



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

WESLYANNE ALVES MENEZES

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS: CASA DOS
TRABALHADORES LIVRES DO ENGENHO BELÉM DE SÃO JOSÉ DE
MIPIBU/RN**

ANGICOS - RN

2020

WESLYANNE ALVES MENEZES

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS: CASA DOS
TRABALHADORES LIVRES DO ENGENHO BELÉM DE SÃO JOSÉ DE
MIPIBU/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ma. Janaina Salustio da Silva

ANGICOS - RN

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

M541c Menezes, Wesleyanne Alves.

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS: CASA DOS TRABALHADORES LIVRES DO ENGENHO BELÉM DE SÃO JOSÉ DE MIPIBU/RN / Wesleyanne Alves Menezes. - 2020.

50 f. : il.

Orientadora: Janaina Salustio da Silva.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2020.

1. : Revestimentos. 2. Argamassa de cal. 3. Reconstituição. 4. Intervenções. I. Salustio da Silva, Janaina, orient. II. Título.

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

WESLYANNE ALVES MENEZES

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS: CASA DOS
TRABALHADORES LIVRES DO ENGENHO BELÉM DE SÃO JOSÉ DE
MIPIBU/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 28 / 01 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Janaina Salustio da Silva

Profª Ma. Janaina Salustio da Silva
Presidente

Marcilene Vieira da Nóbrega

Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega
1º Membro

Marília Nunes Freire Ribeiro

Engª Marília Nunes Freire Ribeiro
2º Membro

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Maria do Socorro Alves de Medeiros e Valdeir Paiva Menezes por todo o amor, atenção, incentivo e oportunidades que me ofereceram desde o meu nascimento, e assim possibilitando minha formação acadêmica.

Aos meus irmãos, Wesley Alves e Wendell Alves, por todo companheirismo e amor que me oferecem.

Aos meus amigos Marina Ângelo, Arthur Araújo e Magnum Iury, por sempre estarem comigo, tanto nos momentos de alegria como nos mais difíceis. Agradeço também, pela contribuição na extração das amostras do presente trabalho.

Agradeço também a Aryellen Dias, Sávio França, Mayara Raquel, Igor Santiago, Valéria Cunha e Clara Karinna, por todos os conselhos e contribuições ao decorrer da minha formação.

Agradeço aos meus queridos amigos que a UFRSA me presenteou e que tanto me ajudaram na vida pessoal e acadêmica, Baraklein de Medeiros, Victória Paes, Aliphe Anjos e Wallace Silva.

Agradeço imensamente a Dra. Jacimara Villar Forbeloni, por todo carinho, ajuda, conselhos, oportunidades e paciência que teve comigo na minha passagem pela universidade, só ela sabe o quanto me ajudou para concluir meus estudos.

Agradeço especialmente a minha orientadora Ms. Janaina Salustio da Silva, que é exemplo de profissional e de mulher, deixo aqui registrado que sua história de superação me motivou a chegar onde estou, obrigada por toda atenção necessária e orientação para concluir o presente trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral, por toda paciência que teve comigo na realização dos ensaios e orientações ofertadas na minha graduação.

Expresso também meus agradecimentos ao pessoal do Laboratório de Engenharia Civil da UFERSA – Campus Angicos, Adna Melo e Ayrton Táliton, por terem contribuído com a conclusão deste trabalho.

Não posso esquecer de todos aqueles que, de algum modo me ajudaram ao longo deste trabalho, de forma direta e indiretamente. A todos muito obrigada!

“Algumas batalhas são vencidas com espadas e lanças, outras com papel e caneta”.

Tywin Lannister

RESUMO

Com o passar dos anos e mediante a exposição de agentes agressivos, as edificações acabam sofrendo danos, e se não tratados podem levar a ruínas. Quando feita uma intervenção para sanar as manifestações patológicas, pode ocorrer o inverso do desejado e acabar acelerando o processo de desgaste, isso acontece quando é utilizado materiais não compatíveis com os que estão presentes na edificação ou técnicas que não são adequadas para aquela situação específica. Tratando-se de argamassa de revestimento das edificações, é importante ter em mente que é a parte da edificação que possui contato direto com os agentes externos, visto que sua finalidade é a de proteção. Pensando em realizar intervenções da melhor forma possível nas edificações quando necessários, ao decorrer dos anos vem surgindo a necessidade de propor métodos de caracterização de argamassas, com o objetivo que através dos ensaios seja possível conhecer características importantes do composto presente nas argamassas, e assim refazê-los e empregá-los na intervenção. Diante desse contexto, este trabalho visa realizar a caracterização de argamassas de uma edificação localizada na cidade de São José de Mipibu – RN, datada no início do século XIX. Para atender a esse objetivo, foram utilizadas técnicas de caracterização como o ataque ácido, ensaio de granulometria, análise visual e ensaio de absorção. Possibilitando assim ter conhecimento das características dos agregados utilizados na época da produção da argamassa, constatar semelhança de comportamento na distribuição das partículas que compõe cada amostra e a capacidade de absorção das amostras. A partir dos resultados obtidos foi possível observar que foram utilizados diversos traços de relação aglomerante:agregado na construção, variando de 1:5 a 1:20 nas oito amostras, como também, ter o conhecimento que não houve um controle tecnológico na época da construção.

Palavras-chaves: Revestimentos. Argamassa de cal. Reconstituição. Intervenções.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo da cal	20
Figura 2. Diferentes tipos de cal na construção civil	21
Figura 3. Fluxograma da metodologia de pesquisa	27
Figura 4. Planta de locação das edificações do engenho Belém	28
Figura 5. Casa grande do Engenho Belém	29
Figura 6. Engenho Belém e sua chaminé	29
Figura 7. Casa dos Trabalhadores Livres, objeto de estudo do presente trabalho.....	30
Figura 8. Planta Baixa da Casa dos Trabalhadores Livres juntamente com os pontos de extração das amostras	31
Figura 9. Momento da extração de uma amostra	32
Figura 10. Alguns pontos de extração das amostras: a) Parede externa lateral esquerda; b) Parede interna lateral esquerda; c) Parede externa frontal; d) Parede interna posterior.	33
Figura 11. Fragmentos de amostras: O primeiro fragmento (a) está localizado na parede externa lateral esquerda, o segundo fragmento (b) é referente a parede interna lateral esquerda, o terceiro fragmento (c) fica situado na parede externa posterior, e o quarto (d) na parede interna posterior.	34
Figura 12. Amostras destorroadas e armazenadas no fim da fragmentação.....	34
Figura 13. Fluxograma do ensaio químico	35
Figura 14. Proveta com 150ml de ácido clorídrico e o momento inicial da reação química	36
Figura 15. Amostras sob efeito de ataque químico	36
Figura 16. Filtragem do material submetido ao ácido.....	37
Figura 17. Peneiras com diversas malhas e o agitador mecânico.....	38
Figura 18. Amostras antes de serem imersas em água	39
Figura 19. Curva de distribuição granulométrica	45
Figura 20. Taxa de absorção.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação do local de extração	32
Tabela 2. Relação do aglomerante/ agregado e o traço encontrado das argamassas históricas	43
Tabela 3. Porcentagem da massa retida e acumulada nas peneiras	44
Tabela 4. Módulo de finura e diâmetros máximos	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características observadas visualmente em cada amostra	45
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 A UTILIZAÇÃO DA ARGAMASSA NA CONSTRUÇÃO E SEUS COMPONENTES	16
3.1.1 <i>Síntese histórica</i>	16
3.1.2 <i>Argamassas e seus componentes</i>	17
3.2 ARGAMASSA DE CAL	19
3.2.1 <i>Ciclo da cal</i>	19
3.2.2 <i>Tipos de cal</i>	20
3.2.3 <i>Funções das argamassas nas alvenarias históricas</i>	22
3.2.4 <i>Caracterização das argamassas históricas e suas técnicas</i>	23
4. METODOLOGIA	26
4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	26
4.2 CONTEXTO HISTÓRICO: CASA DOS TRABALHADORES LIVRES DO ENGENHO BELÉM	27
4.3 COLETA DAS AMOSTRAS	30
4.4 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	33
4.5 ENSAIOS	35
4.5.1 <i>Análise química</i>	35
4.5.2 <i>Análise granulométrica</i>	38
4.5.3 <i>Absorção</i>	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 ANÁLISE VISUAL	41
5.2 ANÁLISE QUÍMICA	43
5.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	44
5.4 ABSORÇÃO	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
7. REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Uma edificação pode ser considerada um conjunto de elementos básicos, como os que formam uma estrutura, os que compõem a vedação exterior, os que subdividem o espaço interno e os que fazem parte dos sistemas prediais. Sendo que cada um desses elementos citados cumpre determinadas funções e contribui para integridade da edificação (MACIEL, 1998).

As edificações históricas retratam o passado da sociedade, que através delas é possível compreender a história e costumes de determinada cidade ou região, assim como analisar sua evolução perante o passar dos anos. Mas ao decorrer do tempo, diversas cidades perdem edificações construídas no passado, edificações estas que possuíam características arquitetônicas que remontam a sua época de construção, desse modo, afetando a história daquela região (RODRIGUES, 2013).

