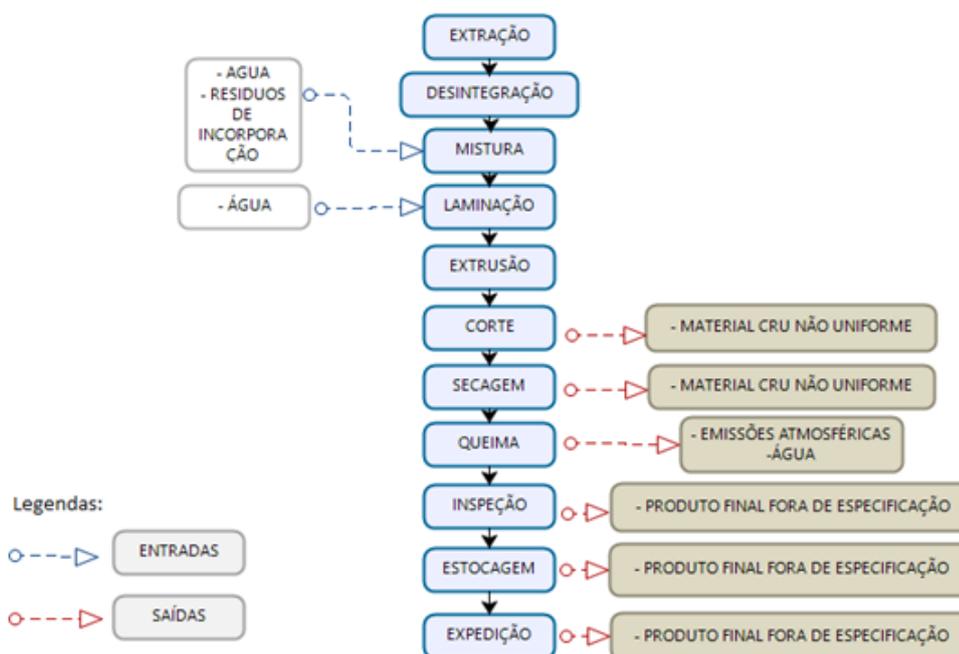


Fonte: Autor, 2021.

O processo produtivo da cerâmica vermelha se inicia com a extração da argila (matéria-prima), seguida pela estocagem - como na Figura 4, alimentação, desintegração, homogeneização ou mistura da argila, laminação, extrusão, corte (para blocos de vedação e lajotas), prensagem (para telhas), secagem, queima e estocagem de produtos para expedição ou venda (SILVA et al., 2014). Tal processo utiliza como principais insumos, além da argila (sua principal matéria-prima), água, lenha, energia térmica e energia elétrica (OLIVEIRA, 2011). A Figura 5, mostra o fluxograma do processo produtivo da indústria de cerâmicas vermelhas.

As indústrias de cerâmica vermelha podem ter um papel relevante como receptoras de resíduos sólidos visando sua disposição final. Esta incorporação, feita de maneira criteriosa, permite dar um destino ambientalmente correto para resíduos que, de outra forma, seriam fontes de poluição (VIEIRA; MONTEIRO, 2006).

Figura 5 – Fluxograma do processo produtivo, entrada e saída de insumos



Fonte: Adaptado de ABCERAM (2021b)

3.1.1 Propriedade das Argilas

O conhecimento de suas matérias-primas contribui diretamente para a melhora das propriedades do produto final e possibilita ao fabricante flexibilidade, redução de custos de produção e aumento no valor agregado de seu produto. Assim, o conhecimento das características das argilas não tem valor apenas acadêmico, mas também grande interesse comercial (SOUZA et al., 2005). Essa preocupação com a adequada caracterização de argilas para aplicação em cerâmica vermelha e seu reflexo na produtividade e qualidade dos produtos finais se manifesta em todo o mundo (DONDI, 2003; SEI et al., 2004), a cada dia de forma mais intensa.

De acordo com Junior et al. (2008), as argilas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha ou, como também conhecidas na literatura técnica, argilas comuns (*common clays*) abrangem uma grande variedade de substâncias minerais de natureza argilosa. Na indústria de cerâmica vermelha ou estrutural, as argilas são empregadas como matéria-prima na fabricação de blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços, tubos e ladrilhos. Essas argilas possuem geralmente granulometria muito fina, característica que lhes conferem, com a matéria orgânica incorporada, diferente grau de plasticidade, quando adicionada de determinadas porcentagens de água; além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima, aspectos importantes para fabricação de uma grande variedade de produtos cerâmicos. A Figura 6 apresenta argila em descanso para posterior uso na produção de cerâmicos.

Já Santos (1989), diz que a argila pode ser definida como rocha finamente dividida, constituída principalmente por argilominerais, podendo conter minerais que não são considerados argilominerais (calcita, dolomita, gipsita, quartzo, alumina, pirita e outros), bem como

Figura 6 – Argila armazenada em galpão para uso na produção de cerâmicos



Fonte: Autor, 2021

matéria orgânica e outras impurezas. Assim uma argila caracteriza-se por: a) ser constituídos essencialmente por argilominerais, geralmente cristalinos; b) possuir elevado teor de partículas de diâmetro equivalente a $2 \mu\text{m}$; c) quando pulverizada ou umedecida, torna-se plástica; d) após secagem é relativamente dura e rígida e após queima em uma temperatura elevada (superior a 1000°C), adquire dureza comparável a dos metais; e) possuir capacidade de troca de catiônica .

A preferência para a utilização das argilas é devido à argila apresentar boa plasticidade, elevada resistência mecânica após a queima adequada para uma série de aplicações, técnicas de processamento simples e disponibilidade em grandes quantidades (VIEIRA; HOLANDA; PINATTI, 2000).

A variabilidade natural das características das argilas e o emprego de técnicas de processamento relativamente simples para fabricação de cerâmica vermelha, como blocos de vedação e telhas, facilitam a incorporação de resíduos, melhorando a qualidade do produto final, além de contribuir para a redução do gasto energético (DONDI; MARSIGLI; FABBRI, 1997; VIEIRA; MONTEIRO, 2009).

Para a utilização das argilas em processos industriais é importante e indispensável uma identificação completa do tipo de argila e de suas propriedades, para estabelecer quais as formulações e condições de processamento são mais adequadas para se obter produtos com as

propriedades finais desejadas (MORAIS; SPOSTO, 2006). As propriedades do produto final estão estreitamente relacionadas às características iniciais das matérias-primas, como granulometria, plasticidade e composição mineralógica (MORAIS; SPOSTO, 2006; DUTRA et al., 2006), dentre outras.

Os elementos básicos da argila para cerâmica vermelha são os argilominerais caulinita, illita e/ou montmorilonita. A caulinita é o principal argilomineral componente das argilas, sendo responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos, quando pura, é pouco utilizada por necessitar de elevadas temperaturas para adquirir melhor resistência, devendo ser misturada a outros tipos de argila. A illita é muito plástica, de fácil moldagem e apresenta bom desempenho na secagem, é responsável em parte pela coloração avermelhada dos produtos por isso é muito utilizada em blocos, tijolos, telhas e lajotas. A montmorilonita é benéfica nas argilas para cerâmica vermelha, mas em pequenas proporções, porque favorece a plasticidade, a fusibilidade e sinterização, é dita expansiva por absorver grande quantidade de água e por ser muito plástica, pode ocasionar problemas na moldagem e defeitos na secagem e queima (CASTRO, 2008).

Quando a argila entra em contato com a água, a massa resultante apresenta algumas propriedades importantes para o uso em cerâmica estrutural. Segundo SENAI (2008), as principais características são: plasticidade, resistência mecânica a verde e a seco, retração dimensional. Já de acordo com Almeida (2015), as principais propriedades que as argilas apresentam são: plasticidade, retração, porosidade e comportamento ao calor.

Plasticidade: é definida como uma propriedade das argilas que consiste na maior ou menor capacidade de serem moldadas, sob certas condições de umidade. Trata-se de uma das mais importantes propriedades das argilas (CAPUTO, 1996).

