



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHAREL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FERNANDA MEDEIROS DE ARAÚJO

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO
SIMPLES DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS
CONFECCIONADAS COM PERLITA**

ANGICOS
2021

FERNANDA MEDEIROS DE ARAÚJO

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO
SIMPLES DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS
CONFECCIONADAS COM PERLITA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Angicos, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Profa. Ma. Andrea Saraiva de Oliveira

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A658d Araújo, Fernanda Medeiros.
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO
SIMPLES DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS CONFECCIONADAS
COM PERLITA / Fernanda Medeiros Araújo. – 2021.
31 f. : il.

Orientadora: Prof. Ma. Andrea Saraiva Oliveira.
Monografia (graduação) – Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Materiais Alternativos. 2. Resíduos de
Quartzito. 3. Perlita. 4. Materiais Pozolânicos.
I. Oliveira, Prof. Ma. Andrea Saraiva, orient.
II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FERNANDA MEDEIROS DE ARAÚJO

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO
SIMPLES DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS
CONFECCIONADAS COM PERLITA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 31/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ma. Andrea Saraiva de Oliveira
(UFERSA)
Presidente

Profa. Dra. Sâmea Valensca Alves Barros
(UFERSA)
Membro Examinador Interno

Engenheira Civil Maria de Lourdes Xavier de
França Neta
Membro Examinador Externo

A Saionara Medeiros de Araújo (*in memoriam*), minha tia, que foi uma fortaleza desde o começo dos meus estudos. Em cada fase esteve comigo, mostrando-me que conseguiria ser o que eu quisesse ser.

A Zulmira De Medeiros Alves, (*in memoriam*), minha avó, por sempre ter me apoiado em todas as minhas escolhas, e vibrado as minhas conquistas quando estava entre nós.

Dedico aos que estiveram, apoiaram, comemoraram comigo os bons momentos e ajudaram nos momentos de dificuldades.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar todas as bênçãos, aprovações e fazer com que eu chegasse até aqui, pelo aprendizado que me concedeu e proteção durante a realização dos ensaios, pois vivemos um período marcado pela pandemia causada pelo SARS-CoV-2 (vírus da COVID-19). A minha mãe por sempre se colocar a frente de tudo para me ajudar, pronta para enfrentar comigo qualquer obstáculo, a minha família que é minha base de apoio em todas as situações. A minha orientadora pela ajuda, paciência e dedicação em todo o processo, desde a escolha do tema até os resultados finais. A parte prática foi desenvolvida adotando todos os protocolos de segurança para evitar a contaminação pela COVID-19. Enfim, todo esforço foi de suma importância para conclusão deste trabalho de conclusão de curso de Ciência e Tecnologia.

A Banca Examinadora por ter aceitado o convite para analisar o trabalho, e prestigiar a apresentação, tornando-os membros importantes para contribuir com esta pesquisa com seus conhecimentos.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”

Max Weber.

RESUMO

O setor econômico da construção civil está com atenuado crescimento nas últimas décadas, com base nisso, é inevitável o aumento de produção de materiais que são utilizados nesse setor e seus impactos negativos para o meio ambiente. O presente trabalho analisa o comportamento a compressão simples de argamassa confeccionada com resíduos de quartzito e com perlita expandida moída. O primeiro se origina de processos de corte e serragem das placas de quartzitos, que são rochas ornamentais com alta resistência mecânica. A perlita por sua vez é um material amorfo, ou seja, pode substituir parcialmente o cimento e se origina naturalmente de rochas vulcânicas. A caracterização química-mineralógica dos materiais utilizados se deu a partir das seguintes técnicas: difração de raios X (DRX), espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). Foram moldados três corpos de prova para que passasse pelo ensaio de resistência à compressão simples e os resultados da argamassa nesse estudo se mostrou muito eficiente para uso em assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Palavras-chave: Quartzito. Agregados. Perlita. Resistência a compressão.

ABSTRACT

The economic sector of civil construction has been showing attenuated growth in recent decades, based on this, the increase in the production of materials that are used in this sector and its negative impacts on the environment is inevitable. The present work analyzes the simple compression behavior of mortar made with quartzite waste and ground expanded perlite. The first originates from the cutting and sawing processes of quartzite plates, which are ornamental rocks with high mechanical resistance. Perlite, in turn, is an amorphous material, that is, it can partially replace cement and originates naturally from volcanic rocks. The chemical-mineralogical characterization of the materials used was based on the following techniques: X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence spectrometry (XRF). Three specimens were molded to pass the simple compressive strength test and the results of the mortar in this study proved to be very efficient for use in laying and coating walls and ceilings.