A conformidade e a originalidade de uma cidade são elementos não somente de sua estrutura física, como também, atributos sociológicos. Tendo em mente isso, é preciso que além de preservar o patrimônio, atribua-se a proteção do patrimônio cultural (IPHAN, 1977).

Com o reconhecimento da necessidade de preservar o patrimônio cultural brasileiro, em 13 de janeiro de 1937 foi criado o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). O IPHAN também é responsável pela divulgação e monitoramento dos bens (de natureza material e imaterial) culturais brasileiros, desse modo, garantindo que tais bens sejam conservados para gerações futuras (BRASIL, 2019).

Com o passar dos anos, a estrutura vai envelhecendo e perdendo suas propriedades iniciais devido ao desgaste dos materiais, então existe a necessidade de realizar restaurações para impedir as manifestações patológicas presentes na edificação. Um dos componentes mais afetados quando feita a intervenção em prédios históricos é a argamassa de revestimento, visto que muitas vezes é substituída por uma argamassa a base de cimento, fazendo com que o revestimento adquira propriedades distintas do revestimento original, acabando por prejudicar a relação revestimento/alvenaria, e possibilitando futuros problemas (KANAN, 2008).

Restauração é qualquer interferência que tem como objetivo recuperar a eficiência de um produto que o homem utiliza. Seguindo essa linha de raciocínio, um projeto de restauração possui aspectos teóricos e críticos, formais e documentais, materiais e técnicos da obra, buscando a recuperação adequada (BRANDI, 2004).

Visando a preservação e restauração das edificações históricas, quando se faz necessário passar por manutenção e juntamente garantir a originalidade de tais edificações, surge a ideia de caracterização dos materiais que foram utilizados na época de sua construção. A caracterização das argamassas de revestimento é um ponto importante para estudo, visto que, feita a análise da matéria-prima empregada na sua produção e sua técnica utilizada, possibilita futuras intervenções de caráter restaurativas mais embasadas, conscientes e respeitosas para essas edificações (RODRIGUES, 2013).

Desse modo, com o objetivo da reabilitação e conservação de edifícios que contribuem para a história e patrimônio cultural do Rio Grande do Norte, o presente trabalho tem como finalidade realizar a caracterização da argamassa de revestimento que foi produzida na época de construção na Casa dos Trabalhadores Livres do Engenho Belém, construído no início da década de XIX, situado na cidade de São José de Mipibu – RN.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O referente trabalho tem como objetivo geral a reconstituição do traço das argamassas utilizadas no revestimento da Casa dos Trabalhadores Livres localizado no Engenho Belém de São José de Mipibu/RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, é necessário atender os seguintes objetivos específicos:

- Detectar o agregado empregado, por meio da análise de sua granulometria;
- Reconstituir o traço aplicado na argamassa de revestimento através da técnica de ataque químico com ácido clorídrico;
- Verificar a taxa de absorção da argamassa;
- Realizar uma análise visual das amostras de argamassas, analisando sua coloração, textura e resistência a pressão dos dedos;
- Verificar se foi usado traços distintos de argamassas no imóvel.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A UTILIZAÇÃO DA ARGAMASSA NA CONSTRUÇÃO E SEUS COMPONENTES

3.1.1 Síntese histórica

As argamassas vêm sendo usadas a milhares de anos, desde o antigo Egito e, no que tange a sua definição e composição, evoluíram ao decorrer dos tempos (SOUSA, 2014).

Em Nevoli Çori, localizada na Turquia, foram identificados resquícios de argamassas à base de cal em pavimentos que datam cerca de 10000 a. C. – 8000 a. C., outro exemplo se dá na cidade de Jericó, onde também se encontram evidências da utilização de argamassas em paredes, que datam entre 8000 a. C. – 7000 a. C. (ROSA. 2016).

A fabricação da cal era comum na maior parte dos povos da antiguidade, como: chineses, egípcios, etruscos, fenícios, grego, incas e romanos. Chegavam a produzir a cal gorda para utiliza-la como ligante na construção de alvenarias ou em rebocos pintados com cores naturais. O processo da fabricação se dava através de fornos constituídos por pedra de cal que se queria calcinar. Na parte superior as pedras maiores eram organizadas de modo que ficassem com formato curvilíneo, desse modo, possibilitando formar um forno que era preenchido com pedras menores, e como combustíveis eram utilizadas madeiras (MARTINGANÇA et al, 2005).

A ideia de construir obras duradouras e arquitetura monumental, teriam estimulado os gregos a desenvolver diversos materiais e técnicas. A princípio, a cal foi combinada com a areia, e posteriormente misturada com a pedra de Santorini (pozolana, rica em sílicas), desse modo, estabelecendo um ligante hidráulico. Entretanto, sua utilização na Grécia foi bastante limitada, pois em construções de edificações com base no princípio coluna-lintel, foi utilizada especialmente pedra aparelhada sem qualquer ligante (MARGALHA, 2011).

Há quem acredite que a argamassa de cal teve início no antigo Egito, entretanto, a civilização Minoica já a utilizava cerca de 3 mil anos atrás. Além de combinar cal com agregado, também acrescentavam barro cozido (telhas e tijolos), deixando uma argamassa mais durável. Os gregos descobriram duas maneiras diferentes de utilizar a cal na argamassa, são elas: por hidratação e por carbonatação (LIPPS, 2008).

No início do século XVIII, existiam escritores que criticavam o uso de qualquer elemento que não fosse cal e areia nas argamassas. Contudo, há contradições com tal opinião,

pois é possível constatar em biografias que era comum a utilização de materiais como a pozolana, material cerâmico pulverizado, limalha de ferro, óleo, cinzas e Tournai. Em outros estudos realizados no final do século XIX, também era comum nas argamassas feitas com areia e cal, estarem presentes elementos em sua composição como a borra de ferro, pó de tijolo, massapez e cinzas de carvão (SANTIAGO, 2007).

No Brasil, a argamassa conceituada como produzida em obra passou a ser usada no início do século da colonização brasileira, foi largamente utilizada na época para assentamento de alvenaria e pedra. A cal presente em tal argamassa era obtida através da queima de conchas e mariscos. Como aglomerante, o óleo de baleia também era bastante utilizado no preparo da argamassa para assentamento (OLIVEIRA, 2014).

Há quem afirme que o melhor método de recuperação de uma edificação é a extração completa de todo o revestimento e refaz-lo, entretanto, é totalmente inviável tal pensamento, visto que a necessidade de fazer uma intervenção deve vir acompanhada da ideia de utilizar componentes similares aos que foram usados na época da construção da edificação, pois os materiais do tempo atual, como o cimento, resinas sintéticas, pigmentos orgânicos e argamassas pré-dosadas, alteram a cor, brilho e textura, além do mais, podem levar a degradação acelerada da edificação (VEIGA, 2006).

3.1.2 Argamassas e seus componentes

Tratando-se de constituintes, a argamassa é definida como um produto resultante da combinação de pelo menos um ligante com agregado e água, caso necessário, pode-se acrescentar aditivos, com a intenção de melhorar as características e propriedades da argamassa. Vale salientar, que as argamassas podem ser usadas em aplicações distintas, como o assentamento de alvenaria, argamassas decorativas, rejuntas e assentamento de placas cerâmicas, e também em revestimentos (ALMEIDA, 2015).

Como revestimento, a argamassa exerce a função de proteção de uma superfície porosa, sendo composta de uma ou mais camadas superpostas, com espessura comumente homogênea, resultando em uma superfície capaz de receber uma decoração final adequada. Dessa maneira, o revestimento argamassado é capaz de proteger a alvenaria, bem como sua estrutura, da ação de agentes agressivos, além de fornecer o isolamento termoacústico e dificultar a entrada de gases e água para o seu interior (ABCP, 2002).

Para as argamassas de revestimento exercerem suas funções de forma ideal, é importante que algumas propriedades sejam atendidas, como: possuir consistência, trabalhabilidade, coesão, plasticidade, reter água, adesão inicial e no estado endurecido, apresentar resistência mecânica e elasticidade (SILVA, 2006).

Em relação aos seus materiais constituintes, um dos elementos que possui forte influência quando se trata do comportamento das argamassas, são os agregados. Diversos fatores como a dureza dos grãos, granulometria e porosidade, afetam diretamente o comportamento da argamassa. As condições que o próprio material se encontra influenciam, o estado de limpeza da areia é um exemplo disso, pois é um fator que pode alterar as características da argamassa, pois a areia funciona como uma espécie de esqueleto para a mesma, possibilitando coesão pela ligação dos seus grãos ao ligante (MARGALHA, 2011).

Já a água é o elemento da argamassa que possibilita a reação entre os demais materiais. É utilizada para regular a consistência da mistura para atingir uma melhor trabalhabilidade da argamassa, entretanto, sua adição deve ser moderada e respeitar o teor pré-estabelecido no projeto. O tipo de água mais indicado para o uso na construção civil é a água potável da rede de abastecimento público, pois qualquer outra fonte de água poderá se encontrar contaminada ou com excesso de sais que podem facilitar manifestações patológicas na argamassa (ABCP, 2002).