Resistência Mecânica: os corpos formados a partir de argilas apresentam notável resistência mecânica a verde, a seco e pós queima. Alguns fatores justificam tal fato: a granulometria, forma e anisometria das partículas, o fenômeno de aglomeração, adensamento e sinterização que é facilmente obtido quanto menor for a granulometria (SENAI, 2008).

Retração dimensional: as peças feitas a partir de argilas sofrem contração ou retração após secagem e queima. Após secagem a retração é derivada da eliminação da água de formação da peça cerâmica. Com a eliminação da água surgem vazios e ocorre uma aproximação das partículas por consequência das forças de atração eletrostática, provocando a aglomeração ou adensamento. Após o procedimento de queima, a contração é consequência da sinterização, ou seja, do processo de adensamento de partículas sólidas com a eliminação ou redução dos poros mediante tratamento térmico. As duas contrações somadas, a de secagem e de queima, denominam-se retração total (SENAI, 2008).

Porosidade: é a relação entre o volume de poros e o volume total aparente da peça. Quando existem grãos mais grossos, a argila tem menos poros, porém maiores, e mais permeabi-

lidade; quando os grãos são mais finos ocorre o inverso. Por isto um corpo cerâmico deve ter quantidades ideais de grãos grossos e finos para proporcionar um melhor empacotamento dos grãos (ALMEIDA, 2015).

Comportamento ao calor: as argilas mudam o seu comportamento com o aumento da temperatura (ALMEIDA, 2015):

- 20 °C a 150 °C – perda de água capilar e de amassamento;
- 150 °C a 600 °C – perda de água adsorvida. A argila endurece (transformações físicas);
- A partir de 600 °C – alterações químicas: desidratação química – água de constituição é expulsa e matérias orgânicas são queimadas, há também a oxidação – carbonetos são queimados e se transformam em óxidos; 950 °C – formação de fase líquida (vitrificação).

3.1.2 Borra Oleosa

A borra oleosa é um material com aspecto pastoso, quase sólido, constituído de areia (mistura de argila, sílica e óxidos) contaminada com óleo, água produzida e produtos químicos utilizados no processo de produção de petróleo. A formação deste resíduo é oriunda de filtros de petróleo nas plataformas, da limpeza de permutadores e da parte inferior dos tanques de armazenamento de petróleo e seus derivados (diesel, gasolina, GLP, nafta petroquímica, solventes, querosene, óleos lubrificantes, parafinas, óleo combustível, asfalto e outros). Além disso, em tanques de navios petroleiros ou em oleodutos (GUIMARÃES, 2008).

A composição deste resíduo sólido é variável devido à grande diversidade na qualidade dos óleos crus, diferenças nos processos usados para a separação óleo-água, vazamentos durante os processos industriais e mistura com borras oleosas já existentes. Usualmente, a borra oleosa contém água, sólidos grosseiros, óleos, gorduras, compostos orgânicos, elementos químicos e metais. Entre os compostos orgânicos presentes, os mais comuns são compostos saturados, aromáticos, resinas e asfalto (CERQUEIRA, 2011).

É comum, nas borras de petróleo, expostas ao ar livre, a presença de água cerca de 50% na superfície e de 2% em amostras coletadas a maior profundidade. Nelas também se encontram de 4 a 7% de sedimentos constituídos, principalmente de halita, calcita, caulinita e quartzo. O restante da borra é constituída naturalmente de hidrocarbonetos de petróleo (AIRES, 2002).

As borras oleosas contêm principalmente compostos orgânicos e uma grande quantidade de combustíveis com elevado poder calorífico. Elas apresentam também compostos inorgânicos, espécies metálicas, óleos e graxas, microrganismos (bactérias e fungos), nutrientes (nitrogênio e fósforo), hidrocarbonetos (benzeno, xileno e tolueno) e muitos outros compostos potencialmente tóxicos (SHIE et al., 2000).

Figura 7 – Borra oleosa encontrada nas praias do litoral do Estado de Alagoas devido a um derramamento de petróleo no mar em 2019.



Fonte: Autor, 2021

Borra oleosa contém diversas frações de hidrocarbonetos de petróleo (tipicamente 10-50% em peso), os sólidos (6-10% em peso) e água (LIU et al., 2012). Na fase oleosa encontram-se de 40 a 60% de hidrocarbonetos saturados, 25 a 40% de aromáticos, 10 a 15% de resinas e 10 a 15% de asfaltenos (SHIE et al., 2004). De acordo com os mesmos autores, dentre os aromáticos, é frequente a presença de benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos (BTEX), compreendendo também fenóis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), parcialmente responsáveis pela inflamabilidade de borra de petróleo e sua consequente classificação como resíduo perigoso.

Os hidrocarbonetos saturados incluem alcanos normais e ramificados com estrutura de C_nH_{2n+2} (alifáticos) e alcanos cíclicos com estruturas de C_nH_{2n} (alícíclicos), com faixa em comprimento de cadeia de 1 a 40 carbonos. Os compostos saturados são usualmente os constituintes mais abundantes em óleos crus. Os hidrocarbonetos aromáticos incluem aromáticos monocíclicos, tais como o benzeno, tolueno e xilenos, e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) tais como naftaleno, antraceno e fenantreno (CERQUEIRA, 2011).

Ainda de acordo com Cerqueira (2011), as resinas e asfaltenos compreendem a fração pesada do petróleo, com estruturas químicas complexas e com alta condensação de anéis aromáticos. Normalmente contém átomos de nitrogênio, enxofre e oxigênio. As resinas incluem compostos polares contendo nitrogênio, enxofre e oxigênio (como exemplo piridinas e tiofenos). Eles são geralmente referenciados de compostos NOS (Nitrogênio, Oxigênio e Enxofre). Na

fração asfaltenos, metais como níquel, vanádio e ferro encontram-se também associados.

Dentre os compostos orgânicos presentes na borra oleosa, os de maior preocupação são os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), os quais contribuem significativamente para as propriedades toxicológicas do resíduo, apresentando, muitos destes, potencial mutagênico e carcinogênico (RIZZO et al., 2010; KRIIPSALU; MARQUES; MAASTIK, 2008).

3.1.3 Adoquim Cerâmico

Segundo a NBR 15953 (ABNT, 2011), pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem, ou base concretada, e possuem como principais funções:

- Resistir e distribuir às camadas inferiores os esforços verticais oriundos do tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais (desgaste) atuantes, tornando mais durável superfície de rolamento;
- Resistir ao intemperismo.

Existem indícios de pavimentos cerâmicos datados de aproximadamente 5.000 anos atrás, em escavações na Mesopotâmia. Entretanto, há poucas décadas sua utilização apresentou crescimento, pelo fato do adoquim cerâmico ter conseguido alcançar propriedade técnicas e estéticas avançadas. Seus benefícios técnicos estão ligados à qualidade do “klinker” do adoquim sinterizado, que proporciona ao produto uma alta densidade, alta resistência e baixa absorção de água (MALPESA, 2020).

Segundo IMC/UCS (2013), o adoquim cerâmico é um tipo de pavimento intertravado fabricado preferencialmente a partir de argila e de materiais argilosos que conferem um aspecto não esmaltado do produto, como na Figura 8, podendo ainda fazer uso de aditivos. Além disso, esse produto é fabricado a partir de uma mistura de argilas naturais que proporcionam plasticidade e coloração desejada com materiais não plásticos (SÁNCHEZ et al., 1990). Este produto também é conhecido, em português, como pavimento cerâmico ou adoquim cerâmico ou paver cerâmico ou tijolo para pavimentos, em espanhol como “adoquín cerâmico” e em inglês, “*ceramic paver*” (IMC/UCS, 2013).

De acordo com MALPESA (2020), para garantir o correto funcionamento de qualquer tipo de pavimento, é essencial fazer um apoio adequado para o mesmo, que esteja em conformidade com o tipo de trabalho ao qual ele estará sujeito. A duração da pavimentação irá depender da execução da base e da sub-base, bem como um exame sólido da área natural e da colocação prévia do meio-fio sobre a qual atuará o pavimento. Normalmente, que a estrutura típica de pavers cerâmicos é basicamente constituída pelas seguintes camadas, conforme a Figura 9.

