

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Centro Tecnologia – CT

Programa de Pós Graduação em Arquitetura e
Urbanismo - PPGAU



**RECONSTITUIÇÃO DE PEDRA ATÉRMICA COM USO DE RESÍDUO DA
EXTRAÇÃO DE QUARTZITO PARA APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO DE
FACHADA EM EDIFÍCIOS**

Clarissa de Andrade Queiroz

DEZEMBRO, 2017

Clarissa de Andrade Queiroz

**RECONSTITUIÇÃO DE PEDRA ATÉRMICA COM USO DE RESÍDUO DA
EXTRAÇÃO DE QUARTZITO PARA APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO DE
FACHADA EM EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba- UFPB, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Aluísio Braz de Melo
Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo

Linha de pesquisa: Qualidade Ambiental Urbana e do Edifício

DEZEMBRO, 2017

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Seção de Catalogação e Classificação

Q3r Queiroz, Clarissa de Andrade.
Reconstituição de pedra atérmica com uso de resíduo da extração de quartzito para aplicação como revestimento de fachada em edifícios/Clarissa de Andrade Queiroz. - João Pessoa, 2017.
106 f. : il.

Orientador: Aluisio Braz de Melo.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT

1. Arquitetura. 2. Quartzito. 3. Pedras reconstituídas. 4. Desempenho térmico. I. Título.

UFPB/BC

**RECONSTITUIÇÃO DE PEDRA ATÉRMICA COM USO DE RESÍDUO DA
EXTRAÇÃO DE QUARTZITO PARA APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO DE
FACHADA EM EDIFÍCIOS**

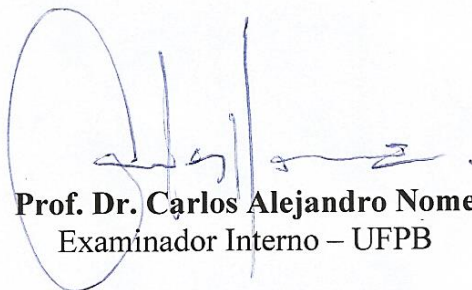
Por

Clarissa de Andrade Queiroz

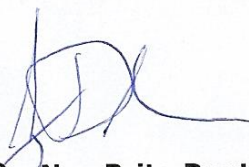
Dissertação aprovada em 18 de Dezembro de 2017



Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo
Orientador – UFPB



Prof. Dr. Carlos Alejandro Nome
Examinador Interno – UFPB



Prof. Dr. Ney Brito Dantas
Examinador Externo – UFPE

**João Pessoa – PB
2017**

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Aluísio Braz, por sua disponibilidade, apoio e compreensão nos momentos difíceis e corridos. Às minhas colegas do LABEME, Amanda e Mohara pela ajuda prestada e palavras de apoio e incentivo. À todo suporte técnico fornecido por Delby e Sebastião que foram mais que auxiliares, foram verdadeiros pilares para a concretização desse trabalho. Gratidão por vocês terem cruzado meus caminhos.

À Pablo que foi meu guia, professor e amigo tornando minha estadia em João Pessoa e no LABEME mais acolhedora. Agradeço por me impulsionar a seguir em frente, por ser meu amigo quando precisei, por ter me oferecido casa e o dorso de Malau e Max que tantas vezes me fizeram esquecer os problemas.

À minha família que sempre acreditou em mim e fez o possível pra que eu chegasse até aqui. Com amor, dedicação e todo o esforço possível, me ofereceram as bases que me fazem quem sou. Sou uma pessoa privilegia por ter vocês como minha família, em especial minha mãe e minha avó Benedita.

Ao meu marido Breno pelo apoio constante, desde minha longa estadia em João Pessoa, até meus momentos de presença em casa, mas ausência por estar envolvida com minha pesquisa. Pelo amor e fé dedicados a mim diariamente, por ter me presenteado com um lar e um filho que são minha razão para existir.

Sobretudo, agradeço a Deus pela minha vida e pela graça concedida, por me cercar de pessoas do bem e anjos de luz. A Ele entrego minha fé e os dias que estão por vir.

RESUMO

O quartzito é uma rocha ornamental utilizada para produzir revestimentos aplicados em fachadas residenciais, jardins, pavimentação de pátios, calçadas, saunas e piscinas. É uma rocha porosa, possui baixa absorção de água e é também conhecida como “pedra fria”. Quando utilizada como revestimento externo em fachadas, pode contribuir para a redução do fluxo de calor para os ambientes internos, uma vez que ao receber a radiação solar, possui baixa propagação das ondas de calor, o que é importante no contexto do clima tropical. Apesar da melhoria do comportamento térmico do elemento vertical que pode ser agregado à edificação com a utilização do quartzito, existe uma questão ambiental relacionada ao impacto da extração da rocha, devido à grande geração de resíduos. Neste trabalho, apresenta-se um estudo que tem como objetivo desenvolver um pré-moldado que compatibilize o aproveitamento do resíduo da extração de quartzito com uma aplicação também como revestimento de fachada nos edifícios e que aproveite a característica térmica do material original, de modo a criar barreira ao fluxo de calor para o interior da edificação. Com isso, ao mesmo tempo em que há possibilidade de redução dos impactos no meio ambiente natural pode-se ter uma contribuição positiva para o ambiente construído. O método utilizado para o presente estudo foi o de pedras reconstituídas, através da pré-moldagem de pequenas peças com uso de compósito, com resíduos de pó de pedra de quartzito e resina de poliuretano vegetal obtida do óleo da mamona (resina de rícino). Os resultados confirmaram que é possível moldar pedras reconstituídas com maior capacidade térmica, o que é interessante para revestimentos de fachada em edifícios localizados em clima tropical. A pedra proposta, além de atender aos requisitos físicos mecânicos para revestimento de fachada, possui menor condutividade e transmitância térmica comparada ao quartzito.

Palavras-chaves: quartzito; pedras reconstituídas; desempenho térmico; eficiência energética.

ABSTRACT

Quartzite is an ornamental rock used to produce coatings applied on residential façades, gardens, pavement of patios, sidewalks, saunas and swimming pools. It is a porous rock, has low water absorption and is also known as "cold stone". When used as an external coating on façades, it can contribute to the reduction of the heat flow to the internal environments, since when receiving the solar radiation, it has low propagation of the heat waves, which is important in the context of the tropical climate. Despite the improvement in the thermal behavior of the vertical element that can be added to the building with the use of the quartzite, there is an environmental issue related to the impact of rock extraction due to the large generation of waste. In this article, a study is presented that aims to develop a pre-molded that compatibilizes the use of the residue of quartzite extraction with an application also as facade cladding in buildings and that takes advantage of the thermal characteristic of the original material, so as to create a barrier to the flow of heat into the building. Thus, while there is a possibility of reducing impacts on the natural environment, a positive contribution to the built environment can be made. The method used for the present study was that of reconstituted stones, through the preforming of small pieces using a composite, with residues of quartzite stone powder and vegetable polyurethane resin obtained from castor oil. The results confirmed that it is possible to cast reconstituted stones with higher thermal capacity, which is interesting for facade cladding in buildings located in tropical climate. The proposed stone, in addition to meeting the mechanical physical requirements for facade cladding, has lower conductivity and thermal transmittance compared to quartzite.

Keywords: quartzite; reconstituted stones; thermal performance; energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Despejo a céu aberto de resíduos sólidos provenientes da extração do quartzito	15
Figura 2 Aplicação do quartzito no piso em formato de lajota	19
Figura 3 Aplicação do quartzito no formato de mosaico	19
Figura 4 Registro da cooperativa de rochas ornamentais do Junco do Seridó. Observa-se na imagem a grande variedade de tonalidades do quartzito da região	20
Figura 5 Resíduo sólido gerado no beneficiamento do quartzito na cidade de Junco do Seridó	21
Figura 6 Trocas de calor através de paredes opacas	26
Figura 7 Mapa dos climas no Brasil	35
Figura 8 Zoneamento bioclimático brasileiro	36
Figura 9 Superfície de quartzo reconstituído da Silestone	39
Figura 10 Gratinado industrializado.	40
Figura 11 Exemplo de mármore industrializado, Marmoglass	40
Figura 12 Ensaios de conformação do compósito. Respectivamente primeiro teste, segundo teste e terceiro teste	41
Figura 13 Carga aplicada ao material durante a moldagem das amostras	43
Figura 14 Amostras moldadas	43
Figura 15 Tentativa de moldagem de corpo de prova com a emulsão acrílica	51
Figura 16 Após horas de moldagem, o corpo de prova ainda esfalea ao manuseá-lo	51
Figura 17 Diferença de coloração dos corpos de prova moldados com diferentes resinas. Sendo eles, da esquerda para a direita: corpo de prova moldado com a emulsão acrílica; moldado com resina epóxi; moldado com resina de rícino de Parnamirim; moldado com resina de rícino vinda de Araraquara	52
Figura 18 Primeira tentativa de moldagem com cimento branco utilizado como rejunte e cura em temperatura ambiente. Os corpos de prova ficaram frágeis e quebradiços	53
Figura 19 Segunda tentativa de moldagem com cimento branco utilizado com rejunte, a cura aconteceu em submersão em água, ao final do período submerso, as placas estavam com superfícies irregulares e frágeis	53
Figura 20 Escova de cerdas macias utilizada na limpeza dos corpos de prova.	54
Figura 21 Limpeza dos corpos de prova em água corrente	54
Figura 22 Corpos de prova organizados em um recipiente plástico onde foi colocada água destilada de acordo com a NBR 15845-2	54
Figura 23 Sistema de pesagem dos corpos de prova na condição submersa	55
Figura 24 Detalhe do fio que suspende o corpo de prova para pesagem na condição submersa	55
Figura 25 Esquema demonstrativo da C-CLIMÁTICA	56
Figura 26 Organização dos corpos de prova na estufa ventilada.	57
Figura 27 Organização dos corpos de prova no dessecador.	57
Figura 28 Corpos de prova submersos por 24hs	58
Figura 29 Equipamento improvisado para operar entre 0°C e 50°C. Caixa de poliestireno com termômetro culinário para registro de temperatura. Luz de 60W na tampa para aumento da temperatura, controlador de intensidade da luz para que esse aumento seja gradativo	58
Figura 30 Corpos de prova envoltos com plástico filme e organizados no equipamento	59
Figura 31 Equipamento com a lâmpada acesa para o aquecimento e estabilização em 50°C	59
Figura 32 Equipamento com gelo para diminuição da temperatura e estabilização em 0°C	60
Figura 33 Corpo de prova moldado com a Emulsão acrílica após o ensaio de dilatação térmica. Apesar do esforço mínimo exigido, o material se torna quebradiço e desagrega com facilidade.	60

Figura 34 As imagens mostram, respectivamente, o corpo de prova posicionado no centro da prensa e o corpo de prova após rompido: apresenta apenas rachaduras, não quebra por completo	62
Figura 35 Cristalização da resina	63
Figura 36 As figuras mostram, respectivamente, a marcação no centro do corpo de prova e o corpo de prova posicionado nos apoios da prensa. O apoio central fica posicionado exatamente na marcação do meio do corpo de prova.	64
Figura 37 Corpo de prova após o rompimento	64
Figura 38 Princípio de funcionamento do condutivímetro K30	65
Figura 39 Irregularidades da superfície do quartzito.	66
Figura 40 Camada de resina para a uniformização da superfície do quartzito	66
Figura 41 Mini parede após feito o emboço. Uma das mini paredes recebendo o revestimento de quartzito. Outra mini parede com o revestimento de compósito de quartzito assentado	68
Figura 42 Lado esquerdo corresponde ao lado aquecido da câmara térmica. lado direito ao ambiente refrigerado.	69
Figura 43 Fonte de calor desligada e fonte de calor já posicionada a 1m de distância da parede e ligada.	69
Figura 44 Esquema demonstrativo da disposição e estrutura da câmara térmica do LABEME.	70
Figura 45 Termômetro de globo negro. Em sua base, é encaixado um termopar, o fio correspondente ao termopar é encaixado também no sistema de aquisição de dados	71
Figura 46 Densidade aparente das amostras das pedras reconstituídas e <i>in natura</i> (quartzito)	74
Figura 47 Densidades de alguns materiais utilizados em fachadas externas, incluindo os materiais estudados	76
Figura 48 Porosidade aparente das amostras com compósitos testados nas pedras reconstituídas	77
Figura 49 Absorção de água para amostras das pedras reconstituídas e da pedra <i>in natura</i> em quartzito	77
Figura 50 Comparativo da absorção de água de outros materiais utilizados como revestimento externo com as amostras das pedras reconstituídas e <i>in natura</i> em quartzito.	78
Figura 51 Valores de ruptura nos testes das amostras à compressão uniaxial nas condições seca e saturada. Considerando as duas resinas de rícino trabalhadas nos compósitos	81
Figura 52 Resistência à compressão uniaxial de algumas rochas em comparação aos obtidos com compósitos estudados (R.rínico 1 + pó quartzito e R.rícino 2 + pó quartzito)	82
Figura 53 Comparativo da condutividade térmica de algumas rochas inclusive da amostra da pedra reconstituída proposta (R.rícino).	83
Figura 54 Comparativo da condutividade térmica de materiais que compõem a parede de alvenaria tradicional inclusive com as pedras de revestimento (reconstituída e <i>in natura</i> em quartzito)	84
Figura 55 Gráfico da variação de temperatura dos ambientes na câmara térmica no ensaio da parede 1	85
Figura 56 Gráfico da variação de temperatura das faces da parede 1 na câmara térmica	86
Figura 57 Gráfico da variação de temperatura das faces da parede 2 na câmara térmica	86
Figura 58 Gráfico da variação de temperatura das faces da parede 2 na câmara térmica	87
Figura 59 Esquema demonstrativo da parede que tem a pedra reconstituída (compósito R. de rícino + pó de pedra) como revestimento da face que recebe incidência solar direta	90
Figura 60 Esquema demonstrativo da parede que tem o quartzito <i>in natura</i> como revestimento da face que recebe incidência solar direta	90
Figura 61 Esquema demonstrativo de uma parede sem revestimento (nesse caso, o reboco é considerado o revestimento)	90

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 Check List dos Impactos Ambientais Observados. Fonte: SOUSA et al, 2012</i>	23
<i>Tabela 2 Absortividade (α) e emissividade (ϵ) de algumas cores. Fonte: NBR 15220-2/2005</i>	26
<i>Tabela 3 Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa. Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005a)</i>	36
<i>Tabela 4 Propriedades físico químicas da Emulsão Acrílica. Fonte: FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS – FISPQ (ver anexo)</i>	44
<i>Tabela 5 Valores padronizados pela ASTM para alguns ensaios em rochas ornamentais utilizadas como revestimento. Fonte: FRASCA, 2002. *paralelo a foliação. **perpendicular a foliação</i>	47
<i>Tabela 6 Determinação da granulometria com base na ABNT NBR 7211:2009</i>	48
<i>Tabela 7 Tabela demonstrativa dos moldes em MDF e a qual NBR é referente</i>	49
<i>Tabela 8 Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água dos compósitos propostos nas pedras reconstituídas</i>	79
<i>Tabela 9 Média dos valores de ruptura dos corpos de prova nos testes com os compósitos com as resinas de rícino dos lotes 1 e 2</i>	80
<i>Tabela 10 Módulo de ruptura da flexão por carregamento em 3 pontos</i>	82
<i>Tabela 11 Valores da condutividade térmica das amostras das pedras, reconstituída e in natura em quartzito</i>	83
<i>Tabela 12 Comparativo entre Temperaturas médias Globais nos ambientes e nas faces das paredes 1 e 2</i>	88
<i>Tabela 13 Propriedades térmicas da pedra quartzito in natura e da pedra reconstituída (R.rícino + pó de quartzito)</i>	89
<i>Tabela 14 Simulação do comportamento térmico das paredes</i>	91
<i>Tabela 15 Transmitância Térmica, atraso e fator solar admissíveis para cada tipo de vedação</i>	92

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT Associação Brasileira de Normas técnicas

ASTM American Society for Testing and Materials / Sociedade Americana de Testes e Materiais

CT Capacidade térmica

c Calor específico do material (kJ/kg.K)

FSo Fator Solar

k Condutividade térmica

K Kelvin

LABEME Laboratório de Materiais e estruturas

Mpa Mega Pascal

Parede 1 Utiliza pedra reconstituída como revestimento externo

Parede 2 Utiliza quartzito como revestimento externo

Qk Fluxo de calor

qc Densidade do fluxo térmico por convecção

δ Difusividade térmica

RT Resistência Térmica

λ Condutividade térmica

t Temperatura do ar (°C)

UFPB Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	16
1.1 OBJETIVOS	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 QUARTZITO	18
2.1.1 QUARTZITO E SUAS APLICAÇÕES	19
2.1.2 QUARTZITO NA PARAÍBA	20
2.1.3 O RESÍDUO DO QUARTZITO	21
2.1.4 LAVRAMENTO DO QUARTIZO - PB	22
2.2 Desempenho térmico de paredes externas dos edifícios	24
CALOR	27
Convecção	27
Radiação	28
Condução	29
Resistência Térmica	30
INÉRCIA TÉRMICA	31
Capacidade térmica	32
Condutibilidade Térmica	32
2.3 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	33
2.3.1 CRITÉRIOS CLIMÁTICOS NO BRASIL	33
2.3.2 Zoneamento Brasileiro e Uso do Quartzito	37
2.4 PEDRAS RECONSTITUÍDAS e PREMISSAS	37
PREMISSAS	39
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	45
3.1 ELABORAÇÃO DAS AMOSTRAS	47
3.2 ABNT NBR 15845-2: Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e da absorção de água	53
3.3 ABNT NBR 15845-3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear	57
3.4 Escolhendo a Resina	60
3.5 ABNT NBR 15845-5: Determinação de resistência à compressão uniaxial	61

3.6	ABNT NBR 15845-6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos)	62
3.7	Determinação da condutividade térmica	65
3.8	Comparação do quartzito <i>in natura</i> com a pedra reconstituída proposta	67
3.8.1	Elaboração das paredes	67
3.8.2	Câmara térmica do LABEME	68
3.8.3	Calibração dos termopares	70
3.8.4	Instrumentação da câmara térmica	70
3.8.5	cálculo de desempenho térmico	72
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
4.1	Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água.	74
4.1.1	Densidade	74
4.1.2	Porosidade e absorção de água	76
4.2	Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear	79
4.3	Determinação de resistência à compressão uniaxial e flexão por carregamento em 3 pontos	80
4.4	Condutividade Térmica	83
4.5	Comportamento Térmico dos revestimentos aplicados em mini paredes – Câmara Térmica do LABEME	84
4.6	Calculo do desempenho térmico das mini paredes	89
5.	CONCLUSÃO	93
	Recomendações para futuras pesquisas	94
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICES	101
	APÊNDICE A – VALORES DE RUPTURA	102
	COMPRESSÃO UNIAXIAL	102
	FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM 3 PONTOS	103
	APÊNDICE B - CÁLCULO DO DESEMPENHO	104

1.INTRODUÇÃO

O quartzito é uma rocha ornamental utilizada para produzir revestimentos aplicados em fachadas residenciais, jardins, pavimentação de pátios, calçadas, saunas e piscinas. A Paraíba é abundante em quartzito, tendo suas principais jazidas nos municípios de Várzea, São Mamede e Junco do Seridó.

O quartzito é uma rocha porosa, possui baixa absorção de água e é atérmica, também conhecida como “pedra fria”. Devido suas propriedades, principalmente o fato de ser uma rocha atérmica, o quartzito quando utilizado como revestimento externo, pode contribuir para o conforto térmico do ambiente, uma vez que ao receber a radiação solar, possui baixa propagação dessas ondas de calor, influenciando na inércia térmica da construção. Entende-se por inércia térmica as transferências de calor entre os meios interno e externo de uma construção e está diretamente relacionada a capacidade do edifício de reduzir o calor transferido em suas maiores temperaturas. Segundo Frota e Schiffer (1987), estão associados à inércia térmica, em relação ao comportamento térmico do edifício, o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais. Portanto, depende diretamente das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos.

As escolhas dos materiais e dos sistemas construtivos são algumas medidas que, quando inseridas no contexto global de um projeto arquitetônico, podem contribuir para boas condições de climatização e economia nos gastos com condicionamento artificial nas edificações. Quando essas escolhas são feitas considerando o desempenho térmico da construção, o condicionamento artificial pode ser substituído pela ventilação natural ou um sistema de condicionamento misto (artificial e natural).

Além do conforto ambiental que pode ser agregado à edificação com a utilização do quartzito, existe também uma questão ambiental relacionada ao impacto da extração da rocha. Sua extração gera uma grande quantidade de resíduos que, se forem inseridos nas construções, além de oferecer conforto térmico, minimizariam os prejuízos ambientais causados por essa prática. O presente estudo propõe o reaproveitamento desse resíduo no desenvolvimento de

um compósito que possa ser aplicado como revestimento externo de uma construção, de forma a aproveitar a característica atérmica do material.

Segundo pesquisadores da Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP), lotada na Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)¹, durante a exploração do quartzito é gerado grande volume de resíduos, podendo estes ultrapassarem 90% do material extraído. Tendo em vista que segundo a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (2009), a produção brasileira de quartzito foi estimada em 500.000 toneladas por ano, subentende-se que a quantidade de rejeito da produção vem a ser um caso preocupante (ver Figura 1).



Figura 1 Despejo a céu aberto de resíduos sólidos provenientes da extração do quartzito. Fonte: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2017/Fotos_Materias/Julho/Opera%C3%A7%C3%A3oQuartzito7.jpg

Na extração do quartzito, o grande volume de resíduo que é descartado a céu aberto gera degradação paisagística, interferência no processo de escoamento de águas superficiais e de subsuperfície, desmoronamentos, assoreamento de drenagens, além de problemas respiratórios na população do entorno, devido ao grande número de partículas sólidas em suspensão no ar (SOUZA,2012). Diante dos dados apresentados, fica clara a preocupação que se deve ter com o descarte dessas matérias-primas, fato que motiva o desenvolvimento desta pesquisa. Trata-se de grandes volumes e o ideal é que se apresentem alternativas para reutilizá-los e tirá-los do meio ambiente.

Portanto, a utilização dos resíduos em questão para produzir revestimentos para fachadas dos edifícios, aproveitando-se da característica atérmica do

¹ “Estudo pioneiro propõe o uso de resíduos de quartzito como agregado de concreto” disponível em: < <http://www.agenciaminas.mg.gov.br/>> acessado em 10 de Outubro de 2013

material, pode ser uma alternativa que agrega conforto ambiental, mais especificamente o térmico, uma vez que favorece a inércia térmica do sistema de vedação vertical, e preocupação ambiental, uma vez que oferece uma alternativa ao descarte desses resíduos.

JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A arquitetura e as técnicas construtivas devem oferecer conforto ao homem, isso inclui o conforto térmico. É importante que, ainda na fase de concepção do projeto arquitetônico, seja avaliado o desempenho térmico do edifício para que sejam adotadas medidas que minimizem o desconforto térmico dentro dos ambientes construídos. A escolha dos materiais é um fator relevante quando o assunto é conforto ambiental, uma vez que influi diretamente no comportamento térmico das construções (Frota e Schiffer, 1987).

No caso do quartzito, por ser uma rocha atérmica, conhecida também por “pedra fria”, possui baixa condutividade de calor, o que pode ser uma vantagem em relação a outros tipos de revestimento externo. Se tratando do aspecto ambiental, ao observar a quantidade de resíduos gerados na extração do quartzito, acredita-se que este estudo possua relevância ambiental, pois propõe uma alternativa para a diminuição do impacto ambiental causado por esses resíduos. Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente,

Entende-se por impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de material ou energia resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA, 1996).

A preocupação com resíduos industriais e seu reaproveitamento utilizados de forma a agregar algum tipo de benefício às construções, foco da presente proposta, é tema central de alguns projetos desenvolvidos pela linha de pesquisa “Qualidade do ambiente construído” do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba. Este trabalho,

assim como os estudos da citada linha de pesquisa promove a aplicação desses resíduos na arquitetura, propondo o desenvolvimento de compósitos para serem testados e, de acordo com suas qualidades e com o valor que agregam aos projetos arquitetônicos, aplicados em ambientes construídos.