O cimento Portland é comumente empregado nas argamassas devido ao alto ganho de resistência mecânica, propriedade essa que não é conferida a outros materiais empregados, como a cal. Outra vantagem quanto ao emprego do cimento é o tamanho de suas partículas, o mesmo é composto por grãos finos, isso faz com que o número de vazios seja menor, afetando diretamente na retenção de água e a plasticidade da argamassa (ABCP, 2002).

Ainda segundo a ABCP (2002), mais um dos aglomerantes utilizados nas argamassas é a cal hidratada, quando misturada com os demais materiais proporciona uma melhor trabalhabilidade à argamassa e tem a capacidade de deformar mediante a ação de cargas solicitantes no revestimento. Em argamassas onde o cimento portland não está presente, a cal hidratada exerce função de ligante, desse modo substituindo o papel do cimento. Quando ambos estão presentes (cimento e cal) ocorre uma maior retenção de água, desse modo, a cal influencia positivamente no processo de hidratação do cimento.

3.2 ARGAMASSA DE CAL

Acredita-se que o homem teve conhecimento da cal por volta do período paleolítico, ao final do Pliocênio. Foram encontradas ruínas onde o solo argiloso foi firmado a cerca de 3.000 a. C. para realizar a construção da pirâmide de Shersi, localizada na região de Tibet. Também foi encontrada a presença da Cal na vedação das câmaras da pirâmide de Quéops por volta de 2614-2591 a. C. (GUIMARÃES, 2002).

A argamassa de cal é uma mistura onde a cal passa a ter função de aglomerante na ausência do cimento. Tal argamassa é composta por: cal, areia e água. Utilizada em alvenarias, revestimentos de tetos, paredes e piso, como também em recuperação de edificações. As principais propriedades são de trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações (ABCP, 2002).

Embora tenham perdido espaço a partir da revolução industrial e da descoberta do cimento Portland, as argamassas que são constituídas por base de cal ressurgem quando se fala de recuperação em edificações históricas, já que se deve preservar a originalidade dos componentes das edificações (ALMEIDA, 2015).

As argamassas que detêm a cal como aglomerante em sua composição, desempenham importantes funções nas alvenarias, em especial nas alvenarias históricas. Possibilitando uma camada de revestimento que oferece proteção a alvenaria do ataque de agentes externos, argamassas a base de cal se constituem de um material que apresenta melhor capacidade de deformação e que absorvem tensões e umidade, preservando assim o interior da alvenaria (KANAN, 2008).

3.2.1 Ciclo da cal

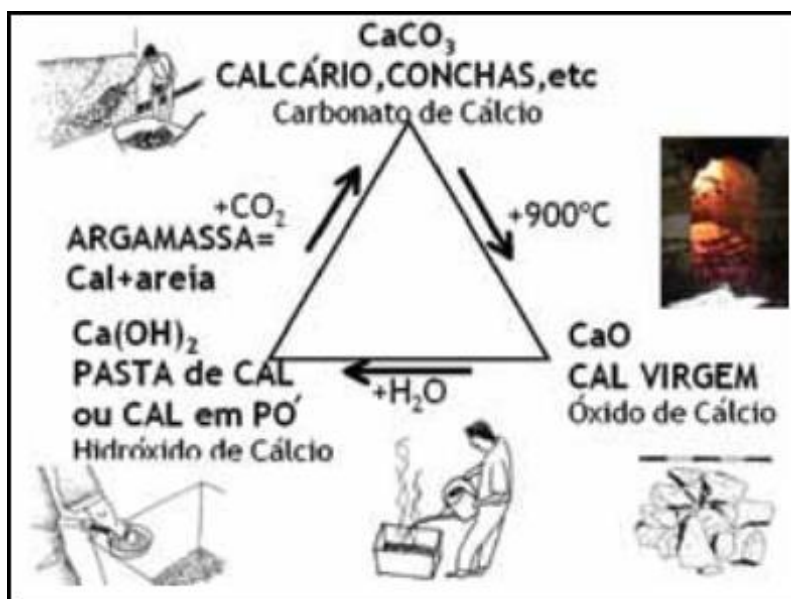
Quando os calcários e dolomitos são submetidos a altas temperaturas, cerca de 1000 °C, o carbonato de cálcio (CaCO_3) presente em ambos se transforma em óxido de cálcio (CaO), desse modo produzindo a cal virgem, tal resultado é decorrente da perda de anidrido carbônico (CO_2) (SILVA, 2006).

A NBR 7175 (ABNT, 2003) define a cal hidratada como sendo um pó obtido pela hidratação da cal virgem, sua composição equivale a uma combinação de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, podendo ser ainda uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

O ciclo da cal, como é conhecido o processo desde sua obtenção até seu endurecimento

nas argamassas, está representado esquematicamente na Figura 1.

Figura 1. Ciclo da cal



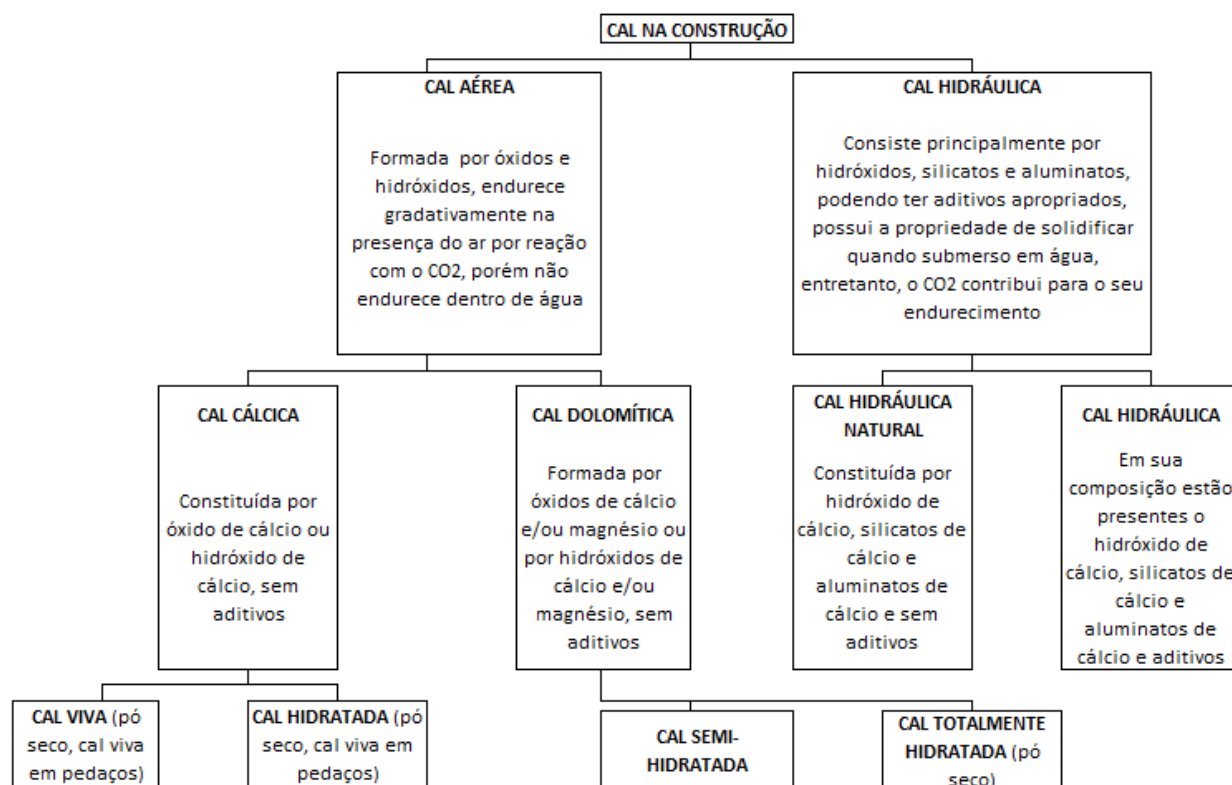
Fonte: Kanan (2008)

A cura da argamassa de cal aérea se dá quando o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), que está presente na argamassa em estado fresco, reabsorve o anidrido carbônico presente no ar e se transforma mais uma vez em carbonato de cálcio (CaCO_3). No processo de cura da argamassa de cal, ocorre a evaporação da água, levando a contração do volume da massa, e posteriormente a reação do dióxido de carbono (CO_2) com a cal hidratada, fase final que é relativamente lenta mas é a fase que dá origem ao carbonato de cálcio e resulta no aumento da resistência mecânica da argamassa (KANAN, 2008).

3.2.2 Tipos de cal

A cal está dentro do grupo de ligantes hidrófilos, que em seguida se subdivide em mais dois tipos, são eles: aéreos e hidráulicos. Partindo desses dois principais grupos, ainda se subdivide em mais tipos, como é possível observar na Figura 2.