Figura 8 – Ilustração de pavimento cerâmico



Fonte: (MALPESA, 2020)

- **Subleito**

O subleito será feito de material natural existente no solo, é o terreno da fundação, devidamente desobstruído e classificado de acordo com as especificações previstas no projeto.

- **Sub-base granular**

É aconselhável introduzir esta camada complementar à base, desde que a pavimentação deva suportar tráfego pesado. Existem circunstâncias técnicas nas quais não é recomendado a construção da base diretamente sobre o subleito.

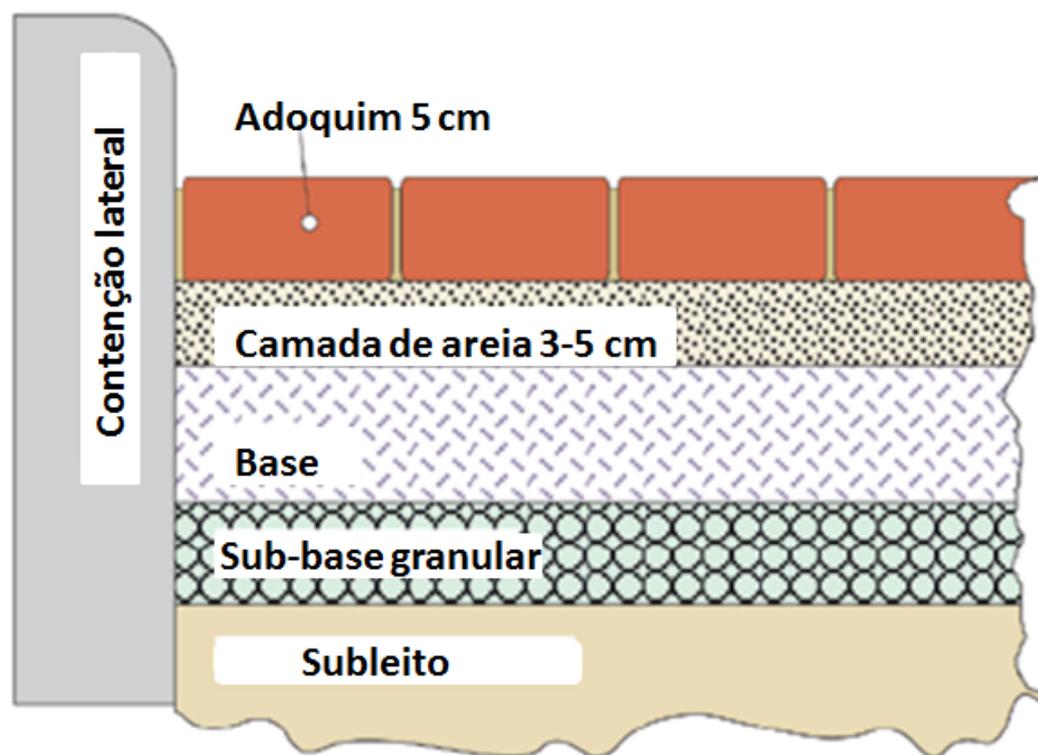
- **Base**

Na execução desta camada do pavimento, cuidados especiais deverão ser tomados, de forma que desvios mínimos ocorram, caso contrário, podem ocorrer descontinuidades na camada de areia que afetarão o comportamento homogêneo da pavimentação, principalmente durante a compactação da mesma. Esta camada é designada para receber e distribuir de maneira uniforme os esforços provenientes do tráfego.

- **Camada de areia**

Recomenda-se o uso de areia natural bem lavada. Granulometria será entre 5 e 0,4 mm, e não deve haver mais 10% do material que excede ou cai abaixo dessas margens. Em geral,

Figura 9 – Seções que constituem a estrutura típica dos pavers cerâmicos



Fonte: Adaptado de MALPESA (2020)

areias naturais grossas dão bons resultados. A espessura desta camada será entre 3 e 5 cm uma vez compactado, ajudando na conformidade das peças e nos elementos de drenagem superficial.

O adoquim é pequeno e de fácil manejo, com formas geométricas desenvolvidas não só para obter facilidade de instalação, mas também para uma correta distribuição de cargas impostas pelos diversos tipos de tráfego. Suas geometrias permitem uma diversidade de combinações, proporcionando um ambiente com uma estética harmoniosa. Os adoquins permitem a pavimentação de estradas para todos os tipos de tráfego, calçadas, zonas de pedestres, pátios e jardins, dentre outros (CONORSA, 2021).

Segundo Beltran et al. (1995), o processo de fabricação tradicional, similar ao da cerâmica vermelha, consiste na moagem por via seca das matérias-primas, conformação por extrusão seguida de uma etapa de secagem das peças, que na maioria das indústrias ocorre ao ar livre. Posteriormente, o adoquim passa pela etapa de queima em fornos contínuos ou descontínuos, cuja duração costuma ser em torno de 24 horas.

Países como Espanha, Estados Unidos e Colômbia estão investindo nesse tipo de produto. Algumas regiões dos Estados Unidos nas cidades de Orlando, Houston e Columbus, os adoquins são usados em áreas que variam desde jardins até rodovias com trânsito veicular pesado (PINHEIRO; HOLANDA, 2009).

Figura 10 – Ilustração da finalização do assentamento de pavimentação cerâmica



Fonte: Adaptado de MALPESA (2020)

O adoquim apresenta algumas vantagens sobre outros tipos de pavimentação, como por exemplo, a pavimentação asfáltica ou como as Peças Pré-moldas de Concreto (PPC). Uma dessas vantagens é a coloração natural que dispensa o uso de tintas, sua colocação não depende de equipamentos de alto custo e apresenta um tempo de vida útil em torno de 30 anos (MALPESA, 2020). Além disso, durante os processos de restauração, cerca de 90 a 95% das peças são reutilizadas implicando em menor custo de manutenção e conservação (MALPESA, 2020). A Figura 10 mostra o assentamento da pavimentação adoquim em uma via de transporte leve.

Segundo (GUIMARÃES, 2008), no Brasil ainda não existe uma legislação que estabeleça os padrões tecnológicos para produção do adoquim cerâmico. Entretanto com a crescente demanda de inovação tecnológica na indústria cerâmica e também com a expansão do produto no mercado, há uma necessidade de criação de normas voltadas para a fabricação deste produto.

Segundo Pinheiro e Holanda (2009), Santos (2013) e Carvalho (2015) alguns países como Colômbia, Espanha e Estados Unidos, em que os adoquins cerâmicos se consolidaram, já possuem normatização para o produto. Dessa forma, utilizando-se como base de referência as normas como a NTC da Colômbia, a UNE-EN da Espanha, a ASTM dos Estados Unidos e a DIN da Alemanha que visam definir as especificações tecnológicas admissíveis para a produção

desse produto cerâmico.

De acordo com as pesquisas realizadas foi possível identificar que algumas das normas utilizadas nos trabalhos citados, e que irão servir de base para este trabalho sofreram algumas alterações nos últimos anos. A Tabela 3 as atualizações e o conjunto de normas.

Tabela 3 – Atualizações das Normas usadas para a fabricação do Adoquim.

Norma Internacional	Instituto Responsável	Nacionalidade	Versão Mais Recente
DIN	Beuth	Alemanha	2003-12
ASTM C1272	ASTM	Estados Unidos	2014
ASTM C902	ASTM	Estados Unidos	2020
NTC 5282	ICONTEC	Colômbia	2004
NTC 3829	ICONTEC	Colômbia	2004
UNE-EN 1344	AENOR	Espanha	2013
NBR	ABNT	Brasil	2013

Fonte: Autor, 2021

Todas as normas citadas tendem a seguir o mesmo modelo, porém, é importante ressaltar que as condições ambientais e climáticas de cada país são diferentes. O Brasil por ser um país tropical não apresenta variações climáticas tão expressivas como alguns desses países, então algumas normas não se aplicam a produção do adoquim no país. Por esse motivo e também por esse produto apresentar-se como uma alternativa para a pavimentação intertravada, é interessante a elaboração de uma norma técnica brasileira que especifique as características técnicas aceitáveis para sua produção (GUIMARÃES, 2008).

