

JOURNAL OF ECOINNOVATION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT - online (2965-9515)

ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DO CAULIM, REJEITOS DE CAULIM E PEGMATITO PARA PRODUÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF KAOLIN, KAOLIN TAILINGS AND PEGMATITE FOR THE PRODUCTION OF CERAMIC MASSES

Jefferson Bento Gomes Pinheiro

<https://orcid.org/0009-0009-9697-8284>

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

jefferson.pinheiro@escolar.ifrn.edu.br

Marcondes Mendes de Souza

<https://orcid.org/0009-0009-4013-9641>

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

marcondes.mendes@ifrn.edu.br

Antônio Pedro de Sousa

Universidade Federal de Campina Grande

apedrogalo@yahoo.com.br

Augusto César Fialho Wanderley

<https://orcid.org/0009-0005-0613-6069>

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

augusto.fialho@ifrn.edu.br

Ligia Mara Gonzaga

<https://orcid.org/0009-0004-4721-5284>

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

ligia.gonzaga@ifrn.edu.br

Elias Nunes Filho

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

elias.nunes@ifrn.edu.br

RESUMO

O trabalho a seguir irá retratar a reutilização de rejeitos de minerais provenientes da região do Seridó do Rio Grande do Norte, os quais tiveram sua aplicação na produção de massas cerâmicas. Para tal, foi utilizado rejeito de caulim da mineradora Nossa Senhora de Lourdes do município de Equador/RN e resíduos de pegmatito de uma pedreira desativada da cidade de Parelhas, também no RN. Além disso, adicionamos Feldspato do tipo Albita e quartzo leitoso, provenientes da empresa Armil Mineração e três argilas de queimas diferentes: uma branca, uma creme e uma vermelha. Depois da seleção das matérias primas em estudo, foram realizadas as etapas de cominuição e peneiramento para que todas se encontrassem na granulometria de -200 mesh (< 75 micra), em que 5 gramas do resíduo foram destinadas à análise por Espectrometria por Fluorescência de Raio X (FRX). Depois disso, foram confeccionadas as amostras para os testes físicos, sinterizadas a 1200°C, com a finalidade de viabilizar o uso do



resíduo em estudo. Por fim, foi possível obter corpos cerâmicos do tipo porcelanato, potencializando o uso do resíduo em estudo.

Palavras-chave: Porcelanato; Revestimentos; Resíduos; Mineração; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The following paper will look at the reuse of mineral waste from the Seridó region of Rio Grande do Norte, which was used to produce ceramic masses. To this end, we used kaolin waste from the Nossa Senhora de Lurdes mining company in the municipality of Equador/RN and pegmatite waste from a deactivated quarry in the town of Parelhas, also in RN. We also added albite feldspar and milky quartz from the Arnil Mineração company and three clays from different firings: one white, one cream and one red. After selecting the raw materials under study, the comminution and sieving stages were carried out so that they were all at a particle size of -200 mesh (< 75 microns), in which 5 grams of the residue was sent for analysis by X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF). After this, the samples for the physical tests were made and sintered at 1200°C in order to make it feasible to use the waste under study. Finally, it was possible to obtain porcelain tiles, making it possible to use the waste under study.

Keywords: Porcelain tiles; Coatings; Waste; Mining; Sustainability.

INTRODUÇÃO

A mineração é uma das atividades mais essenciais para o desenvolvimento do homem, estando presente desde os nossos primórdios, seja para a sobrevivência humana ou para sua evolução. Diante disso, com o passar dos anos, as atividades minerárias passaram a suprir diversas áreas, e a extração desses recursos se tornou algo nocivo para o meio ambiente, problemática está enfrentada atualmente entre os mais diversos âmbitos.

O Brasil é um país com grandes reservas minerais, e o estado do Rio Grande do Norte não fica fora disso, contendo grande produção na região do Seridó tanto na mineração de modo geral quanto nas fábricas que utilizam como meio de sustento os revestimentos, havendo também telhas e tijolos. Dentro dessa perspectiva, há uma busca por alternativas sustentáveis para a redução dos impactos ambientais causados pela mineração, sejam estes em qualquer uma das etapas dos processos, que vão desde a extração até a parte de beneficiamento e tratamento dos minerais.