Figura 2. Diferentes tipos de cal na construção civil



Fonte: Adaptada de Sequeira et al. (2007) e Rosa (2016)

Os ligantes aéreos podem ter origem cálcica ou dolomita, e em sua composição apresentam principalmente óxidos de cálcio e ou magnésio, respectivamente. A cal aérea pode ainda conter hidróxidos de cálcio e/ou de magnésio que, quando em contato com a água formam uma pasta que se solidifica ao entrar em contato com ar, mas que não acontece o mesmo dentro d'água. Já os ligantes hidráulicos, conseguem endurecer em contato com o ar e também em contato com a água (ROSA, 2006).

A obtenção da cal aérea se deve pela decomposição térmica de rochas calcárias com grau de pureza elevado, sendo permitido 5% de impurezas em uma rocha. Já a cal calcítica é designada quando o principal composto dessas rochas for o carbonato de cálcio (CaCO_3), quando o teor mínimo é de 95%. Entretanto, quando a rocha apresentar o carbonato de cálcio e magnésio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), a rocha será nomeada de dolomita, desse modo obtendo a cal dolomita (COELHO, 2009).

A cozedura do calcário (CaCO_3) em estado puro dá origem ao óxido de cálcio, que compõe a cal aérea. Já a cozedura do calcário margoso (CaCO_3 + argila (<50%)) dá origem às cals quase hidráulicas, dependendo da quantidade de argila, e também dos cimentos naturais. Quanto a proporção de impurezas presentes, as cals aéreas dividem-se da seguinte

maneira (COUTINHO, 1988; SAMPAIO, 1978; COUTINHO, 2006):

- Cais aéreas gordas: tem origem dos calcários quase puros com teores de carbonato maiores que 99% e apresentam-se com cor branca. Possuem tal nome devido às suas características plásticas, que são de fácil trabalho e macias.
- Cais aéreas magras: possuem a cor cinza, derivam de calcários com teores de argila e de outras impurezas contidas entre 1 e 5%. Não são de fácil trabalhabilidade e não são tão macias.

A cal hidráulica é obtida de rochas calcárias impuras, que possuem uma variação de 8 a 20% de argila. O hidróxido de cálcio é o predominante em sua composição, também contém silicatos ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) e aluminatos de cálcio ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$) que quando em contato com água ou ar se endurecem. A vantagem de usar a cal hidráulica é a disponibilidade de propriedades mecânicas mais elevadas, uma melhor trabalhabilidade e um bom acabamento (COUTINHO, 2006; MARTINS, 2010).

Quanto a sua estrutura, a cal hidráulica natural é distinta da cal aérea, visto que sua obtenção é oriunda de rochas formadas por uma combinação de argila e calcário (marga). Quando em presença de temperatura em volta de 900 – 1200 °C, se origina três compostos fundamentais: a cal (CaO), a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3).

A cal hidráulica possui a capacidade de reagir por meio da hidratação, mostrando diversos tipos de propriedades de endurecer com a adição de água em virtude da variação da quantidade de argilas. A cal hidráulica se estabelece de um material que possui uma maior permeabilidade, isso quando comparada ao cimento Portland (KANAN, 2008).

3.2.3 Funções das argamassas nas alvenarias históricas

A definição de alvenaria é a associação de um conjunto de elementos com dimensões relativamente menores (tijolos de barro seco, pedras, blocos de concreto, entre outros), com diversos tipos de ligantes (sendo simples ou misturados). As construções de alvenaria, como templos religiosos, palácios, castelos, entre outras, têm dado uma grande importância para todas as grandes civilizações, desde os anos 10.000 a. C. Edificações antigas que ainda se encontram nos tempos atuais, pode-se citar, as Pirâmides de Gizé, a muralha de China, e

grandes catedrais (PINHO, 2007).

É importante salientar a função das argamassas antigas que possuem a cal como base nas alvenarias tradicionais, vai muito além da contribuição estética, pois estas ajudam a conservar a edificação, pois ao absorver os impactos do ambiente impedem a degradação da alvenaria. Logo, as argamassas em edificações históricas acabam por interferir de forma significativa na preservação da estrutura, uma vez que a argamassa acaba por sofrer deterioração perante a estrutura, atuando assim como uma camada de proteção a mesma, que se sacrifica em detrimento da alvenaria (KANAN, 2008 e SOUSA, 2014).

Ao decorrer dos anos há o envelhecimento da estrutura, consequentemente do revestimento também e o surgimento de manifestações patológicas, algumas edificações conseguem suportar os agentes agressivos, entretanto de tempos em tempos é necessário que intervenções sejam realizadas, para que a estrutura da edificação não chegue ao estado precário. Normalmente, a primeira parte afetada de edificações históricas é a argamassa de revestimento, chegando a ser substituída por materiais que possuem o cimento como base, desse modo, ganhando propriedades distintas da original.

Em razão de se constituírem como um elemento em que é utilizado na estrutura da edificação, é de extrema importância promover o estudo das argamassas em virtude das mesmas representarem uma ação de complementariedade em relação à alvenaria, o que faz com que ocorra uma ligação entre ambas, capaz de fazer com que problemas ocorridos na estrutura sejam refletidos nas argamassas. Logo, compreender o comportamento das argamassas acaba por implicar em analisar o comportamento da edificação, o que faz com que seja possível oferecer uma manutenção adequada a edificação, prolongando assim sua vida útil e sua durabilidade (HUGHES, 2012; SOUSA, 2014).

3.2.4 Caracterização das argamassas históricas e suas técnicas

Nas últimas décadas, tem sido bastante visada pesquisas sobre materiais de construção, assim como também materiais destinados à conservação e restauração de edificações históricas, visto que o homem tem se atentado quanto a preservação do legado dos seus antepassados. É possível encontrar antigos documentos e artigos que buscavam a qualidade e o modo adequado de se usar determinados materiais na construção, tais documentos servem como uma espécie de guia para quando necessário fazer uma intervenção na edificação histórica (SOUSA, 2014).

O estudo sobre a caracterização de argamassas antigas vem sendo estudada cada vez

mais, e com isso adquirindo relevância diante da comunidade científica. Tal assunto está fortemente ligado ao tema da preservação do patrimônio cultural (RODRIGUES, 2013).

Quando se trata de patrimônio cultural edificado, é relevante uma boa organização de estudos e de propostas em passos precisos, chegando a ser comparado com a medicina. Histórico do doente, diagnóstico, terapia e controle, equivale respectivamente às investigações de informações significativas das causas dos danos e da degradação (ICOMOS, 2003).

Segundo Rodrigues (2013), a caracterização das argamassas de revestimento é um ponto importante para estudo, visto que, feita a análise da matéria-prima empregada na sua produção e sua técnica utilizada, possibilita futuras intervenções de caráter restaurativas mais embasadas, conscientes e respeitosas para essas edificações.

Quando necessário se realizar intervenção das argamassas de revestimento ou alvenaria de edificações históricas, é importante ter o conhecimento que é de fundamental importância que técnicas sejam realizadas em laboratórios, visando um maior entendimento de quais materiais foram utilizados. Desse modo, é essencial estudos serem feitos em laboratórios com amostras recolhidas do material examinado, visto que é através deles que se conhecem as propriedades e comportamento da argamassa, possibilitando uma intervenção mais adequada e correta (KANAN, 2008).

Ao finalizar o reconhecimento das características das argamassas em laboratório, é importante que uma análise das alvenarias seja feita, visto que o modo que a alvenaria se comporta pode influenciar em sua própria degradação. Após os possíveis motivos da aparição das manifestações patológicas serem diagnosticadas, é de suma importância que intervenções sejam executadas, buscando uma recuperação adequada da edificação histórica; tal intervenção passa pelos seguintes procedimentos: identificação e remediação da deterioração, obediência às regras mínimas da intervenção e utilização de soluções e materiais compatíveis com os originais (VEIGA, 2001).

Mas para isso é necessário que algumas etapas sejam seguidas, a primeira é observar e analisar o estado de conservação da edificação e da natureza da argamassa de revestimento. Análise visual esta que pode ser realizada através de instrumentos simples, como lupas. A segunda etapa tem como finalidade determinar as informações analíticas das argamassas, que se dá por análises mais complexas, como ensaios em laboratórios, para ter conhecimento das características físicas e mineralógicas (KANAN, 2008).

Algumas dessas técnicas que têm sido mais utilizadas nos últimos tempos na caracterização de argamassas antigas, são:

3.2.4.1 Análise química

A análise química é uma técnica onde a argamassa é atacada por ácido clorídrico, dando origem a duas frações distintas, uma solúvel e outra insolúvel. A fração insolúvel é composta pelo agregado, a fração solúvel pelos aglomerantes, e a fração volátil estima as reações que ocorreram após aplicação da argamassa. O traço é obtido pela relação aglomerante e agregado (RODRIGUES, 2013).