Tabela 4 – Características técnicas para a produção do adoquim cerâmico extrudado e prensado estabelecidos pela UNE-EN (2013)

Propriedades	Adoquim Cerâmico Extrudado	Adoquim Cerâmico Prensado
Resistência ao gelo/degelo	Resistente	Resistente
Carga de ruptura transversal	Valor médio ≥ 80 N/mm	Valor médio ≥ 30 N/mm
Resistência à abrasão	Valor médio ≤ 450 mm ³	Valor médio ≤ 450 mm ³
Resistência ao deslizamento	≥ 45	≥ 45
Resistência aos ácidos (perda de massa média de 5)	$\leq 7\%$	$\leq 7\%$
Tolerância dimensional por dimensão	$\leq 0,5 \sqrt{d}$ mm	$\leq 0,5 \sqrt{d}$ mm

Fonte: UNE-EN (2013)

Na Tabela 3 buscou-se informar as atualizações das normas utilizadas nos trabalhos

citados e que também serão adotadas neste trabalho. De acordo a norma espanhola mais recente, a UNE-EN (2013), a produção de adoquim deve se enquadrar nas características técnicas expostas na Tabela 4.

A ASTM (2020) e a NTC (2004a) estabelecem padrões para utilização de adoquins em lugares com circulação de pedestres e tráfego veicular leve e para regiões com baixa, média e alta circulação de pedestres. É importante falar sobre os limites dos índices de abrasão e a perda de volume por abrasão que são iguais para ambas as normas, inclusive utilizando a classificação quanto ao tráfego (Tipo I, II e III). A Tabela 5 apresenta os limites dos requisitos físicos exigidos pelas normas americana e colombiana.

Tabela 5 – Requisitos físicos exigidos de tráfego leve

ASTM C1272:2017						
Espec.	RC (Mpa)		Módulo de Ruptura (kN/mm)		AA (máx. %)	
	A	B	A	B	A	B
Tipo R	55,2	48,3	–	–	6	7
Tipo F	69,7	60,7	83	53	6	7
NTC 5282:2004						
Espec.	A	B	A	B	A	B
	Tipo R	55	48	8	7	6
Tipo F	69	61	10	9	6	7
ASTM C1272:2017 e NTC 5282:2004						
Tipo	IA (Máx.)		VA(cm^3/cm^3)			
R e F	0,11		1,7			

Fonte: ASTM (2017a) e NTC (2004b)

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 quanto ao tempo e tráfego, enquanto que a NTC os classifica apenas de acordo com o tráfego. Portanto, de acordo com o tempo, 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.

Conforme com o 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 (2017a) e a NTC (2004b) instituem requisitos para o uso de adoquins cerâmicos em locais com tráfego veicular pesado, pavimentação de ruas, calçadas comerciais, aplicações industriais, utilização em aeroportos e centros comerciais. De acordo com essas normas, a classificação é feita com o tipo da base na qual o adoquim será executado. Podendo ser categorizado 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 6 podemos observar as exigências técnicas requeridas pelas norma alemã DIN (2003), para o adoquim cerâmico.

Tabela 6 – Requisitos exigidos pela norma DIN 18503 (2003).

Propriedades	DIN 18503:2003	
	Média (mín.)	Individual (mín.)
Resistência à flexão	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: $\geq 64\text{N/mm}$
Densidade aparente	2kg/dm^3	$1,9\text{kg/dm}^3$
Absorção de água	Não deve exceder 6% em massa.	
Resistência ao deslizamento		U1: ≥ 35
		U2: ≥ 45
		U3: ≥ 55
Resistência á abrasão		A1: $\leq 2100\text{mm}^3$
		A2: $\leq 1100\text{mm}^3$
		A3: $\leq 450\text{mm}^3$
Resistência ao degelo	FP-100 ciclos de congelamento de descongelamento	

Fonte: DIM 18503 (2003)

Não existem normas regulamentadoras para a fabricação de adoquins cerâmicos no Brasil. Assim, é utilizado um método comparativo usando a norma que regulamenta a produção de Peças de Pré-moldadas de Concreto (PPC), a norma ABNT (2013), que estabelece condições e métodos de ensaio exigíveis para aceitação de PPCs para pavimentação intertravada sujeita ao tráfego de pedestres, de veículos dotados de pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos.

Na Tabela 7, destaca alguns padrões estabelecidos pela ABNT (2013), que considera limites admissíveis na produção dos pavimentos.

Por ser um produto ainda novo produzido no Brasil e o PPC ser o seu concorrente direto, é

Tabela 7 – Padrões estabelecidos pela NBR 9781 ABNT (2013)

Requisitos Físicos		Limites admissíveis
Tolerâncias		
Dimensionais (mm)	Comprimento	±3mm
	Largura	±3mm
	Altura	±3mm
	2*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:	≥ 35
	Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados:	≥ 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:	≤ 23
	Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados:	≤ 20

Fonte: ABNT (2013)

de extrema importância a comparação dos parâmetros técnicos entre eles para solucionar dúvidas sobre a qualidade do adoquim (CARVALHO, 2015).

3.2 Indústria de Pré-moldados de Concreto

No princípio do século XIX, a Revolução Industrial, iniciada na Europa no século anterior começava a influir no Brasil substituindo a produção artesanal pela mecânica padronizada e em série. Com a conquista dos mercados, a industrialização difundia novas normas de pensamento e ação que conduziram o arquiteto, o engenheiro, o construtor a considerarem os problemas não em termos de manufatura, mas no de indústria, criando a mentalidade propícia ao campo da pré-moldagem (VASCONCELOS, 2018).

De acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017) - norma que rege projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – podemos diferenciar os elementos pré-moldados dos elementos pré-fabricados. Assim, o elemento pré-moldado é aquele moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura. Já o elemento pré-fabricado é o pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresas destinadas para esse fim, que se enquadrem e estejam em conformidade com as especificações dessa norma.

A pré-fabricação começou a ter maior visibilidade no início dos anos 80, na execução de obras industriais e especialmente em obras de empresas multinacionais, as quais já vinham adotando esse sistema construtivo para suas obras fora do Brasil. Nessas obras já se adotavam conceitos de industrialização e de alta produtividade, com exigências rigorosas no controle de qualidade (CHASTRE et al., 2021).

A NBR 9781 (ABNT, 2013), conceitua em termos e definições, a peça de concreto como componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado. Este termo também é conhecido por PPC, peças pré-moldadas de concreto (ABNT, 2013).

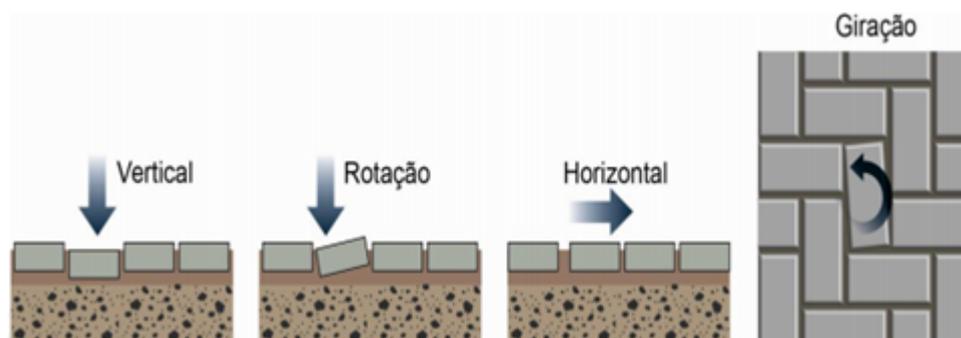
3.2.1 Blocos de Concreto Para Pavimentação

O uso da pavimentação intertravada no mundo vem aumentando significativamente nos últimos anos. São utilizados em uma variedade de aplicações comerciais, municipais e industriais. As principais razões para escolha desse tipo de pavimento são: pouca manutenção, facilidade de colocação e remoção, boa aparência estética, disponibilidade imediata, além de se apresentarem em várias formas e cores (LEE; LEE; YU, 2003).