Por fim, o tema do reaproveitamento de resíduos da extração do quartzito, principalmente no que diz respeito às suas possibilidades de aplicação como revestimento e reuso, é um tópico pouco abordado no meio acadêmico, portanto, carecendo de bibliografia especializada. Espera-se que esta pesquisa venha a contribuir com a área, tornando-se fonte de informações acerca do assunto. Além do feitiço científico, será dada uma abordagem industrial, assegurando-se que o compósito proposto é passível de produção, e que, é uma alternativa viável diante de tantas outras já existentes no mercado.

1.1 OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento térmico do revestimento proposto a partir da reconstituição da pedra natural, com base nos resíduos gerados na sua extração.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir um tipo de compósito apropriado na perspectiva de produzir placas reconstituídas à base de resíduos de quartzito e aglomerante, para uso como revestimento externo de fachadas nas edificações;
- Caracterizar o compósito quanto ao desempenho mecânico e térmico;
- Analisar a contribuição do revestimento proposto no desempenho quanto à barreira térmica adicional do sistema envoltório (elemento de vedação vertical) que o incorpore.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo, serão apresentados os conceitos centrais da pesquisa e uma breve discussão teórica sobre os quatro eixos da pesquisa: 1. Quartzito; 2. Desempenho térmico das edificações 3. Premissas; 4. Aglomerantes. A fundamentação teórica deve servir de base para a análise e interpretação dos dados coletados.

2.1 QUARTZITO

O quartzito é uma rocha ornamental de revestimento. Segundo a ABNT, entende-se por rocha ornamental “material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética”. Rocha de revestimento, por sua vez, é qualificada pelo órgão como material rochoso passível de desdobramentos e beneficiamentos diversos com emprego em acabamentos de superfícies de paredes e pisos em construções civis (ABNT, NBR 15845-5).

A composição do quartzito é quase inteiramente de quartzo, somado a muscovita, biotita e feldspato, dentre outros minerais encontrados em menor quantidade. A interpenetração dos grãos de quartzo confere à rocha altos níveis de tenacidade, resistência a abrasivos e dureza ao corte.

Os quartzitos são rochas metamórficas, granoblásticas a granolepidoblásticas, granulação fina a média, com alto grau de recristalização, estruturalmente maciços a laminados, compostos basicamente de quartzo, com percentuais, em geral, variáveis de 70% a 95% na composição modal. A mineralogia acessória pode incluir micas (muscovita), magnetita, granada, pirolusita, feldspatos, dumortierita e cianita, entre outros. É da presença ou ausência de alguns destes minerais, notadamente dumortierita, cianita e opacos (alterados), que resulta sua variada tonalidade de cor. (MENEZES e LARIZZATTI, 2005)

A variação da tonalidade do quartzito depende da sua composição. Os esverdeados apresentam essa cor devido à presença de epidoto, os azulados devido à cianita, purpúreos devido à hematita ou clorita, pretos devido à magnetita ou bitoita.

2.1.1 QUARTZITO E SUAS APLICAÇÕES

O quartzito, como matéria-prima chave, apresenta características essenciais para seu uso como revestimento. É resistente, antiderrapante e, principalmente, possui baixa condutibilidade térmica o que influencia completamente no conforto térmico do ambiente onde é utilizada. Se apresenta em abundância, tanto em sua forma bruta, como se tratando de resíduos e possui um apelo estético, devido seu brilho e sua variedade de cores, com grande potencial mercadológico. Desde a década de 40 (séc. XX) é utilizado como revestimento de paredes, pisos, piscinas, etc. Esse uso vem se intensificando desde a década de 70 (séc. XX) e a demanda que, inicialmente era apenas de lajotas, veio se adaptando e modernizando, atualmente, existem ladrilhos, mosaicos, diferentes acabamentos, formas e texturas (Ver Figuras 2 e 3).



Figura 2 Aplicação do quartzito no piso em formato de lajota. Fonte: <http://www.ltorquato.com.br/imagens/dicas/1216853003.jpg>



Figura 3 Aplicação do quartzito no formato de mosaico. Fonte: <http://dekorart.com.br/blog/wp-content/uploads/2013/05/20130503-150104.jpg>; <http://construindodecor.com.br/wp-content/uploads/2015/07/quartzito.jpg>

2.1.2 QUARTZITO NA PARAÍBA

As principais jazidas de quartzito da Paraíba estão localizadas nas cidades de Várzea, São Mamede e Junco do Seridó. A produção dessas cidades é voltada para aplicação em revestimento de paredes, calçadas, piscinas e pisos e possuem o formato de lajotas quadradas e retangulares. Desde a década de 70 que a procura pelo quartzito é crescente no ramo da construção civil, devido o aumento da demanda e, conseqüentemente, da extração que é feita de forma intensa e sem um acompanhamento dos impactos causados. Nas pedreiras a lavra é feita de forma predatória e inapropriadamente, sem os levantamentos técnicos-econômicos necessários, desencadeando uma série de problemas sociais e ambientais que comprometem o desenvolvimento da região (SOUZA, *et al*, 2001).

São pedras de formação pré-cambriana de idade proteozóica superior, correlacionadas à formação Equador do grupo Seridó. Apresentam-se com coloração variada, textura granoblástica, granulação fina a média e foliação bem desenvolvida. (SOUZA *et al*, 2001). Na Paraíba, os quartzitos são compostos por quartzo com micas de 75% de sílica (SiO_2). Geralmente são encontrados em forma de placas de rocha porosa, alva e brilhante, antiderrapante, com baixa absorção de água e atérmica, ou seja, não permite a propagação de ondas de calor, por esse motivo, é também conhecida como “pedra fria” (SOUSA, 1999).

Os quartzitos encontrados aqui na Paraíba geralmente são brancos, amarelos, castanhos e rosados, mas tons esverdeados e cinzentos também são encontrados em menor quantidade (Ver Figura 4)



Figura 4 Registro da cooperativa de rochas ornamentais do Junco do Seridó. Observa-se na imagem a grande variedade de tonalidades do quartzito da região. Fonte: <http://cooperjunco.blogspot.com.br/2013/01/rochas-ornamentais-historia-do.html>

2.1.3 O RESÍDUO DO QUARTZITO

Os resíduos da extração do quartzito são, em sua maioria, de origem sólida, composto por restos de pedra provenientes dos descartes e máquinas de corte ou que são descartadas por não apresentarem características próprias para seguir no processo de industrialização. Os resíduos são o resultado de atividades antrópicas e não antrópicas produzido por diversas fontes e de diversas formas e que não estão aptos para uso e, por isso, é descartado.

Os resíduos gerados pela exploração do quartzito são, em sua maioria, de natureza sólida - pedaços e pó de pedra - e líquida. O processo de serragem da rocha gera uma grande quantidade de resíduo, restos de rocha e esses rejeitos se apresentam nas mais variadas formas, tamanhos e cores.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E O RESÍDUO DO QUARTZITO

São diversas as fontes geradoras de resíduos, podendo ser doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de varrição e industrial (ABNT, NBR10.004:2004). Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), resíduos industriais são aqueles gerados na produção e em instalações industriais. Esses resíduos são diversificados e dependem da natureza do processo produtivo e da indústria e se enquadram em resíduos sólidos, líquidos e gasosos podendo contaminar solos, águas superficiais, aquíferos e a atmosfera (BRASIL, 2010).

Os resíduos da extração do quartzito são classificados como Inertes (Classe II B – ABNT NBR 10007/ NBR 10006), uma vez que, quando entra em contato dinâmico com a água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente não apresenta nenhum dos seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de



Figura 5 Resíduo sólido gerado no beneficiamento do quartzito na cidade de Junco do Seridó. Fonte AMORIM, 2012

potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Isso quer dizer que, em contato com água, o quartzito não é solúvel, não apresenta nenhuma mudança química nem biodegradabilidade.

A PNRS (BRASIL, 2010) cita em seus objetivos a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, e ainda o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluindo a recuperação e o reaproveitamento energético. Segundo Amorim (2012), aqui na Paraíba os resíduos são gerados indiscriminadamente e em enormes quantidades; o acondicionamento dos resíduos sólidos geralmente é feito em pátios da própria empresa ou nas estradas em suas redondezas; já os líquidos são despejados em tanques e, em seguida, são descartados na empresa ou fora dela, a céu aberto, sem nenhum tipo de análise ou comprovação de tratamento.

2.1.4 LAVRAMENTO DO QUARTIZO - PB

Na maioria das pedreiras de quartzito das cidades de Junco do Seridó, Várzea e São Mamede a lavra é feita manualmente e a céu aberto. No sistema manual, é feita uma extração direta de grandes blocos de pedra, ocasionalmente feita com o uso de explosivos. Essas pedreiras estão localizadas distantes dos centros urbanos, comumente na zona rural, onde o entorno é composto de vegetação da caatinga, com baixo índice pluviométrico e potencial hídrico (SOUZA *et al*, 2012).

O lavramento do quartzito é composto por cinco etapas, sendo elas: 1. Limpeza do terreno antes de começar a extração; 2. Disposição do solo fértil e restos vegetais: Os materiais provenientes do decapeamento serão armazenados em pilhas provisórias, em um local adequado próximo às frentes de lavra, denominado bota-fora, e serão utilizados na recuperação das estradas de acesso e para recompor a topografia do local lavrado, na medida em que for atingido os limites de exaustão da jazida; 3. Desmonte do bloco rochoso, geralmente ocorre com o uso de explosivos; 4. Manuseio do quartzito; 5. Término da extração.

IMPACTO CAUSADO PELA LAVRA - PB

Devido o baixo potencial hídrico no entorno das pedreiras, normalmente os impactos ambientais sofridos pela água são reduzidos. Nos escassos períodos de chuva, o impacto hídrico é observável na interferência no processo de escoamento de águas superficiais e de subsuperfície e no assoreamento de drenagens.

Os maiores impactos são vistos no solo, refletidos na degradação paisagística, mediante à remoção da vegetação e à disposição inadequada de grandes volumes de rejeito, que também correm o risco de desmoronamento. Devido a remoção da vegetação observa-se um deslocamento da macrofauna nas áreas mineradas e uma eliminação parcial da microfauna local. (SOUZA *et al*, 2001).

Os impactos do lavramento do quartzito também são sentidos no ar. Devido ao grande número de partículas sólidas contendo sílica cristalina em suspensão, tanto os trabalhadores quanto a população do entorno das mineradoras e dos depósitos a céu aberto podem sofrer com doenças das vias aéreas, doenças crônicas do sistema respiratório, silicose e até o câncer ocupacional. A silicose é uma doença pulmonar incurável, desencadeada pela inalação de poeiras contendo sílica cristalina, que se caracteriza pelo desenvolvimento de uma fibrose na região do tecido pulmonar (Fundacentro, 2011).

Na tabela abaixo é apresentado uma lista dos impactos causados em cada etapa da extração, em consonância com o que estabelece o IBRAM – Mineração e Meio Ambiente (1992) (SOUSA *et al*, 2012).

Tabela 1 Check List dos Impactos Ambientais Observados. Fonte: SOUSA *et al*, 2012

ATIVIDADE MINERÁRIA	IMPACTOS AMBIENTAIS
Limpeza do terreno (retirada da cobertura vegetal e da camada fértil do solo)	Alteração do ecossistema; Alteração da qualidade do solo; Alteração da qualidade das águas; Susceptibilidade do terreno a erosão e assoreamento; Aumento da taxa de evaporação;

	Perturbação a fauna terrestre; Emissão de poeiras fugitivas e gases; Poluição sonora (ruídos)
Disposição do solo fértil e restos vegetais	Transporte de sedimentos; Perda das características do solo fértil;
Desmonte	Degradação da morfologia; Erosão; Assoreamento; Alagamento; Instabilidade; Perturbação da fauna terrestre; Susceptibilidade a acidentes de trabalho
Manuseio do bem mineral	Adensamento do solo; Emissão de poeiras e gases no ar; Poluição sonora (ruídos); Acidentes de trabalho (de percurso); Perturbação à fauna (Ornitofauna)
Suspensão ou término da atividade	Degradação visual da paisagem; Alagamentos; Vulnerabilidade do terreno à erosão e assoreamento; Alteração da morfologia do terreno.

2.2 Desempenho térmico de paredes externas dos edifícios

Segundo Frota e Schiffer (2001), o Sol representa importante fonte de calor e ao incidir seus raios sobre uma edificação, sempre haverá certo ganho de calor, que variará de acordo com a intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos parâmetros do edifício. Então, o ideal é que se construa um edifício adaptado ao clima e o processo desse tipo de projeto pode ser dividido em quatro passos: Primeiramente, deve-se fazer um levantamento dos dados climáticos do local – ventilação, insolação, umidade, temperatura e etc, que influenciam no conforto térmico das edificações. Sendo o homem a medida fundamental na arquitetura, os projetos arquitetônicos devem satisfazer suas necessidades biológicas; o segundo passo é avaliar cada impacto do clima em

termos psico-fisiológicos; como terceiro passo, uma solução tecnológica deve ser aplicada para cada problema conforto-clima; o quarto é a expressão arquitetônica (OLGYAY, 1973).

Segundo Frota e Schiffer (1987), a arquitetura deve servir e oferecer conforto ao homem, incluindo o conforto térmico. Então, sejam quais forem as condições climáticas externas, dentro das edificações elas têm que ser compatíveis com o conforto humano. De acordo com Romero (2000), a arquitetura deve atuar como mecanismo de controle das variáveis do meio através da sua envoltura, do seu entorno e do aproveitamento dos fatores climáticos. Várias técnicas são utilizadas para que essa variação de temperaturas entre os meios externo e interno sejam agradáveis ao homem. Dentre elas, estão os meios construtivos e os materiais escolhidos. As propriedades destes materiais têm uma forte influência sobre a condução de calor para o ambiente interno.

No caso de uma parede opaca exposta a radiação sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que os separa, os mecanismos de troca podem ser esquematizados como mostra na Figura 5 (FROTA e SCHIFFER, 2001).

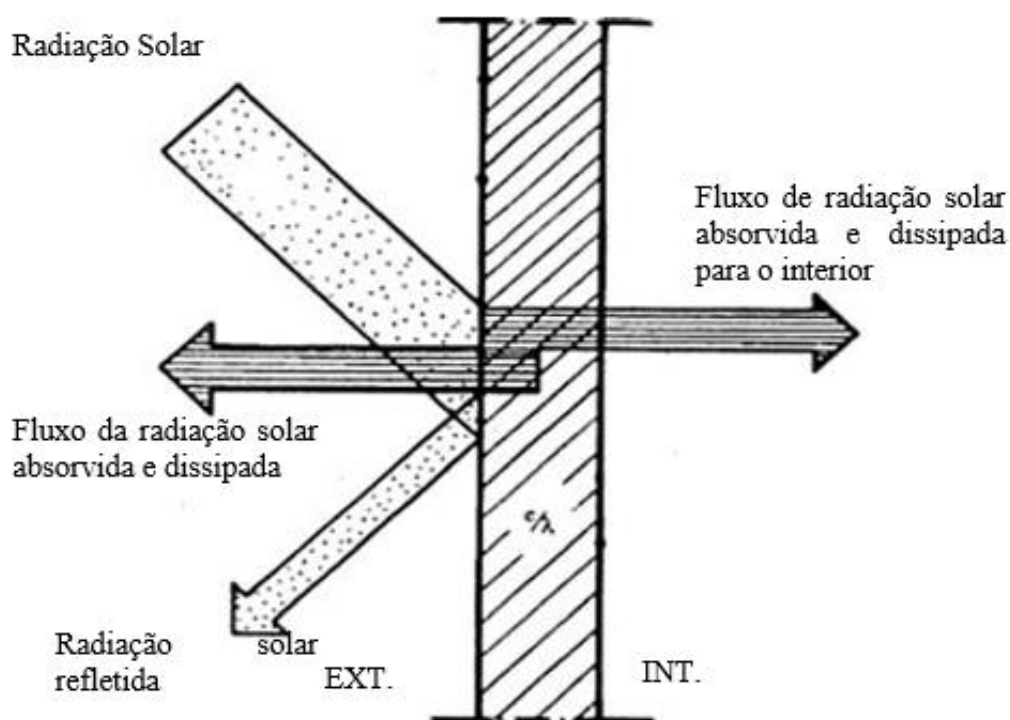


Figura 6 Trocas de calor através de paredes opacas Fonte: Frota & Schiffer (2001)

Segundo Van Deventer (1971) o desempenho térmico de uma edificação varia de acordo com a transferência de calor através dos diferentes componentes da estrutura e do fluxo de ar por ventilação e/ou infiltração. A troca de calor através da estrutura depende das propriedades térmicas dos seus componentes e pelas variáveis climáticas aos quais estão expostos, principalmente radiação solar, temperatura do ar, vento e umidade. No que diz respeito à ventilação, os fatores determinantes são a orientação, tamanho e posição das aberturas, temperatura do ar e regime de ventos.

Os materiais de construção expostos à radiação solar, em relação a quantidade de calor absorvido, a principal determinante é sua cor superficial. Um material de cor mais escura absorve mais calor, enquanto um material de cor clara absorve menos. A tabela abaixo extraída da ABNT NBR 15220-2/2005 mostra os valores de absortividade (quantidade de calor absorvida por unidade de tempo) e emissividade (quantidade de calor emitida por unidade de tempo) de algumas cores (LAMBERTS et al, 2014).

Tabela 2 Absortividade (α) e emissividade (ε) de algumas cores. Fonte: NBR 15220-2/2005

Cor na superfície do material	A	ε
Branco	0,20	0,90
Amarelo	0,30	0,90
Verde claro	0,40	0,90
Alumínio – metálico	0,40	0,50
Verde escuro	0,70	0,90
Vermelho	0,74	0,90
Preto	0,97	0,90

As cores das paredes ou revestimentos externos da edificação influenciam na condução de calor através dos seus elementos de composição. Cores claras, preferencialmente a branca, tem uma alta refletividade, diminuindo a transmissão de calor. Ao observar a tabela, entende-se a indicação do uso de cores claras em

climas quentes, onde existe um grande ganho de calor pela radiação solar pela superfície (GOMES, 2015).

CALOR

Por definição, calor é a transferência de energia térmica entre corpos ou ambientes de temperaturas diferentes, sendo o sistema “mais quente” aquele que transfere esse calor pro “mais frio” (FROTA E SCHIFFER, 2001) Um corpo nunca contém calor, isto é, o calor só pode ser identificado quando atravessa a fronteira do sistema.

Os conceitos de calor e o entendimento de como ocorre essa transferência de calor é de fundamental importância na arquitetura, uma vez que, em projetos é indispensável saber o quanto de isolamento térmico garante conforto aos ambientes. Os Regimes de transferências de calor podem ser transitórios que é um processo em que as propriedades de um sistema, inclusive sua temperatura variam a cada instante ou permanentes onde elas se mantêm constantes com o tempo (GOMES, 2015).

Esses dois regimes podem ser observados quando se acende um forno, suas paredes frias vão se aquecendo aos poucos, até o instante em que a temperatura deixa de se elevar. O regime, que inicialmente era transitório, depois, com a estabilidade da temperatura, se tornou permanente. Em uma edificação, quando as condições térmicas internas atingem uma situação de equilíbrio acontece o regime permanente, nesse caso, são mantidos os mesmos padrões de comportamento, após período de tempo, com características semelhantes, quanto à variação da temperatura, umidade e insolação. (COUTINHO, 2005)

Para que haja transferência de calor, é necessário que os sistemas possuam temperaturas diferentes. Segundo Frota e Schiffer (2001) as trocas de calor que envolvem variações de temperatura são denominadas trocas secas, as trocas térmicas que envolvem água são denominadas trocas úmidas. Os mecanismos de trocas secas são convecção, radiação e condução.

Convecção

É a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e outro fluído (líquido ou gás). As trocas de calor, se tratando de superfícies verticais, por

convecção são ativadas pela velocidade do ar, nesse caso, quando o movimento do ar advenha de causas naturais, como o vento, o mecanismo de troca entre a superfície e o ar passa a ser considerado convecção forçada. (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Nas superfícies horizontais, o sentido do fluxo é determinante. Quando o fluxo é ascendente, os sentidos do fluxo com o natural descolamento de massas de ar aquecidas são coincidentes, enquanto no fluxo descendente, o ar, aquecido pelo contato com a superfície, encontra nessa mesma superfície uma barreira para sua ascensão, o que dificulta o processo de convecção – seu deslocamento e sua substituição por uma nova camada de ar com temperatura inferior à sua (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Radiação

Segundo Frota e Shiffer (2001), radiação é mecanismo de troca de calor entre dois corpos — que guardam entre si uma distância qualquer — através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética da energia, que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo. De acordo com Coutinho (2005), todo corpo com temperatura superior a 0K (-273°C) emite calor por radiação.

A emissividade é uma propriedade que define a capacidade de uma superfície emitir calor por radiação, cujo valor varia entre 0 e 1, dependendo da cor e do acabamento superficiais. De acordo com Lamberts *et al* (2014), é importante destacar que essa propriedade é referida apenas ao acabamento superficial do material emissor, por exemplo, se uma chapa metálica possui emissividade 0,2 for pintada de uma tinta e cor qualquer (não metálica) sua emissividade passará a 0,9 (valor correspondente às superfícies não metálicas). Os materiais de construção são divididos em dois grupos: metálicos que possuem baixa emissividade e os não metálicos, com alta emissividade (Ver tabela 2).

A principal fonte de energia radiante conhecida é o sol. Em regiões de baixa latitude, como no norte/nordeste do Brasil, a radiação solar é o principal

fator de ganho térmico em edificações. Dessa forma, a análise do comportamento dos materiais que compõem o envelope construtivo é imprescindível à análise da eficiência energética das edificações (GOMES, 2015).

Condução

Condução é a troca de calor entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes do corpo que estejam expostos a temperaturas diferentes. Essa condução de calor é assumida de forma que o corpo ou extremidade de maior calor transfere essas partículas de energia para a extremidade/corpo de energia térmica inferior.

Entende-se melhor o processo de condução de calor ao imaginar uma pessoa segurando barra de ferro em uma das extremidades e expondo a outra ao fogo. Em um curto período de tempo, essa pessoa não poderá mais segurar essa barra com as mãos desprotegidas. Por condução, o calor foi transferido de uma extremidade a outra da barra de ferro.

A propriedade de condutividade térmica faz referência a essa qualidade do material de conduzir calor. Materiais com alta condutividade térmica conduzem calor de forma mais rápida que os materiais com baixa condutividade térmica.

Independente da natureza do material, todos conduzirão calor através da rede de átomos, ou seja, um mecanismo de transporte de calor que envolve as vibrações atômicas. Os metais têm moléculas mais compactas e por isto, transmitem melhor o calor. Os sólidos orgânicos, com estrutura cristalina menos organizada, têm menor capacidade. Materiais orgânicos e fibrosos têm grande dificuldade de transmitir calor e por essa razão são conhecidos como isolantes térmicos (GOMES, 2015).

O coeficiente de condutibilidade térmica do material — λ — é definido como sendo “o fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através da unidade de área de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária” (FROTA e SCHIFFER, 1967). Este coeficiente depende da densidade do material — a matéria é sempre muito mais condutora que o ar

contido em seus poros; da natureza química do material — os materiais amorfos são geralmente menos condutores que os cristalinos; da umidade do material — a água é mais condutora que o ar. (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Para determinar a influência que o tipo de material tem sobre a intensidade de fluxo de calor através da parede, utiliza-se a propriedade térmica denominada de condutividade térmica (k). Materiais bons condutores de calor têm valores de k elevados e quanto maior o valor de k, maior será o fluxo de calor através da parede e, portanto, a temperatura da face interna (INCROPERA et al., 2008).

O fluxo de calor pode ser expresso então da seguinte forma:

$$Q = \frac{K \times A}{L} \Delta T$$

Onde:

Q –fluxo de calor (W)

k – condutividade térmica (W/m.°K)

A- área da superfície de sua seção reta

ΔT – diferença de temperatura entre as superfícies (K)

L- espessura da parede (m)

Resistência Térmica

Segundo Roriz (2008), a transmissão de calor em um corpo sólido acontece por condução, se tratando de um corpo de faces paralelas e mesmo material. No caso, a resistência térmica (r_{cd}) são as trocas de calor por condução entre as faces paralelas do material. A fórmula é dada pela relação entre espessura (L) e condutividade do material (λ).

$$r_{cd} = \frac{L}{\lambda}$$

A resistência térmica interna é relacionada pelas trocas de calor que ocorre entre a face interna do material e o ambiente interior. Já a resistência externa é

relacionada pelas trocas de calor entre a face externa do material e o ambiente externo.