Keywords: Quartzite. Aggregates. Perlite. Resistance to compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Granulometrias distintas dos resíduos de quartzito	16
Figura 2 - Espectros de raios x dos resíduos de quartzito	25
Figura 3- Espectros de raios x da perlita	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do cimento Portland CP V ARI MAX.....	21
Tabela 2 – Composição química dos resíduos de quartzito	23
Tabela 3 - Composição química da perlita.....	23
Tabela 4 - Exigências químicas para materiais pozolânicos	24
Tabela 5 - Valores da resistência a compressão simples dos CPs após 28d.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPs	Corpos de Prova
DRX	Difração de Raios X
FRX	Fluorescência de Raio X
ISO	International Organization for Standardization
JCPDS	Joint Committee on Powder Diffraction Standards
MCS	Material Cimentício Suplementar
NBR	Normas Brasileiras
PB	Paraíba
PE	Perlita Expandida
PPC	Perlita em Pó Calcinado
RCS	Resistência a Compressão Simples
RQ	Resíduo de quartzito

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Quartzito.....	15
2.2	Tipos de resíduos.....	16
2.3	Aplicação dos resíduos de quartzito na construção civil.....	16
2.4	POZOLANAS NATURAIS E ARTIFICIAIS	17
2.4.1	POZOLANAS NATURAIS	18
2.4.2	POZOLANAS ARTIFICIAIS	18
2.4.3	PERLITA	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Materiais.....	21
3.2	Métodos.....	21
3.2.1	Caracterização química mineralógica	21
3.2.2	Preparação das argamassas.....	22
3.2.3	Determinação da resistência à compressão simples das argamassas.....	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1	Caracterização química dos resíduos de quartzito e da perlita.....	23
4.2	Caracterização mineralógica dos resíduos de quartzito e da perlita.....	24
4.3	Comportamento mecânico das argamassas estudadas - RCS.....	26
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores econômicos que mais faz uso dos recursos naturais e apresenta potencial para absorver matérias primas alternativas, buscando se tornar um setor sustentável e contribuir para gestão dos recursos sólidos não só gerados por ele, mas também pelos demais setores econômicos. Por isso, existe uma grande busca por materiais alternativos, com o intuito de se amenizar os impactos negativos causados pela exploração desenfreada dos recursos naturais e deposição inadequada dos resíduos sólidos gerados pelos diversos setores produtivos.

Logo, abre-se um “leque de possibilidades” para o desenvolvimento de pesquisas em busca de materiais alternativos com propriedades mecânicas satisfatórias, que contribuam para diminuir os impactos negativos ao meio ambiente causados pela exploração desenfreada dos recursos naturais e pela destinação inadequada dos resíduos sólidos gerados na exploração dos recursos minerais. Neste contexto, destacam-se estudos sobre o uso da perlita expandida moída e dos resíduos de quartzito em argamassas separadamente com o intuito de promover a gestão dos resíduos sólidos e de lançar materiais alternativos.

O quartzito é uma rocha ornamental que apresenta característica de alta resistência mecânica, encontrado em abundância no estado da Paraíba, destacando-se a exploração no município de Várzea/PB. Nos processos de exploração e beneficiamento do quartzito visando sua comercialização acaba originando resíduos, sendo eles descartados indevidamente, prejudicando o meio ambiente (JÚNIOR *et al.*, 2018).

A perlita por sua vez é considerada um material amorfo e com alto desempenho, ou seja, pode ser usado para substituir parcialmente o cimento na formação de argamassa e assim contribuir para diminuição da emissão de CO₂ no meio ambiente já que reduz a quantidade de cimento (KOTWICA *et al.*, 2017).

Estudos anteriores demonstraram a viabilidade técnica quanto ao desempenho mecânico, avaliado através da resistência à compressão simples, do uso de resíduos de quartzito em substituição ao agregado convencional em argamassas e concreto. Demonstrando a importância de avançar nas pesquisas de maneira a se ter novos resultados que contribuam para aumentar o leque de possibilidade de promover a gestão dos resíduos sólidos gerados na exploração das rochas ornamentais e contribuam para diminuição da quantidade de cimento utilizado, e que tornem o setor da construção civil sustentável. Então, o presente trabalho visa investigar o efeito da substituição parcial do cimento Portland pela perlita expandida moída no comportamento

mecânico de argamassas alternativas, confeccionadas com agregado oriundo dos resíduos de quartzito em substituição total ao agregado convencional.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a resistência mecânica de argamassas alternativas confeccionadas com perlita expandida moída em substituição parcial ao cimento e resíduos de quartzito em substituição total ao agregado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização química e mineralógica da perlita expandida moída.
- Realizar a caracterização química e mineralógica do quartzito.
- Determinar a resistência à compressão simples das argamassas confeccionadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Quartzito

As características que fazem os quartzitos serem considerados rochas ornamentais são: material com alto valor de dureza na escala de Mohr; apresenta clivagem, que é a propriedade que o material tem de se romper em uma única direção, resultando em um corte com superfície lisa e permite ser extraído em blocos; a beleza estética; elevada resistência, entre outras (SANTOS *et al.*, 2014).

O quartzito é classificado como rocha ornamental porque devido as características citadas anteriormente pode ser utilizado para diversos fins na execução das obras, como: balcões, revestimento de escadas, banheiros e fachadas, enfim, em qualquer aplicação que necessite de um revestimento resistente e durável (SANTOS *et al.*, 2014).