O intertravamento, segundo a NBR 15953 (ABNT, 2011) permite as peças de concreto resistirem a movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou de giração em relação às peças vizinhas, como na Figura 11 . Segundo PORTLAND (2014), intertravamento é fundamental para o desempenho e a durabilidade do pavimento. Para que se

consiga o intertravamento duas condições são necessárias e indispensáveis: contenção lateral e junta preenchida com areia.

Figura 11 – Movimentos de deslocamentos das peças de intertravamento



Fonte: SILVA (2012)

A propriedade de distribuição de esforços das peças intertravadas depende essencialmente de seu formato, arranjo e espessura. A resistência à compressão das peças tem, neste aspecto, pouca influência. Não há um consenso entre os pesquisadores quanto à influência do formato das peças. No entanto, há concordância quanto ao comportamento do pavimento em função da espessura e do arranjo de assentamento das peças. Recomenda-se que as peças devam ter espessuras mínimas de 6 cm, para pavimentos com tráfego leve, 8 cm para aqueles submetidos ao tráfego de veículos comerciais e 10cm para casos especiais (ABNT, 1987).

A NBR 9781 (ABNT, 2013), afirma que as peças devem ser produzidas por concreto que contenham cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de pigmentos e aditivos e seus agregados podem ser industriais, naturais ou reciclados. Além disso, quando se trata da pavimentação de vias é necessário que o artefato tenha resistência à compressão mínima de 35 MPa para o tráfego de veículos leves e resistência mínima de 50 MPa para o tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.

4 Procedimentos Para Aproveitamento de Resíduos Sólidos Provenientes de Derramamento de Petróleo: Estudo de Caso.

4.1 Caracterização da Área de Coleta de Resíduos

O litoral alagoano possui aproximadamente 230km de linha de costa e está localizado na região nordeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas $8^{\circ}8'12''$ S e $10^{\circ}29'12''$ S (Figura 12). Neste litoral existem diferentes ecossistemas costeiros, considerando entre estes como principais os recifes, as praias e os estuários com manguezais. Estes ecossistemas costeiros são responsáveis por grande parte da manutenção da produtividade pesqueira. As populações litorâneas interagem com estes ecossistemas sob diferentes formas, diretas e indiretas, principalmente através da pesca artesanal (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005).

Figura 12 – Mapa geral da zona costeira do Estado de Alagoas.



Fonte: Correia (2003)

De acordo com Correia e Sovierzoski (2005), a zona costeira do litoral norte do Estado de Alagoas compreende 10 municípios, entre os quais sete municípios fazem limite com o Oceano Atlântico. O litoral central possui onze municípios, incluindo a capital, Maceió, que apresenta ao longo do litoral inúmeras praias e recifes. Na região sudoeste está localizada a Lagoa Mundaú e o canal de ligação com o mar, que fazem parte do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú/

Manguaba (CELMM). Na zona costeira do litoral sul encontram-se localizados três municípios, dois municípios margeados pelo rio São Francisco.

A formação geológica das praias divide-se em praias arenosas, constituídas por areias, claras ou escuras, e pelas praias rochosas, formadas por seixos de diferentes tamanhos, podendo conter ainda pedaços de conchas e de esqueletos de corais e outros invertebrados, além de restos de algas calcárias (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005).

Em Alagoas existem praias arenosas, de areias claras, com granulometrias variáveis, desde muito finas até grossas e também as praias areno-lodosas, com formação de areia e lama, proveniente de rios, em áreas de lagunas e estuários (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2008).

4.2 Beneficiamento das Matérias-primas

O beneficiamento das matérias-primas é uma importante etapa no processo de fabricação dos produtos de cerâmica vermelha, pois através das avaliações e cuidados nessa fase, obtêm-se produção peças de qualidade em que o produto final, esteja em conformidade com as normas técnicas.

4.2.1 Argilas

As argilas devem ser armazenadas em um espaço amplo, e identificadas de acordo com a sua tipologia (principal, fundente e plástica), é recomendável estocar separadamente os lotes de cada mina com propriedades distintas. Uma equipe composta por profissionais (técnicos de mineração ou em cerâmica) deverá realizar amostragens sistemáticas das pilhas e ensaios físicos e tecnológicos das argilas (JUNIOR M. C.; DA CRUZ, 2009). A separação das diferentes argilas facilita o processo da preparação das massas cerâmicas, quanto à facilidade de identificação e dimensionamento a serem utilizados na produção.

O próximo passo é a cominuição que consiste na redução de tamanho dos fragmentos de rocha provenientes da lavra para partículas de até no máximo 3 mm, que corresponderá à granulação dos produtos finais fornecidos às cerâmicas (JUNIOR M. C.; DA CRUZ, 2009). Nessa fase as argilas devem passar pelo processo de britagem e moagem, com o intuito de reduzir a granulometria e tornar a amostra mais homogênea, isso ajuda a evitar possíveis defeitos no produto final.

4.2.2 Borra Oleosa

Sugere-se que a borra oleosa passe por um tratamento conhecido como Estabilização por Solidificação (E/S). Segundo Stegemann et al. (2001), esta é uma opção de pré-tratamento ou tratamento propriamente dito, de resíduos que não podem ser eliminados, reduzidos, reciclados ou utilizados no ambiente em que foram gerados.

Como o resíduo de estudo, a borra oleosa coletada em praias do litoral de Estado de Alagoas, já possuiu uma boa quantidade de areia aglomerada, a argila pode vir a ser um aglomerante eficiente para a estabilização da solidificação a partir dos critérios de integridade/durabilidade e imobilização dos contaminantes.

Após a solidificação do material, ele deve passar pelo processo de secagem e de cominuição, como o processo sofrido pelas argilas.

4.3 Preparação da Massa de Moldagem de Peças Cerâmicas

4.3.1 Dosagem da Massa

Amaral (2016), diz que massa cerâmica é a denominação da mistura de um conjunto de matérias-primas, de proporções conhecidas, que é utilizada para fabricação de produtos cerâmicos. Estes produtos devem ter suas propriedades adequadas ao uso que lhe for estabelecido, por isto, deve-se ter coerência em todas as etapas da produção para que estas propriedades sejam alcançadas.

Vieira (2001), cita que uma única argila pode conter as características necessárias para compor uma massa cerâmica para fabricar determinado produto. Isto é possível, pois sua composição mineralógica é condizente com este produto e seu processo de fabricação, no entanto, isto não é encontrado na maioria das argilas.

Já a ABCERAM (2021a), diz que os materiais cerâmicos geralmente são fabricados a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água ou outro meio. Mesmo no caso da cerâmica vermelha, para a qual se utiliza apenas argila como matéria-prima, dois ou mais tipos de argilas com características diferentes entram na sua composição. Raramente emprega-se apenas uma única matéria-prima.

Dessa forma, uma das etapas fundamentais do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias-primas e dos aditivos, que deve seguir com rigor as formulações de massas, previamente estabelecidas. Os diferentes tipos de massas são preparados de acordo com a técnica a ser empregada para dar forma às peças (ABCERAM, 2021a).

Os adoquins cerâmicos e suas peças especiais são obtidas a partir de argilas ou outros materiais argilosos, com ou sem areia, combustíveis ou outros aditivos, conhecidos a uma temperatura suficientemente elevada para alcançar uma ligação cerâmica.

Dessa forma, em conformidade com os estudos realizados por Medeiros et al. (2014), Pinheiro e Holanda (2013) e Freitas et al. (2011), é sugerido que a preparação das composições seja realizada com a incorporação de resíduos oleosos nas quantidades de 0 a 8% em massa juntamente à massa argilosa, composta por argila forte e argila fraca. A porcentagem a ser utilizada de cada material – massa argilosa e resíduo oleoso – deve ser estabelecida levando em

Tabela 8 – Sugestão da composição da massa cerâmica

Componentes	Conteúdo	Unidades
Argilas	92	%
Aditivos	8	%

Fonte: HISPALYT (2017)

consideração a plasticidade e fundência.