A resistência térmica de superfície a superfície é o somatório das Resistências térmicas do material, a interna e a externa.

INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica está relacionada à transferência de calor entre o ambiente externo e o interno. Depende diretamente do amortecimento e atraso da onda de calor, devido ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais. O atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica, a qual é função da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica da parede.

Atraso térmico é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (ABNT, 2005a), sendo sua unidade dada em h (horas). O atraso térmico indica o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo (GOMES, 2015).

É o volume da massa térmica e a velocidade da onda térmica que controlam a temperatura da superfície, isto é, depende diretamente da quantidade de massa das paredes, em massas mais espessas e pesadas leva-se um tempo maior para o sistema alcançar equilíbrio térmico; o material com qual são construídas; as cores se absorvem mais ou menos calor. Paredes de maior espessura, com materiais de baixa condutibilidade térmica e de cores claras terão maior capacidade de equilibrar a temperatura ambiente.

O maior aproveitamento desta técnica assegura uma grande contribuição para o conforto térmico no interior da edificação. O conceito de Inércia Térmica está ligado à capacidade da edificação de reduzir o calor transferido em suas maiores temperaturas e liberá-lo posteriormente, abrandando os picos de temperatura externa e proporcionando um atraso no pico máximo e mínimo na temperatura interna.

Capacidade térmica

Capacidade térmica de certo material é definida como a quantidade de calor necessária para elevar de 1K (um Kelvin) sua temperatura. É a capacidade de retenção de calor de determinado material. Um material que tenha grande capacidade térmica, precisa de grandes quantidades de calor para aumentar sua temperatura. Através da obtenção do valor da capacidade térmica pode-se avaliar o quanto um determinado material pode influenciar na inércia térmica da edificação. A equação para descobrir o valor da capacidade térmica é:

$$CT = m \times c$$

Onde:

CT: capacidade térmica (kJ/m². K);

m: massa superficial do elemento construtivo (kg);

c: calor específico do material (J/kg.K).

A capacidade térmica também pode ser definida em função do volume e da espessura, tendo-se então, a capacidade térmica volumétrica (kJ/m³. K) e por área (kJ/m².K). Quanto maior for a capacidade térmica dos componentes de uma edificação (paredes e cobertura), maior será sua inércia térmica e, por conseguinte, maior o amortecimento dos picos de temperatura internos em relação aos valores correspondentes no ambiente externo (GOMES, 2015).

Condutibilidade Térmica

A condutibilidade térmica é uma propriedade intrínseca do material e representa a quantidade de calor que atravessa esse corpo. Por exemplo, uma face do material está exposta ao Sol e recebe uma grande quantidade de calor, se esse material possuir uma baixa condutibilidade térmica, a outra face desse material que não está exposta ao calor direto nem altas temperaturas, receberá apenas uma parte menor desse calor, dependendo do valor da sua condutibilidade térmica.

No caso das edificações em regiões de baixa latitude, como no caso do Norte/Nordeste do Brasil, o ideal é que se utilizem, nas construções, materiais

com baixa condutibilidade térmica. Esses materiais servirão como isolante térmico, por exemplo, ao utilizar o quartzito ou outro material que possui baixa condutibilidade térmica na fachada da edificação, ao receber a irradiação solar, não transportará todo esse calor para os outros componentes da parede, contribuindo assim para a inércia térmica da edificação.

2.3 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Segundo Romero (2000), a arquitetura bioclimática consiste em pensar e projetar um edifício levando em consideração todos os fatores climáticos e características ambientais do entorno em que se insere. Pretende-se assim otimizar o conforto ambiental no interior do edifício - o conforto térmico, luminoso, acústico, etc.. É importante lembrar que nem sempre os recursos naturais disponíveis serão suficientes para garantir o conforto ao usuário da edificação e, eventualmente, incorporar sistemas de iluminação e climatização artificiais.

Segundo Lamberts *et al* (2014), é importante integrar o uso dos sistemas naturais e artificiais, ponderando os limites de exequibilidade e a relação custo x benefício de cada solução. Na década de 60 (séc.XX) os irmãos Olgyay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura considerando o conforto térmico humano e criaram a expressão “Projeto Bioclimático”. (Olgyay 1973 *apud* Lamberts *et al*, 2014). No projeto bioclimático, busca-se satisfazer as exigências de conforto térmico humano utilizando as condições climáticas favoráveis.

De acordo com Frota e Schiffer (2001), as distinções entre os tipos de climas poderiam ser tão diversificadas quanto as combinações entre os vários elementos climáticos. Na arquitetura, os dados climáticos mais significativos são os relativos às variações, diárias e anuais, da temperatura do ar e os índices médios de umidade relativa e precipitações atmosféricas e, quando disponível, a quantidade de radiação solar.

2.3.1 CRITÉRIOS CLIMÁTICOS NO BRASIL

O Brasil é um país de dimensões continentais e pelo fato de se localizar entre dois trópicos apresenta uma grande variedade climática. Derivada da

classificação de Koppen a Figura 6 mostra a divisão do clima brasileiro adaptada de acordo com dados do IBGE 2006. (LAMBERTS *et al*, 2014)

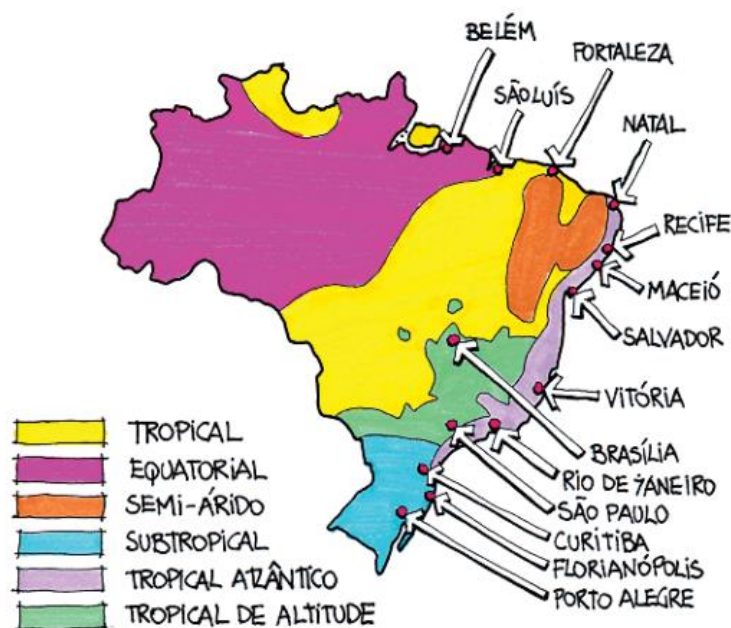


Figura 7 Mapa dos climas no Brasil. Fonte: LAMBERTS *et al*, 2014

No clima tropical, o verão é quente e chuvoso e o inverno quente e seco. Apresenta temperaturas médias acima de 20°C e amplitude térmica anual de até 7°C. As chuvas oscilam entre 1.000 e 1.500 mm/ano. Esse clima abrange as regiões centro e sudeste do país (LAMBERTS *et al*, 2014).

O clima equatorial compreende toda a Amazônia e possui temperatura média entre 24°C e 26°C, com amplitude térmica anual de até 3°C. Chuva abundante e bem distribuída, normalmente, maior que 2.500 mm/ano.

O clima semi-árido é o mais quente do país, com temperatura média em torno de 27°C e amplitude térmica por volta de 5°C. As chuvas são escassas, menos de 800 mm/ano. Esse clima, também denominado quente e seco, apresenta duas estações bem distintas: um longo período de seca e um curto período de chuva, radiação direta intensa e baixo teor de umidade relativa do ar (ROMERO, 1988). Esse clima também toca parte do nordeste brasileiro, assim como o Centro- Oeste do Brasil.

No clima subtropical, as temperaturas médias se situam abaixo de 20°C e a amplitude térmica anual varia entre 9°C e 13°C. As chuvas são fartas e bem distribuídas, entre 1.500 e 2.000 mm/ano. O inverno é rigoroso, podendo até

nevar nas regiões mais altas. É o clima que abrange o Sul do país. (LAMBERTS *et al*, 2014)

O Clima tropical atlântico é característico das regiões litorâneas do país, onde as temperaturas médias oscilam entre 18°C e 26°C. As chuvas são abundantes, cerca de 1.200 mm/ano e ocorrem no verão nas regiões localizadas mais ao sul, e no inverno e outono para as regiões de latitude mais baixa. A amplitude térmica varia, mais ao Norte possui baixas amplitudes térmicas no decorrer do ano; mais ao sul a amplitude térmica é maior. (LAMBERTS *et al*, 2014)

No clima tropical de altitude, a temperatura média se situa entre 18°C a 22°C. No verão as chuvas são mais intensas entre 1.000 e 1.800 mm/ano, podendo gear no inverno. Esse clima se estende entre o norte do Paraná e o sul do Mato Grosso do Sul, nas regiões mais altas do planalto atlântico. (LAMBERTS *et al*, 2014).

O zoneamento e a classificação climática do Brasil visa dar recomendações construtivas para que as edificações otimizem o desempenho térmico, fator que proporciona economia de energia para o usuário da edificação e benefícios para a sociedade. (GOMES, 2005).

Hoje o território brasileiro está dividido em 8 zonas quanto ao clima. O Anexo A da NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) apresenta a relações de 330 cidades cujos climas foram classificados (Figura 7).

Na Norma Brasileira 15575-4 (ABNT, 2012) destacam-se os requisitos estabelecidos que devam ser atendidos para as paredes externas, em acordo com 8 (oito) regiões bioclimáticas. Nesta norma, para todas as regiões

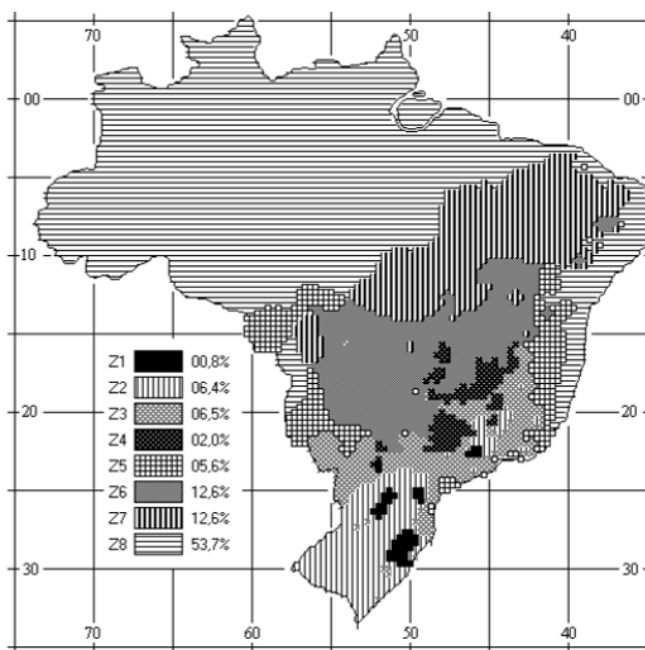


Figura 8 Zoneamento bioclimático brasileiro Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

bioclimáticas são indicados valores a serem atendidos para capacidade térmica (CT)² e para transmitância térmica (U)³. Entre tais recomendações, destacam-se basicamente duas delas, que se enquadram na maioria das regiões bioclimáticas, quais sejam: (GOMES, 2015).

1. PAREDES EXTERNAS LEVES: indicam-se como adequadas nas regiões bioclimáticas 1 e 2, valores de transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,0 W/(m².K) e de atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas;

2. PAREDES EXTERNAS PESADAS (com maior inércia térmica): indicam-se como adequadas nas regiões bioclimáticas 4,6 e 7, valores de transmitância térmica (U) menor ou igual a 2,2 W/(m².K) e de atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas.

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005a), João pessoa e Campina Grande - PB estão inserida na zona bioclimática 8. Nessa zona, temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) com maior massa térmica. Na Tabela 3 encontram-se as diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas. Para a zona bioclimática 8, recomenda-se nas vedações externas o uso de paredes leves refletoras.

Tabela 3 Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa. Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005a)

	Vedações externas	Transmitância térmica- U W/m ² .k	Atraso térmico- ϕ Horas	Fator solar- FS0 %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS0 \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS0 \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \leq 6,5$	$FS0 \leq 3,5$

² A capacidade térmica (CT) para todas as Zona Bioclimáticas deve ser maior ou igual a 130 kJ/(m².K) e para a Zona 8 é sem exigência.

³ O valor da transmitância térmica (U) deve ser menor ou igual a 2,5 W/(m².K) para Zona Bioclimática 8 quando a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede for maior do que 0,6.

2.3.2 Zoneamento Brasileiro e Uso do Quartzito

A recomendação para o uso do quartzito de acordo com o clima brasileiro, é que seja utilizado nas regiões de clima quente e úmido. Nessas regiões a variação da temperatura noturna não é tão significativa a ponto de causar sensação de frio. No clima quente úmido as construções não devem ter uma inércia muito grande, para que não dificulte a retirada do calor interno armazenado durante o dia e prejudique o resfriamento da construção quando a temperatura externa noturna está mais agradável que internamente (FROTA e SCHIFFER, 2001). A parede deve ser pesada o suficiente para que o calor externo do dia não chegue no interior da edificação e leve o bastante para que o calor não fique armazenado nas paredes e seja liberado à noite, quando a temperatura é mais amena.

Nesse sentido, deve-se prever uma inércia de média a leve, porém com elementos isolantes nos vedos, para impedir que grande parte do calor da radiação solar recebida pelos vedos atravesse a construção e gere calor interno em demasia. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

O que se espera do uso do quartzito como revestimento externo de paredes nessa região quente úmida é que esse calor recebido durante o dia, não seja conduzido para as outras camadas da parede, não ficando armazenado nessas camadas, portanto não precisará ser liberado quando a temperatura exterior tiver mais amena. Ou seja, tal revestimento externo deverá ter eficiência como barreira térmica, objeto que será aferido no decorrer da pesquisa.

2.4 PEDRAS RECONSTITUÍDAS e PREMISSAS

Ao processo de junção de pó de pedra com aglomerante é dado o nome de reconstituição de pedras, essa é uma terminologia comercial já difundida. Na produção das pedras reconstituídas o tamanho da matéria- prima não importa, uma vez que a pedra é moída para se misturar com a resina. Esse fator é importante ao lidar com rejeitos industriais que são apresentados nos mais

diferentes formatos e tamanhos. Algumas opções de pedras reconstituídas já são encontradas no mercado (Ver Figuras 9, 10 e 11).

Durante as pesquisas, algumas maneiras foram encontradas para trabalhar com o quartzito como revestimento. Comumente, o quartzito já é utilizado com cimento e argamassa, com finalidade de assentamento. Porém, a forma escolhida para ser trabalhada no presente projeto foi o quartzito com a resina, principalmente pelo fato de algumas resinas não interferirem na cor da pedra e oferecer maior resistência ao revestimento.

A resina já é utilizada com pedras ornamentais, nas cidades históricas, com a função de preservação e recuperação de acervos, que submetidos ao intemperismo e a outros tipos de ambientes agressivos, sofrem a degradação. O emprego de resinas em restaurações de monumentos rochosos tem sido efetuado de maneira empírica, as resinas são misturadas com pó de rocha e utilizadas para enchimento de discontinuidades e união por colagem de peças deterioradas. Entre outros, o restaurador Jair Afonso Inácio e o mestre da Cantaria José Raimundo Pereira (“mestre Juca”) empregaram a resina poliéster (NEVES, J.H. *et al*, 2011).

- Quartzito + Resina. Um conhecido exemplo é a superfície de quartzito Silestone que é um composto constituído por 94% de quartzito natural e 6% de resina de alto desempenho.



Figura 9 Superfície de quartzito reconstituído da Silestone. Fonte: <http://decorsalteado.com/2015/08/silestone-saiba-tudo-sobre-essa-pedra-e.html> ; http://www.torremarmores.com/en/gallery2/main.php?g2_view=core.ShowItem&g2_itemId=2044

- Granito Industrializado. O granito industrializado é um material de alta tecnologia, produzido basicamente por 93% de agregados minerais naturais, como por exemplo, o pó e areia de quartzito, além de granito triturado e também 7% de resina de poliéster de alto desempenho.

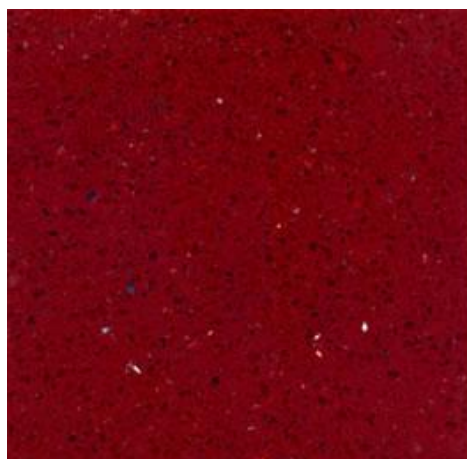


Figura 10 Gratinho industrializado. Fonte: http://www.mini-dicas.com/2012/04/nova-alternativa-ao-marmore-e-o-granito_1515319.html; <https://www.samagran.com.br/cat-logo>

- Mármore Industrializado. É constituído de forma similar ao granito industrializado. Possui vantagens físicas e químicas, como textura homogenia, alta densidade e é feito da escolha de minerais puros e brutos por meio de sedimentação dupla.



Figura 11 Exemplo de mármore industrializado, Marmoglass. Fonte: <http://construindodecor.com.br/wp-content/uploads/2014/09/marmoglass.jpg>

Em Queiroz (2014), de forma rudimentar e sem o seguimento rigoroso de normas técnicas de orientação e parâmetros, foi levantada a hipótese de desenvolvimento de um compósito, utilizando o quartzito como matéria-prima principal e com finalidade de revestimento. O processo utilizado foi o de pedras reconstituídas, onde a pedra é moída e misturada com resina de poliéster termorrígida. O trabalho apresenta resultados da boa conformação do material. Dentre os ensaios do composto, a primeira capacidade do quartzito a ser verificada, foi a possibilidade de torná-lo pó. Em seguida, foi testado sua capacidade de conformação⁴ (figura 12). Quanto aos testes de conformação o primeiro foi feito respeitando a proporção de 93% de pó para 7% de resina e foi constatado que essa proporção pode ser adequada numa produção industrial, porém como as misturas foram realizadas manualmente a amostra ficou quebradiça (figura 9 – primeira imagem). Outro teste foi feito utilizando uma proporção de 80% de pó para 20% de resina e o resultado foi satisfatório: a amostra ficou rígida e uniforme⁵ (figura 12 – segunda imagem), porém houve dificuldade de desmoldagem. Um último teste foi idealizado, utilizando desmoldante, porém, só em nível de teste, foi utilizada uma proporção de 70% de pó para 30% de resina e foi observado que quanto maior a quantidade de resina da mistura, mais liso e brilhoso fica o acabamento da superfície (figura 12 – terceira imagem).



Figura 12 Ensaios de conformação do compósito. Respectivamente primeiro teste, segundo teste e terceiro teste. Fonte: própria da autora.

⁴ As proporções de pó de pedra e resina foram inicialmente definidas de acordo com pesquisas feitas sobre as pedras reconstituídas já presentes do mercado, todas respeitam uma “receita” onde cerca de 93% de pó de pedra é utilizado para 7% de resina.

⁵ Não se sabe o quão rígida devido à falta de recursos para realizar os testes dessas amostras.

Os testes foram apenas uma demonstração da viabilidade de desenvolvimento de um compósito utilizando quartzito e resina em um processo de pedras reconstituídas.

Em 2015, decidimos checar novamente as proporções de aglomerante do compósito e suas propriedades térmicas e mecânicas. Tomando como referência o trabalho desenvolvido por Queiroz (2014), que em sua experiência utilizou o método de pedras reconstituídas e uma proporção de 30% de resina de poliéster termorrígida e 70% de pó de pedra, o trabalho de conformação se iniciou com a tentativa de diminuir a quantidade de resina com o propósito de diminuir custos e não interferir nas propriedades térmicas do quartzito. Testes foram realizando com quantidades menores de resina, 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em corpos de prova prismáticos comprimidos em forma metálica com dimensões de 2cm de altura, 6cm de largura e 2 cm de profundidade. As amostras, após comprimidas, possuem dimensões de aproximadamente 1,5cm de altura, 6cm de largura e 2cm de profundidade.

Nestes ensaios, foi utilizada uma prensa manual para verificar se a pressão influencia no poder conformação e na resistência dos corpos de prova. Posteriormente, os mesmos testes foram realizados e levados à estufa, uma vez que um estudo realizado por Castro (2003) na UFSC sobre materiais poliméricos comprovam que a resistência da resina aumenta quando levada para curar a 100°C de temperatura. Esses testes foram comparados até se chegar a uma dosagem e meio de conformação desejados, isto é, com o mínimo de resina possível para ficar compacto e resistente.

Todas as amostras (de todas as proporções) foram submetidas a uma carga de 0,6 toneladas (50kgf/cm²) para melhor distribuição da resina e melhor conformação.



Figura 13 Carga aplicada ao material durante a moldagem das amostras



Figura 14 Amostras moldadas

No decorrer dos ensaios realizados, posterior à conformação das amostras, foi observado que com a carga exercida na moldagem, a amostra com 15% de aglomerante conformou satisfatoriamente e não desagregou partículas como as amostras de 5 e 10%.

Nesse mesmo ensaio, observou-se que o uso da resina epóxi apresenta melhores resultados, quanto ao desempenho térmico, se comparada a resina de poliéster. O compósito pó de pedra aglutinado por resina epóxi mostrou um rendimento aproximado ao do próprio quartzito *in natura*. Espera-se que esse desempenho melhore ao ser utilizada a resina epóxi cristal, pois a cor âmbar escureceu a cor da amostra, podendo influenciar na absorvidade do material.

2.5 AGLOMERANTES

No processo de reconstituição de pedras, o aglomerante utilizado, normalmente, é uma resina. As resinas mais populares do mercado são a de poliéster e a epóxi. Nas premissas, já foi constatado que o desempenho térmico da resina epóxi é superior ao da resina de poliéster, o que levou-nos a optar por realizar os ensaios com ela.

Uma emulsão acrílica da marca Carboneo Brasil estava em estudo, em relação a suas propriedades térmicas, no LABEME-CT-UFPB. Como foi

comprovado o bom rendimento térmico e pelo fácil acesso, optou-se fazer também os ensaios com essa resina.

Finalmente, foi escolhido trabalhar com a resina de poliuretano vegetal de rícino, por ser de origem natural e renovável, ser atóxica e sem cheiro. O fato de existir uma fábrica em Parnamirim – RN, o que facilita o acesso, também foi fator decisivo.

Ainda como teste exploratório, decidimos usar o cimento branco como aglomerante. Mesmo sabendo que o cimento possui características térmicas inferiores aos plásticos, achamos a tentativa válida para checar moldagem, proporção e viabilidade. Porém no mercado da Paraíba e estados vizinhos (Rio Grande do Norte e Pernambuco), o cimento branco não é facilmente encontrado no comércio. Foi decidido, então, testar com o cimento branco utilizado como rejunte.

Resina Epóxi

A resina epóxi está na categoria de polímeros termorrígidos, eles não se tornam fluídos ou mudam de textura com o aumento da temperatura e após a cura não possui a capacidade de se fundir novamente. São polímeros estáveis e de fácil ruptura (GORN, 2011).

As resinas epóxi são de fácil manuseio devido sua baixa viscosidade, possuem boa resistência química, térmica e demonstram elevada resistência e módulo de elasticidade .(NASCIMENTO, 2009).

Em conjunto com agentes de cura apropriados rapidamente se convertem a fase termofixa, por isso que normalmente são comercializadas com catalisadores. Podem ser curadas rapidamente na faixa entre 5 a 150°C, dependendo do agente catalisador utilizado. Possuem baixa contração durante a cura, aproximadamente 3% e depois de curadas, dependendo do agente de cura, possuem boa resistência a ácidos e reagentes cáusticos (NASCIMENTO, 2009).