A exploração das rochas ornamentais no Brasil vem se destacando graças a formação geológica histórica do país, dando um bom impulso econômico a ele e influenciando várias pesquisas com as rochas e suas características minerais, tanto na área geológica, como para o setor da construção civil. As áreas que se destacam com maior presença de minerais, dentre eles o quartzito, são a região Sudeste, em Minas Gerais e Espírito Santo, e o Nordeste, na Bahia, Rio Grande do Norte e Paraíba, destacando-se o município de Várzea (INSTITUTO METAS, 2002).

Na cidade de Várzea/PB, a exploração e comercialização das rochas de quartzito movimentam a economia do estado da Paraíba. E a alta produção de placas acaba gerando um grande volume de resíduos de quartzito descartados inadequadamente no entorno da cidade (BABISK *et al.*, 2010).

Os quartzitos de Várzea são constituídos por quartzo, que apresentam em sua composição química mais de 75% de SiO_2 , podem apresentar coloração branca, rosa, dourada, verde ou preta, e quando extraídos em blocos passam pelo beneficiamento visando a confecção de lajotas quadradas ou retangulares para aplicação em revestimento de paredes, calçadas, piscinas e em pisos de construção moderna e rústica. Gerando dois tipos de resíduos: aparas de quartzito e o pó de quartzito (Souza *et al.*, 2011).

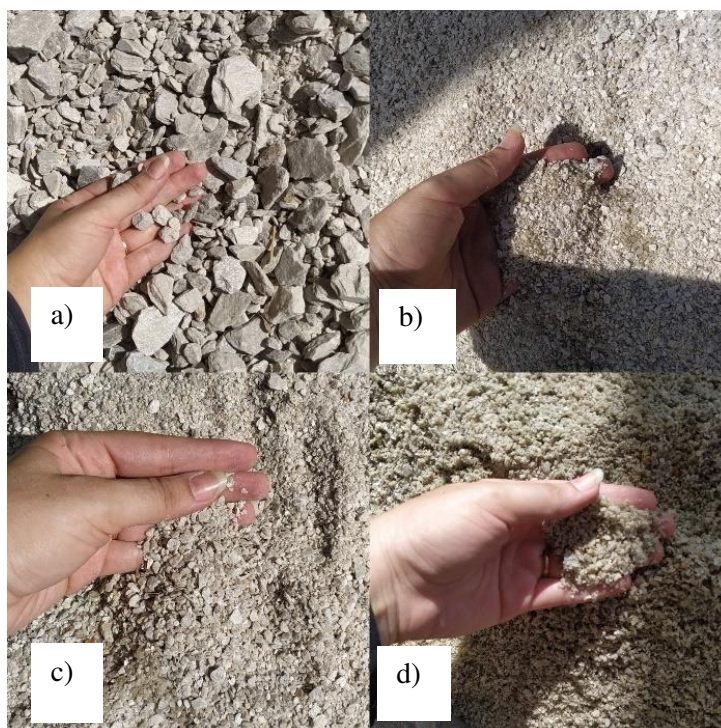
A geração de um grande volume de resíduos vem desencadeando estudos cujo objetivo principal é dar uma utilizar a esses resíduos, contribuindo para promover a gestão adequada deles e evitar a poluição do meio ambiente local.

2.2 Tipos de resíduos

Na fase de corte dos blocos de rochas nas dimensões comerciais ocorre a geração do pó de quartzito (resíduo fino) proveniente da abrasão do disco de corte na rocha e de aparas que são fragmentos de rochas (resíduo grosso) com tamanho e espessura não comercializável (Babisk *et al.*, 2012). Júnior *et al.* (2018) corroboram com essa informação afirmando que produção de placas de quartzito gera resíduos grosseiros, foliados e outros finos, com granulometrias distintas pelo processo de serragem, corte e polimento. Destacando que esses resíduos podem ser aproveitados como agregado no setor da construção civil.

De acordo com a literatura estudada, a forma granulada é normalmente destinada para uso no setor da construção civil como agregado para argamassa e concreto, devido sua resistência e dureza. Como mostrado na Figura 1, os resíduos de quartzito apresentam granulometrias diferentes após as aparas de quartzito (resíduo grosso) serem beneficiadas através dos processos de moagem e de peneiramento.

Figura 1- Granulometrias distintas dos resíduos de quartzito



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

2.3 Aplicação dos resíduos de quartzito na construção civil

A aplicação de resíduos sólidos na construção civil causa um aumento de materiais

dispostos para benefício geral desse setor econômico, além de entregar uma destinação mais positiva para esses resíduos e amenizar sua exposição no meio ambiente. Os resíduos de quartzito vêm ganhando espaço dentro da construção civil, tudo isso se deve as suas propriedades que beneficiam as obras, tanto com sua alta resistência sendo utilizadas em argamassas e concretos, como em suas características estéticas sendo usadas em acabamentos.