Ao preparar uma massa argilosa de excelência obteremos algumas vantagens no processamento, podendo citar: minimização da variabilidade das propriedades das peças finais, menor consumo de energia e desgaste por parte dos equipamentos, e redução das perdas nas etapas de conformação, secagem e queima. Dá-se início a esta etapa, visando almejar propriedades adequadas do produto final, como resistência mecânica, absorção de água, resistência a gelo/degelo e tolerância dimensional (PINHEIRO; HOLANDA, 2013).

4.3.1.1 Parâmetros de Mistura

Para que tenhamos produtos com propriedades adequadas, é necessário o conhecimento e o controle de parâmetros básicos do processo e das características do material granular, de forma a observar a influência desses nas propriedades físico-mecânicas do produto final.

Os principais parâmetros envolvidos neste processo são: preparação da massa; sistema de alimentação, velocidade de laminação, diâmetros dos rolos laminadores e abertura entre os rolos laminadores.

4.4 Controle de Qualidade dos Produtos

4.4.1 Preparação dos Corpos de Prova

De acordo com os autores Amaral (2016), Pinheiro e Holanda (2009), Candido (2012), Chaves (2002), as massas que forem preparadas devem ser umedecidas com spray de água, até 8%, de modo a possibilitar a conformação por prensagem de todos os corpos de prova. Posteriormente, as massas devem ser passadas em moinho de bolas para sua homogeneização e novamente em peneira com abertura de 35 mesh.

Os corpos de prova devem ser feitos por prensagem uniaxial e moldados em matriz retangular em dimensões que sejam o suficiente para realização dos testes. Devem-se observar as massas específicas dos corpos de prova que foram elaborados a partir de cada composição diferente.

Posteriormente, os corpos de prova devem ser secos a temperatura ambiente por 24 horas e após esse período, colocados em estufa a 110°C até alcançarem peso constante.

Ainda observando os dados bibliográficos utilizados e devido à natureza do resíduo

incorporado, sugere-se que os corpos de prova sejam queimados em fornos elétricos tipo mufla em temperaturas variando de 850° à 1050°C. Estas temperaturas estão dentro da faixa de queima industrial de cerâmica vermelha (DONDI, 2003). Utilizar-se de uma taxa de aquecimento constante de até 2°C/min e mantidos na temperatura patamar por 30 minutos e resfriados por convecção natural desligando-se o forno.

4.4.2 Determinação de Propriedades Físico-mecânicas

Após a sinterização, os corpos de prova das composições elaboradas, devem ser submetidos à determinação de propriedades físicas e mecânicas como massa aparente específica absorção de água, retração diametral e compressão uniaxial de acordo com procedimentos técnicos (ASTM, 1977).

4.4.3 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente das peças secas e queimadas podem ser determinadas pelo método dimensional de acordo com a norma ASTM C 373-72 (ASTM, 1977). As medidas da altura, largura e espessura devem ser realizadas com o auxílio de um instrumento de precisão. As massas precisam ser determinadas por meio uma de balança de precisão. Após a obtenção das medidas da massa e dimensão das peças, a massa específica aparente pode ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$\rho_{ap} = \frac{M}{V} \quad (4.1)$$

Em que ρ_{ap} é massa específica aparente (g/cm^3) do corpo de prova seco ou queimado; M é a massa (g) e V é o volume do corpo-de-prova (cm^3) seco ou queimado, respectivamente.

4.4.4 Retração Diametral de Queima

As dimensões das peças secas e queimadas precisam ser medidas com o auxílio de um instrumento de precisão, como um paquímetro digital, por exemplo.

Posteriormente, pode-se calcular a retração das peças queimadas (R) através da seguinte expressão:

$$R_{QD} = \frac{D_S - D_q}{D_S} \cdot 100 \quad (4.2)$$

Em que: R_{QD} é a retração diametral de queima. D_S é o diâmetro do corpo de prova após secagem e D_q é o diâmetro do corpo de prova após queima.

4.4.5 Absorção de Água

Após a etapa de queima os corpos de prova devem ser submetidos a ensaios de absorção de água conforme a norma ASTM C373-72 (ASTM, 1977). Os corpos de prova precisarão ser pesados e posteriormente colocados em um recipiente com água fervente por duas horas e resfriados submersos em água. Em seguida, faz-se necessária a retirada a água superficial e os corpos de prova serão novamente pesados para que se possa obter o valor de absorção de água.

A absorção de água foi calculada utilizando a seguinte expressão:

$$AA(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (4.3)$$

Em que: AA = Absorção de água, P_u = massa úmida (g) e P_s = massa seca (g).

4.4.6 Resistência a Compressão Uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial será determinado de acordo com as normas ASTM (2002) D-2938 e ASTM (2017b) C-170 em máquina universal de ensaios de acionamento mecânico.

A resistência à compressão é expressa por:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4.4)$$

Em que: σ é tensão de resistência à compressão; F = carga máxima obtida no ensaio em N; A = área do corpo de prova em mm. Os resultados são comumente expressos em MPa , Pa , N/m^2 , kgf/mm^2 .

5 Considerações Finais

O presente trabalho foi desenvolvido para que a borra oleosa encontrada nas praias do Estado de Alagoas, devido a um derramamento de óleo no mar pudessem ser recicladas. Para tanto surgiu à ideia da incorporação da borra oleosa na massa cerâmica, isso porque a natureza dos argilominerais encontrados nas argilas possibilitam a incorporação de resíduos sólidos na preparação da mistura cerâmica.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a possibilidade da incorporação de borra oleosa na produção de artefatos cerâmicos, em específico os adoquins cerâmicos. Com base na análise de dados coletados, foi possível inferir que a incorporação desse resíduo à massa cerâmica é possível e viável. Além disso, utilizando a borra oleosa dessa maneira, pode resultar na diminuição de impactos ambientais que o derramamento ou disposição final inadequada desse resíduo, que é resultante dos diversos processos e operações da indústria do petróleo, possa causar ao meio ambiente.

O objetivo específico inicial era estabelecer um padrão de dosagens das matérias-primas na obtenção da massa cerâmica. Este objetivo foi atendido, pois ao analisar as normas técnicas regulamentadoras de outros países e alguns estudos realizados no Brasil, foi possível instituir a incorporação de borra oleosa na massa cerâmica, em uma quantidade de peso percentual entre 0 a 8% do total da mistura.

O segundo objetivo específico foi criar um padrão de ensaios para obtenção dos corpos de prova. Este objetivo foi conseguido, pois ao avaliar os trabalhos científicos utilizados para esta pesquisa foi possível identificar que existia alguma semelhanças para a execução de ensaios, de forma que foi possível ajustar etapas que melhor faziam sentido para a realidade do presente trabalho.

Já o terceiro objetivo específico era estabelecer um padrão para a caracterização do produto final. Esse propósito foi alcançado, porque estabelecemos os principais e mais conhecidos testes para identificação das propriedades físico-mecânicas das peças finais.

A pesquisa partiu da hipótese de que era possível incorporar borra oleosa na produção de artefatos cerâmicos, o adoquim. Isso porque a indústria de cerâmicos é conhecida por ter um papel relevante como receptora de resíduos sólidos no tocante à sua disposição final. Durante o trabalho verificou-se que apesar de a borra oleosa conter um pequeno teor de toxicidade devido a sua composição química, ela pode ser incorporada a massa cerâmica sem causar danos posteriores. Além disso, o acréscimo da borra oleosa na massa cerâmica melhora a plasticidade da mesma, necessitando de menor quantidade de água para a sua homogeneização. Com isso temos que a hipótese foi confirmada no decorrer do trabalho.

Este trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas, usando como fontes de dados científicos o Web of Science, o Scielo, Google Acadêmico. Durante o levantamento bibliográfico sobre a incorporação de borra oleosa na produção de artefatos da indústria cerâmica, foram selecionados livros, artigos científicos, revistas científicas, banco de teses e dissertações de universidades, disponibilizados na internet no período de dezembro de 2019 a junho de 2021. A análise das informações foi realizada por meio de leitura exploratória do material encontrado, em uma abordagem qualitativa e indutiva.