Emulsão Acrílica

A emulsão acrílica é uma resina fluída e de fácil manuseio. Seu estado precedente a cura é um líquido de baixa viscosidade branco. Para sua

transformação em termofixa, não é necessário o uso de agentes catalisadores, a cura demanda tempo e acontece em ambiente natural.

Segundo o fabricante, a resina possui biodegradabilidade superior a 90%, conferida através do teste Zanhn Wallons. E apresenta as seguintes propriedades físico-químicas: (Ver tabela 4)

Tabela 4 Propriedades físico químicas da Emulsão Acrílica. Fonte: FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS – FISPQ (ver anexo)

Características físico-químicas da Emulsão Acrílica

Ponto/Intervalo de ebulição	100°C
Ponto/Intervalo de fusão	0°C
Pressão de vapor	23 mbar
Densidade	1,000 - 1,100 g/cm ³
Solubilidade em água	Miscível
PH	8,00 – 9,00
Sólidos Totais (1g/1H/105°C)	44,00 – 46,00 %
Viscosidade-Brookfield RVT	8.000 – 12.000 (cP)

Resina de Poliuretano Vegetal – Rícino

De acordo com o fabricante Sinergia, a resina termorrígida de rícino precisa de agente catalisador para que ocorra a cura. Após o processo de enrijecimento, não possui capacidade para uma nova fusão. São estáveis e altamente resistentes a corrosão, abrasão, intempéries e substâncias agressivas (ácidos, álcalis e solventes). A resina de rícino é formulada e polimerizadas a frio, não perdem massa após a cura.

São obtidas através de recursos naturais e renováveis, o óleo de mamona. Não agride o meio ambiente, é completamente isenta de metais pesados, solventes ou voláteis. Ainda, segundo o fabricante, o uso dessa resina reduz as transferências de calor e ruídos ao ambiente interno.

Porém, segundo o próprio fabricante, a resina de rícino tende a ligeiro amarelamento quando exporás aos raios UV's, apesar de preservar todas as demais caraterísticas (<http://sinergiaservice.com.br/pu-vegetal/>).

3 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas que aconteceram paralelamente, os estudos teóricos e experimentais. A abordagem teórica, a qual gerou o referencial teórico, proporcionou toda a base de conhecimentos para que os estudos experimentais fossem determinados, desenvolvidos e discutidos na obtenção dos resultados.

A investigação teórica foi realizada a partir de consultas em artigos de periódicos nacionais e foi complementada pela busca em livros e dissertações. O tema “quartzito” é ainda pouco abordado em periódicos internacionais e embora o enfoque dado, mesmo aqui no Brasil, seja pequeno, alguns estudos experimentais de quartzito com resina serviram para nortear a presente exploração. Os temas buscados nas pesquisas bibliográficas abordam desde o quartzito, suas propriedades, aplicações e impactos ambientais e sociais decorrentes da lavra, discorrendo por conceitos de calor, inércia térmica e outros subtópicos que tornam o entendimento do desempenho térmico das paredes externas das edificações mais acessíveis.

No estudo experimental, buscou-se avaliar a melhor opção de aglomerante, por melhor entende-se a opção que manteve o compósito com comportamentos térmicos mais próximos ao da pedra *in natura* e desempenho mecânico dentro dos padrões exigidos pela ASTM C616 (ver Figura 15) para rochas ornamentais utilizadas como revestimento. O fator preço do aglomerante e, conseqüentemente, do produto final também é fator relevante, embora não determinante. Portanto, foi realizada uma avaliação comparativa entre as resinas Epóxi cristal, a Emulsão Acrílica da Carboneo Brasil e resina de rícino âmbar.

Segue abaixo um esquema para melhor entendimento das etapas e seqüências dos procedimentos metodológicos.

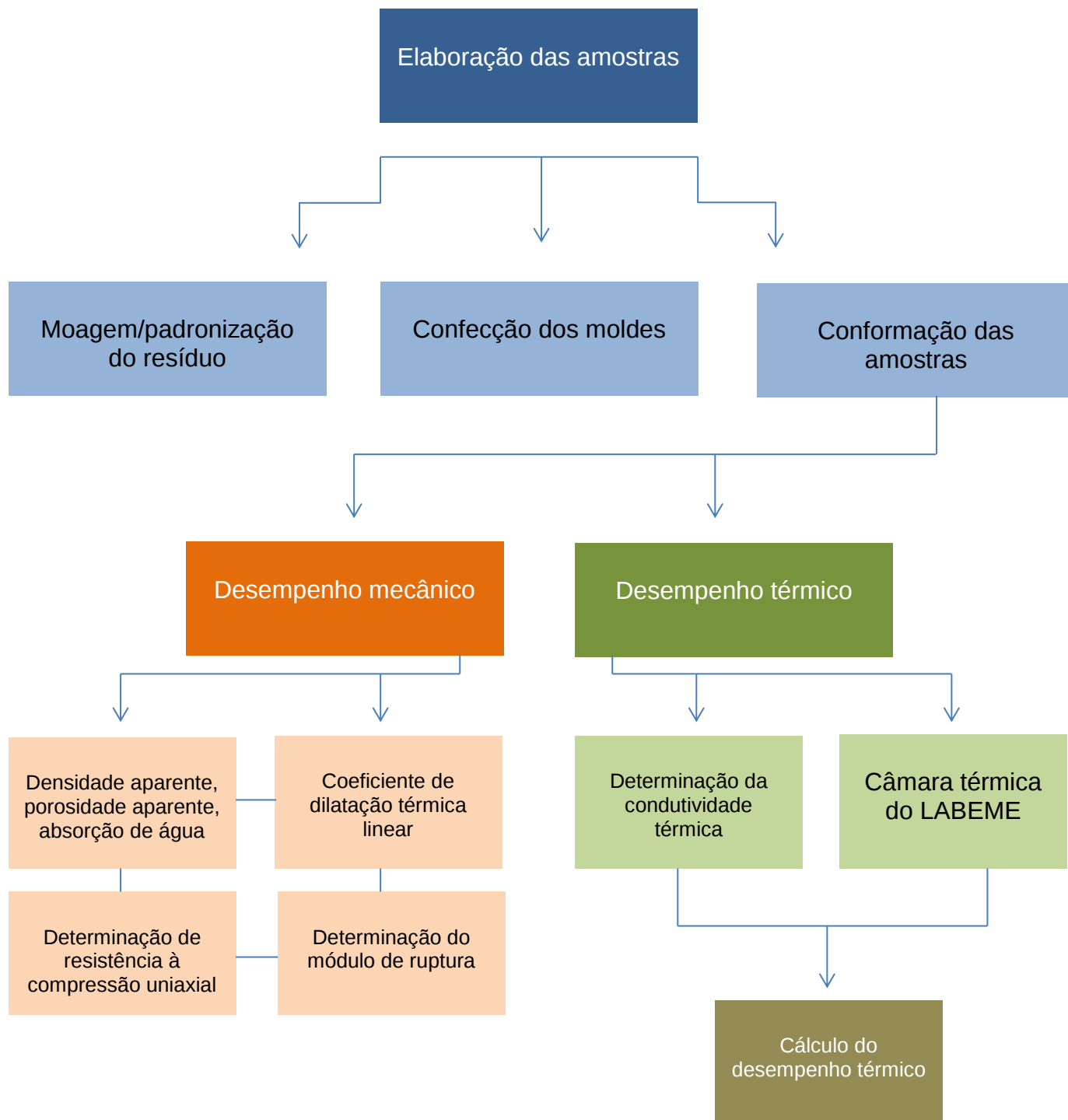


Tabela 5 Valores padronizados pela ASTM para alguns ensaios em rochas ornamentais utilizadas como revestimento. Fonte: FRASCA, 2002. *paralelo a foliação. **perpendicular a foliação

Tipo de rocha		Densidade (Kg/m ³)	Absorção de água (%)	Compressão uniaxial (Mpa)	Módulo de ruptura (Mpa)	Flexão em quatro pontos (Mpa)
Granitos		≥ 2.560	≤ 0,4	≥ 131	≥ 10,34	≥ 8,27
Mármore (ASTM C 503)	calcítico	> 2.595	≤ 0,20	≥ 52	≥ 7	≥ 7
	dolomítico	> 2.800				
	serpentinítico	≥ 2.690				
	travertino	≥ 2.305				
Calcários (ASTM C 568)	baixa densidade	≥ 1.760	≤ 12	≥ 12	≥ 2,9	n.e.
	média densidade	≥ 2.160	≤ 7,5	≥ 28	≥ 3,4	n.e.
	alta densidade	≥ 2.569	≤ 3	≥ 55	≥ 5,9	n.e.
Arenitos /quartzitos (ASTM C 616)	≥ 60% sílica livre	≥ 2.003	≤ 8	≥ 27,6	≥ 2,4	n.e.
	≥ 90% sílica livre	≥ 2.400	≤ 3	≥ 68,9	≥ 6,9	n.e.
	≥ 95% sílica livre	≥ 2.560	≤ 1	≥ 137,9	≥ 13,9	n.e.
Ardósias (ASTM C 629)	exterior	n.e.	≤ 0,25	n.e.	≥ 49,6*/ ≥ 62,1**	n.e.
	interior	n.e.	≤ 0,45	n.e.	≥ 37,9*/ ≥ 49,6**	n.e.

3.1 Elaboração das amostras

Para que os ensaios relativos ao desempenho térmico e mecânico do compósito fossem realizados, foi necessária a elaboração das amostras conforme as especificações das NBR's e de acordo com cada ensaio a ser executado. A princípio, foram selecionados os resíduos sólidos do quartzito que seriam utilizados, o critério de escolha foi a cor, resolvemos trabalhar com o rocha de cor mais clara, devido a menor absorvidade de calor oferecida pelas superfícies de matizes claras. A opção escolhida foi o quartzito branco proveniente da cidade de Equador-RN.

Em seguida esse resíduo foi trabalhado em relação a padronização de tamanho. O resíduo de quartzito foi triturado em laboratório, de modo a produzir um pó de pedra, de cujo material resultante, a maior parte (38 %) ficou retido na peneira com malha de abertura igual 0,15 mm e, a outra grande parcela do material (59 %) passou pela mesma peneira. Primeiramente, esse resíduo passou pelo Mini Britador disponível no LABEME, passado na peneira 4,75mm, então a parcela que ficou em tamanho maior ao predeterminado, foram novamente trabalhados no moinho de bolas em ciclos de mil giros, passados mais uma vez

na peneira 4,75mm, de forma que todo o rejeito selecionado foi padronizado e utilizado, não havendo desperdício (Ver o resultado da granulometria tabela 6)

Tabela 6 Determinação da granulometria com base na ABNT NBR 7211:2009

Peneiras (mm, μ m)	Peso retido (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
4,75	0	0	0
2,36	9,1	1,82	1,82
1,18	2,3	0,46	2,28
600	1,2	0,24	2,52
300	2,2	0,44	2,96
150	190,9	38,18	41,14
Resíduo	294,3	58,86	100
Total	500	100	

Dmáx. caract.(mm)	0,3
Módulo de finura	0,5

Em seguida, foram confeccionados os moldes de M.D.F., alguns precisaram ser refeitos de madeira, devido a deformação proveniente da pressão de moldagem. Ao todo foram 4 moldes, cada um correspondente as medidas determinada pelas NBR's (ver tabela 7).

Tabela 7 Tabela demonstrativa dos moldes em MDF e a qual NBR é referente

Molde	Medidas	ABNT NBR
	50x50x25mm (base x altura x espessura)	NBR 15845-2:2015: Rochas para revestimento Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água.
	30x75x25mm (base x altura x espessura)	NBR 15845-3:2015: Rochas para revestimento Parte 3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear
	70x70x70mm (base x altura x espessura)	NBR 15845-5:2015: Rochas para revestimento Parte 5: Determinação de resistência à compressão uniaxial
	100x200x50mm (base x altura x espessura)	NBR 15845-6:2015: Rochas para revestimento Parte 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em 3 pontos)

Após a confecção dos moldes, iniciou-se o processo de moldagem. A princípio, decidiu-se realizar primeiramente os ensaios correspondentes ao desempenho térmico do compósito, então foram moldados os corpos de prova para os testes da NBR 15845 partes 2 e 3 e a determinação da condutividade térmica – NBR 15220-5 “Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxométrico” (ABNT, 2005c). Então, essa primeira etapa de ensaios foi realizada com os três tipos de aglomerantes propostos, a fim de concluir qual compósito apresentaria o desempenho térmico mais satisfatório.

Moldagem com a Resina Epóxi Cristal

Para a moldagem dos corpos de prova com a resina epóxi, foi utilizada uma proporção de 15% de resina e 85% de pó de pedra, os componentes foram misturados manualmente, em seguida, o compósito foi colocado na forma e submetido a uma pressão de 50kgf/cm². É válido considerar que a pressão exercida nos corpos de prova é relativamente pequena, apenas para compactar o compósito o suficiente para o desmolde imediato e reutilização da forma. Os corpos de prova levaram 24 horas para cura completa em ambiente natural, embora para a realização do ensaio, foi dado um intervalo maior que o exigido para a cura.

Moldagem com a Emulsão Acrílica

Para a moldagem dos corpos de prova com a emulsão acrílica, foi utilizado 10% de resina e 90% de pó de pedra. O processo de moldagem foi similar com todos os aglomerantes. Por indicação do fabricante, a cura da resina foi feita em ambiente natural e mesmo após meses da moldagem dos corpos de prova, o material não enrijeceu como proposto pelo fornecedor. Os ensaios foram feitos após 3 meses de confeccionados os corpos de prova e mesmo após esse tempo, os corpos de prova desagregavam com facilidade (Ver Imagens 15 e 16).



Figura 15 Tentativa de moldagem de corpo de prova com a resina da Carbono Brasil. Fonte: própria da autora



Figura 16 Após horas de moldagem, o corpo de prova ainda esfarela ao manuseá-lo. Fonte: própria da autora

Moldagem com a Resina de Rícino

Em relação a resina de rícino, foram utilizadas de dois fornecedores diferentes. A primeira remessa veio de Parnamirim- RN e supriu a necessidade para que fossem moldados os corpos de prova para os ensaios NBR 15845 partes 2 e 3 e a determinação da condutividade térmica através do condutímetro K30 (NBR 15220-5/2005) e para o ensaio NBR 15845 parte 5. Por dificuldade do fabricante em suprir a demanda, adquirimos a resina de um novo representante, da cidade de Araraquara- SP, então refizemos os corpos de prova do ensaio NBR 15845 parte 5, os da determinação de condutividade térmica através do condutímetro em sonda (ISOMET 2114) e os do ensaio NBR 15845 parte 5 parte 6.

A proporção utilizada com a primeira resina (Parnamirim- RN) foi de 15% de resina e 85% de pó de pedra, o processo de moldagem foi similar e o tempo exigido para a cura foi de 24 horas. A resina de rícino trabalhada não é totalmente transparente, é amarelada e adiciona cor as amostras. Ainda assim, é considerável observar que mesmo a resina sendo mais escura, os corpos de prova ficaram mais claros comparados aos corpos de prova que o aglomerante foi a resina epóxi.

A proporção utilizada com a segunda resina (Araraquara-SP) foi de 12% de resina e 88% de pó de pedra, o processo de moldagem foi similar e apesar de os corpos de prova estarem aptos para manuseio com 1h de descanso para cura, o tempo deixado para a cura foi o padrão, de 24 horas. Essa segunda resina adicionou mais cor aos corpos de prova, ficaram um pouco mais amarelados em relação aos feitos com a primeira resina de rícino (Ver Figura 17).



Figura 17 Diferença de coloração dos corpos de prova moldados com diferentes resinas. Sendo eles, da esquerda para a direita: corpo de prova moldado com a emulsão acrílica; moldado com resina epóxi; moldado com resina de rícino de Parnamirim; moldado com resina de rícino vinda de Araraquara. Fonte: Própria da autora

Moldagem com cimento branco para rejunte

No decorrer das pesquisas, surgiu a curiosidade de fazer ensaios, também, com corpos de prova moldados tendo o cimento branco como aglomerante, porém no eixo Paraíba – Pernambuco e Rio Grande do Norte nenhum fornecedor cimentício trabalha com essa versão de cimento, uma vez que o custo é mais alto e, por fim, é pouco adotado nas obras. Em busca de satisfazer a curiosidade, tentamos trabalhar com o cimento branco utilizado com rejunte. Por ter uma característica não estrutural e precisar se contrair e dilatar de acordo com o revestimento, os corpos de prova não apresentaram rigidez e compactação. Foram feitas duas tentativas, uma moldando os corpos de prova e deixando curar em temperatura ambiente e, outra, moldando os corpos de prova, colocando em câmara úmida por 24 horas e, em seguida, em submersão em água por 28 dias,

tal como recomendado em corpos de prova cimentícios. Nenhuma das tentativas foram satisfatórias, o material ficou frágil e quebradiço nos dois casos, na segunda tentativa, em que a cura foi úmida, o corpo de prova perdeu material para o meio aquoso, ao final do período submerso, as placas estavam finas, frágeis e de superfícies irregulares (ver figuras 18 e 19)



Figura 18 Primeira tentativa de moldagem com cimento branco utilizado como rejunte e cura em temperatura ambiente. Os corpos de prova ficaram frágeis e quebradiços. Fonte: própria da autora



Figura 19 Segunda tentativa de moldagem com cimento branco utilizado com rejunte, a cura aconteceu em submersão em água, ao final do período submerso, as placas estavam com superfícies irregulares e frágeis. Fonte: própria da autora

3.2 ABNT NBR 15845-2: Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e da absorção de água

Conforme orienta a NBR, foram moldados 10 corpos de prova, de cada um dos compósitos no qual diferem o aglomerante, com medidas 50x50x25mm (base x altura x espessura) e após a cura completa, as 10 peças foram lavadas em água corrente e escovadas com uma escova de cerdas macias, no presente caso, foi utilizado uma escova de dentes de cerdas macias (ver imagens 20 e 21). Em seguida, foram organizadas em um depósito plástico com água destilada até $\frac{1}{3}$ da sua altura por 4horass e após esse período foi acrescido mais $\frac{1}{3}$ de água, após mais 4horas o depósito foi completado de água e ficou em repouso por mais 40horas (ver figura 22).



Figura 20 Escova de cerdas macias utilizada na limpeza dos corpos de prova. Fonte: própria da autora



Figura 21 Limpeza dos corpos de prova em água corrente. Fonte: própria da autora



Figura 22 Corpos de prova organizados em um recipiente plástico onde foi colocada água destilada de acordo com a NBR 15845-2. Fonte: Própria da autora.

Após esse período, os corpos de prova foram pesados individualmente na condição submersa em uma balança hidrostática, fornecendo o M_{sub} . Para essa primeira pesagem, os corpos de prova foram amarrados com um fio de massa desprezível, no caso, foi utilizado o fio de nylon e apoiados em um gancho presente na base da balança. Foi necessário um apoio de madeira com um orifício na base de suporte, para sustentar a balança e realizar a pesagem (Ver figuras 23 e 24). Foi preciso realocar os corpos de prova em um depósito menor que se encaixasse na base que sustentava a balança.



Figura 23 Sistema de pesagem dos corpos de prova na condição submersa. Fonte: própria da autora



Figura 24 Detalhe do fio que suspende o corpo de prova para pesagem na condição submersa. Fonte: Própria da autora

As peças foram retiradas da água, levemente secas com um pano úmido e pesadas novamente, o que nos dá a $M_{sat.}$

Os corpos de prova foram mantidos em um aparato que simula uma estufa ventilada, que foi desenvolvido e consolidado em Lacerda, 2017 que deu o nome de C-CLIMÁTICA. O equipamento C-CLIMÁTICA trata-se de uma caixa térmica de poliestireno expandido (isopor), com dimensões internas iguais a 69 cm x 47 cm x 32 cm (largura x profundidade x altura), resultando no volume igual a 103.776 cm³ (≈ 100 litros). Nela foi instalado uma resistência elétrica em barra, do tipo U, com potência de 300 W, controlada por um dimerizador (potenciômetro), ao redor da resistência foi acrescentada uma tela metálica com a intenção de

aumentar a superfície de calor em contato com o ar, elevando assim sua eficiência, mesmo com reduzida potência da resistência. O monitoramento interno da câmara foi realizado por meio de uma unidade controladora de temperatura e umidade, Modelo Ageon, K103 Pidu com visor digital (Ver figura 25). Com o objetivo de controlar melhor as condições internas, foi instalado nas laterais do isopor duas ventoinhas de 100 mm (12V) para retirar o excesso de calor que possa desestabilizar a configuração simulada no interior da câmara, além de outras duas no interior para circulação e homogeneização do ar (Ver figura 25.)

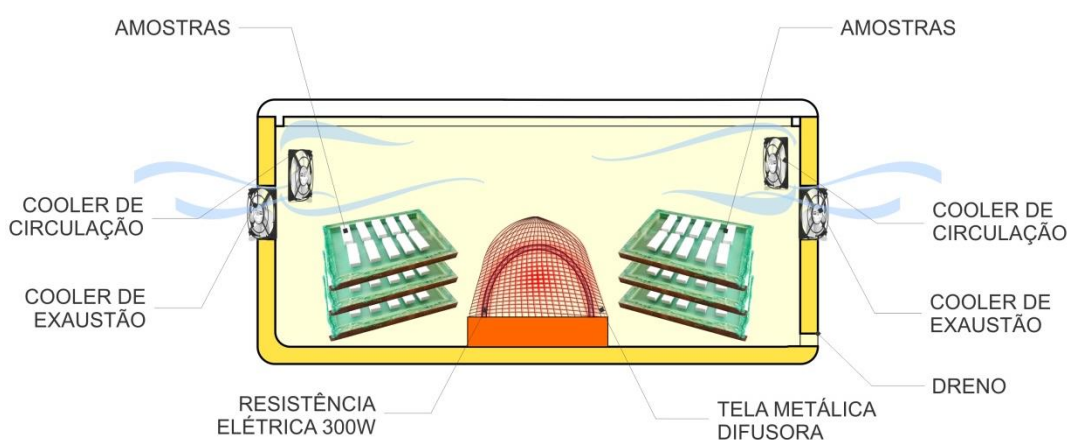


Figura 25 Esquema demonstrativo da C-CLIMÁTICA. Fonte: Pablo Lacerda

As amostras organizadas na C-CLIMÁTICA (Ver Figura 26) foram expostas à temperatura de 70°C por 24hs e, em seguida, foram retiradas da estufa e colocadas no dessecador com uma substância dessecante, conforme orienta a norma, no presente caso foi o cloreto de cálcio, para que fossem resfriados sem absorver a umidade do ar, para então, serem pesados (ver figura 27). Após a pesagem, os corpos de prova voltaram ao dessecador por 2 horas e foram pesados novamente, o que forneceu a M_{sec} . Como a massa se manteve constante, não foi necessária uma nova pesagem.



Figura 26 Organização dos corpos de prova na estufa ventilada. Fonte: própria da autora.



Figura 27 Organização dos corpos de prova no dessecador. Fonte: própria da autora.

3.3 ABNT NBR 15845-3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear

Conforme indicado na NBR, foram moldados 2 corpos de prova de cada compósito no qual diferem o aglomerante, com medidas 30x75x25mm (base x altura x espessura) que foram colocados em um recipiente com água, em temperatura ambiente, por 24 horas para que houvesse a saturação (ver figura 28). Após esse período, as peças foram retiradas da submersão e medidas com o paquímetro, que forneceu seu comprimento inicial, L_0 .



Figura 28 Corpos de prova submersos por 24hs

Para o desenvolvimento do ensaio, seria necessário uma máquina que operasse entre as temperaturas 0° e 50° C e possuísse um medidor de deformação. O LABEME não dispõe de um equipamento similar, considerando que a câmara térmica que opera entre as temperaturas necessárias, esteve indisponível, foi necessário o improviso de um aparato. Foi utilizada uma caixa de poliestireno expandido (isopor) com capacidade para 3litros e dimensão Comprimento/Altura/Largura: 23 x 14,5 x 18,5cm com um termômetro digital culinário acoplado na lateral, para que a mudança de temperatura fosse acompanhada. Na tampa da caixa de isopor foi implantada uma lâmpada de 60W, responsável pelo aquecimento do equipamento, um controlador da potência da luz foi conectado para que o aumento da temperatura no interior da caixa de fosse gradativa (ver Figura 29). O resfriamento ficou a cargo de pedras de gelo. As medições dos corpos de prova foram feitas com um paquímetro.