“Ao mesmo tempo em que os rejeitos acarretam prejuízos econômicos, sociais e ambientais, pode-se ter perspectivas quanto à redução na origem, à reciclagem, à redução de perdas a partir de pesquisas e utilização de novas tecnologias. Estas constituem uma importante metodologia da utilização de resíduos como matéria-prima alternativa

para diversos setores industriais, com a geração de emprego e renda, além da preservação do meio ambiente”. (SILVEIRA, 2015)

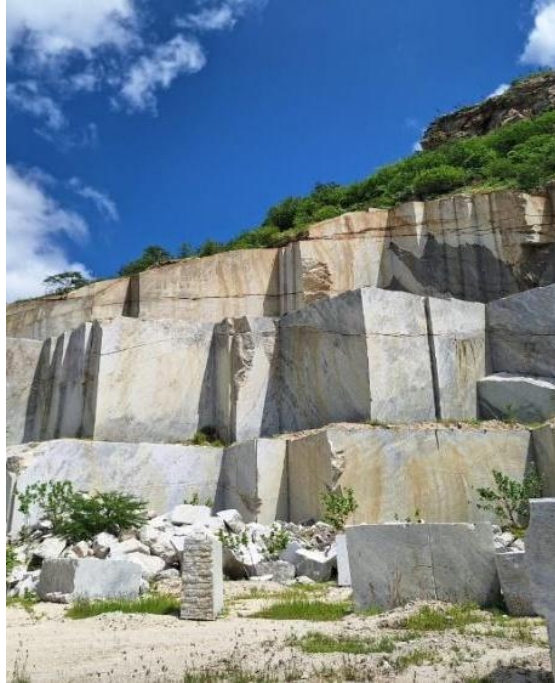
Assim, o vigente trabalho tem como objetivo principal utilizar os resíduos da mineração de pegmatito, provenientes de uma pedreira desativada na cidade de Parelhas, na região do Seridó do Rio Grande do Norte, e o rejeito de caulim que veio da mineração Nossa Senhora de Lourdes, no município de Equador, também na mesma região do estado, para a fabricação de revestimentos cerâmicos, área esta que tem destaque no RN principalmente na cerâmica vermelha. Para isso, serão feitas análises químicas para comprovação dos materiais químicos e sua potencialização na fabricação da cerâmica branca e, para os testes físicos, serão confeccionados corpos de prova para enriquecer ainda mais a pesquisa.

Figura 1: Resíduo de Pegmatito



Fonte: Autor (2024)

Figura 2: Pedreira Desativada de Pegmatito.



Fonte: Autor (2024)

Segundo Leite et al, na região nordeste, as principais indústrias mineradoras de caulim estão instaladas na região da Província Pegmatítica de Borborema do Seridó, localizada nos municípios do Equador (RN) e Junco do Seridó (PB). Essas mineradoras perdem em torno de 50% de caulim durante o beneficiamento. Essa grande perda é causada principalmente pela ineficiência dos processos de cominuição e classificação das usinas de tratamento de minérios, para os quais são apresentadas rotas tecnológicas para maximizar a sua recuperação.

Figura 3: Área de deposição dos rejeitos de caulim.



Fonte: Autor (2024)

Dessa forma, com a finalidade de diminuir os impactos destes resíduos sólidos, iremos adicionar esses materiais como matérias-primas alternativas para a produção da cerâmica branca, que é utilizada para revestimentos de ambientes internos ou externos, e atestar a sua qualidade dentro da indústria ceramista. Além disso, para a formulação do revestimento, também será adicionado matérias-primas fundamentais e indispensáveis, que no caso da pesquisa foram o quartzo (SiO_2), Feldspato do tipo albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e 3 argilas com cores de queima diferentes.

Segundo Grim (1958), o termo caulim é utilizado tanto para denominar a rocha que contém a caulinita, como o seu principal constituinte, quanto para o produto resultante do seu beneficiamento. Caulim é uma rocha de granulometria fina, constituída de material argiloso, normalmente com baixo teor de ferro, de cor branca ou quase branca.