Diante da metodologia proposta percebe-se que o trabalho poderia ter sido realizado com uma pesquisa mais ampla na bibliografia para analisar os aspectos mineralógicos das argilas, de pré-tratamento da borra oleosa, e análise microestrutural do produto final. Além disso, a falta da execução dos padrões estabelecidos em laboratório causou uma maior dificuldade em estabelecer as etapas a serem seguidas nesses processos.

Para trabalhos futuros ficam as sugestões de realizar testes em laboratório utilizando a metodologia desenvolvida para os padrões de dosagem de matérias-primas, padrão de ensaios e padrão de caracterização do produto final. A fim de verificar se os padrões estabelecidos neste trabalho são viáveis e efetivos.

Outra sugestão é a de ampliar a metodologia, adicionado à análise microestrutural dos corpos de prova queimados. Este procedimento possibilita analisar possíveis defeitos causados por etapas anteriores ou provenientes da própria etapa de queima (temperatura e ciclo térmico).

Por fim, propõe-se realizar teste industrial fabricando peças com espessuras idênticas às do PPCs. Verificando a possibilidade de inserção de maior visibilidade do produto no mercado brasileiro.

Referências

ABCERAM. Associação Brasileira de Cerâmica. Cerâmica no Brasil - Normas Técnicas. 2010. Citado na página 20.

ABCERAM. *Considerações Gerais*. 2021. Disponível em: <<https://abceram.org.br/consideracoes-gerais/>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 40.

ABCERAM. *Fluxograma*. 2021. Disponível em: <<https://abceram.org.br/fluxograma/>>. Citado na página 23.

ABNT. *NBR9780 - Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1987. Citado na página 37.

ABNT. *NBR10004 - Resíduos - Classificação*. Rio de Janeiro, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 17, 18 e 19.

ABNT. *NBR10006 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

ABNT. *NBR10007 - Amostragem de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. Citado na página 19.

ABNT. *NBR15953 - Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução*. Rio de Janeiro, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 36.

ABNT. *NBR9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2013. Citado 5 vezes nas páginas 9, 34, 35, 36 e 37.

ABNT. *NBR9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 2017. Citado na página 36.

AIRES, J. *LTC no manejo de borras de petróleo*. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental)-Universidade Federal Fluminense . . . , 2002. Citado na página 26.

ALMEIDA, K. *Análise da incorporação de resíduo de serragem de granito em formulações de cerâmica vermelha*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)) — Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

AMARAL, L. *Formulação de massa cerâmica para fabricação de telhas*. 2016. 92 f. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado). Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade . . . , 2016. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

ANICER. *Cerâmica*. 2021. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor>>. Citado na página 21.

ASTM. *C373-72 - Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent specific gravity of fired whiteware products*. [S.l.], 1977. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.

ASTM. *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens*. [S.l.], 2002. Citado na página 43.

- ASTM. *C1272 - Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick*. [S.l.], 2017. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- ASTM. *Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone*. [S.l.], 2017. Citado na página 43.
- ASTM. *C902 - Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick*. [S.l.], 2020. Citado na página 33.
- BANDEIRA, R. A. F. Uso de cascalho de perfuração de poços de petróleo na confecção de cbuq (concreto betuminoso usinado a quente). Brasil, 2019. Citado na página 17.
- BELTRAN, V. et al. Extruded rustic floor tile. i: Impact of the composition on the body's behaviour in the prefiring process stages. *Tile & brick international*, v. 11, n. 3, p. 169–176, 1995. Citado na página 30.
- BEZERRA, F. Perfil da indústria de cerâmica vermelha do nordeste. *Anais do*, v. 49, 2005. Citado na página 22.
- BIONDI, C. O. et al. Modelagem e otimização do planejamento da produção de uma refinaria de petróleo. [sn], 2016. Citado na página 16.
- CAMARGO, A.; PORTELA, J.; YOSHIMURA, H. Addition of toxic metals in ceramic bodies and evaluation of the its stability with respect to leaching agents part 1. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 2, p. 39–46, 2005. Citado na página 13.
- CANDIDO, V. S. *UTILIZAÇÃO DE ARGILITO E CHAMOTE DE BLOCOS DE VEDAÇÃO NA COMPOSIÇÃO DE MASSA DE PAVIMENTO INTERTRAVADO CERÂMICO-ADOQUIM*. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)—Campos dos . . . , 2012. Citado na página 41.
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*. sixth. Rio de Janeiro: LTC, 1996. Citado na página 25.
- CARVALHO, J. D. *Estudo dos parâmetros técnicos do adoquim cerâmico co incorporação de resíduo de rocha ornamental*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)) — Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campo dos Goytacazes, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 36.
- CASTRO, R. J. d. S. *Formulação e caracterização de matérias-primas para revestimento cerâmico Semi-Poroso com adição de chamote de telhas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008. Citado na página 25.
- CATAFESTA, J. Caracterização e propriedades de pavimentos cerâmicos. In: *Notas de Aula UCS*. Bom Princípio, Rio Grande do Sul: [s.n.], 2017. p. 48. Citado na página 21.
- CERQUEIRA, V. S. Biorremediação de borra oleosa proveniente de indústria petroquímica em microcosmos. 2011. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- CHASTRE, C. et al. Estruturas pré-moldadas no mundo. aplicações e comportamento estrutural. Fundação da Faculdade de Ciência e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2021. Citado na página 36.

CHAVES, M. R. d. M. *Reciclagem de resíduos de indústria de placas cerâmicas: um estudo de caso*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2002. Citado na página 41.

CONORSA. *Adoquines*. 2021. Disponível em: <<http://www.conorsa.es>>. Citado na página 30.

CORREIA, M. c. *Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico e Plano Estadual de Gestão e Desenvolvimento Sustentável da Zona Costeira do Estado de Alagoas (ZEECAL)*. [S.l.]: Universidade Federal de Alagoas / Fundação Universitária de Desenvolvimento, de Pesquisa e Extensão, apoio financeiro Ministério de Integração Nacional / Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Maceió, AL, Brasil., 2003. Citado na página 38.

CORREIA, M. D.; SOVIERZOSKI, H. H. *Ecossistemas marinhos: recifes, praias e manguezais*. [S.l.]: Edufal Maceió, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.

CORREIA, M. D.; SOVIERZOSKI, H. H. Gestão e desenvolvimento sustentável da zona costeira do estado de alagoas, brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, v. 8, n. 2, p. 25–45, 2008. Citado na página 39.

DIN. *DIN 18503 - Clinker bricks for paving - Requirements and test methods*. [S.l.], 2003. Citado na página 34.

DONDI, M. *Ceram. J.*, p. 55–59, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 42.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production- a review. *Tile & Brick International*, v. 13, n. 3, p. 218–225, 1997. Citado na página 24.

DUTRA, R. P. S. et al. Avaliação da potencialidade de argilas do rio grande do norte–brasil. *Cerâmica Industrial*, 2006. Citado na página 25.

FREITAS, L. de et al. Incorporação de coque de petróleo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, SciELO Brasil, v. 57, p. 206–211, 2011. Citado na página 40.

GUIMARÃES, A. K. V. *Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra de petróleo para fins de reuso*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 12, 26, 31 e 32.

HISPALYT. *Adoquines cerámicos según la Norma UNE-EN 1344*. Madrid, 2017. Citado na página 41.

IMC/UCS. *Projeto: Desenvolvimento de pavimentos com alto desempenho frente ao desgaste e atrito*. Bom Princípio, RS, 2013. Citado na página 28.

JUNIOR, M. C. et al. Rmis: argila para cerâmica vermelha. In: . [S.l.]: CETEM/MCTI, 2008. Citado na página 23.

JUNIOR M. C.; DA CRUZ, T. T. T. L. C. Central de massa: uma alternativa para o aprimoramento do suprimento de matéria-prima à indústria de cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*, 2009. Citado na página 39.

KRIIPSALU, M.; MARQUES, M.; MAASTIK, A. Characterization of oily sludge from a wastewater treatment plant flocculation-flotation unit in a petroleum refinery and its treatment implications. *Journal of material cycles and waste management*, Springer, v. 10, n. 1, p. 79–86, 2008. Citado na página 28.

LEE, H.-S.; LEE, J.-Y.; YU, M.-Y. Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks. *Cement and Concrete Research*, Elsevier, v. 33, n. 11, p. 1889–1896, 2003. Citado na página 36.