Figura 29 Equipamento improvisado para operar entre 0°C e 50°C. Caixa de poliestireno com termômetro culinário para registro de temperatura. Luz de 60W na tampa para aumento da temperatura, controlador de intensidade da luz para que esse aumento seja gradativo. Fonte: própria da autora.

Primeiramente, os corpos de prova foram envoltos com plástico filme para que não absorvessem a água do gelo (Ver Figura 30). Então foram inseridos no equipamento e a lâmpada foi ligada, o que fez a temperatura no interior da caixa aumentar gradativamente até chegar aos 50°C e aguardou-se a estabilização dessa temperatura (Ver Figura 31). Em seguida, a lâmpada foi desligada e o gelo foi colocado aos poucos, até que a temperatura no interior da caixa fosse de 0°C e aguardou-se a estabilização (Ver figura 32). O plástico filme foi retirado das peças e foi feita a primeira medição dos corpos de prova, registrando o valor de contração $\Delta L_{\text{contração}}$. Em seguida, os corpos de prova foram colocados novamente na caixa e a lâmpada ligada até atingir novamente a temperatura de 50°C e ao estabilizar nesse valor, os corpos de prova foram medidos novamente e registrou-se o valor de deformação $\Delta L_{\text{dilatação}}$.



Figura 30 Corpos de prova envoltos com plástico filme e organizados no equipamento. Fonte: própria da autora.

Figura 31 Equipamento com a lâmpada acesa para o aquecimento e estabilização em 50°C





Figura 32 Equipamento com gelo para diminuição da temperatura e estabilização em 0°C

3.4 Escolhendo a Resina

Para dar sequência aos ensaios, foi necessário escolher uma resina, uma vez que, a partir de então, os ensaios exigem corpos de provas maiores o que significaria grandes quantidades de resina para a confecção dos mesmos. A escolha ficou entre a resina epóxi e a resina de rícino.

Os ensaios realizados até então, excluíram a Emulsão acrílica. Os ensaios iniciais, ainda não exigiam das amostras grandes resistências mecânicas, mas apenas que as resinas moldassem e conformassem as amostras que resistissem ao manejo para os ensaios de absorção de água e dilatação térmica. Os corpos de prova moldados com a emulsão acrílica no momento de conformação e cura já demonstraram fragilidades, mesmo após mais de 30 dias de moldados, as peças esfarelavam e despedaçavam. Após o ensaio de absorção de água e dilatação térmica, os corpos perderam massa e tornaram-se quebradiços (Ver Figura 33).



Figura 33 Corpo de prova moldado com a Emulsão acrílica após o ensaio de dilatação térmica. Apesar do esforço mínimo exigido, o material se torna quebradiço e desagrega com facilidade. Fonte: Própria da autora

Devido às fragilidades da Emulsão acrílica, a escolha ficou entre a resina epóxi e a resina de rícino. As duas apresentam densidade, textura e tempo de cura semelhantes. O que realmente difere são as cores, enquanto a resina epóxi é de cor transparente e não influencia na tonalidade das peças, a resina de rícino possui coloração amarelada e escurece a cor do compósito. Em contrapartida, a origem natural e sustentável da resina de rícino, além do fato de não ser tóxica, são pontos positivos que devem ser considerados. Por fim, a facilidade de acesso e o preço mais baixo da resina de rícino foram qualidades que também contribuíram para a sua escolha.

É importante considerar que o preço das duas resinas, rícino e epóxi, normalmente são similares, em torno de R\$38,00 o quilo, mas essa realidade não se aplica em João Pessoa e região, enquanto kg da resina de rícino foi comprado por R\$38,00 o da resina epóxi foi encontrado por preços entre R\$68,00 para grandes quantidades e R\$105 para a compra de pequenas quantidades.

3.5 ABNT NBR 15845-5: Determinação de resistência à compressão uniaxial

Foram moldados 10 corpos de prova do compósito com melhor desempenho térmico para a realização do presente ensaio. Como foram trabalhadas duas resinas de rícino, para esse ensaio foram feitos 10 corpos de prova da resina vinda de Parnamirim-RN e 4 da resina vinda de Araraquara-SP. Optamos por moldar com as duas resinas para checar se o comportamento mecânico das duas resinas seria semelhante.

Os corpos de prova são divididos, ficando 5 para o ensaio em condição seca e 5 para condição saturada em água moldadas com a primeira resina e 2 para cada condição, referentes a segunda resina. Os corpos de prova da condição seca foram deixados por 48 horas na estufa em temperatura de 70°C. Para o ensaio na condição saturada em água, os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água na metade da altura das peças, após 8 horas foram completamente submersos na água e deixados por mais 48 horas.

Os corpos da condição seca foram ensaiados logo após o resfriamento no ambiente de laboratório. Já os corpos de prova da condição saturada em água foram secos com pano úmido e ensaiados em seguida.

Os corpos de prova foram colocados no centro do prato da prensa e ajustados com o prato oposto. Foi aplicada uma força de forma lenta e gradativa até que ocorresse o rompimento do corpo de prova (Ver figura 34). Foram registrados os valores da força de ruptura.



Figura 34 As imagens mostram, respectivamente, o corpo de prova posicionado no centro da prensa e o corpo de prova após rompido: apresenta apenas rachaduras, não quebra por completo. Fonte: própria da autora

Para calcular a tensão de ruptura na compressão, a fórmula utilizada é:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Onde:

σ_c é a tensão de ruptura na compressão, expressa em Megapascals (Mpa)

P é a força máxima de ruptura, expressa em Quilonewtons (kN)

A é a área da face do corpo de prova submetida a carregamento, expressa em metros quadrados (m²).

3.6 ABNT NBR 15845-6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos)

Para o presente ensaio, deveriam ser moldados 10 corpos de prova que seriam divididos, e ficaria 5 para o ensaio em condição seca e 5 para condição saturada em água. Porém um dos componentes da resina que estava sendo usada, mesmo dentro do prazo de validade e condicionada conforme indicações

do fabricante, começou a solidificar e mudar de textura (ver Figura 35). Ainda tentamos moldar um corpo de prova com a resina alterada, mas devido a alta viscosidade e a alteração de textura, não foi possível manter a proporção que estava sendo trabalhada, o que poderia alterar completamente o comportamento mecânico da amostra. Por isso, decidimos trabalhar com os 3 corpos de prova que já haviam sido moldados. Como o ensaio propõe que sejam utilizados 5 corpos de prova para condição seca e 5 para condição saturada, tínhamos a opção de ensaiar os três corpos de prova em apenas uma condição, para assim se obter uma média do resultado. Como já havia sido comprovado que a porosidade dos compósitos feitos com a resina epóxi e a resina de rícino era baixa e, também, que as amostras não haviam sido submetidas a uma temperatura maior que 50°C, optamos por trabalhar os corpos de prova apenas na condição seca.



Figura 35 Cristalização da resina

Os corpos de prova da condição seca foram deixados por 48 horas na estufa em temperatura de 70°C. Antes de ser realizado o ensaio, como sugere a norma, o eixo central dos corpos de prova foram marcados (ver Figura 36), essa marcação indica onde o apoio superior da prensa deve ficar posicionado. Os corpos de prova foram ensaiados logo após o resfriamento no ambiente de laboratório.

Após posicionado o corpo de prova, foi aplicada uma força de modo lento e progressivo até que ocorresse a ruptura dos corpos de prova (Ver Figura 37).

Para calcular a tensão de ruptura, é utilizada a seguinte equação:

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2}$$

onde:

σ_f é o valor numérico do módulo de ruptura (resistência a flexão por carregamento em três pontos), expresso em Megapascals (Mpa)

P é o valor numérico do módulo de ruptura, expresso em Quilonewtons (kN)

L é o valor numérico da distância entre os roletes inferiores, expresso em metros (m)

b é o valor numérico da largura do corpo de prova, expresso em metros (m)

d é o valor numérico da espessura do corpo de prova, expresso em metros (m)



Figura 36 As figuras mostram, respectivamente, a marcação no centro do corpo de prova e o corpo de prova posicionado nos apoios da prensa. O apoio central fica posicionado exatamente na marcação do meio do corpo de prova. Fonte: Própria da autora



Figura 37 Corpo de prova após o rompimento. Fonte: Própria da autora

3.7 Determinação da condutividade térmica

Para determinar a condutividade térmica da pedra de quartzito *in natura* e dos compósitos propostos foi utilizado um Condutímetro K30. O equipamento funciona com amostras planares, tendo como base a medição do fluxo de calor e a diferença de temperatura entre as faces da amostra submetidas a um gradiente térmico. Esse equipamento foi prescrito na norma técnica NBR 15220-5 “Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxométrico” (ABNT, 2005c). A Figura 38 demonstra um esquema do dispositivo.

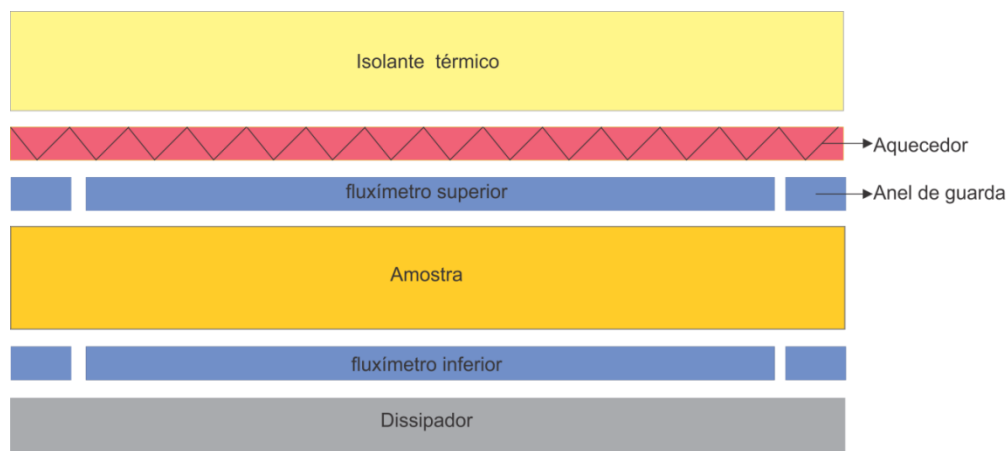


Figura 38 Princípio de funcionamento do condutímetro K30. Fonte: Manual do Condutímetro K30 (2011)

O fluxo de calor é aplicado na região central da amostra e medido através dos fluxímetros, assim é possível determinar a densidade de fluxo de calor que atravessa o corpo de prova. O cálculo da resistência térmica é feito a partir da diferença de temperatura entre as faces do corpo de prova e da densidade do fluxo de calor.

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier, onde R é a resistência térmica ($m^2 \cdot K/W$), q é o fluxo de calor medido entre os fluxímetros superior e inferior (W) e T_1 e T_2 são as temperaturas medidas nas superfícies da amostra. Com esses dados, é possível medir a condutividade térmica do material (K) na equação:

$$K = \frac{L}{R}$$

Onde λ é a condutividade térmica ($W/m \cdot K$) e L a espessura da amostra.

O condutímetro K30 foi idealizado para comportar placas com medida 300x300x30mm (base x altura x espessura). Porém, as placas disponíveis para a realização do ensaio eram de medidas 20x20 (base x altura) e espessura do compósito 28mm e da pedra 18mm. Após testes no condutímetro, foi checado que o tamanho da placa não influencia nos resultados dados pelo equipamento.

As faces da placa precisam ser planas e retas, sem buracos ou depressões, pois estes criam camadas de ar que interferem nos valores de condutividade térmica lidos pelo equipamento. Como o quartzito não apresenta faces regulares (Ver figura 39) foi necessário uniformizar as faces. Essa uniformização foi feita com uma fina camada de resina epóxi, apenas para preenchimentos das irregularidades superficiais (Ver figura 40).

As pontas são o ponto mais frágil das placas, como é um material foleado, composto por camadas, as pontas têm tendência de quebrar, nos desmolde da camada de resina, essas pontas quebraram. Porém como o ensaio é feito aplicando calor/frio da região central da placa, a preocupação foi que essa região estivesse mais uniforme.



Figura 39 Irregularidades da superfície do quartzito. Fonte: <http://www.altivopedras.com/prod/quartzito/>



Figura 40 Camada de resina para a uniformização da superfície do quartzito. Fonte: própria da autora

A resina epóxi foi escolhida para fazer a uniformização por não possuir cor e, por isso, afetar o mínimo possível a leitura dos valores de condutividade

térmica feitos pela máquina. A resina foi aplicada nas duas faces da pedra e lixada até que a camada ficasse apenas cobrindo as imperfeições do quartzito.

O presente ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (LABEME- UFPB).

3.8 Comparação do quartzito *in natura* com a pedra reconstituída proposta

Nessa etapa de ensaios, foi realizada uma comparação entre o comportamento térmico da pedra de quartzito e da pedra reconstituída proposta. Os dois materiais foram aplicados como barreira em paredes externas. O ideal é que o desempenho do compósito se aproxime ao máximo do da rocha *in natura*.

Os revestimentos foram aplicados em mini paredes convencionais, isto é, de tijolo cerâmico, e instrumentadas na câmara térmica do Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (LABEME-CT-UFPB). Para cada parede, com determinado revestimento aplicado, foi realizado um ensaio para avaliar o desempenho térmico da amostra. Ao final, esses desempenhos foram comparados.

3.8.1 Elaboração das paredes

Foram construídas duas paredes simples, de 1,0 m x 1,0 m. Na execução das mini paredes, os tijolos foram assentados com argamassa no traço 1:2:10 (cimento: cal: areia), e após um dia de espera, as amostras foram chapiscadas, utilizando o traço 1:3 (cimento: areia). As mini paredes receberam o emboço, 3 dias depois que foram chapiscadas, esse emboço foi feito em massa única, com traço 3:1:8 (cimento: cal: areia). Após 7 dias do emboço, as placas de revestimento foram assentadas em uma das superfícies com argamassa AC3 e curou por 28 dias antes de serem ensaiadas (Ver Figura 41).



Figura 41 Mini parede após feito o emboço. Uma das mini paredes recebendo o revestimento de quartzito. Outra mini parede com o revestimento de compósito de quartzito assentado. Fonte: próprio da autora

3.8.2 Câmara térmica do LABEME

A câmara térmica do LABEME dispõe de controles para garantir isolamento entre as duas faces. A câmara é dividida em dois ambientes, um aquecido e outro refrigerado, entre eles uma divisória de isolamento composta por *dry-wall* com manta de fibra de vidro em seu interior. É nessa divisória que existe um espaço de encaixe onde é inserida a amostra de mini parede que será avaliada (GOMES, 2015). Uma das faces fica exposta diretamente à fonte de calor composta por 12 lâmpadas incandescentes, a princípio eram de 150Watts cada, totalizando 1800Watts de potência, mas as lâmpadas foram queimando e sendo substituídas por lâmpadas de 100Watts, atualmente a fonte de calor possui 3 lâmpadas de 150Watts e 9 de 100Watts, totalizando 1350Watts de potência (Ver Figura 42). E a outra face fica voltada para um ambiente refrigerado.



Figura 42 Lado esquerdo corresponde ao lado aquecido da câmara térmica. lado direito ao ambiente refrigerado. Fonte: própria da autora



Figura 43 Fonte de calor desligada e fonte de calor já posicionada a 1m de distância da parede e ligada. Fonte: própria da autora

Todas as paredes do ambiente aquecido são revestidas com isopor de 2 cm de espessura, para evitar que haja perda de calor para o meio externo no período noturno, uma vez que a temperatura externa do local é sempre inferior ao ambiente aquecido no interior da câmara térmica. A porta interna que divide os ambientes aquecido e refrigerado, também é revestida de isopor para evitar a troca de calor entre os ambientes, assim como a porta que permite o acesso do meio exterior para a câmara, possui sua face interna revestida (Ver Figura 43).

Durante os ensaios, a fonte de calor é posicionada com uma distância de 1 metro da mini parede revestida.

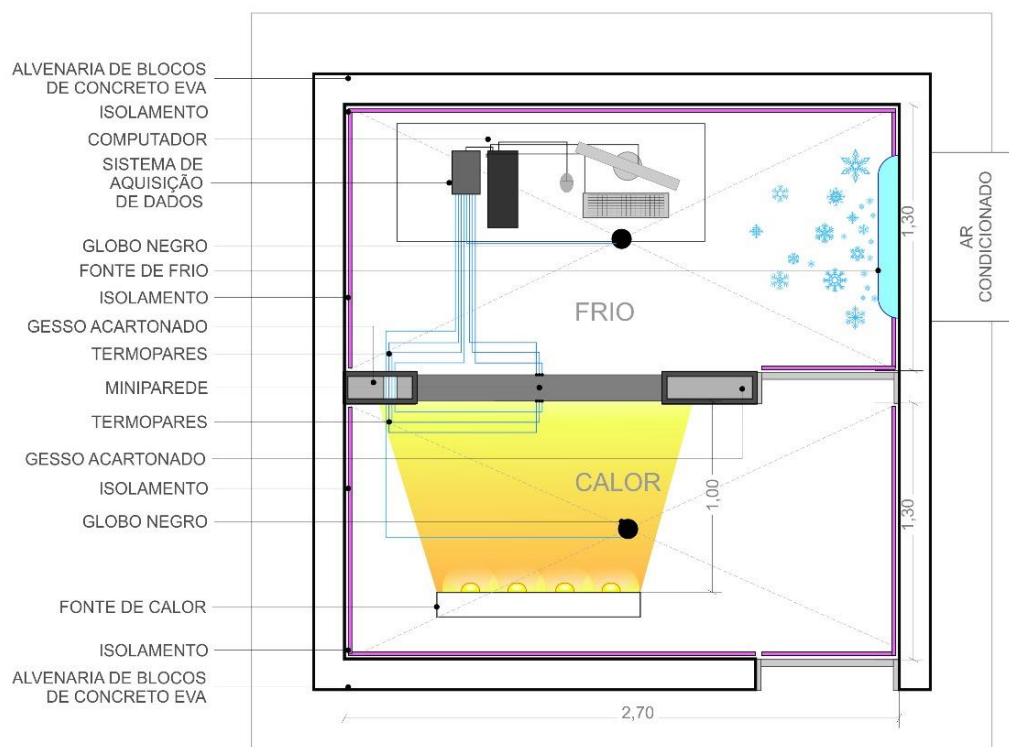


Figura 44 Esquema demonstrativo da disposição e estrutura da câmara térmica do LABEME. Fonte: Pablo Lacerda

3.8.3 Calibração dos termopares

Antes do início do ensaio, é necessário que seja feita a calibração dos termopares e também da câmara térmica. No presente estudo, foi utilizado oito termopares do tipo T na instrumentação das amostras, compostos por fio de cobre (+) e constatam (-), com bainha e isolante plástico (GOMES, 2015).

3.8.4 Instrumentação da câmara térmica

A instrumentação para medir a temperatura do ar da câmara térmica foi feita com a instalação de um termopar a 1,5 m do piso, em posição correspondente ao centro geométrico de cada um dos ambientes, o aquecido e o refrigerado. Os termopares foram conectados a um sistema de aquisição de dados (MX840A da HBM). As temperaturas foram coletadas a cada 1 segundo, no período de 24 horas, e depois foi realizada a média a cada hora.

Como as temperaturas do ambiente e do ar diferem, foi utilizado um termômetro de globo negro, como possibilidade de se quantificar os componentes da energia radiante no ambiente. Tal termômetro de globo negro foi fabricado de forma artesanal com o uso de uma bola de pingue-pongue, pintada na cor preta (Ver Figura 45). Já testados por Moraes *et al* (2006) os termômetros de globo negro feitos a partir de uma bola de pingue-pongue podem ser utilizados em substituição ao globo negro padrão, uma vez que resultam em resultados confiáveis e são de baixo custo. (GOMES, 2015).



Figura 45 Termômetro de globo negro. Em sua base, é encaixado um termopar, o fio correspondente ao termopar é encaixado também no sistema de aquisição de dados. Fonte: própria da autora

A parede foi instalada na câmara térmica, os vazios entre a estrutura e a parede foram ocupados por isopor, devido sua propriedade isolante, e fixados com massa corrida de parede. O lado com revestimento ficou voltado para o ambiente quente e o lado oposto para o ambiente frio. A face voltada para o ambiente refrigerado foi pintada de branco.

Foram colocados três termopares em cada lado da parede, de forma que ficassem emparelhados os termopares de cada face. Foram posicionados no eixo central vertical da parede e equidistantes um do outro. Foram colocados, protegidos pelo isopor e fixados com massa corrida. Após a instalação da parede e dos termopares, deu-se o período de descanso de 24 horas, para a massa e a tinta secarem e, assim, a parede estabilizar no local.

Para a realização do ensaio, tanto a fonte de calor como o refrigerador de ar foram ligados, a porta entre os dois ambientes permaneceu fechada. O sistema de aquisição de dados ficou ligado e o foi programado de maneira a registrar os valores das temperaturas a cada segundo. Os valores registrados pelo sistema de aquisição de dados foram sistematizados de modo a obter a média aritmética por hora.

Os resultados são apresentados por meio de gráficos, mostrando a variação das temperaturas em função da duração do ensaio (24 horas). Nesse caso, foram consideradas inicialmente as temperaturas medidas nos três termopares para fazer as médias finais por hora para cada face das mini paredes. Com essas médias foram determinadas as variações médias de temperatura entre as faces exposta e oposta ao calor de cada amostra. A temperatura média global para cada face das amostras ensaiadas foi calculada sem considerar, os dados registrados nas 14 horas iniciais. Isso foi adotado por que, em geral, este foi período em que as temperaturas nos termopares ainda variavam muito, aumentando e diminuindo, segundo as faces das amostras (GOMES, 2015).

3.8.5 cálculo de desempenho térmico

Para finalizar a análise do desempenho das mini paredes ensaiadas na câmara térmica foram realizados cálculos de alguns parâmetros que permitem caracterizar o desempenho dos componentes (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar), conforme previsto na NBR 15220-2 (ABNT, 2005c). Para fazer esses cálculos foi necessário previamente determinar a condutividade térmica e densidade dos materiais, através de ensaios realizados no laboratório.

Os ensaios de condutividade térmica foram realizados baseados na medição da resistência térmica pelo método fluxométrico em regime estacionário, segundo a NBR 15220-5 (ABNT, 2005c). O ensaio referente a densidade do compósito foi realizado segundo a NBR 15845-2: Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e da absorção de água (ABNT, 2015). A densidade do quartzito foi determinada pela quantidade de sílica que possui a rocha de cor branca vinda de jazidas de Equador. Esse estudo foi realizado por

Souza *et al* (2013) e constata que a amostra possui cerca de 70% de sílica. Aplicando na ASTM C 616 que determina algumas propriedades e parâmetros para rochas ornamentais utilizadas como revestimento, as rochas de quartzito que apresentam um percentual de sílica maior que 60% e menor que 90%, possuem densidade maior que 2.000 kg/m³ e menor que 2.400 kg/m³. Fazendo uma média da quantidade de sílica e a faixa de valores da densidade, foi adotado o valor 2.100 kg/m³.

O calor específico da pedra de quartzito foi determinado pela NBR 15220-2 que determina o Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. A norma oferece valores indicativos para condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) para diversos materiais em função da sua massa de densidade aparente (ρ). A norma diz que para pedras que possuam densidade entre 1900 e 2300 kg/m³, deve ser adotado o valor $0,84 \frac{kJ}{(Kg.K)}$.

Para o valor do calor específico da pedra reconstituída, foi adotado o valor da resina epóxi, uma vez que as duas resinas, epóxi e rícino, possuem propriedades semelhantes. Como a NBR 15220-2 não oferece valores aproximados de calor específico na categoria polímeros, foi utilizado o valor obtido por Costa (2009), que é de $1,8 \frac{kJ}{(Kg.K)}$.

Em relação aos valores de absorvância (α), que têm influência direta com a cor dos materiais, foi adotado a valor para cor branca que é 0,20%.