Alecrim (2009) afirma que os resíduos de quartzito foliados têm viabilidade técnica benéfica no uso de misturas de resíduo-solo para pavimentos, tanto pelo módulo de resiliência como pelos valores de Índice Suporte Califórnia, que é um ensaio que permite saber se o material tem um bom comportamento em pavimentos.

Júnior *et al.* (2018) usaram os resíduos foliados em pavimentos, sendo esses intertravados, mas os resultados não foram bem como esperados, devido os valores de resistência mecânica dos blocos constituídos com os resíduos de quartzito serem inferiores aos estabelecidos pela ABNT NBR 9781 (35MPa) com relação ao tráfego de veículos. Já com relação as calçadas com tráfego de pedestres, foi satisfatório seu comportamento e se faz viável para esse uso.

Silva *et al.* (2018) investigaram o uso dos resíduos de quartzito tanto finos como grossos como agregados em massa cerâmica para revestimentos, focando no grés porcelanato. Foram obtidos resultados satisfatórios com relação a resistência dos materiais cerâmicos com beneficiamento dos resíduos, sendo classificados com relação ao valor de seu peso de resíduo de quartzito de acordo com a ISO 13006: 15% - porcelanato e 20% - grés porcelanato.

Já Dias (2017) realizou a agregação miúda dos resíduos de quartzito de Minas Gerais (MG) para produzir argamassa colante. Sendo substituído integralmente, os resíduos possuem boas qualidades quanto ao custo, sendo economicamente viável, devido suas propriedades químicas-mineralógicas e reduz os impactos causados pelo setor econômico em questão.

2.4 POZOLANAS NATURAIS E ARTIFICIAIS

A indústria cimentícia vem se intensificando junto com o aumento das obras civis ao longo dos anos e isso faz com que um maior número de CO₂ seja transmitido para a atmosfera, como forma de amenizar esse impacto, vários estudos estão sendo realizados para analisar formas de continuar a produção com menos malefícios ao meio ambiente. Sendo assim, uma das formas encontradas para essa diminuição, é substituindo o clínquer por Materiais Cimentícios Suplementares (MCS), dando como exemplo a escória de alto forno e a cinza volante, que já são comumente utilizados. Outros materiais suplementares que estão sendo utilizados pela indústria, são as pozolanas naturais e artificiais (ABRÃO, 2017).

As pozolanas são definidas como materiais siliciosos ou sílico-aluminosos, que contém um elevado teor de sílica em forma reativa, isto é, numa forma qualquer não cristalina (vítrea) e finamente pulverizada capaz de reagir, na presença de água e à temperatura normal, com hidróxido de cálcio. São classificadas em: naturais, que precisam apenas da moagem para apresentar atividade pozolânica; e artificiais que são produzidos já com a característica pozolânica, como as escórias metalúrgicas (MONTANHEIRO *et al.*, 2002).

É importante destacar que esses materiais não apresentam propriedades aglomerantes sozinhos, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, o que resulta em compostos com propriedades aglomerantes. E podem modificar algumas características do cimento, além de se fazer necessário o uso de maior quantidade de água, assim sendo viável o seu uso moderado, sendo as principais vantagens que resultam da adição de pozolanas ao cimento comum são a sua hidratação lenta, logo com baixa libertação de calor, e o aumento de resistência do concreto e argamassas resultantes aos sulfatos e as reações álcali-agregado (ABRÃO, 2017; MONTANHEIRO *et al.*, 2002).

2.4.1 POZOLANAS NATURAIS

Fidelis (2018) descreve as pozolanas naturais como materiais originados de processos vulcânicos ou sedimentares, ou seja, são encontrados diretamente na natureza, e que quando passados por processos como britagem e moagem, acabam apresentando características pozolânicas, normalmente após serem ativados termicamente. Com relação a composição química, destacam-se a sílica amorfa, alumínio e óxido de ferro.

As pozolanas naturais, de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014), tem exemplo comuns o diatomito, terras diatomáceas que tem origem fóssil, e a perlita, oriunda de rocha vulcânica, ambos são materiais que apresentam alto teor de porosidade e atividade pozolânica, mas a perlita ao ser tratada termicamente para obter expansão acaba sendo considerada artificial.

2.4.2 POZOLANAS ARTIFICIAIS

As pozolanas artificiais são materiais produzidos industrialmente, ou derivados de cinzas volantes de processos de queima industrial, sendo a cinza volante, obtida pela precipitação electrostática das poeiras contidas no fumo produzido pela queima de combustível nas centrais termoelétricas a carvão, a pozolana artificial mais comum (FIDELIS, 2018).

Também são usadas as argilas calcinadas como material pozolânico artificial, sendo as mais utilizadas: cauliníticas, montmoriloníticas e ilitas. O comportamento pozolânico das artificiais são semelhantes as naturais, o que difere são só as formas de obtenção da atividade pozolânica, onde as naturais passam por menos processos para obtenção da característica de pozolanas (BARATA, 1998).