É um método baseado na dissolução dos componentes que são constituídos por magnésio ($MgCaO_3$) ou carbonato de cálcio ($CaCO_3$) em ácido clorídrico (HCL114%). Quando feita a diferença de massa total da argamassa menos a massa da areia e dos finos não solúveis no ácido, é encontrado o aglomerante. Também é possível através desse ensaio, determinar as características físicas da areia, como sua granulometria, o que pode acarretar na formulação de novas argamassas de constituição (KANAN, 2008).

3.2.4.2 Análise Granulométrica

Uma das técnicas mais utilizadas na caracterização de argamassas antigas é a análise granulométrica, por ser uma técnica simples de ser analisada que não necessita de equipamentos complexos e caros, possui grande importância para investigação de argamassas históricas, pois a granulometria dos agregados tem influência diretamente na composição e comportamento de uma argamassa.

A análise granulométrica compreende a determinação do tamanho das partículas que estão sendo analisadas, assim como a frequência com que ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho. Existem diversas técnicas de análise granulométrica, a escolha do tipo de análise deve ser definida de acordo com o material que se deseja analisar, em outras palavras, o tamanho das partículas que ali estão presentes irá determinar qual tipo de análise deverá ser escolhida (LIMA, 2001).

4. METODOLOGIA

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

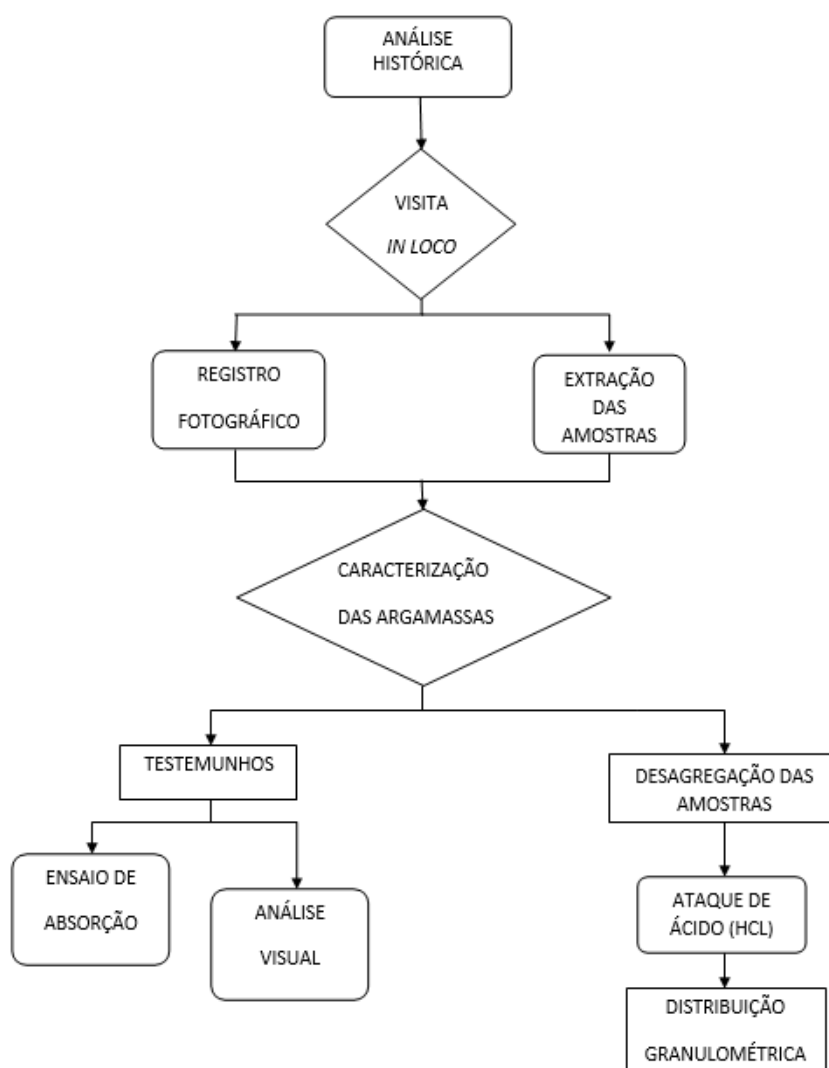
Para dar início a pesquisa, foi necessário primeiramente encontrar uma edificação histórica que atendesse as especificações solicitadas deste trabalho. Posteriormente, feita a análise detalhada, foi escolhida a Casa dos Trabalhadores Livres do Engenho Belém no município de São José de Mipibu, localizado no estado do Rio Grande do Norte.

Para saber se a edificação histórica se encaixava de fato no tema do trabalho, foi realizada uma pesquisa visando descobrir o ano de sua construção, e se os atuais moradores da edificação tinham conhecimento de recentes modificações, pois a argamassa de revestimento não poderia ter em sua composição o cimento Portland.

Após realizar a pesquisa e reconhecer que a edificação estava apta para o estudo, foi analisada possíveis pontos de extração das amostras. As amostras foram coletadas dentro dos critérios estabelecidos, que são: estar acima de 1,5 metros de altura do piso e cada amostra possuir dimensão de 30x30 cm. Ao finalizar a extração das amostras, elas foram catalogadas por região de extração, para que não houvesse a possibilidade de misturá-las e levadas para o laboratório. O laboratório que foi utilizado como ambiente para realizar os ensaios foi o laboratório de construção civil, que fica situado na UFERSA – Campus Angicos.

Os ensaios que foram necessários para realizar o presente trabalho são: técnica de ataque de ácido clorídrico (HCL) nas amostras de revestimento, ensaio de granulometria, pela NBR NM 248/03 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, utilizou-se a NBR 9778/05 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água e índice de vazios e massa específica e análise visual em cada amostra. A Figura 3 representa o fluxograma do passo a passo juntamente com a ordem dos ensaios realizados.

Figura 3. Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: autoria própria (2019)

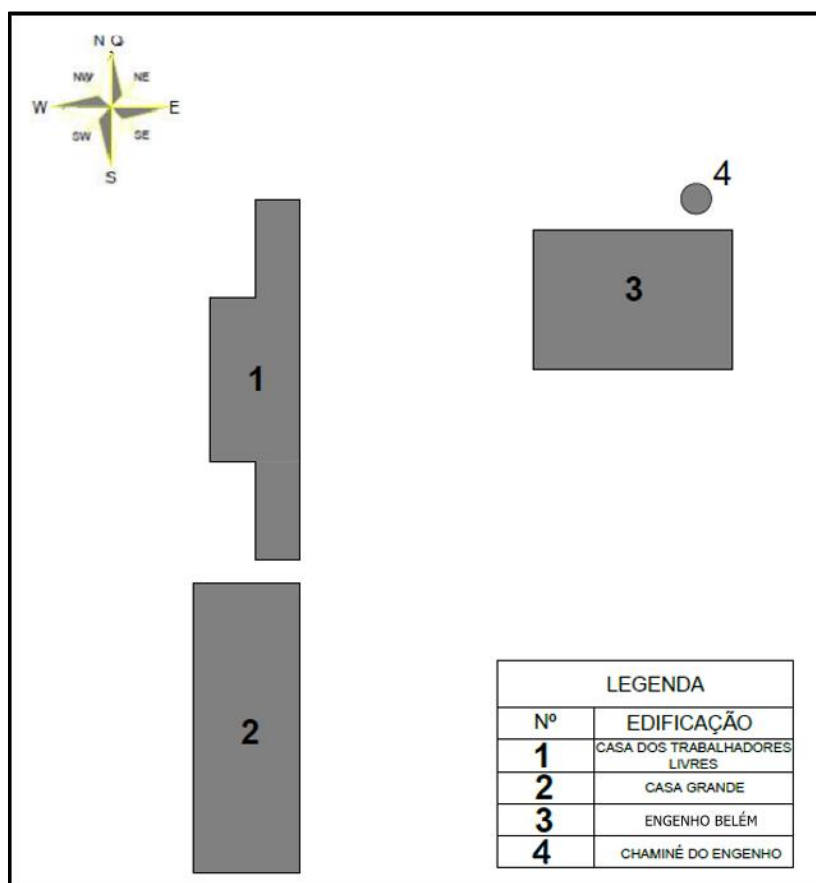
4.2 CONTEXTO HISTÓRICO: CASA DOS TRABALHADORES LIVRES DO ENGENHO BELÉM

O Engenho Belém fica localizado em São José de Mipibu, aproximadamente a 30 km de Natal, capital do Rio Grande do Norte. As edificações que compõem o engenho são: casa grande, engenho, chaminé do engenho e a casa dos trabalhadores livres.

Segundo Cruz (2015), o Engenho Belém que possuiu como fundador o colono e sargento Luiz de Albuquerque Maranhão, foi construído no início do século XIX, onde inicialmente, o território pertencia aos índios daquela região. Luiz de Albuquerque Maranhão solicitou a posse da terra para o cultivo de cana de açúcar e produção de mel e rapadura, sua justificativa foi que essa terra nunca tinha sido explorada e que não faria falta aos índios. Cruz

(2015) ainda afirma que os índios daquela região prestavam serviços à colonização, logo, também prestavam serviços ao engenho Belém. Não há nenhum documento que constasse a quantidade de escravos e trabalhadores livres que pertenciam ao engenho. Na Figura 4 está presente a planta de locação do engenho Belém.