4. Resultados e Discussões

4.1 Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água.

4.1.1 Densidade

Segundo a ASTM C 616 que determina alguns ensaios e parâmetros para rochas ornamentais utilizadas como revestimento, as rochas de quartzito que apresentam um percentual de sílica maior que 60% e menor que 90%, possuem densidade maior que 2.000 kg/m^3 e menor que 2.400 kg/m^3 . De acordo com a difração de Raios X realizada por Souza *et al* (2013), os quartzitos brancos da região Paraíba – Rio Grande do Norte, o mesmo utilizado na presente pesquisa, apresenta teor de sílica de 70,72%. Sabendo que o teor de sílica da amostra e a densidade são fatores proporcionais, quanto maior a quantidade de sílica maior a densidade, vamos adotar o valor da densidade do quartzito (pedra *in natura*) como sendo 2.100 kg/m^3 (Ver figura 46).

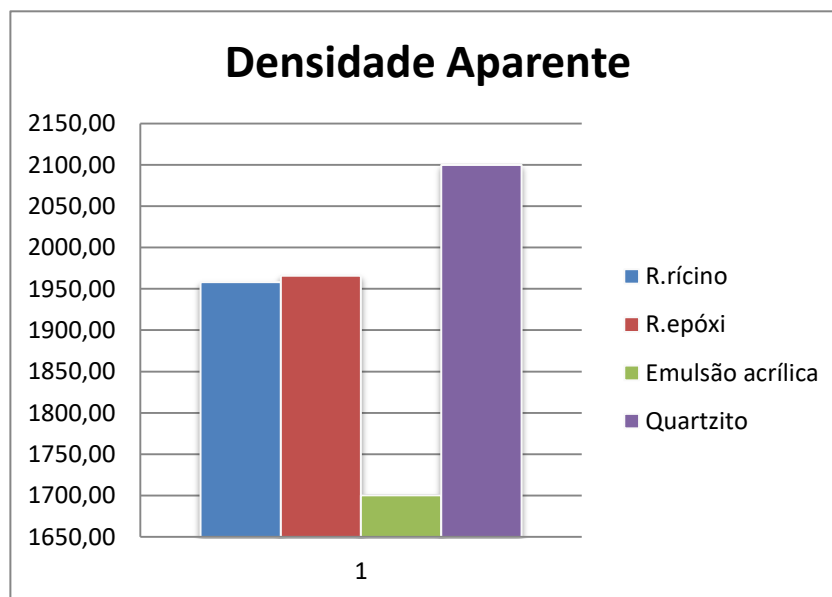


Figura 46 Densidade aparente das amostras das pedras reconstituídas e *in natura* (quartzito)

Comparando a densidade dos compósitos das pedras reconstituídas com a densidade da pedra *in natura*, era de se esperar que a do quartzito fosse superior,

uma vez que os compósitos são os resultados das misturas de pó de quartzito com resinas. Sabendo que os polímeros possuem densidades baixas, no caso das resinas trabalhadas nos compósitos, possuem densidades entre 900 e 1700 kg/m³ (ABNT 15220-2), o que se espera da mistura do compósito pó de pedra e resina é que tenha uma densidade inferior a da rocha, mas superior a dos polímeros, uma vez que na proporção dos compósitos, a quantidade de resina é bem inferior a quantidade de rocha triturada. Os resultados para a densidade aparente das amostras comparadas confirma a lógica esperada.

Em relação à densidade dos compósitos das pedras reconstituídas, os que utilizaram como aglomerante a resina epóxi e a resina de rícino possuem densidades aproximadas. Nos testes de conformação já ficou evidente a semelhança das resinas em relação a textura, poder de conformação e até as características das placas pós moldagem, como acabamento e peso das peças. Em relação à emulsão acrílica, na moldagem já foi observado que a resina apresentava propriedade elástica que se compactava no momento da aplicação de carga e depois aumentava levemente. O que se espera de compósitos assim é que se criem vazios no interior das placas no momento da moldagem e como esses vazios, na verdade, estão preenchidos com ar e a densidade do ar é extremamente baixa (1,225 kg/m³), também era previsto que a densidade desse compósito fosse menor em relação aos outros dois compósitos trabalhados.

Comparando a densidade dos compósitos das pedras reconstituídas e da pedra de quartzito com outros materiais utilizados como revestimento (Figura 47), vemos que entre os materiais mais densos estão o mármore, o porcelanato e o concreto, o quartzito vem na sequência. Já os compósitos das pedras reconstituídas possuem densidades aproximadas a da argamassa. No geral, as densidades variaram entre 1.450 kg/m³ e 2.600 kg/m³, estando os compósitos das pedras reconstituídas e o quartzito numa faixa intermediária, nem são os materiais mais densos nem os mais leves.

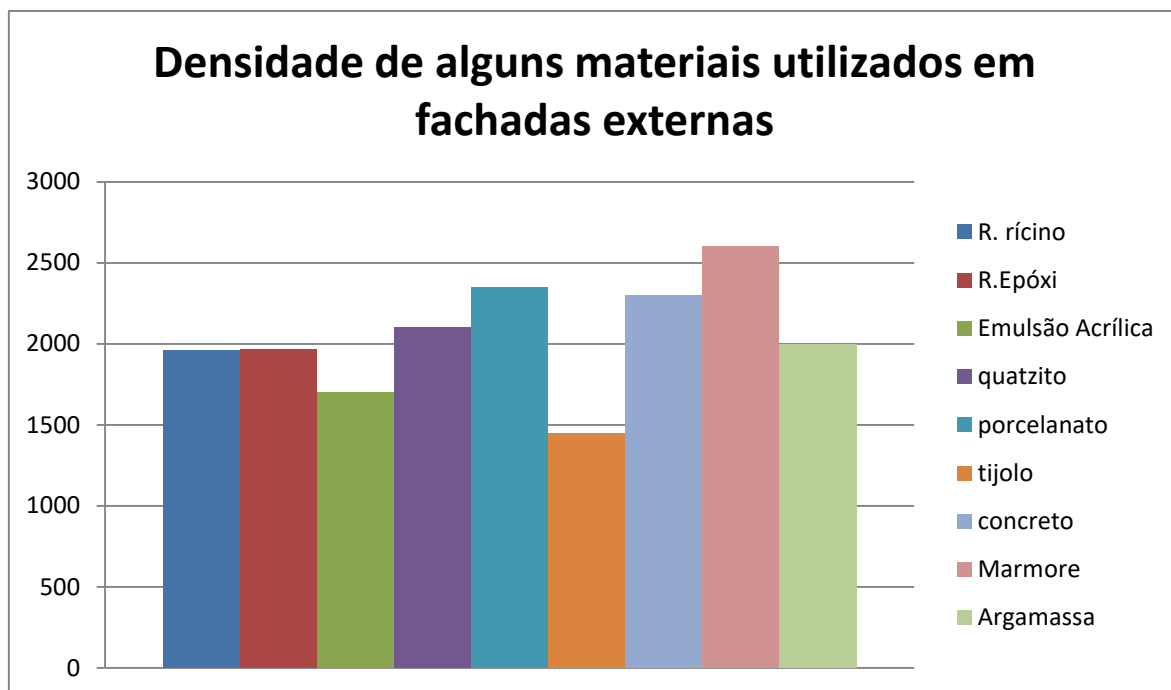


Figura 47 Densidades de alguns materiais utilizados em fachadas externas, incluindo os materiais estudados. Fonte: Porcelanato - NBR 15463:2-13. Demais materiais: NBR 15220-2:2005.

4.1.2 Porosidade e absorção de água

Quanto à porosidade e absorção de água, sabe-se que quanto mais poroso um material, maior o percentual de absorção de água. Tanto os compósitos com resina de rícino como com epóxi possuem absorção de água baixa (Figura 48 e 49), em comparação com outros materiais utilizados como revestimento. Já a emulsão acrílica possui a maior absorção de água em relação aos compósitos propostos, porém ainda baixa em relação a outros materiais.

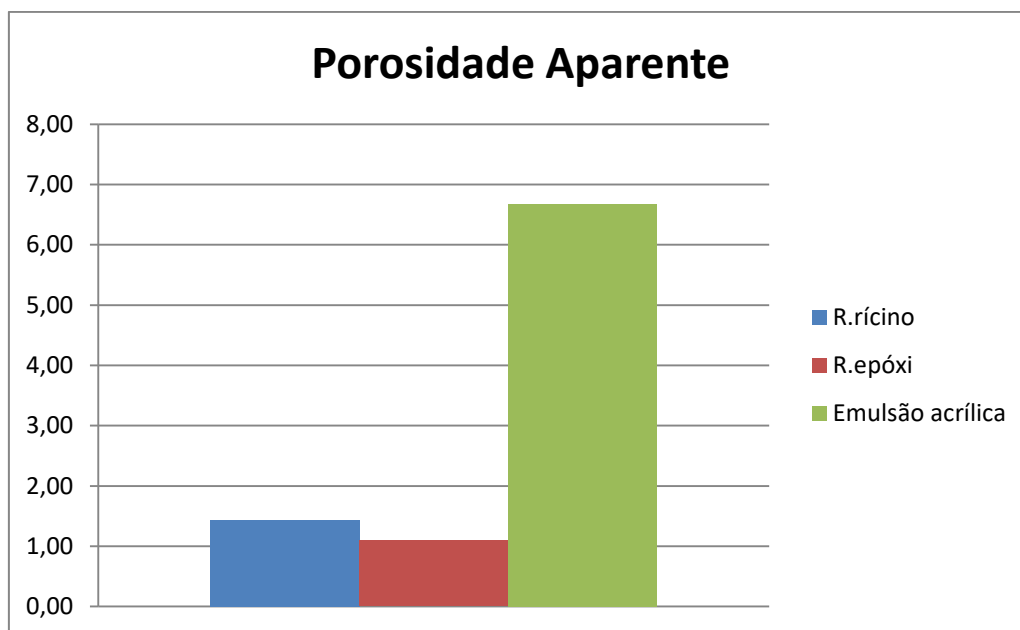


Figura 48 Porosidade aparente das amostras com compósitos testados nas pedras reconstituídas

Já a pedra *in natura* do quartzito apresenta níveis diversificados de absorção de água, dependendo da quantidade de sílica presente na composição química da rocha. No caso dos quartzitos brancos da região do Seridó da Paraíba e Rio Grande do Norte que foi utilizado como agregado nos compósitos, a absorção de água é menor que 8% e maior que 3%, mas em outros quartzitos que possuem maior teor de sílica na composição, a absorção de água pode ser menor que 1%.

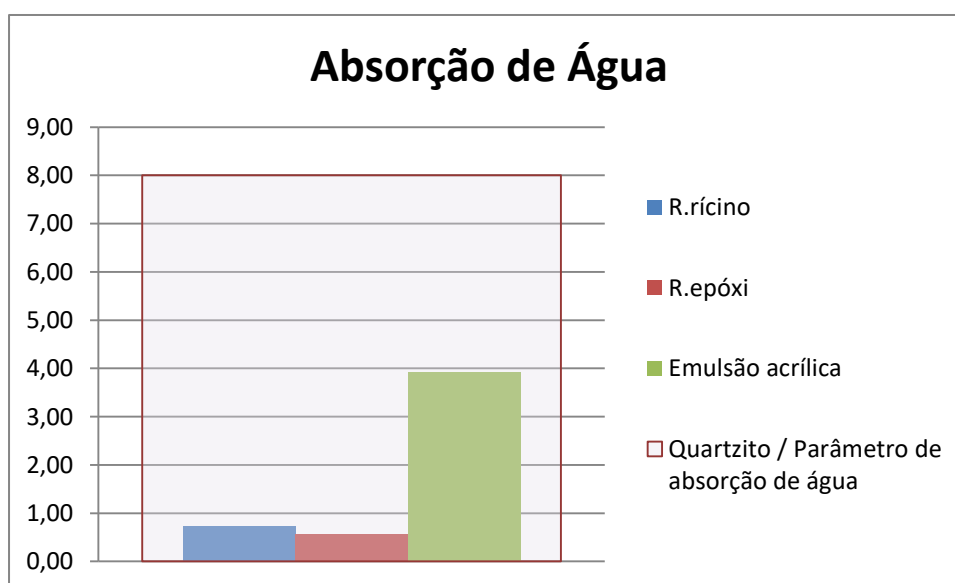


Figura 49 Absorção de água para amostras das pedras reconstituídas e da pedra *in natura* em quartzito. Fonte: O parâmetro do Quartzito é referente às concentrações de sílica de 60% a 65% – ASTM C 616.

Comparando com revestimentos cerâmicos, o porcelanato possui o nível de absorção de água ainda mais baixo em relação os compósitos de resina epóxi e resina de rícino (Figura 50). O mármore também possui níveis extremamente baixos de absorção de água. Já o concreto e a argamassa são meios mais porosos e por isso absorvem mais água.

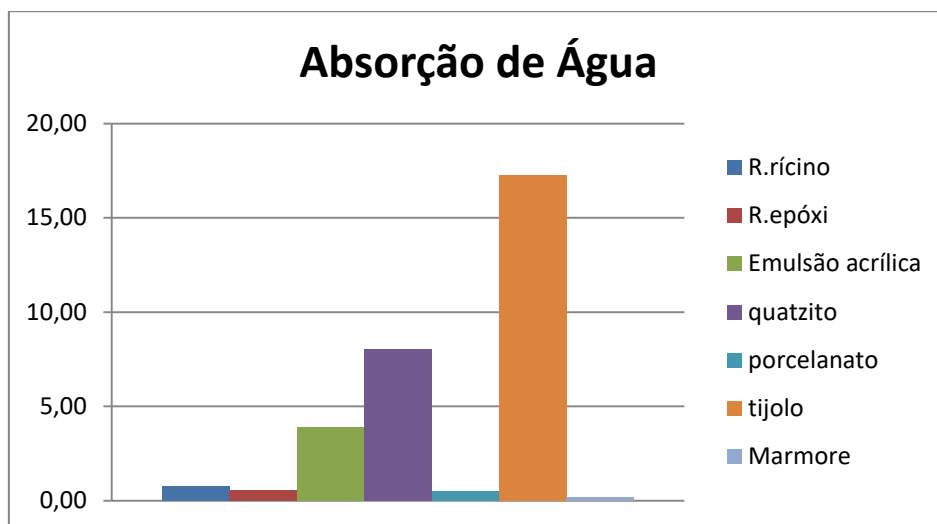


Figura 50 Comparativo da absorção de água de outros materiais utilizados como revestimento externo com as amostras das pedras reconstituídas e *in natura* em quartzito. Fonte: Porcelanato - NBR 15463:2-13, quartzito e mármore ASTM C 616, tijolo NBR 8.947

Quanto menor forem os níveis de absorção de água, maior a exigência em relação a argamassa colante que vai assentar esse revestimento na parede. Isso acontece porque da mesma forma que o material não absorve água, ele também não adere bem à argamassa. Então no caso de revestimentos com o índice de absorção de água muito baixos, deve-se recorrer a uma argamassa ACIII. No caso dos compósitos de pedras reconstituídas propostos, assentá-los com uma argamassa a base de resina é indicado. Como se trata de revestimentos de densidade elevada, juntamente com o baixo teor de absorção de água, adicionar látex de polímero a mistura da argamassa é uma possibilidade para potencializar a aderência.

Abaixo, segue a Tabela 8 com o resumo das propriedades de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água dos compósitos propostos nos testes das pedras reconstituídas.

Tabela 8 Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água dos compósitos propostos nas pedras reconstituídas

Compósito	Densidade aparente kg/m^3	Porosidade aparente	Absorção de água
Resina de rícino	1.960	1,44%	0,74%
Resina epóxi	1.966	1,10%	0,56%
Emulsão Acrílica	1.700	6,67%	3,92%

4.2 Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear

As amostras não apresentaram nenhum tipo de dilatação ou contração térmica ao longo do ensaio. O ensaio submete as amostras a uma variação de temperatura de 0°C a 50°C, quer dizer que nem foram submetidas a calor nem a frio intenso, ou seja, a janela de 50°C de variação de temperatura é considerada pequena. A duração do ensaio também é curta, as amostras não foram expostas por um longo período de tempo nem a 0°C nem a 50°C, apenas o suficiente até a temperatura estabilizar. Talvez com uma exposição prolongada fosse possível registrar alguma mudança no sentido da dilatação e da contração das amostras. Contudo, o resultado é válido visto que o procedimento do ensaio segue o especificado na norma correspondente.

Os polímeros em geral, possuem baixo coeficiente de dilatação térmica, são materiais muito estáveis após a cura, esse fator também deve ser considerado ao registrar o coeficiente de dilatação térmica linear nulo.

Por fim, o baixo/nulo coeficiente de dilatação térmica linear é positivo para revestimentos externos. As placas podem ser assentadas próximas e dar a ideia de continuidade, de uma placa única, sem necessidade de um rejunte largo. Não existe o risco de, ao serem submetidas a uma temperatura intensa, as placas racharem por não haver espaço para expansão.

4.3 Determinação de resistência à compressão uniaxial e flexão por carregamento em 3 pontos

É possível observar na Tabela 9 e Figura 51, a partir dos resultados de resistência à compressão uniaxial para os dois lotes de resina de rícino testados, que os compósitos (resina de rícino + pó de quartzito) estão dentro do parâmetro comparados com outras rochas.

Em termos de comportamento mecânico, o compósito com a segunda resina de rícino se mostrou mais resistente que a primeira, quando os valores de pressão que os corpos de prova suportaram foi mais de 5 vezes superior do que os valores de rompimento das primeiras peças. Este resultado contraria as expectativas, uma vez que o esperado seria que ambas as resinas tivessem comportamento mecânico semelhante. Contudo, não se considera este fato como problema na presente pesquisa.

Tabela 9 Média dos valores de ruptura dos corpos de prova nos testes com os compósitos com as resinas de rícino dos lotes 1 e 2

Material	Média da Ruptura – Mpa
Granito	131
Mármore	52
Calcário de alta densidade	55
Quartzito com teor de sílica >60%	27,6
Quartzito com teor de sílica >90%	68,9
Quartzito com teor de sílica >95%	137,9
Compósitos Resina de rícino + pó de quartzito	
Condição seca	
Resina de rícino 1 + pó de quartzito	36,13
Resina de rícino 2 + pó de quartzito	212,91
Condição saturada	
Resina de rícino 1 + pó de quartzito	30,49
Resina de rícino 2 + pó de quartzito	156,84

Na Figura 51, é possível observar que a resistência à compressão uniaxial diminui nos corpos de prova na condição saturada, mesmo o material possuindo um baixo índice de absorção de água. Apesar de ter a resistência menor nos corpos de prova na condição saturada, os valores de ruptura ainda são considerados acima da média se comparados ao próprio quartzito e a outras rochas.

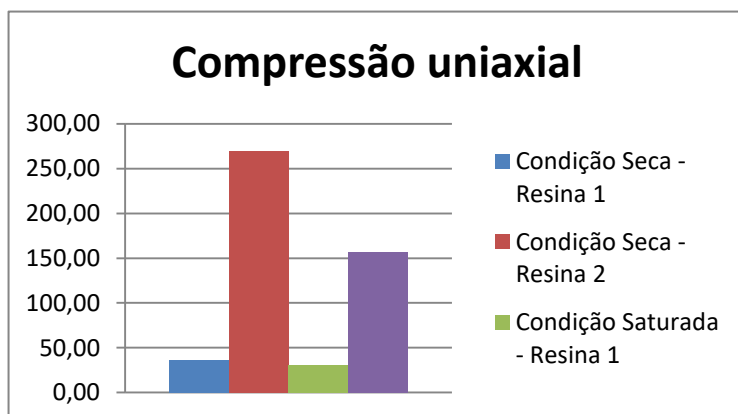


Figura 51 Valores de ruptura nos testes das amostras à compressão uniaxial nas condições seca e saturada. Considerando as duas resinas de rícino trabalhadas nos compósitos

Ao comparar os valores de resistência a compressão uniaxial (Figura 52) e a flexão por carregamento em 3 pontos (Tabela 10) obtidos com os dois compósitos estudados (R.rícino 1 + pó de quartzito e R.rícino 2 + pó de quartzito), com aqueles valores de referência para o quartzito e outras rochas, nota-se o quanto os compósitos propostos para as pedras reconstituídas atendem ao requisito de resistência mecânica. Os valores para os compósitos estudados correspondem com uma média entre os valores obtidos na condição saturada e na condição seca. Em relação aos valores de outras rochas, tratam-se de valores mínimos de resistência.

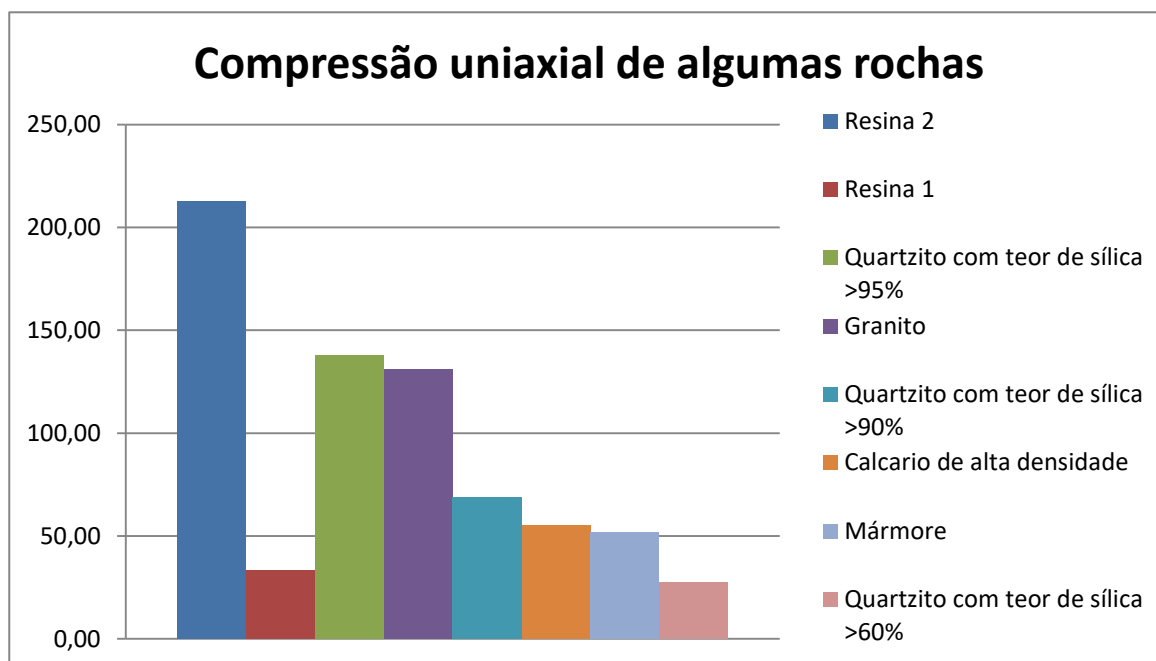


Figura 52 Resistência à compressão uniaxial de algumas rochas em comparação aos obtidos com compósitos estudados (R.rícnico 1 + pó quartzito e R.rícnico 2 + pó quartzito)

Tabela 10 Módulo de ruptura da flexão por carregamento em 3 pontos. Fontes: Mármore - ASTM C 503; Calcários - ASTM C 568; Quartzitos – ASTM C 616

Material		Média do módulo de ruptura (MPa)
Compósito resina de rícino 2		188,15
Granito		≥10,34
Mármore		≥7
Calcários	Baixa densidade	≥2,9
	Média densidade	≥3,4
	Alta densidade	≥5,9
Quartzito	≥60% de sílica	≥2,4
	≥90% de sílica	≥6,9
	≥95% de sílica	≥13,9

É válido considerar que o valor da média do módulo de ruptura no ensaio de flexão por carregamento em 3 pontos refere-se apenas para o compósito com R.rícnico 2 + pó quartzito e na condição seca. Na condição saturada existe a possibilidade de diminuição dessa resistência, assim como aconteceu no ensaio de compressão uniaxial.

4.4 Condutividade Térmica

A condutividade térmica dos materiais em questão é a média de três medições realizadas no condutímetro K30. É possível observar (Tabela 11) que apesar de possuírem valores aproximados, a pedra reconstituída apresenta valor relativamente menor, o que significa que a presença da resina de rícino no compósito melhorou o comportamento térmico, que já era uma qualidade da rocha quartzito.