2.4.3 PERLITA

De acordo com Erdem *et al.* (2007) e Rashad (2016), a perlita é encontrada vastamente em países como Turquia, EUA, Japão, Hungria e Itália, ao todo são 6.700 milhões de toneladas de reservas de perlita no mundo e o lugar que mais se destaca é a Turquia com as maiores reservas.

A perlita é uma rocha vulcânica de ocorrência natural que pode ter seu volume expandido até 20 vezes o seu tamanho original quando aquecida de 800-1200°C. A perlita expandida atua como um excelente isolante, tanto térmico como acústico, possuindo alta resistência ao calor, sendo classificada como material ultraleve. Apresenta coloração branca (GHASSABZADEH *et al.*, 2010). Com relação a sua composição química tem quantidades mais significativas de sílica amorfa (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) e quantidades menores de outros óxidos (RASHAD, 2016).

A perlita é usada em várias áreas devido suas composições químicas e propriedades físicas, citando como exemplos o setor da construção civil, da agricultura e da horticultura. O seu uso em vários estados, seja ele bruto, expandido granulado ou em pó, torna a perlita um material com boa diversidade de estudo. A sua expansão acontece devido a grande quantidade de água existente em seus poros no estado bruto. O processo pode ser comparado com o de fazer pipoca, ao atingir seu limite de aquecimento estoura e aumenta significativamente seu volume. Chegando a expandir de quatro a vinte vezes do seu volume original. Após isso, torna-se um material granulado e inerte, ou seja, não reage quimicamente, sendo este um dos pontos positivos do material (CHANDRA; BERNTSSON, 2002).

Os materiais pozolânicos, segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014), são materiais silicosos ou sílico aluminosos que apresentam pouca ou nenhuma atividade aglomerante, entretanto, quando em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio a temperatura ambiente originando compostos com características aglomerantes. A principal exigência química para um material ser considerado pozolânico é a porcentagem de presença dos seguintes óxidos em sua composição SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 , ou seja, se faz necessário um percentual mínimo de

70% desses compostos para que a classificação como material pozolânico seja aceita. Outro critério citado é quanto à granulometria, que deve ser menor que 45 μ m. Daí a necessidade da caracterização da perlita expandida moída para verificar se classifica como pozolana ou não.

Ramezaniapour *et al.* (2014) analisaram a resistência à compressão e a resistência à penetração de cloreto do concreto com Perlita em Pó Calcinado (PPC) como material cimentício suplementar (MCS).

Já Kotwika *et al.* (2017) empregou o resíduo de perlita expandida como material cimentício suplementar com substituição de 0 a 35% do cimento.

Diante do exposto, buscou-se utilizar nessa pesquisa a perlita expandida moída como MCS, para tal se realizou a análise da composição química e mineralógica da perlita expandida moída.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados foram cimento Portland CP V ARI MAX (Nacional, Sociedade Brasileira de Cimento Portland); perlita e resíduos de quartzito. A escolha do cimento foi feita por não conter adição de pozolana em sua composição (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química do cimento Portland CP V ARI MAX.

Óxidos presentes	CaO (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	PF ^a (%)	C ₃ A ^b (%)
Cimento	61,35	19,1	1,33	5,33	4,1	4,87	1,04	0,5	2,2	7,18

^a PF: Perda ao fogo; ^b C₃A = 2,650(%Al₂O₃) – 1,692(%Fe₂O₃).

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

A perlita utilizada neste trabalho foi oriunda da Empresa Bentonita do Nordeste S. A., localizada no Distrito Industrial do Município de Campina Grande/PB. A mesma passou pelo processo de beneficiamento, que consistiu em passar no moinho (Marconi) modelo MA 366 e para deixá-la na granulometria do cimento.

Já o resíduo de quartzito utilizado foi cedido pela Empresa Tecquímica do Brasil, localizada no município de Várzea/PB. Estes foram utilizados em substituição total ao agregado convencional e já foram cedidos na granulometria utilizada.

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização química mineralógica

A composição química dos materiais foi determinada por meio da espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), usando o modelo Shimadzu EDX-720 para obtenção dos óxidos presentes na composição das amostras.

A caracterização mineralógica foi realizada utilizando a difração de raios X (DRX) que consiste em uma análise qualitativa capaz de identificar as fases mineralógicas presentes na amostra. Para esta análise, as amostras são colocadas em porta amostra de alumínio e depois no Difratorômetro Shimadzu XRD-6000 com radiação CuK α , tensão de 40kV, corrente de 30mA, modo de escaneamento por passos (fixed time scan), com passo de 0,02 e tempo de contagem

de 0,6s, com ângulo 2θ percorrido de 5° a 60° .

3.2.2 Preparação das argamassas

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos com dimensões (50X100mm) para o traço estudado e definido no planejamento experimental realizado por Barros *et al.* (2016), a quantidade de água foi determinada para se obter a consistência padrão (260 ± 10 mm). Após a moldagem, os mesmos foram curados por período de 48h em câmara úmida com 100% de umidade relativa. Logo depois, desmoldados e colocados em cura úmida por 28d.