Figura 4. Planta de locação das edificações do engenho Belém



Fonte: Autoria própria (2019)

Através de entrevista realizada com os atuais moradores, os mesmos afirmaram que na época de funcionamento do engenho (entre os séculos XIX e XX), a casa grande era ocupada pelo senhor do engenho e sua família. A Casa dos Trabalhadores Livres (objeto de estudo do presente trabalho) com área de 243m², era o local onde os empregados que recebiam pagamento residiam, visto que era comum naquela época os empregados morarem próximo ao engenho como forma de evitar possíveis fugas dos escravos durante a madrugada. Os trabalhadores livres não eram considerados escravos pois recebiam salário e tinham permissão para andar livremente, ao contrário dos escravos, que trabalhavam no engenho e durante a

noite eram confinados no mesmo local. A Figura 5 e 6 estão relacionadas respectivamente, com a Casa Grande e o Engenho Belém.

Figura 5. Casa grande do Engenho Belém



Fonte: Barão de Ceará-Mirim (2013)

Figura 6. Engenho Belém e sua chaminé



Fonte: Barão de Ceará-Mirim (2013)

Inácio de Albuquerque Maranhão foi um dos senhores do Engenho Belém, e por esse motivo era conhecido como Inácio de Belém, oficialmente foi casado com sua prima Firmina Leopoldina de Albuquerque Maranhão, com quem teve três filhos: Firmina de Albuquerque Maranhão, Luís Roque e Joaquim Felismino de Albuquerque Maranhão.

No ano de 1817, época da Revolução Pernambucana, a capitania do Rio Grande do Norte era governada por José Inácio Borges que, ao ser informado do movimento pernambucano, preparou-se para resistência e entrou em contato com o comandante de Divisão do Sul, André de Albuquerque Maranhão. José Inácio passou orientações a André de Albuquerque afim de ter o seu apoio, ambos chegaram a discutir por cerca de duas horas

sobre a segurança da capitania frente aos acontecimentos de Pernambuco, a princípio André cedeu, entretanto, mudou de posição logo em seguida e planejou uma emboscada para prender o presidente da capitania, pois sentiu afinidade pelo movimento. Retornando para Natal, José Inácio Borges passou a noite no Engenho Belém a mando de André de Albuquerque, ao amanhecer José Inácio Borges que estava em um dos quartos da Casa dos Trabalhadores Livres (Figura 7), percebeu que o engenho estava cercado pelas tropas de André de Albuquerque, em seguida invadiram o cômodo e anunciaram sua prisão, mas não houve resistência por parte do presidente da Capitania.

Figura 7. Casa dos Trabalhadores Livres, objeto de estudo do presente trabalho



Fonte: autoria própria (2019)

Dessa forma, o Engenho Belém ficou marcado na história por ter sido cenário da prisão do presidente da Capitania, José Inácio Borges.

4.3 COLETA DAS AMOSTRAS

Ao finalizar a pesquisa e escolha da edificação para estudo, foi realizada uma visita afim de investigar possíveis pontos de coleta de amostras do revestimento. Alguns critérios para realizar a extração foram seguidos, são eles:

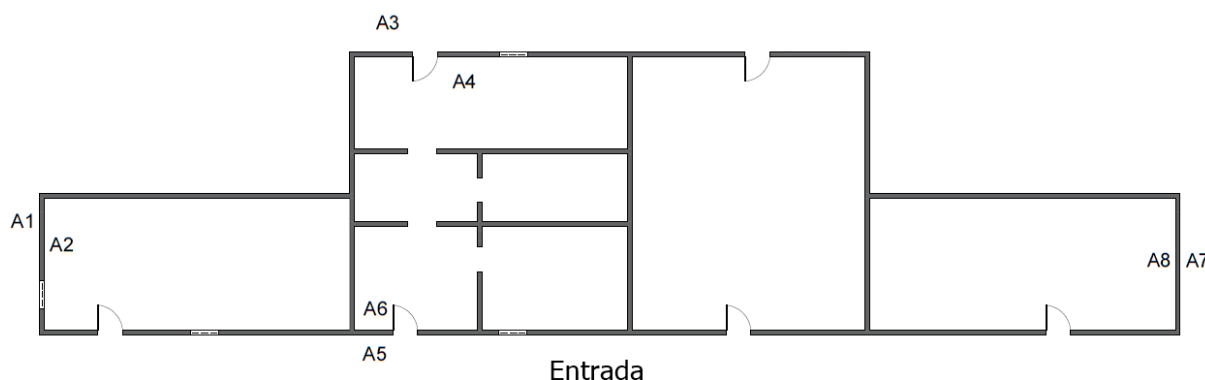
- As paredes que apresentassem revestimento não poderiam ter indícios de reforma, garantido assim que o traço encontrado correspondesse ao original e não apresentasse cimento em sua composição, fato que pode ser observado pela

coloração da argamassa. Pois na época da sua construção não era comum a utilização do cimento.

- A extração das amostras ocorreu em uma altura acima de 1,5 m do nível do piso. Pois dificilmente ocorre manifestações patológicas no revestimento a essa distância, e assim não passam por intervenções.
- As amostras foram extraídas com uma área de 0,9 m², para atender a quantidade necessária de argamassa em cada ensaio realizado.

Finalizando a escolha dos pontos de extração e respeitando os critérios estabelecidos, a extração das argamassas de revestimento foi realizada. No total foram coletadas oito amostras, sendo quatro internas e quatro externas. Os locais das coletas de cada amostra estão indicados na Figura 8.

Figura 8. Planta Baixa da Casa dos Trabalhadores Livres juntamente com os pontos de extração das amostras



Fonte: autoria própria (2019)

As amostras foram coletadas manualmente, com a utilização de marretas, martelos e talhadeiras, como está ilustrado na Figura 9.

Figura 9. Momento da extração de uma amostra



Fonte: autoria própria (2019)

As amostras foram catalogadas por local de extração, como consta na Tabela 1. Tal procedimento foi necessário para rastrear a ocorrência de possíveis mudanças de traços ao decorrer da edificação.

Tabela 1. Identificação do local de extração

AMOSTRA	LOCAL DA EXTRAÇÃO
A1	Parede externa lateral esquerda
A2	Parede interna lateral esquerda
A3	Parede externa posterior
A4	Parede interna posterior
A5	Parede externa frontal
A6	Parede interna frontal
A7	Parede externa lateral direita
A8	Parede interna lateral direita

Fonte: autoria própria (2019)

A Figura 10 apresenta alguns locais de extração das amostras de revestimento.

Figura 10. Alguns pontos de extração das amostras: a) Parede externa lateral esquerda; b) Parede interna lateral esquerda; c) Parede externa frontal; d) Parede interna posterior.



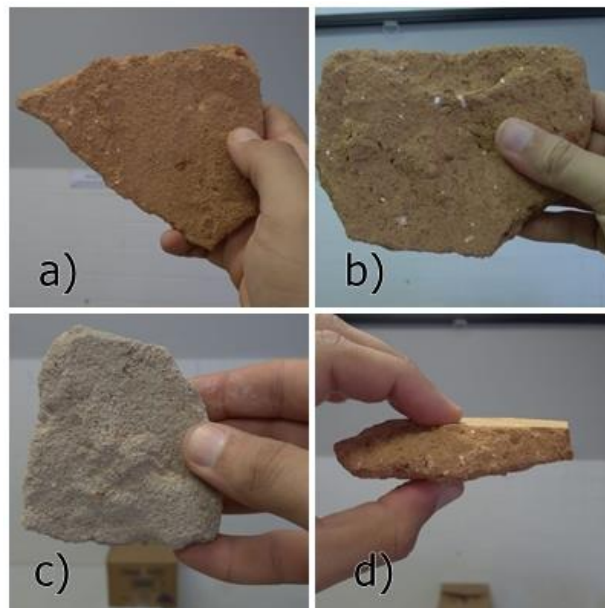
Fonte: autoria própria (2019)

Como é possível observar nas figuras, alguns dos revestimentos apresentam um bom estado físico, porém, outros apresentam desgaste.

4.4 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após a coleta das amostras, foi levado todo o material colhido para o laboratório para assim dar início aos ensaios necessários. Na Figura 11 está indicado quatro fragmentos de quatro diferentes amostras.

Figura 11. Fragmentos de amostras: O primeiro fragmento (a) está localizado na parede externa lateral esquerda, o segundo fragmento (b) é referente a parede interna lateral esquerda, o terceiro fragmento (c) fica situado na parede externa posterior, e o quarto (d) na parede interna posterior.



Fonte: autoria própria (2019)

Inicialmente foi realizada a remoção da película de tinta que se encontrava na superfície das amostras, após isso, foi escolhido um fragmento de cada amostra e realizado o destorroamento com o auxílio de uma marreta de borracha (Figura 12), este processo consiste em fragmentar o material sem que haja destruição das suas partículas. Feito o destorroamento, as amostras foram separadas em recipientes com identificação e levadas para a estufa, onde passaram 24 horas submetidos a uma temperatura de 100 °C.