Tabela 11 Valores da condutividade térmica das amostras das pedras, reconstituída e *in natura* em quartzito

Material	Condutividade térmica (λ)
Pedra <i>in natura</i> em Quartzito	0,62
Pedra reconstituída (Resina de rícino + pó de quartzito)	0,55

Comparando com outras rochas (Figura 53), observa-se o motivo pelo qual o quartzito é considerado uma “pedra fria”. A condutividade térmica desta rocha ornamental (pedra quartzito) é consideravelmente menor comparado às outras pedras.

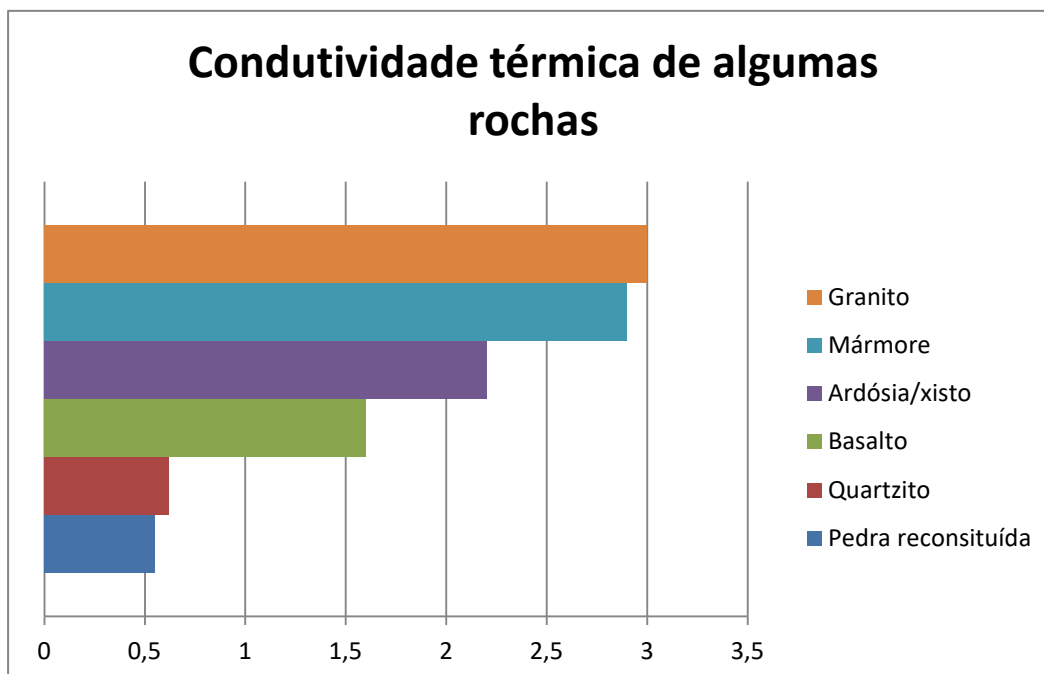


Figura 53 Comparativo da condutividade térmica de algumas rochas inclusive da amostra da pedra reconstituída proposta (R.rícino). Fonte: Os materiais que não foram ensaiados, a fonte é NBR 15220-2:2005

Comparando com outros materiais que compõem as camadas da parede de alvenaria convencional (Figura 54), observa-se que a condutividade térmica tanto da rocha quanto da amostra da pedra reconstituída com uso do compósito proposto (R.ícino + pó de quartzito) são menores em relação aos outros materiais. Estando o quartzito na camada mais externa da parede, em contato direto com o meio externo e a incidência solar, nota-se o benefício da utilização da rocha quartzito e, ainda mais, da pedra reconstituída como revestimento externo de paredes.

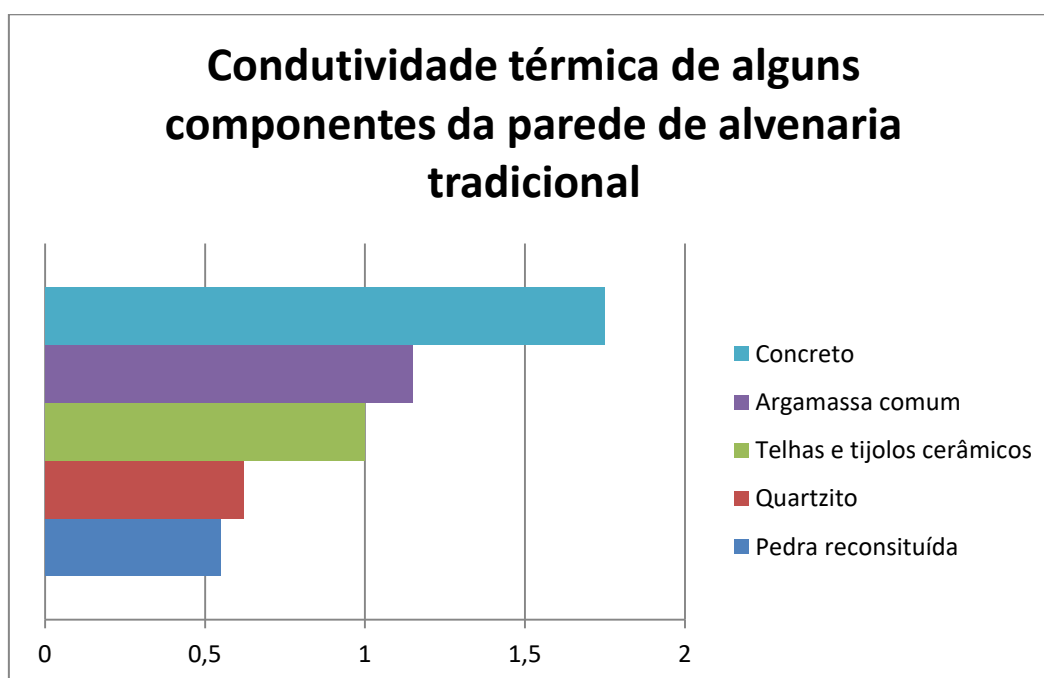


Figura54 Comparativo da condutividade térmica de materiais que compõem a parede de alvenaria tradicional inclusive com as pedras de revestimento (reconstituída e *in natura* em quartzito). Fonte: Os materiais que não foram ensaiados, a fonte é NBR 15220-2:2005

4.5 Comportamento Térmico dos revestimentos aplicados em mini paredes – Câmara Térmica do LABEME

Ao observar os gráficos nas Figuras 55 a 58 , é possível perceber que o ensaio se uniformiza a partir da 14ª hora, quando o comportamento tornou-se padrão, ou seja, depois que a transferência de calor saiu do regime transitório para o regime permanente, onde é possível identificar que as temperaturas

registradas pelos termopares tenderam a se estabilizar, algumas vezes com poucos incrementos de temperatura na face exposta ao calor.

O ensaio realizado na mini parede que tem a pedra reconstituída (R.rícano + pó de quartzito) como revestimento – Parede 1, a temperatura no ambiente aquecido se estabilizou em torno dos 50°C (Figura 55). Já a temperatura de superfície do lado aquecido, o lado que possui o revestimento de pedra reconstituída, estabilizou em torno dos 46°C (Figura 56). A diferença de temperatura entre o ambiente e a superfície da parede é de 4°C.

No lado refrigerado da mini parede 1 (que tem a pedra reconstituída com R.rícano + pó de quartzito) a temperatura se estabilizou em torno dos 22°C, enquanto a face desta parede voltada para o ambiente refrigerado se estabilizou 32°C, configurando uma diferença em relação a temperatura do ambiente igual a 10°C. A diferença global de temperatura entre as faces aquecida e refrigerada da mini parede 1 (que tem a pedra reconstituída com R.rícano + pó de quartzito) é cerca de 13,8°C.

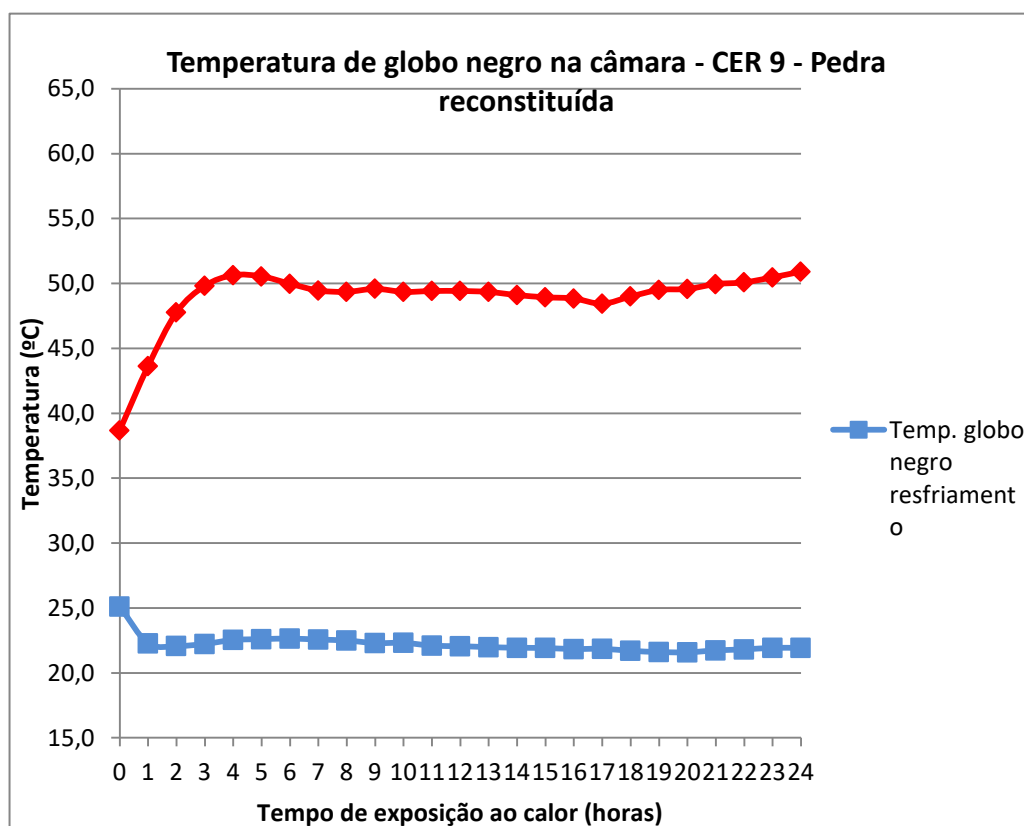


Figura 55 Gráfico da variação de temperatura dos ambientes na câmara térmica no ensaio da parede 1

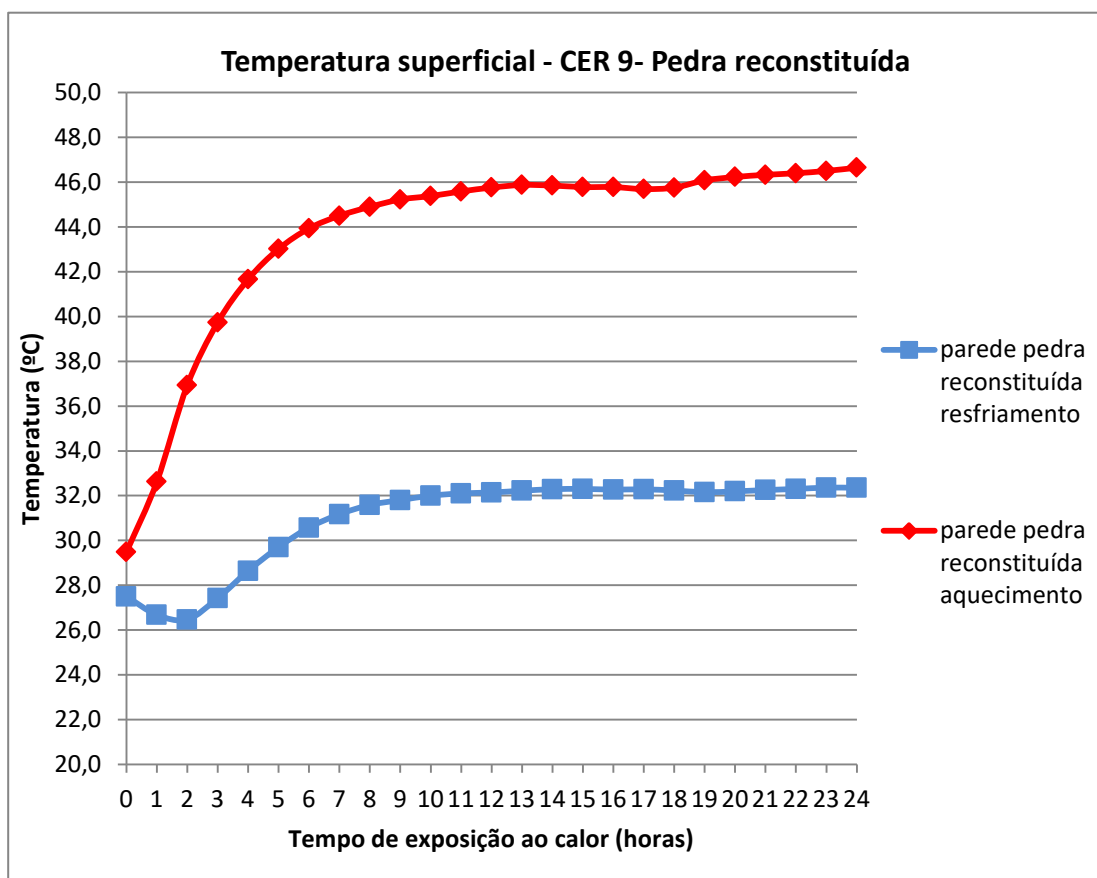


Figura 56 Gráfico da variação de temperatura das faces da parede 1 na câmara térmica

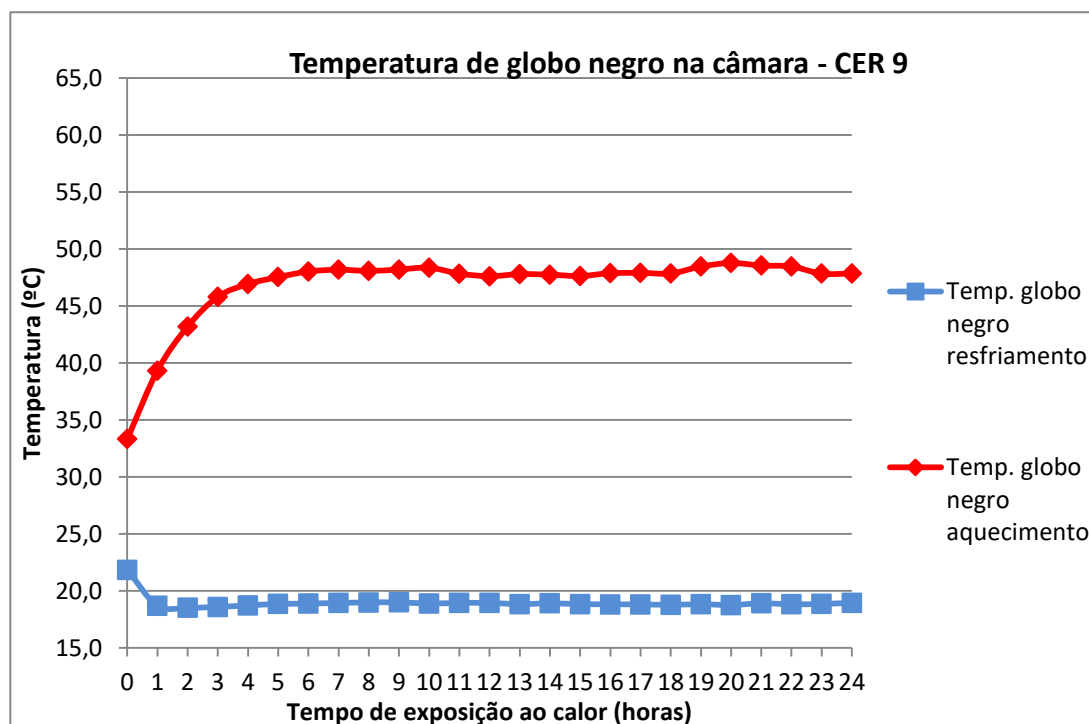


Figura 57 Gráfico da variação de temperatura no ambiente da câmara térmica no ensaio da parede 2

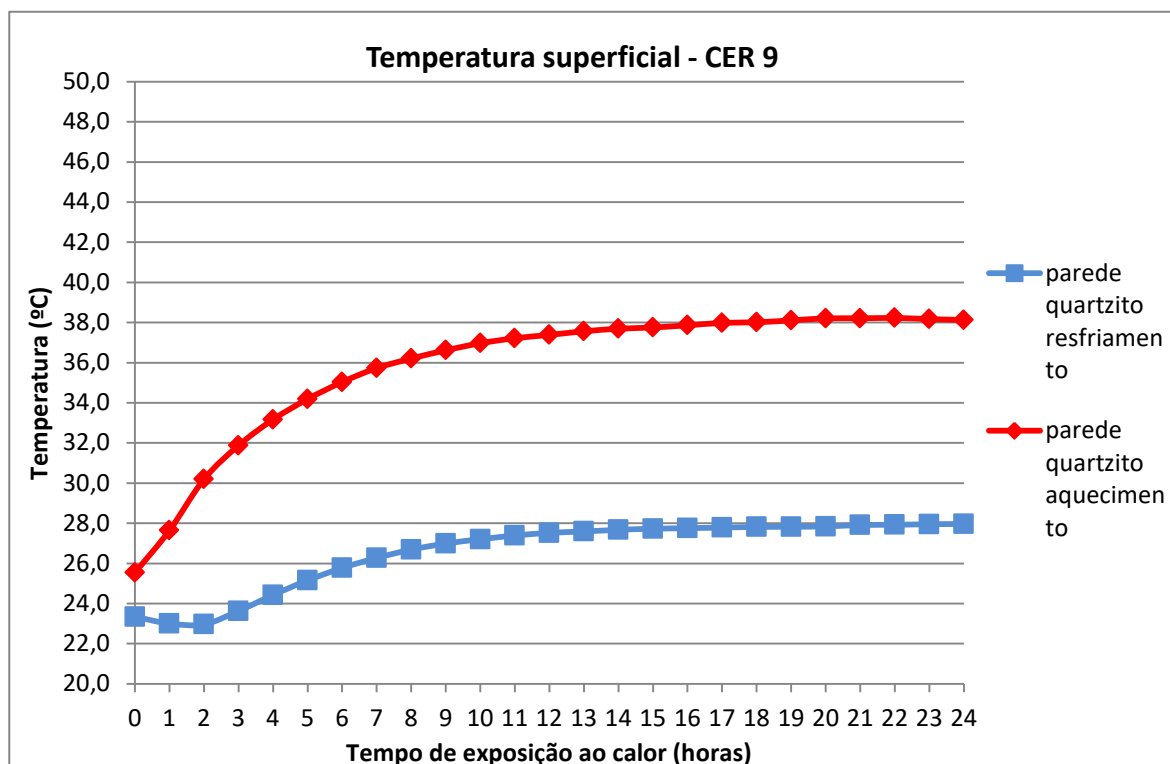


Figura 58 Gráfico da variação de temperatura das faces da parede 2 na câmara térmica

Já em relação a mini parede 2 (com revestimento em pedra de quartzito *in natura*), como é possível observar nos gráficos (Figuras 57 e 58), a temperatura no ambiente aquecido se estabilizou em 48°C, enquanto a temperatura da face exposta ao calor ficou constante em 38°C, com uma diferença entre as temperaturas do ambiente e da face revestida com pedra de quartzito de cerca de -10°C. No lado do ambiente resfriado, a temperatura do ambiente tornou-se padrão em aproximadamente 19°C e a face da parede exposta a esse ambiente consolidou-se em cerca de 28°C, com uma diferença entre a temperatura do ambiente refrigerado e a face da mini parede 2 é da ordem de 9°C. A diferença para as temperaturas globais entre as faces aquecida e a refrigerada da mini parede 2 é de cerca de 10,2°C.

O que se pode entender dessa análise é que, apesar da superfície da mini parede 1 ser predominantemente mais quente durante todo o ensaio, esse calor não transpassa para as outras camadas da parede. O calor fica concentrado na superfície revestida com a pedra reconstituída (R.ícino + pó de quartzito). É válido considerar que a cor da placa reconstituída é mais escura do que da pedra *in natura*, o que pode também influenciar nesse maior aquecimento da superfície.

Já na mini parede 2, a superfície voltada ao ambiente aquecido, durante o ensaio, permanece cerca de 10°C abaixo da temperatura do ambiente. Neste caso, embora o ambiente esteja com temperatura elevada, a superfície de quartzito da pedra *in natura* mantém a temperatura estável e consideravelmente inferior à temperatura do ambiente..

A análise para a temperatura global remete ao entendimento de que quanto maior for a diferença destas temperaturas entre as faces expostas aos ambientes aquecido e refrigerado, mais refratário o material é. Ou seja, apesar do revestimento ser exposto ao calor, não conduz esse calor para as outras camadas internas da parede. Nesse sentido, a pedra reconstituída com R.ícino + pó de quartzito colocada na face voltada para o ambiente aquecido foi capaz de reter mais calor e não transferi-lo para a superfície voltada ao ambiente refrigerado. Isso quer dizer que, quando tal revestimento for aplicado em uma fachada de uma edificação e tendo sua face voltada a incidência direta solar (ex.: fachada oeste), menos calor será conduzido para o ambiente interno, indicando temperaturas mais amenas no interior do ambiente construído.

Para melhor visualização das temperaturas nos ambientes e nas superfícies das mini paredes 1 e 2, assim como a diferença da temperatura global, ver Tabela 12.

Tabela 9 Comparativo entre Temperaturas médias Globais nos ambientes e nas faces das paredes 1 e 2

Amostra / Parede	Temperatura média global no ambiente			Temperatura média global na superfície		
	Aquecido °C (TGae)	Refrigerado °C (TGao)	Diferença global (TGae – TGao)	Aquecido °C (TGfe)	Refrigerado °C (TGfo)	Diferença global (TGfe- TGfo)
Mini Parede 1 – Pedra reconstituída como revestimento	49,5	21,8	27,7	46,1	32,3	13,8
Mini Parede 2 – Quartzito como revestimento	48,1	18,8	29,3	38,0	27,8	10,2

TGae = Temperatura média Global no ambiente exposto ao calor

TGao = Temperatura média Global no ambiente oposto ao calor

TGfe = Temperatura média Global na face da parede exposta ao calor

TGfo = Temperatura média Global na face da parede oposta ao calor

4.6 Cálculo do desempenho térmico das mini paredes

Todos os cálculos foram realizados no programa de nome provisório “modelo numérico de avaliação de desempenho térmico de envoltórias segundo a normativa brasileira” em desenvolvimento por Sthéfane Cabral, aluna do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB. O programa está em desenvolvimento no Laboratório de Modelos e Prototipagem (LM+P), sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Nome.

De posse das propriedades de condutividade térmica, calor específico, densidade, índice de absorvância e espessura dos materiais, esses valores foram inseridos no programa que, primeiramente, calculou a resistência térmica do material, resistência térmica interna e externa, resistência térmica de superfície a superfície, capacidade térmica, transmitância térmica, atraso térmico e fator de ganho solar (Tabela 13)

Tabela 13 Propriedades térmicas da pedra quartzito *in natura* e da pedra reconstituída (R. rícino + pó de quartzito). Fonte: Sthéfane Cabral

Material	Resistência térmica	Resistência térmica interna	Resistência térmica externa	Resistência térmica de ambiente a ambiente (RT)	Capacidade térmica (Ct)	Transmitância térmica (U)	Atraso térmico (Φ)	Fatos de ganho solar
Pedra Quartzito <i>in natura</i>	0,02	0,13	0,04	0,019	26,46	5,15	3,00	4,12
Pedra reconstituída (R. rícino + pó de quartzito)	0,03	0,13	0,04	0,020	63,70	4,93	4,32	3,95

O programa também simula a aplicação do revestimento em paredes e calcula o desempenho térmico dessa parede. Então aplicados tais cálculos para o caso de uma parede convencional com 11cm de espessura, sendo essa medida, espessura da parede sem revestimento, e feita com tijolo de 8 furos, o comportamento térmico das paredes aparece simulado na Tabela 14. É importante considerar que as pedras de revestimento foram consideradas apenas em uma das faces, na outra foi considerado o reboco como revestimento. Para

melhor entendimento das camadas internas da parede e das espessuras consideradas nos cálculos ver as Figuras 59 a 61.