3.2.3 Determinação da resistência à compressão simples das argamassas

A resistência à compressão simples foi determinada com velocidade de carga de ($0,25 \pm 0,05$) MPa/s, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1997). O ensaio de RCS foi realizado em Máquina Universal, marca SHIMADZU AG-IS 100KN.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização química dos resíduos de quartzito e da perlita

A Tabela 2 apresenta a composição química do resíduo de quartzito. Percebe-se que ele possui alto teor de SiO_2 (67,5%) e Al_2O_3 (17,28%).

Tabela 2 – Composição química dos resíduos de quartzito

Óxidos presentes	RQ (%)
SiO_2	67,50
Al_2O_3	17,28
K_2O	7,22
Fe_2O_3	2,20
MgO	1,62
CaO	1,20
SO_3	0,36
BaO	0,21
Perda ao fogo	2,00

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Os resultados obtidos na composição química se assemelham com os obtidos por Silva *et al.* (2019) e Babisk *et al.* (2012), visto que os resíduos são oriundos da mesma região. O alto teor de sílica indica que o maior componente mineralógico é o quartzo e o elevado teor da alumina indica que na composição mineralógica dos resíduos de quartzito irá ter predominância de caulinita e mica biotita. Os resultados obtidos no difratograma do RQ (Figura 2) corroboram com a composição química obtida.

Na Tabela 3 estão contidos os resultados obtidos na determinação da composição química da perlita. Como esperado, apresenta predominância de SiO_2 (71,38%) e Al_2O_3 (15,05%).

Tabela 3 - Composição química da perlita

Óxidos presentes	PE (%)
SiO_2	71,38
Al_2O_3	15,05
K_2O	5,18
Na_2O	2,32
CaO	0,89
Fe_2O_3	0,76
Equivalente alcalino em termos de NaO_2	5,73
Perda ao fogo	3,90

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

A composição química obtida para perlita, a perda ao fogo e o equivalente alcalino encontrados, segundo a norma da NBR 12653 (ABNT, 2014), não classifica a mesma como pozolana. Pois, para ser pozolana a soma percentual de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 na composição química deve ser no mínimo 70%, a perda ao fogo não pode passar de 10%, o máximo de SO_3 (%) é 4 e o equivalente alcalino não pode ultrapassar 1,5 % conforme descrito na Tabela 4. Logo, como o equivalente alcalino foi 5,73% a perlita expandida moída não pode ser classificada como pozolana.

Tabela 4 - Exigências químicas para materiais pozolânicos

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, % mín.	70	70	50
SO_3 , % máx.	4,0	5,0	5,0
Teor de umidade, % máx.	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo, % máx.	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na_2O , % máx.	1,5	1,5	1,5

FONTE: NBR 12653 (ABNT, 2014)

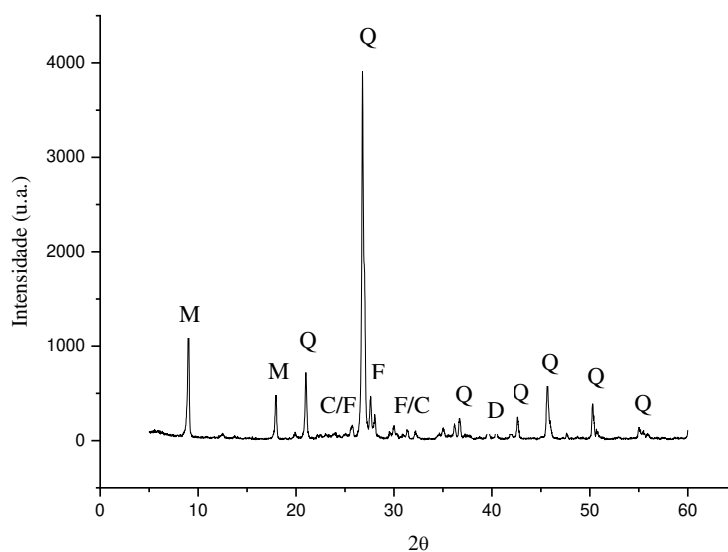
Os resultados da composição química se assemelham aos obtidos por Kotwika *et al.* (2017). Elas afirmam que os valores de sílica e alumina são os mais atenuantes na composição química da perlita implicando que o material tem alta reatividade porque a sílica é amorfa.

A sílica presente nos resíduos de quartzito se difere da perlita por se apresentar na forma cristalina enquanto na perlita aparece na forma amorfa; logo pela composição química obtida nesta pesquisa podemos classificar o resíduo de quartzito como material não pozolânico e por isso foi usado como agregado. Enquanto, a perlita pela sua composição química é classificada como material pozolânico, podendo ser usada como substituto parcial ao cimento Portland.

4.2 Caracterização mineralógica dos resíduos de quartzito e da perlita

A Figura 2 apresenta os espectros de raios x dos resíduos de quartzito na granulometria de areia fina, neles temos as seguintes fases mineralógicas: mica (JCPDS: 83-1808), quartzo (JCPDS:46-1045), feldspato (JCPDS:89-8574) e dolomita (JCPDS: 89-5862).