LIU, W. et al. Isolation, identification and characterization of bacillus amyloliquefaciens bz-6, a bacterial isolate for enhancing oil recovery from oily sludge. *Chemosphere*, Elsevier, v. 87, n. 10, p. 1105–1110, 2012. Citado na página 27.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. < b> utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. *Revista em agronegócio e meio ambiente*, v. 1, n. 3, p. 405–418, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.

MALPESA. *Ladrillo Cara Vista y Adoquín Cerámico - Catálogo 2020*. Espanha, 2020. Citado 4 vezes nas páginas 28, 29, 30 e 31.

MEDEIROSA, F. K. de et al. Produção de tijolos maciços e placas cerâmicas de revestimento com adição de óleo lubrificante usado. 2014. Citado na página 40.

MORAIS, D. d.; SPOSTO, R. M. Propriedades tecnológicas e mineralógicas das argilas e suas influências na qualidade de blocos cerâmicos de vedação que abastecem o mercado do distrito federal. *Cerâmica Industrial*, v. 11, n. 5-6, p. 35–38, 2006. Citado na página 25.

NAGA, S.; EL-MAGHRABY, A. Industrial wastes as raw materials for tile making. *Silicates industriels*, n. 7-8, p. 89–92, 2003. Citado na página 13.

NAUMOFF, A. F.; PERES, C. S. Reciclagem de matéria orgânica. *D'ALMEIDA, Maria LO; VILHENA, André. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE*, p. 93–123, 2000. Citado na página 12.

NTC. 3829 - *Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular liviano*. [S.l.], 2004. Citado na página 33.

NTC. 5282 - *Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular pesado*. [S.l.], 2004. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.

OLIVEIRA, A. A. d. Tecnologia em cerâmica. *Criciúma-SC. Editora Lara*, 2011. Citado na página 22.

PINHEIRO, B.; HOLANDA, J. Processing of red ceramics incorporated with encapsulated petroleum waste. *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, v. 209, n. 15-16, p. 5606–5610, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 41.

PINHEIRO, B.; HOLANDA, J. Obtainment of porcelain floor tiles added with petroleum oily sludge. *Ceramics International*, Elsevier, v. 39, n. 1, p. 57–63, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

PORTLAND, A. A. B. D. C. *Manual Técnico para implementação – Habitação 1.0*. 2014. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Citado na página 36.

RIMA. *Atividade de perfuração marítima Blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 Bacia Potiguar*. Revisão 2. [S.l.], 2010. Citado na página 17.

RIZZO, A. C. d. L. et al. Petroleum-contaminated soil remediation in a new solid phase bioreactor. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, Wiley Online Library, v. 85, n. 9, p. 1260–1267, 2010. Citado na página 28.

SÁNCHEZ, E. et al. Critérios de selección de matérias primas para la fabricación de pavimentos y revestimientos cerâmicos. *Céran. Información*, v. 157, p. 13–21, 1990. Citado na página 28.

SANTOS, M. F. L. dos; FACHEL, J. M.; PULGATI, F. H. Efeitos do descarte de cascalho de perfuração revestido com fluido não aquoso (naf) sobre as comunidades macrobênticas de águas profundas da bacia de campos-brasil. 2004. Citado na página 16.

SANTOS, O. C. Formulação de bloco intertravado cerâmico com adição de resíduos urbanos e industriais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013. Citado na página 31.

SANTOS, P. S. *Technology of the Clays*. [S.l.]: São Paulo, Edgard Blucher, 1989. Citado na página 23.

SANTOS, R.; SOUZA, G.; HOLANDA, J. Characterization of waste of petroleum industry containing clayey masses and its application in structural ceramics. *Cerâmica*, SciELO Brasil, v. 48, n. 307, p. 115–120, 2002. Citado na página 12.

SEBRAE. Serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas (sebrae). *Indústria de cerâmica: ideias de negócios sustentáveis contábeis para micro e pequenas empresas*, v. 3, 2012. Citado na página 20.

SEI, J. et al. Characterisation of kaolinitic clays from the ivory coast (west africa). *Applied Clay Science*, Elsevier, v. 27, n. 3-4, p. 235–239, 2004. Citado na página 23.

SENAI. *Especial de Tecnologia em Cerâmica Vermelha*. Teresina - PI, 2008. Citado na página 25.

SEVERINO, A. J. *Metodologia do trabalho científico*. [S.l.]: Cortez editora, 2017. Citado na página 14.

SHIE, J.-L. et al. Resources recovery of oil sludge by pyrolysis: kinetics study. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, Wiley Online Library, v. 75, n. 6, p. 443–450, 2000. Citado na página 26.

SHIE, J.-L. et al. Oxidative thermal treatment of oil sludge at low heating rates. *Energy & fuels*, ACS Publications, v. 18, n. 5, p. 1272–1281, 2004. Citado na página 27.

SILVA, A. da et al. Análise de viabilidade econômica financeira para a implantação de uma central de massa em uma indústria cerâmica de itaboraí, rj. *Cerâmica*, SciELO Brasil, v. 60, n. 356, p. 490–500, 2014. Citado na página 22.

SILVA, C. O. *Execução e Manutenção de pavimento intertravado*. [S.l.]: ABCP, 2012. Citado na página 37.

SOUZA, G.; HOLANDA, J. Comportamento de sinterização de massas argilosas contendo resíduo proveniente do setor petrolífero. *Cerâmica*, SciELO Brasil, v. 49, n. 311, p. 128–132, 2003. Citado na página 12.

SOUZA, G. d. et al. Mineralogical analysis of brazilian ceramic sedimentary clays used in red ceramic. *Cerâmica*, SciELO Brasil, v. 51, n. 320, p. 382–387, 2005. Citado na página 23.

SOUZA, P.; LIMA, V. Avaliação das técnicas de disposição de rejeitos da perfuração terrestre de poços de petróleo. *Monografia de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria*, UFBA, 2002. Citado na página 16.

- STEGEMANN, J. et al. Neural network analysis for prediction of interactions in cement/waste systems. final report. *Contract No. BRPR-CT97-0570*. Commission of the European Community, 2001. Citado na página 39.
- UNE-EN. 1344 - *Clay pavers. Requirements and test methods*. [S.l.], 2013. Citado 3 vezes nas páginas 9, 32 e 33.
- VASCONCELOS, J. C. D. PrÉ-moldagem a brasileira: Niemeyer, acadÊmicos, teÓlogos e milicos | 1962-68. *Revista Thésis*, v. 2, n. 5, 2018. Citado na página 36.
- VIEIRA, C. Caracterização de argilas de campos dos goytacazes-rj visando à fabricação de revestimento cerâmico semiporoso. *Doctor thesis, State University of the North Fluminense Darcy Ribeiro*, v. 126, 2001. Citado na página 40.
- VIEIRA, C.; HOLANDA, J. D.; PINATTI, D. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de campos dos goytacazes-rj. *Cerâmica*, SciELO Brasil, v. 46, n. 297, p. 14–17, 2000. Citado na página 24.
- VIEIRA, C.; MONTEIRO, S. Cerâmica argilosa incorporada com resíduo oleoso proveniente do setor petrolífero. *Matéria (Rio de Janeiro)*, SciELO Brasil, v. 11, n. 3, p. 217–222, 2006. Citado na página 22.
- VIEIRA, C.; MONTEIRO, S. Incorporation of solid wastes in red ceramics: an updated review. *Matéria (Rio de Janeiro)*, SciELO Brasil, v. 14, n. 3, p. 881–905, 2009. Citado na página 24.
- VIEIRA, F. C. d. S. et al. Toxicidade de hidrocarbonetos monoaromáticos do petróleo sobre metamysidopsis elongata atlântica (crustácea: Mysidacea). Florianópolis, SC, 2004. Citado na página 17.
- YOSHIMURA, H.; CAMARGO, A.; PORTELA, J. Addition of toxic metals in ceramic bodies and evaluation of the its stability with respect to leaching agents part 2. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 4, p. 35–40, 2005. Citado na página 13.