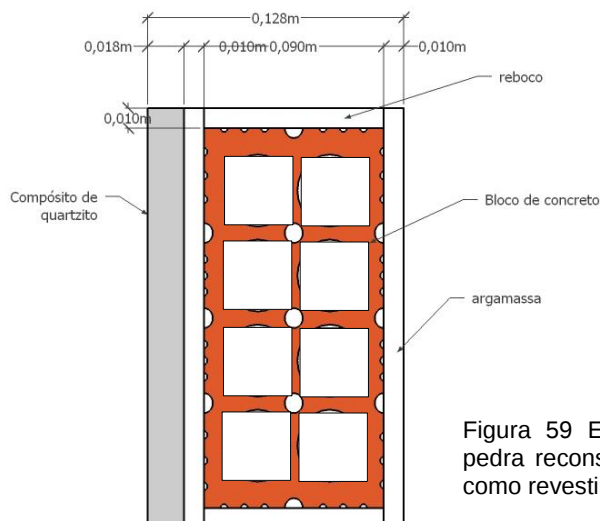


Figura 59 Esquema demonstrativo da parede que tem a pedra reconstituída (compósito R. de rícino + pó de pedra) como revestimento da face que recebe incidência solar direta

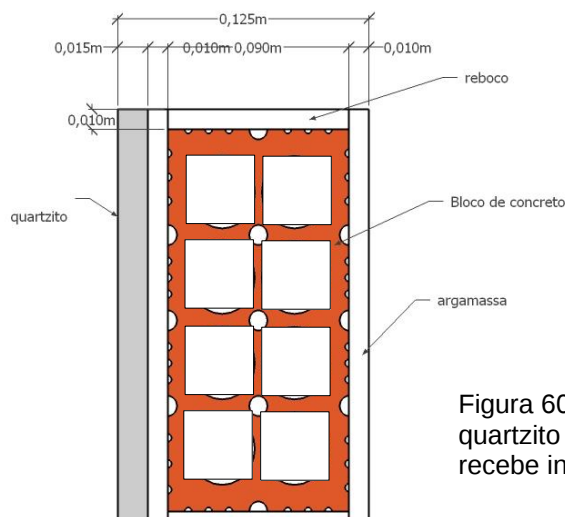


Figura 60 Esquema demonstrativo da parede que tem o quartzo in natura como revestimento da face que recebe incidência solar direta

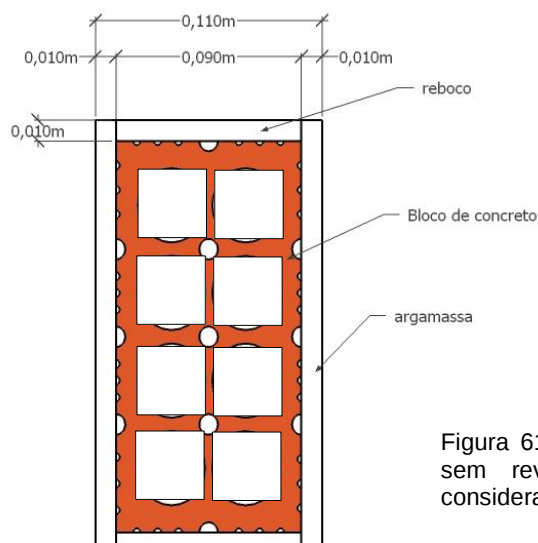


Figura 61 Esquema demonstrativo de uma parede sem revestimento (nesse caso, o reboco é considerado o revestimento)

Tabela 10 Simulação do comportamento térmico das paredes

Parede	R _i interna (m ² .K)/W	R _e externa (m ² .K)/W	R _s de sup. a sup. (m ² .K)/W	R _t total (m ² .K)/W	CT total W/m ² .K	U W/m ² .K	α %	φ Horas	FSO %
Com pedra reconstituída (R. rícano + pó de pedra)	0,13	0,04	0,21	0,38	218,19	2,62	0,20	4,23	2,10
Com pedra Quartzito	0,13	0,04	0,20	0,37	180,95	2,72	0,20	3,68	2,17
Sem revestimento	0,13	0,04	0,16	0,33	154,49	3,03	0,20	3,02	2,43

R_i interna = Resistência térmica interna

R_e externa = Resistência térmica externa

R_s de sup. a sup. = Resistência térmica de superfície a superfície

R_t total = Resistência térmica total

CT total = Capacidade térmica

U = Transmitância Térmica

α = Índice de absorvância

φ = Atraso térmico

FSO = Fator de ganho solar

Os dados obtidos nos cálculos de desempenho estão em concordância com a análise dos resultados dos ensaios realizados em câmara térmica de laboratório, ou seja, os dois resultados finais apontam a parede 1 que tem a pedra reconstituída (R.rícino + pó de quartzito) como revestimento sendo a de menor transmitância térmica dentre as analisadas, assim como, a que possui maior capacidade térmica, que é a capacidade de reter calor, sem que esse calor seja transferido para as outras camadas da parede. Por outro lado, a parede 2 (revestida com pedra de quartzito *in natura*) é a que apresenta maior atraso térmico e menor fator de ganho solar.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005-a) indica os valores U, CT, φ e FSO para a classificação de uma alvenaria externa como leve, leve refletora ou pesada. Esta norma também indica qual o tipo de vedação externa que deve ser empregado em cada zona bioclimática (Ver Tabela 13). Já a NBR 15575-4 (ABNT, 2012) também faz referências a valores de Transmitância Térmica (U) para as vedações externas, e seus valores chegam a diferir em até 0,5 W/m².K da NBR 15220-3 (ABNT, 2005-a), o que dificulta a classificação das vedações. Nela não existe a descrição objetiva sobre o que é uma alvenaria Leve e Refletora, são dados somente os valores de U, CT, φ e FSO (Tabela 15).

Tabela 15 Transmitância Térmica, atraso e fator solar admissíveis para cada tipo de vedação. Fonte: Tabela C.2 NBR 15220-3 (ABNT,2005-a) e NBR 15575-4 (ABNT, 2012)

Vedações externas		Transmitância Térmica- U W/ m ² .K		Capacidade Térmica-CT KJ/ m ² .K	Atraso térmico ϕ Horas	Fator de ganho solar F _{So} %
		NBR 15220-3	NBR 15575-4			
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	U ≤ 2,50	≥130	$\phi \leq 4,3$	F _{So} ≤ 5,0
	Leve Refletora	U ≤ 3,60	U ≤ 3,70		$\phi \leq 4,3$	F _{So} ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	U ≤ 2,50		$\phi \leq 6,5$	F _{So} ≤ 3,5

De acordo com a NBR 15220-3 na maioria dos critérios, tanto a parede com pedra reconstituída (R.rícano + pó de quartzito) quanto a parede com pedra de quartzito como revestimento podem ser enquadradas como paredes leves, porém no fator de ganho solar estas paredes devem ser consideradas como paredes pesadas. Já de acordo com a NBR 15575-4 tais paredes devem ser consideradas como leve refletora, de acordo com os critérios de transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e atraso térmico (ϕ)

Uma vez que a NBR 15220-3 apresenta definições e indicações mais completas, iremos considerar as paredes com pedra reconstituída e com pedra de quartzito como revestimento como paredes leves. Esse tipo de alvenaria é indicado para clima quente e úmido, onde a proposta é que durante a exposição diária ao sol, o calor absorvido pela parede da fachada não seja armazenado por um longo período, nem transmitido para os ambientes internos.

5. Conclusão

Com a realização da presente pesquisa, conclui-se que é possível desenvolver uma pedra reconstituída, que utiliza resíduos da extração de quartzito, com propriedades térmicas e mecânicas ainda melhores do que o quartzito *in natura*. No aspecto térmico, a pedra proposta possui menor condutividade térmica comparada com o quartzito, que já tem a característica de ser uma rocha atérmica, e com outros materiais utilizados como revestimento externo. Comparando apenas com o quartzito, a pedra reconstituída apresenta menor transmitância térmica e maior capacidade térmica. No ensaio realizado na câmara térmica do LABEME foi possível constatar essas qualidades térmicas, embora a temperatura da superfície se mantivesse elevada, esse calor não foi conduzido pra outras camadas da parede.

Sobre o comportamento mecânico da pedra proposta, nos ensaios de compressão uniaxial e flexão por carregamento em três pontos, a resina de rícino superou em resistência o quartzito e outras rochas ornamentais. Curiosamente, as duas resinas de rícino, utilizadas nos compósitos e na moldagem de corpos de prova, no ensaio de compressão uniaxial apresentaram resistências muito diferentes, embora ambas dentro do padrão exigido para rochas ornamentais utilizadas como revestimento. Nesse mesmo ensaio, compressão uniaxial, foi possível observar que os dois compósitos propostos com resina de rícino apresentaram resultados mecânicos melhores em condição seca, apesar da baixa absorção de água dos compósitos.

Embora as resinas de rícino e epóxi sejam muito semelhantes em densidade, textura e facilidade na utilização, a resina de rícino foi escolhida para o prosseguimento dos ensaios por ter caráter natural, ser sustentável e biodegradável. Além disso, a facilidade de compra no mercado local e também o menor preço foram fatores considerados no momento da seleção. Já a emulsão acrílica testada foi preterida por necessitar de longos períodos para a cura completa, inviabilizando completamente a proposta de reconstituição de pedras com resíduos de quartzito.

Outro fator observado foi que os três compósitos analisados no primeiro momento, com resina epóxi, com resina rícino e com a emulsão acrílica, não apresentaram deformações de dilatação ou contração na variação de temperatura de 0°C a 50°C. Imagina-se que necessitam de temperaturas mais extremas ou uma maior exposição a essa variação de temperatura para que ocorra alguma mudança. Essa estabilidade dimensional após moldagem das amostras é considerada uma característica positiva, pois quando esses compósitos em forma de placa são aplicados como revestimento externo, presume-se que não devem correr o risco de trincar por falta de espaço entre as placas, ou seja, os rejuntas podem ser pequenos e passar a ideia de continuidade no assentamento das placas numa fachada, como se fosse uma única placa aplicada.

Recomendações para futuras pesquisas

Como os estudos com quartzito não são amplamente difundidos, existem muitos aspectos a serem contemplados com pesquisas, que ficaram mais evidentes no decorrer desse trabalho. Nesse sentido, espera-se que a presente pesquisa, a partir dos métodos e técnicas adotados, das análises, discussões e resultados, impulse outras pesquisas que promovam o uso do quartzito na construção civil, seja ele como pedra reconstituída ou não.

Para dar continuidade a esse estudo, devem-se considerar alguns questionamentos que ainda não foram atendidos. Por exemplo, a realização de testes com a resina de rícino cristal é válida, quando se poderia constatar se os comportamentos térmicos e mecânicos se assemelhariam com os da resina de rícino que foram apresentados nessa pesquisa. O fato da resina de rícino cristal não adicionar cor aos compósitos, sugere que possa melhorar ainda mais o comportamento térmico da pedra reconstituída. Trabalhar com uma resina de rícino e/ou de epóxi incolor para averiguação responderia essa questão.

As resinas de rícino possuem tendência a amarelar com a exposição prolongada aos raios solares, portanto testes de envelhecimento demonstrariam o quanto mudariam a cor das amostras. Em seguida, realizar ensaios térmicos que constatassem o quanto a mudança na coloração afetaria o desempenho térmico

da pedra reconstituída. Por outro lado, a mudança na coloração das placas de pedras reconstituídas para revestimento, moldadas com compósito de resina de rícino + pó de quartzito, pode ser favorável do ponto de vista estético. Por exemplo, quando tais placas forem aplicadas nas fachadas de uma edificação, as mudanças de cor gerando tonalidades diferentes, conforme os locais onde as placas estão expostas a diferentes incidências solares, podem gerar interessantes gradientes cromáticos nos painéis das fachadas. Neste sentido, o estudo de design de superfície no desenvolvimento da proposta das placas pré-moldadas poderia produzir variações nas áreas por cada peça, umas áreas mais ou outras menos sombreadas e expostas a incidência direta do sol durante o tempo (dia e estações do ano, em função do movimento aparente do sol), gerando também ao longo do próprio envelhecimento interessantes gradientes cromáticos nas fachadas.

Por fim, a pedra reconstituída proposta apresenta níveis de porosidade e absorção de água baixos, portanto realizar um teste de arrancamento e checar a resistência e durabilidade do material assentado na parede seria interessante para promover indicações de assentamento, argamassas mais recomendadas, talvez à base de resina ou com látex na composição.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Marlon Leal Cabral Menezes de. **Proposta de tratamento e aproveitamento dos resíduos provenientes de uma unidade industrial de beneficiamento de quartzito**. 2012. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006 – Gerenciamento da Qualidade – Diretrizes para a qualidade em gerenciamento de projetos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007 – Amostragem de resíduos sólidos- Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho Térmico das Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes construtivos**. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 4: Sistemas de vedações externas e internas**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-5: Rochas para revestimento**. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL, Casa Civil. Lei nº 12.305 de 2010. **Lei da Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS**, Brasília. Presidência da República, 2010. Disponível em :<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.html> Acesso em 10 de Agosto de 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE– CONAMA. GESTÃO DE RESÍDUOS E PRODUTOS PERIGOSOS. RESOLUÇÃO CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Publicada no DOU no 13, de 20 de janeiro de 1997, Seção 1, páginas 1116-1124. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=222>> Acesso em 10 de Agosto de 2013.

Costa, Rejane M. **Corpo de prova de resina epóxi com propriedades Termocromáticas para avaliação qualitativa do Feixe ultra-sônico aplicado em fisioterapia**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

CASTRO, A.J. **Resina poliéster: caracterização e estudo das condições de cura e propriedades mecânicas**. Trabalho submetido ao Curso de Graduação em Química da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos (estágio supervisionado obrigatório, com duração de seis meses - QMC 5515), para obtenção do título de Bacharel em Química. Florianópolis, 2003.

COUTINHO, A. S. **Conforto e insalubridade térmicas em ambientes de trabalho**. 2. ed. João Pessoa: Ed Universitária, 2005.

Estudo pioneiro propõe o uso de resíduos de quartzito como agregado de concreto. Disponível em <<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticias/estudo-pioneiro-propoe-o-uso-de-residuosde-quartzito-como-agregado-de-concreto-2/>>. Acessado em 10 de Outubro de 2013.

GOMES, R.J. — **Condicionamento climático da envolvente dos edifícios para habitação**. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1962.

GOMES, Emmily. **Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com o uso de blocos eva**. Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba- UFPB, 2015.

GORNI, A. A. **Introdução aos Plásticos**. Revista Plástico Industrial. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/intropol.html>. Acesso em 13/04/2017

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P; BERGMAN, T. L; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de calor e massa**. 6ª edição. Rio de Janeiro, RJ. Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

IBRAM. **Mineração e Meio Ambiente** (1992). Brasília.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed. Editores PW. São Paulo, 2014.

MENEZES, R. G.; LARIZZATTI, J. H. **Rochas ornamentais e de revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. 14p.

NASCIMENTO, D. C. O. **Análise das propriedades de compósitos de fibras de piaçava e matriz de resina epóxi**. 2009, 121 p. Tese (Doutorado). Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacases - RJ.

OLGYAY,V. **Design with Climate**. Princeton University Press, New Jersey. 1973.

QUEIROZ, Clarissa. **Módulo para revestimento constituído por resíduo industrial de quartzito associado à estética armorial como conceito para**

criação de padronagem. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2014.

Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. **Silicose em trabalhadores de quartzito da região de São Tomé das letras- Minas gerais: dados iniciais indicam um grave problema de saúde pública.** Volume 36, nº 123. Jan/Jun, 2011.

ROMERO, Marta. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** Editora: CopyMarket.com, 2000

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos Para o Desenho Urbano.** São Paulo: Projeto, 1988.

RORIZ, Maurício. **Conforto e Desempenho térmico de edificações.** Apostila da disciplina “Conforto e Desempenho térmico de edificações” do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2008.

SOUSA, *et al.* **Uma abordagem técnica e ambiental sobre os depósitos de quartzito no estado da Paraíba.** I Simpósio brasileiro de rochas ornamentais e II Seminário de rochas ornamentais do nordeste, Anais, realizado em Salvador, BA – 28 de novembro a 01 de dezembro de 2001.

SOUSA, Antônio Pedro Ferreira. **Geologia Lavra e Aproveitamento Racional dos Quartzitos na Região de Várzea e Junco do Seridó – PB.** Campina Grande – PB, 1999.

SOUZA, *et al.* **Uma estratégia para o aproveitamento sustentável do quartzito de Várzea/PB.** UFCG, Campina Grande, 2012.

SOUZA, *et al.* **Caracterização química e mineralógica de resíduos de quartzitos para utilização em revestimento cerâmico.** 4º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS – 22 a 24 de Julho de 2013.

Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Inventário de resíduos sólidos industriais do Estado da Paraíba** – Brasil..João Pessoa: SUDEMA, 2004.

VAN DEVENTER, E. N.; **Climatic and Other Design Data for Evaluating Heating and Cooling Requirements of Buildings.** Pretoria, National Building Research Institute, (Research Report,c 300). 1971.

APÊNDICES

APÊNDICE A – VALORES DE RUPTURA

COMPRESSÃO UNIAXIAL

Amostra	Largura	Comprimento	Área	P. Kgf	P. N	P.kN	MPa	Média
Condição seca								
Tipo 1:1	0,074	0,074	0,01	2.006	205	0,205	37,35	Res. 1
Tipo 1:2	0,074	0,074	0,01	2.094	214	0,214	38,99	36,13
Tipo 1:3	0,074	0,074	0,01	2.018	206	0,206	37,58	
Tipo 1:4	0,074	0,074	0,01	1.647	168	0,168	30,67	Res. 2
Tipo 1:5	0,074	0,074	0,01	1.936	197	0,197	36,05	268,99
Tipo 2:1	0,074	0,074	0,01	11.327	1.155	1,155	210,93	
Tipo 2:2	0,074	0,074	0,01	17.563	1.791	1,791	327,05	
Condição saturada								
Tipo 1:1	0,074	0,074	0,01	1.649	168	0,168	30,71	Res. 1
Tipo 1:2	0,074	0,074	0,01	1.999	204	0,204	37,22	30,49
Tipo 1:3	0,074	0,074	0,01	1.738	177	0,177	32,36	
Tipo 1:4	0,074	0,074	0,01	1.265	129	0,139	23,56	Res. 2
Tipo 1:5	0,074	0,074	0,01	1.535	157	0,157	28,58	156,84
Tipo 2:1	0,074	0,074	0,01	7.384	753	0,753	137,50	
Tipo 2:2	0,074	0,074	0,01	9.461	965	0,965	176,18	

FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM 3 PONTOS

Amostra	Largura	Espessura	D. roletes	P. Kgf	P.kN	P.MPa
Rícino 2:1	0,05	0,05	0,12	1.451	0,15	213,06
Rícino 2:2	0,05	0,05	0,12	1.353	0,14	198,68
Rícino 2:3	0,05	0,05	0,12	1.040	0,11	152,71

APÊNDICE B - CÁLCULO DO DESEMPENHO

Os cálculos dessa seção foram realizados no programa de nome provisório “modelo numérico de avaliação de desempenho térmico de envoltórias segundo a normativa brasileira” em desenvolvimento por Sthéfane Cabral, aluna do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB. O programa está em desenvolvimento no Laboratório de Modelos e Prototipagem (LM+P), sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Nome.

Parede sem revestimento – tijolo 8 furos

Tijolo cerâmico 8 furos

ELEMENTOS DO SISTEMA			
MATERIAL	Altura (m)	Espessura (m)	Comprimento (m)
Reboco	1	0,01	1
Tijolo cerâmico 8 furos	1	0,09	1
Reboco	1	0,01	1

0,11

Seção A

CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção
							0,0011	0,08	0,01	202,00
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				
Argamassa	0,09	1	2000	1,15	0,08	180,00				
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				

Seção B

CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção
							0,0066	0,11	0,06	154,48
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				
Tijolo	0,09	0,92	1600	0,9	0,10	132,48				
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				

Seção C

CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção
							0,00436	0,34	0,00	52,83
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42				
Câmara de ar	0,04	1	0	0	0,16	0,00				
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42				
Câmara de ar	0,04	1	0	0	0,16	0,00				
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42				
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				

Resistência térmica interna	Resistência térmica externa	Resistência térmica de sup. a sup.	Resistência térmica total	Capacidade térmica Total	Transmitância Térmica	Absortância	Atraso Térmico	Fator de ganho solar
0,13	0,04	0,16	0,33	154,49	3,03	0,20	3,02	2,43

Parede com pedra reconstituída (Resina de rícino + pó de pedra) como revestimento – tijolo de 8 furos

Tijolo cerâmico 8 furos com compósito

ELEMENTOS DO SISTEMA			
MATERIAL	Altura (m)	Espessura (m)	Comprimento (m)
Reboco	1	0,01	1
Tijolo cerâmico 8 furos	1	0,09	1
Reboco	1	0,01	1
Compósito	1	0,018	1

0,128

Seção A

CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção
Compósito	0,018	1,8	1966	0,55	0,03	63,70	0,00128	0,12	0,01	265,70
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				
Argamassa	0,09	1	2000	1,15	0,08	180,00				
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				

Seção B

CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção
Compósito	0,018	1,8	1966	0,55	0,03	63,70	0,00768	0,14	0,06	218,18
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				
Tijolo	0,09	0,92	1600	0,9	0,10	132,48				
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				

Seção C

CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção
Compósito	0,018	1,8	1966	0,55	0,03	63,70	0,00508	0,37	0,00	116,53
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42				
Câmara de ar	0,04	1	0	0	0,16	0,00				
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42				
Câmara de ar	0,04	1	0	0	0,16	0,00				
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42				
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00				
Resistência térmica interna	Resistência térmica externa	Resistência térmica de sup. a sup.	Resistência térmica total	Capacidade térmica Total	Transmitância Térmica	Absortância	Atraso Térmico	Fator de ganho solar		
0,13	0,04	0,21	0,38	218,19	2,62	0,20	4,23	2,10		

Parede com pedra de quartzito como revestimento – tijolo de 8 furos

Tijolo cerâmico 8 furos com Quartzito																	
ELEMENTOS DO SISTEMA																	
MATERIAL	Altura (m)	Espessura (m)	Comprimento (m)														
Reboco	1	0,01	1														
Tijolo cerâmico 8 furos	1	0,09	1														
Reboco	1	0,01	1														
Quartzito	1	0,015	1														
0,125																	
Seção A																	
CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção							
Quartzito	0,015	0,84	2100	0,62	0,02	26,46	0,00125	0,11	0,01	228,46							
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00											
Argamassa	0,09	1	2000	1,15	0,08	180,00											
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00											
Seção B																	
CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção							
Quartzito	0,015	0,84	2100	0,62	0,02	26,46	0,0075	0,13	0,06	180,94							
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00											
Tijolo	0,09	0,92	1600	0,9	0,10	132,48											
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00											
Seção C																	
CAMADA	Espessura (m)	Calor específico	Densidade	Condutividade Térmica	Resistência térmica do material	CT Material	Área de seção (m²)	Resistência Térmica da seção	Área de seção/Rm	CT da seção							
Quartzito	0,015	0,84	2100	0,62	0,02	26,46	0,00496	0,36	0,00	79,29							
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00											
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42											
Câmara de ar	0,04	1	0	0	0,16	0,00											
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42											
Câmara de ar	0,04	1	0	0	0,16	0,00											
Tijolo	0,003	0,92	1600	0,9	0,00	4,42											
Reboco	0,01	1	2200	1,75	0,01	22,00											
Resistência térmica interna	0,13	Resistência a térmica externa	0,04	Resistência térmica de sup. a sup.	0,20	Resistência térmica total	0,37	Capacidade térmica Total	180,95	Transmitância Térmica	2,72	Absortância	0,20	Atraso Térmico	3,68	Fator de ganho solar	2,17