O objetivo de se usar rejeito de caulim na cerâmica é aproveitar um material residual, que, de outra forma, seria descartado, promovendo uma utilização mais sustentável dos recursos. O caulim é uma argila rica em alumínio e sílica, e seu rejeito possui características que podem melhorar as propriedades dos corpos cerâmicos, como a plasticidade, a resistência mecânica e a durabilidade. Além disso, o uso do rejeito de caulim na fabricação de cerâmica reduz a necessidade de extração de novas



matérias-primas, contribuindo para a diminuição do impacto ambiental da indústria cerâmica, além de representar uma alternativa econômica e ecologicamente responsável.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, as amostras foram enviadas para o Centro de Tecnologia Mineral, na cidade de Currais Novos-RN, para que fosse realizado o FRX (Fluorescência de Raios-X). Segundo Júnior (2007), é uma técnica não invasiva que possibilita a identificação da composição e concentração dos elementos presentes em uma amostra. Nesse método, raios-X são utilizados para excitar os níveis eletrônicos dos átomos da amostra.

Após isso, as amostras foram preparadas, passando por um processo de identificação que incluiu a etapa de pesagem para controle da massa que passará pela fluorescência. Em seguida, foram submetidas à secagem e pulverização, garantindo a consistência necessária para as análises subsequentes. Em seguida, o pó resultante foi analisado por Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX), utilizando um sofisticado Espectrômetro de Bancada de Energia Dispersiva (EDXRF) da marca Thermo Fisher Scientific, modelo ARL QUANT'X. Vale ressaltar que o método à vácuo foi empregado com precisão para a leitura de elementos leves, expressos em percentual de peso em óxido de elemento.

Neste trabalho serão utilizadas 2 formulações, uma usando o rejeito de caulim e a outra o caulim puro, livre dos contaminantes presentes em seu resíduo. Além disso, será adicionado resíduo de pegmatito, quartzo e feldspato, citados acima, distribuídos em uma formulação específica, a qual veremos na tabela 1. Para os testes físicos, indispensáveis para atestar a viabilidade dos materiais na incorporação da cerâmica, foram confeccionados 10 corpos de prova para cada grupo que iremos trabalhar, totalizando 60 corpos-de-prova.

Todos os corpos de teste serão passados por instrumentos indispensáveis para o resultado obtidos, sendo estes: balança de precisão; forno estufa para reter a umidade das amostras; prensa uniaxial, a qual as peças passaram à 2,5 toneladas; forno mufla de alta tensão; e o uso do paquímetro digital, utilizado em diversos momentos para medir o comprimento e largura dos corpos de prova. Cada matéria mineral foi submetida ao processo de cominuição com o objetivo de quebrar o material e facilitar o seu peneiramento, realizado a 200# (mesh), que significa a nomenclatura do tamanho dos furos da peneira, e assim possibilitando a homogeneização.

Tabela 1 - Formulação dos corpos de prova.

Composto	Formulação 1 (F1)	Formulação 2 (F2)
Feldspato Albita	40%	40%
Argila	30%	30%
Quartzo	15%	15%
Caulim	0%	10%
Rejeito de Caulim	10%	0%
Rejeito de Pegmatito	5%	5%
Água Destilada	10%	10%

Fonte: Autor (2024)

Para a compactação dos corpos de prova, 12 gramas da massa cerâmica com adição de 10% de água serão dispostos em uma matriz uniaxial com dimensões de 60 x 20 x 5 mm, da qual, após prensagem à 2,5 toneladas mantida por um período de 1 minuto em prensa hidráulica da marca Marcon. Em seguida, os corpos de prova serão submetidos à secagem em forno estufa a 110°C por 24 horas, onde deverá ocorrer a perda da umidade e a consolidação da resistência mecânica à verde. A etapa de sinterização dos corpos de prova acontecerá em forno mufla, sob patamar de 60 minutos e taxa de aquecimento de 10°C/min. A sinterização das peças ocorrerá na temperatura de 1200° C, sendo o consecutivo resfriamento efetivado de forma lenta e gradual, com o forno desligado e fechado até o alcance da temperatura ambiente.