Figura 2 - Espectros de raios x dos resíduos de quartzito

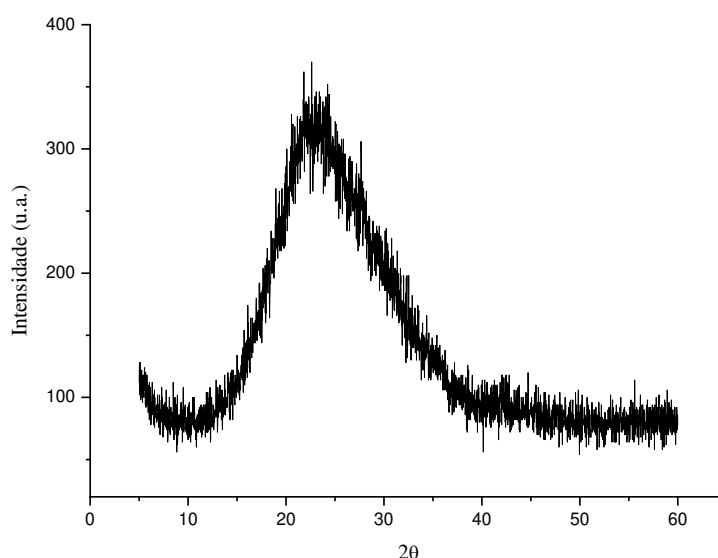


M: mica; Q: Quartzo; F: Feldspato; C: Caulinita e D: Dolomita.
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Os resultados obtidos assemelham-se aos obtidos nas pesquisas de Silva *et al.* (2019) e Babisk *et al.* (2012). O teor elevado do dióxido de sílica (Tabela 2) indica essa maior intensidade do quartzo mostrado na Figura 2. Os resultados da composição química corroboram com a composição mineralógica obtida.

A Figura 3 demonstra os espectros de raios x da perlita expandida moída, pode-se observar que apresenta uma banda larga na faixa entre 15 e 35 θ , que é característica de material pozolânico confirmando os dados obtidos na composição química da mesma.

Figura 3- Espectros de raios x da perlita



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Essa banda larga caracteriza a perlita com não cristalinidade, ou seja, um material amorfo. Os resultados obtidos nesta pesquisa se assemelham aos obtidos por Kapeluszna *et al.* (2020).

4.3 Comportamento mecânico das argamassas estudadas - RCS

A resistência a compressão simples foi determinada da média aritmética dos valores de três CPs. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos no ensaio realizado, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1997).

Tabela 5 - Valores da resistência a compressão simples dos CPs após 28d.

CP	RCS (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão
1	14,60	13,87	± 0,68
2	14,05		
3	12,96		

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Os valores obtidos para RCS da argamassa em estudo foi maior que o definido na NBR 13281 (ABNT, 2005), que constam os requisitos da argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, a argamassa em estudo pode ser classificada como P6 na tabela de resistência a compressão, em que o valor obtido é maior que 8MPa.

Os resultados de RCS das argamassas do estudo de Barros *et al.* (2016) foram menores que os do presente trabalho, o que implica que a perlita não influenciou negativamente na resistência mecânica da argamassa estudada e como os valores dos materiais utilizados na mistura da argamassa foram os mesmos, apenas diferindo na substituição de 15% da perlita expandida moída pelo cimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização do estudo do comportamento mecânico das argamassas confeccionadas com resíduos de quartzito e a perlita expandida moída substituindo parcialmente o cimento, é possível concluir:

- O resíduo de quartzito se comportou como esperado na finalidade de agregado para ser utilizado em argamassa de revestimento;
- O uso da perlita expandida moída favoreceu a resistência a compressão simples das argamassas estudadas, sua composição mineralógica a classifica como material amorfo e seu equivalente alcalino faz com que não seja considerada pozolana;
- Tendo como parâmetro a resistência à compressão simples para revestimentos e assentamentos, os resultados foram muito satisfatórios com um valor médio de 13,87MPa para a argamassa em estudo, sendo maior que 8MPa e classificada como P6;
- A utilização de resíduo de quartzito como agregado e da perlita expandida moída como material cimentício suplementar em substituição de 15% do valor do cimento na mistura da argamassa beneficiou os resultados de RCS. Além de se fazer uso consciente dos resíduos de quartzito, destinando-os para o setor econômico da construção civil e diminuindo danos causados ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial – CP V ARI**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ABRÃO, P. C. R. A. **O uso das pozolanas como materiais cimentícios suplementares: disponibilidade, reatividade, demanda de água e indicadores ambientais**. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ALECRIM, A. V. **Estudo do Resíduo de Quartzito Foliado Para o Emprego em Estruturas de Pavimentos**. 2009. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. 168p.