Figura 12. Amostras destorroadas e armazenadas no fim da fragmentação



Fonte: autoria própria (2019)

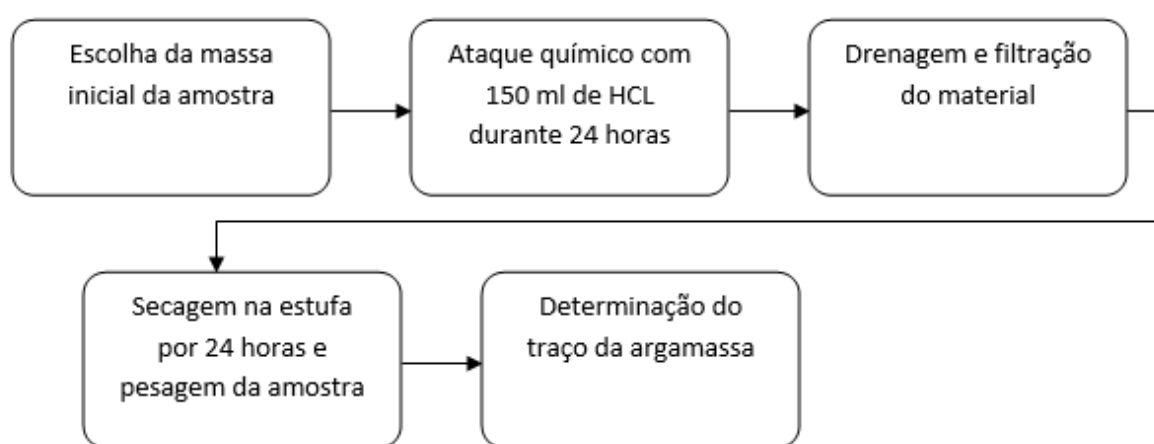
Após 24 horas, as amostras foram retiradas da estufa e em seguida pesadas para dar início ao ensaio de análise química.

4.5 ENSAIOS

4.5.1 Análise Química

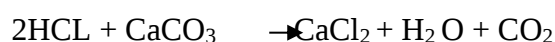
A ordem do ensaio de análise química é indicada no fluxograma mostrado na Figura 13.

Figura 13. Fluxograma do ensaio químico



Fonte: autoria própria (2019)

O ensaio de análise química é considerado uma das técnicas mais utilizadas na caracterização de argamassas antigas, o resultado esperado é a degradação do aglomerante (cal) possibilitando que somente os agregados permaneçam preservados, isto se dá por ataque do ácido clorídrico (HCL), que dilui apenas o aglomerante. Tal processo ocorre quando, ao entrar em contato com o carbonato de cálcio, o ácido clorídrico reagir causando sua degradação e liberando CaCl_2 , CO_2 e H_2O . Devido a presença de quartzo no agregado, o mesmo fica intacto. A equação está representada a seguir:



Foram utilizados 150 ml de ácido clorídrico a 14% (HCL) para realizar o procedimento de ataque químico em amostras de 100g de revestimento. O ácido clorídrico foi dosado com uma proveta e em seguida adicionado em um recipiente onde estava presente a amostra, feito isso, a mistura dos materiais ocorreu com o auxílio de uma pinça plástica, afim que a reação ocorresse de forma homogênea. O ataque ácido foi realizado durante 24 horas para que se tivesse certeza que todo o aglomerante usado reagisse com o ácido (Figura 14).

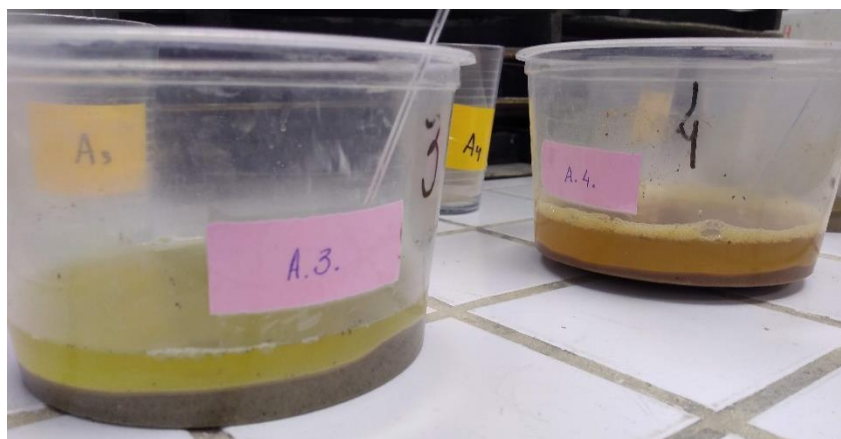
Figura 14. Proveta com 150ml de ácido clorídrico e o momento inicial da reação química



Fonte: autoria própria (2019)

Na Figura 15 é possível observar duas amostras no processo de ataque químico, no fundo do recipiente encontra-se presente o material que está sofrendo o ataque, e na parte superior nota-se colorações distintas de uma amostra para outra.

Figura 15. Amostras sob efeito de ataque químico



Fonte: autoria própria (2019)

Finalizando o processo de ataque ácido, as amostras foram submetidas a filtração em papel filtro (Figura 16), com o objetivo de remover o ácido presente. Na drenagem utilizou-se água destilada para lavar e retirar o ácido. Depois que o líquido foi totalmente transportado para outro recipiente, os sólidos retidos nos filtros foram pesados e inseridos novamente na estufa, por mais 24 horas com temperatura de 100 °C.

Figura 16. Filtração do material submetido ao ácido



Fonte: autoria própria (2019)

Passadas as 24 horas, foi realizada a pesagem final de cada amostra que sofreu o ataque químico, sendo este o último processo que resultará na obtenção das proporções dos materiais usados na argamassa que constituía o revestimento da edificação. Para obtenção da massa em gramas do aglomerante foi usada a fórmula apresentada a seguir:

$$N_x = N_i - (N_a - N_{fi})$$

Sabendo que:

N_x = massa do aglomerante (g);

N_i = massa inicial da amostra destorroada e seca em estufa (g);

N_{fi} = massa do papel filtro (g);

N_a = massa do agregado que restou após o processo de filtração do ácido e seco em estufa (g).

4.5.2 Análise granulométrica

O ensaio de granulométrica foi executado com base na NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados: Determinação da composição granulométrica. Consiste em determinar a faixa granulométrica da amostra, que se dá através da passagem da mesma por uma sequência de peneiras. Tal sequência utilizada no presente ensaio foram: 4,75 mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,600mm, 0,300mm e 0,150mm.

Com o ensaio granulométrica é possível obter o conhecimento do tipo de agregado utilizado na composição da argamassa, como por exemplo sua graduação, a dimensão máxima e o módulo de finura.

O ensaio ocorreu da seguinte forma: após a realização do ataque químico, as amostras foram levadas para a estufa, onde passaram 24 horas secando. Ao finalizar o processo de secagem, foram pesados 60g de cada amostra para serem dispostas na peneira superior do conjunto e acionar o agitador mecânico durante 1 minuto, afim de permitir a separação e classificação dos diferentes tamanhos dos grãos de cada amostra. Após finalizar a agitação, o material retido em cada peneira foi removido e pesado em uma balança com precisão de 0,01g com a finalidade de ter o conhecimento da massa total retida. A Figura 17 ilustra parte do procedimento descrito.

Figura 17. Peneiras com diversas malhas e o agitador mecânico



Fonte: autoria própria (2019)

As massas retidas em cada peneira foram calculadas com a seguinte equação:

$$\% \text{ retido} = \left(\frac{\text{massa retida}}{\text{massa total}} \right) \times 100$$

Onde,

Massa retida = massa retida em cada peneira;

Massa total = massa total da amostra.

A realização deste ensaio foi necessária para ter o conhecimento das características de distribuição do tamanho dos grãos dos agregados das amostras, dessa forma, definindo o módulo de finura, tipo de areia utilizada e o tamanho da mesma.

4.5.3 Absorção

O ensaio de absorção foi baseado na NBR 9778/05: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Esse ensaio é realizado para identificar a quantidade de água que é absorvida pelas amostras quando em contato com a água. O ensaio foi realizado com três fragmentos de cada amostra. Primeiramente foi realizada a remoção da tinta presente na superfície das amostras e em seguida foram colocadas na estufa para secar por 24 horas. Terminando a secagem, as amostras foram pesadas e submersas em um recipiente com água, como consta na Figura 18, a observação de taxa de absorção foi realizada em intervalo de tempo de 72 horas de ensaio.

Figura 18. Amostras antes de serem imersas em água



Fonte: autoria própria (2019)

A taxa de absorção foi calculada com a seguinte expressão matemática:

$$absorção (\%) = \left(\frac{M_f - M_i}{M_i} \right) \times 100$$

Onde,

Mi = massa inicial da amostra seca em estufa;

Mf = massa da amostra após período de saturação de 72h.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse tópico encontram-se os resultados obtidos em cada ensaio comentado na metodologia do presente trabalho, corresponde as análises feitas nas argamassas de revestimento da Casa dos Trabalhadores Livres do Engenho Belém.