Por fim, destaca-se que para a realização da caracterização física, os corpos cerâmicos serão pesados em balança de precisão e terão suas dimensões feitas com o auxílio de um paquímetro digital imediatamente após os processos de prensagem, secagem e sinterização, sendo registrados os valores correspondentes a largura, comprimento, espessura, peso, peso úmido e peso imerso das peças. Para a realização da caracterização física dos corpos cerâmicos da pesquisa, será feito uma média com as 10 amostras de cada formulação, sendo 6 grupos cerâmicos diferentes, os quais passarão pelos ensaios físicos de retração linear, perda ao fogo e absorção de água, conforme metodologia descrita por Souza (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De início, as tabelas abaixo (Tabela 2e 3) dizem respeito aos resultados do FRX dos materiais levados para análise química. Foram analisados os rejeitos utilizados, já que a principal variante da pesquisa é a incorporação dos mesmos. Para uma discussão maior dos resultados, também foram

enviadas amostras do pegmatito e do caulim, sem serem os “restos” dos materiais, apenas para comparação química deles e assim poder confirmar a utilização dos materiais a partir de sua fórmula química. Para facilitar o entendimento, as amostras denominadas P, RP, C e RC irão significar, respectivamente: pegmatito, resíduo de pegmatito, caulim e rejeito de caulim.

Tabela - FRX do resíduo de Pegmatito e rejeito de caulim (RC).

Resíduo de Pegmatito				Resíduo de Caulim			
Óxidos	%	Elemento	%	Óxidos	%	Elemento	%
SiO ₂	70,6	Si	33,01	SiO ₂	52,87	Si	24,72
Al ₂ O ₃	17,42	Al	9,22	Al ₂ O ₃	38,74	Al	20,50
K ₂ O	6,19	K	5,14	K ₂ O	3,72	K	3,09
P ₂ O ₅	2,45	P	1,07	P ₂ O ₅	2,98	P	1,30
Na ₂ O	1,59	Na	1,18	Fe ₂ O ₃	1,36	Fe	0,95
Fe ₂ O ₃	1,0	Fe	0,70	Rb ₂ O	0,1	Rb	0,06
CaO	0,57	Ca	0,41	Ti ₂ O	0,07	Ti	0,04
MnO	0,06	Mn	0,05	Nb ₂ O ₅	0,05	Nb	0,03
TiO ₂	0,04	Ti	0,02	BaO	0,03	BaO	0,02
Rb ₂ O	0,04	Rb	0,03	Cl	0,02	Cl	0,02
Co ₃ O ₄	0,01	Co	0,01	Co ₃ O ₄	0,02	Co	0,01
Zr	0,01	Zr	0,01	ZnO	0,02	ZnO	0,01
PbO	0,01	Pb	0,00	Outros	0,06	Outros	0,04

Fonte: Autores

Como observado, o resíduo de pegmatito (RP) possui uma elevada porcentagem de óxido de sílica (SiO₂), o que significa que dentro da peça cerâmica ele irá representar a parte “esqueleto” do corpo de prova, além da presença, em menor quantidade, de outros minerais que também potencializam o seu uso para fabricação de revestimentos. Além do óxido, a sílica também pode ser parte de aluminossilicatos, presentes em muitos grupos de minerais. Já o rejeito de caulim (RC) apresenta um pouco mais de 50% de sílica e quase 40% de alumínio, o que é característico do grupo dos argilo-minerais, atestando também, na teoria, a sua aplicação dentro da cerâmica, visto que a argila é um dos componentes básicos para fabricação destes

Tabela 3 - FRX do Pegmatito (P) e do Caulim (C).

Pegmatito				Caulim			
Óxidos	%	Elemento	%	Óxidos	%	Elemento	%
SiO ₂	68,08	Si	31,83	SiO ₂	52,45	Si	24,52
Al ₂ O ₃	19,75	Al	10,45	Al ₂ O ₃	41,98	Al	22,22
K ₂ O	8,62	K	7,15	P ₂ O ₅	2,72	P	1,19
Fe ₂ O ₃	1,53	Fe	1,07	Fe ₂ O ₃	1,56	Fe	1,09
CaO	1,44	Ca	1,03	K ₂ O	0,92	K	0,76
MnO	0,3	Mn	0,23	CaO	0,07	Ca	0,05
TiO ₂	0,1	Ti	0,06	Cl	0,06	Cl	0,06
Rb ₂ O	0,06	Rb	0,06	MnO	0,04	Mn	0,03
Cr ₂ O ₃	0,03	Cr	0,02	Rb ₂ O	0,04	Rb	0,04
Co ₃ O ₄	0,02	Co	0,01	Bao	0,04	Ba	0,04
ZrO ₂	0,02	Zr	0,01	Co ₃ O ₄	0,02	Co	0,02
Nb ₂ O ₅	0,01	Nb	0,01	ZrO ₂	0,02	Zr	0,01
Outros	0,04	Outros	0,01	Outros	0,08	Outros	0,06