BABISK, M. P.; VIDAL, F. W. H.; CORREIA, J. C. G. Estudo de aproveitamento de resíduos finos de quartzito da região de Seridó. II Simpósio De Minerais Industriais Do Nordeste, **Anais**, [S. I.], p. 195-200, 2010. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1274/1/Par%204.5%20anais_segundo_simposio_minerais_industriais_do_nordeste%20.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.

BABISK, M. P.; VIDAL, F. W. H.; RIBEIRO, W. S.; AGUIAR, M. C.; GADIOLI, M. C. B.; VIEIRA, C. M. F. Incorporação de resíduo de quartzitos em cerâmica vermelha. **HOLOS**-ISSN 1807-1600, V. 6, p. 169-177, 2012. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1104>. Acesso em: 03 maio 2021.

BARATA, M. S. **Concretos de alto desempenho do estado do Pará: estudo de viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulin**. 1998. 188f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

BARROS, S. V. A. **Durabilidade de argamassas alternativas aditivadas com resíduos de quartzito**. 2017. Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande – Paraíba, 2017.

BARROS, S. V. A. *et. al.* (2016). Addition of quartzite residues on mortars: Analysis of the alkali aggregate and the mechanical behavior. **Construction and Building Materials**, [S.I.], 118, p. 344-351, 2016.

CHANDRA, S.; BERTSSON, B. (2002). **Lightweight aggregate concrete**. Noyes Publications/William Andrew Publishing, NY, 367, 2002.

DIAS, Luma de Souza. **Rejeito de mineração de quartzito como agregado para produção de argamassa colante**. (2017). 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

ERDEM, T. K.; MERAL, Ç.; TOKYAY, M.; & ERDOĞAN, T. Y. (2007). Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements. **Cement and Concrete Composites**, 29(1), 13–21.

FIDELIS, E. J. A. **Estudo da aplicação de rejeitos de fosfatos como material pozolânico**. Dissertação - Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais Unidade Araxá. Araxá, 2018.

GHASSABZADEH, H. *et al.* **Adsorption of Ag, Cu and Hg from aqueous solutions using expanded perlite**. Journal of Hazardous Materials, v.177, p. 950-955, 2010.

HABERT, G. *et al.* (2008). Efeitos dos minerais secundários das pozolanas naturais sobre sua atividade pozolânica. **Cement and Concrete Research**, 38 (7), 963–975. doi: 10.1016 / j.cemconres.2008.02.005

INSTITUTO METAS. **Identificação, caracterização e classificação de arranjos produtivos de base mineral e de demanda mineral significativa no Brasil**. Belo Horizonte: MCT/CGEE/CNPq/FIEMG, 2002.

JÚNIOR C. M. D.; BARROS S. V. A.; NEVES G. A. **Utilização de resíduos de quartzito para aplicação em pavimentos intertravados**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 13, n. 3 (2018) 196-200.

KAPELUSZNA, E.; KOTWICA, L.; PICHÓR, W.; NOCUÑ-WCZELIK, W. (2020). Cement-based composites with waste expanded perlite - Structure, mechanical properties and durability in chloride and sulphate environments. **Sustainable Materials and Technologies**, e00160, 2020.

KOTWICA, Ł., PICHÓR, W., KAPELUSZNA, E., & RÓŻYCKA, A. (2017). **Utilization of waste expanded perlite as new effective supplementary cementitious material**. Journal of Cleaner Production, [S.I], 140, 1344–1352.

MONTANHEIRO, T. J.; YAMAMOTO, J. K.; SANT'AGOSTINO, L. M.; KIHARA, Y.; SAITO, M. M. Terras diatomáceas: uma pozolana natural na bacia do Paraná, estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 23(2), 1-17, 2002.

RAMEZANIANPOUR, A. A., MOTAHARI KAREIN, S. M., VOSOUGHI, P., PILVAR, A., ISAPOUR, S., & MOODI, F. (2014). Effects of calcined perlite powder as a SCM on the strength and permeability of concrete. **Construction and Building Materials**, 66, 222–228, 2014.

RASHAD, A. M. (2016). A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer. **Construction and Building Materials**, 121, 338–353,

2016.

SANTOS D. A.; GURGEL M. T.; MOTA A. F.; PAIVA F. I. G. (2014) extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de Várzea – PB. **HOLOS**, Ano 30, Vol. 4, 2014.

SILVA, L. M.; BARROS, S. V. A.; DANTAS, G. C. B.; PIMENTEL, P. M. Caracterização de resíduos minerais visando aplicação como agregado para materiais de matriz cimentícia. Revista **CONSTRUINDO**, Belo Horizonte - MG, 2019. Vol. 11, nº 01, p. 21-30.

SOUZA, M.M.; FELIPE, L.C.O.; VIERA, E.V.; NEVES, G.A.; SOUZA, J.B.M. **Caracterização tecnológica de resíduos de quartzitos da Paraíba e Rio Grande do Norte visando seu aproveitamento na indústria cerâmica. Anais do 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 29 de maio a 01 de junho, Porto de Galinhas - PE, 2011.