Fonte: Autores

Prosseguindo, ao observar os resultados das matérias-primas, não houve tanta variação dos componentes químicos em ambos os casos, em que as diferenças no óxido de sílica (SiO₂) e no óxido de alumínio (Al₂O₃) foram de aproximadamente 2% apenas. Assim, pensando no lado químico, os materiais se assemelham bastante, o que significa dados positivos para a sua utilização em outras aplicações em forma de resíduo. Entretanto, para uma maior comprovação desses dados, os testes físicos são indispensáveis para os revestimentos cerâmicos, onde iremos ver a seguir os testes de absorção de água e de retração linear.

Absorção de Água e Retração Linear

O teste de absorção de água diz respeito à porcentagem de água que os corpos-de-prova conseguiram absorver, e para isso eles foram colocados submersos por um período de 24 horas. O teste é um dos mais importantes pois, de acordo com a ABNT NBR 6480, o grupo cerâmico diz respeito ao seu nível de absorção. A tabela 4 tem-se os resultados obtidos em cada uma das formulações, atendendo a legenda: São Gonçalo Caulim (SGC), São Gonçalo Rejeito de Caulim (SGRC), Equador Caulim (EC), Equador Rejeito de Caulim (ERC), Tavares Caulim (TC) e Tavares Rejeito de Caulim (TRC).



Tabela 4: Resultado da absorção de água.

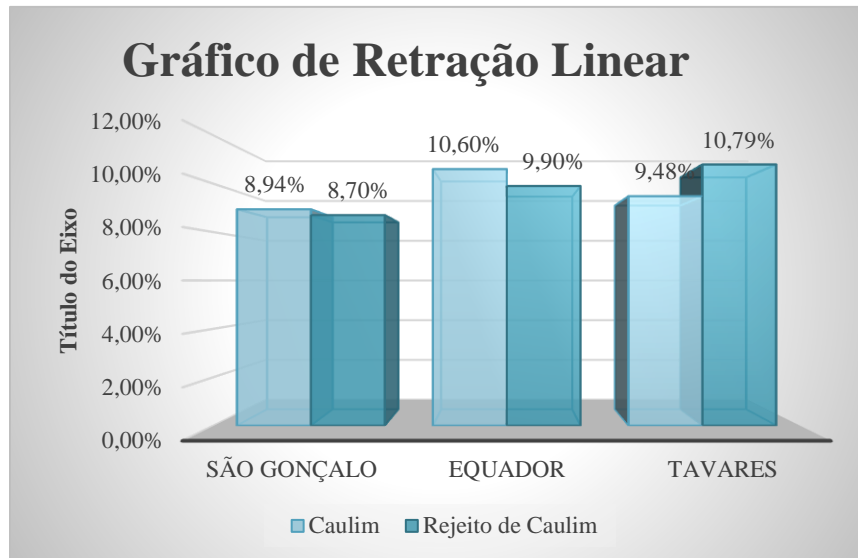
ABSORÇÃO DAS PEÇAS – 1200°C						
Formulações	SGC	SGRC	EC	ERC	TC	TRC
ABS	3,41%	4,05%	1,27%	1,32%	0,41%	0,38%

Fonte: Autor (2024)

Como observado, as peças tiveram uma absorção entre 4% e 0,3%, onde foi possível obter 3 tipos de cerâmica diferentes: o semi-grés, o grés e o porcelanato. As peças classificadas como porcelanato foram as de argila Tavares, em que as peças com rejeito de caulim tiveram uma absorção ainda menor, com 0,38%. As peças com argila de Equador, conforme a absorção entre 0,5% e 3%, são chamados de grés, e mais uma vez quase não houve variação da absorção. Por fim, as peças com a maior absorção foram classificadas como semi-grés, por terem absorção entre 3% e 6% de água. De acordo com Babiski (2012), a menor infiltração de água nos corpos-de-prova determina uma maior durabilidade e resistência ao ambiente natural ao qual o material será exposto. Assim, essa infiltração diz respeito, a resistência mecânica das amostras que funciona de maneira inversamente proporcional: quanto menor a absorção de água, maior a sua resistência. Por esse motivo, esses revestimentos são utilizados para ambientes internos na maioria das vezes, o que viabiliza a implementação dos resíduos.

Conforme Malchides (1996) entre as características das cerâmicas observa-se a retração linear, consequência do processo de sinterização que se define pelo agrupamento de moléculas que compõem a cerâmica à medida que a temperatura aumenta, estando sempre abaixo do ponto de fusão do material, fazendo com que as imperfeições e poros diminuam, aumentando assim a densidade do material e diminuindo suas dimensões.

Figura 4: Gráfico de retração linear.



Fonte: Autor (2024)

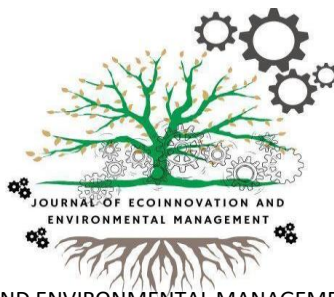
Na figura 4 tem-se os resultados do teste de retração linear, que mede, em outras palavras, o quanto a peça diminui de tamanho. Posterior a secagem, as peças tinham proximamente 60mm de comprimento e 20mm de largura, mantendo a média das medidas da matriz. Foi possível observar que os corpos com a argila de São Gonçalo tiveram resultados muito parecidos, mesmo com a mudança de material, e as outras argilas variaram menos de 1%. O maior resultado foi o da argila Tavares com rejeito de caulim, com 10,79% de retração, e a argila de Equador teve, em ambos os casos, a maior diminuição de tamanho entre as argilas. Logo, foi possível observar que a utilização do resíduo ou da matéria prima não variou tanto, significando que é possível utilizá-los dentro da massa cerâmica.

CONCLUSÃO

Portanto, ao final da pesquisa, foi possível obter resultados positivos com a implementação dos resíduos sólidos deixados pela atividade da mineração dentro da massa cerâmica, com ótimas amostras que convergiram em porcelanato. Por fim, é necessário relembrar a importância da pesquisa na área ambiental e realizar propostas que caminhe mutuamente com a sustentabilidade, visando assim um ambiente mais sustentável, e promovendo o conhecimento acadêmico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu orientador e coordenador do Laboratório de Processamento Mineral e Resíduos (LPMR), o professor Doutor Marcondes Mendes de Souza, por ter



me dado a oportunidade de participar do grupo de Pesquisa, Lavra, Beneficiamento e Meio Ambiente, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Sem essa oportunidade, não poderia ter uma experiência acadêmica tão grande na instituição, em que além de ter me inserido no meio científico também aprendi a ser um cidadão melhor. Também agradeço grandemente à minha família, pois sem o incentivo e luta dos meus pais para que eu tivesse uma boa educação desde criança, eu não teria chegado até aqui. Além deles, sou grato aos meus amigos e companheiros de pesquisa, pois eles são fundamentais para o trabalho em equipe e uma ótima convivência institucional. Posso afirmar que o IFRN é a minha segunda casa, e que toda a equipe do LPMR é uma grande família que Deus me deu.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR –Placas Cerâmicas para Revestimentos – especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

BABISK, M. P. et al. Incorporação de eliminação de quartzitos em cerâmica vermelha. *Holos*, v. 6, p.7, 2012.

GRIM, R. E. *Clay Mineralogy*. New York: McGraw-Hill, (Geological Science Series), p.29.

JUNIOR, A. da S. M. Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios de reflexão total usando radiação síncrotron. 2007. Tese de Doutorado, UNICAMP. p.244

LEITE, J. Y. P et al, Mineração de Caulim de Pequena Escala em APL de Base Mineral – Novo Layout para sua Otimização. In: XXII ENTMME / VII MSHMT – Ouro Preto-MG, novembro 2007. p. 1

MELCHIADES, F.G. et. al. A curva de gresificação: Parte I. *Revista Cerâmica Industrial*, São Paulo, v.1, n.4/5, p. 30-31, ago./dez. 1996

SILVEIRA, Marina Duque. Utilização de resíduos de mineração na construção civil. 2015. p.11

SOUZA, MM. Estudo da adição de resíduos de quartzitos para obtenção de grés porcelanato. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, p. 53-55. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.