5.1 ANÁLISE VISUAL

O resultado da observação visual das argamassas extraídas da Casa dos Trabalhadores Livres se deu por uma análise geral do que era observado nas amostras internas e externas na hora de sua extração, e em seguida foi realizada uma análise individual para cada amostra, por meio visual e tato.

Na análise das amostras externas, foi possível constatar que algumas no momento de sua extração apresentaram uma certa resistência para se desprenderem da alvenaria, entretanto, com outras a dificuldade de extração foi menor. Também é possível observar que das quatro amostras que estavam localizadas na área externa, três possuem cores claras (A3, A5 e A7), e uma amostra (A1) possui cor castanho escuro, está última se encontrava em uma área coberta, sem contato com a chuva. Nas amostras A1 e A7, foi observada a presença de partículas de cal sem dificuldade visual em suas superfícies, situação oposta tratando-se das amostras A3 e A5, onde respectivamente quase não se viam partículas de cal e a segunda não era visível a olho nu.

Para as amostras da parte interna da edificação, foi a área com maior dificuldade de remoção das argamassas de revestimento, pois das quatro amostras internas, duas apresentaram boa dureza (A2 e A6) e aderência com a alvenaria. Foi constatado que duas amostras possuíam a coloração marrom (A2 e A4) e as outras duas (A6 e A8) a coloração clara. É visível a presença de pequenos furos principalmente na amostra A2, que também possui relativamente tamanhos variados de partículas de cal, algumas chegando a serem bem visíveis, como é o caso da amostra A4, tratando-se do tamanho das partículas de cal. Nas amostras A6 e A8 a presença de cal visivelmente foi menor quando comparadas as outras duas amostras.

No Quadro 1 estão presentes os principais aspectos observados nas oito amostras de argamassa de revestimento coletadas na edificação, por meio da análise visual.

Quadro 1. Características observadas visualmente em cada amostra

AMOSTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	COR	OBSERVAÇÕES
1		MARROM-AVERMELHADO	Relativamente frágil e pouca presença de carbonato de cálcio
2		MARROM	Relativamente forte, partículas de carbonato de cálcio de tamanhos variados e possui pequenos furos
3		CINZA	Relativamente frágil e quase inexistente partículas de carbonato de cálcio
4		MARROM	Relativamente frágil e visível a presença de carbonato de cálcio
5		CINZA	Relativamente frágil e não possui visivelmente partículas de carbonato de cálcio
6		CINZA	Bastante resistente e pequenas quantidades de carbonato de cálcio
7		CINZA	Frágil e possui poucas partículas de carbonato de cálcio
8		CINZA	Relativamente frágil e pouquíssimas partículas de carbonato de cálcio

Fonte: autoria própria (2019)

Em cada amostra foi encontrado somente uma película de tinta, não chegando a ser encontrada uma segunda camada de tinta dentro da argamassa, na maior parte das amostras (A1, A2, A3, A4, A6, A7 e A8) internas e externas foi encontrada sem dificuldades a presença de partículas de cal.

5.2 ANÁLISE QUÍMICA

A Tabela 2 mostra a relação entre o aglomerante e agregado obtida em massa por meio do ataque de ácido clorídrico, assim como o traço equivalente.

Tabela 2. Relação do aglomerante/ agregado e o traço encontrado das argamassas históricas

AMOSTRA	AGLOMERANTE (g)	AGREGADO (g)	AGLO:AGRE	TRAÇO EQUIVALENTE
A1	6,8	93,2	1:13,71	1:14
A2	4,7	95,3	1:20,28	1:20
A3	5,5	94,5	1:17,18	1:17
A4	9,4	90,6	1:9,64	1:10
A5	9,5	74,8	1:7,87	1:8
A6	15,3	84,7	1:5,54	1:5
A7	9,2	90,8	1:9,87	1:10
A8	10,5	89,5	1:8,52	1:8

Fonte: autoria própria (2019)

Observando quadros dados da tabela anterior, é possível conferir que os traços variaram muito ao decorrer da edificação, ficando entre 1:5 e 1:20.

Esses dados mostram que há divergência no aglomerante/agregado utilizado na edificação, pois é possível afirmar que os traços das amostras A1, A2 e A3 não são compatíveis com os traços que eram comuns na época de produção da argamassa de cal. A variação do traço poderia ser explicada em razão da diferença de ambiente para outro, como um traço para a área externa e outro para a área interna, entretanto, quando analisado o mapeamento de extração (Figura 8) juntamente com a Tabela 2, nota-se que não existiu um controle tecnológica na época na produção da argamassa utilizada e, como exemplo temos as amostras A2 e A6, onde ambas pertencem a área interna da edificação, e a diferença de um traço para outro é consideravelmente grande (1:20 e 1:5).

É possível constatar que, a amostra A6 é a que possui o menor traço (1:5) das oito amostras, e quando comparada a Tabela 2 com o Quadro 1 é possível observar que quando analisada a olho nu a quantidade de partículas de cal presentes na amostra é pequena. Tal amostra possui uma cor clara, podendo essa ser uma característica de uma boa mistura na hora da produção da argamassa, um fato que indica isso é na análise química, onde mostra que foi a amostra com maior quantidade de aglomerante (cal), que equivale a 15,3g.

5.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A Tabela 3 mostra os percentuais retidos de cada uma das amostras pela série de peneiras utilizadas no ensaio de granulometria. Pela referida tabela é possível observar que as amostras apresentam regular similaridade no que se diz respeito ao tamanho de seus grãos.

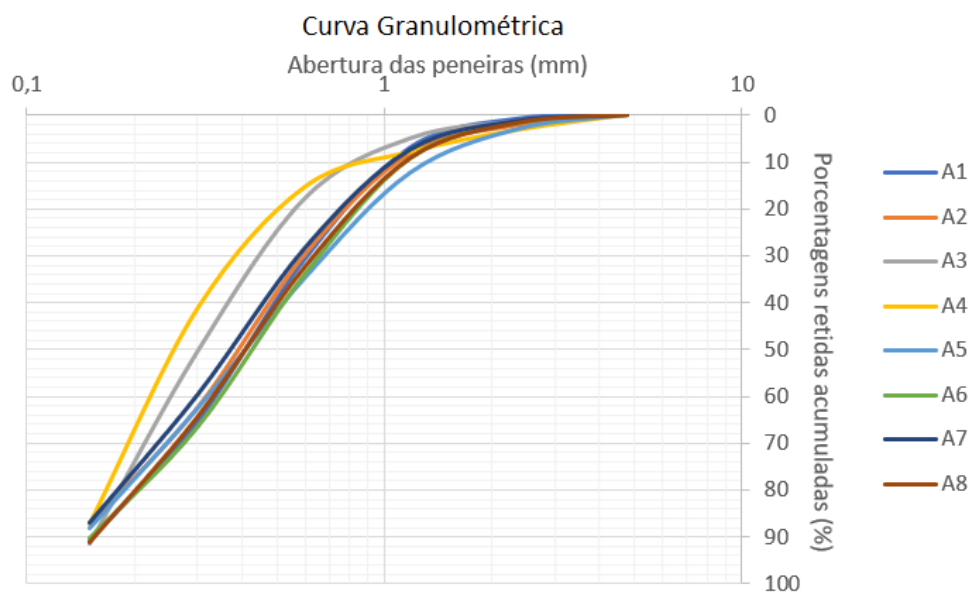
Tabela 3. Porcentagem da massa retida e acumulada nas peneiras

PENEIRAS (mm)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
	MASSA RETIDA (%)							
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0
2,36	0,7	2,2	1,4	3,2	3,0	1,7	1,3	1,7
1,18	6,1	6	3,6	4,7	9,3	7,5	6,1	7,5
0,6	23,7	21,4	12,7	7,4	22,3	24,6	20,9	23,1
0,3	34,8	32,8	32,7	26	27,9	32,7	31,4	32,1
0,15	25,4	24,7	40,9	45,9	25,5	23,6	27,2	26,7
Fundo	9,4	12,9	8,8	12,9	11,8	10	13,2	8,9
PENEIRAS (mm)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA (%)							
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0
2,36	0,70	2,2	1,4	3,2	3	1,7	1,3	1,7
1,18	6,80	8,2	5	7,9	12,3	9,2	7,4	9,2
0,6	30,50	29,6	17,70	15,3	34,6	33,8	28,3	32,3
0,3	65,30	62,4	50,4	41,3	62,5	66,5	59,7	64,4
0,15	90,70	87,1	91,3	87,2	88	90,1	86,9	91,1
Fundo	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: autoria própria (2019)

Na Figura 19 é indicada a curva granulométrica obtida a partir dos valores obtidos com o ensaio de granulometria.

Figura 19. Curva de distribuição granulométrica



Fonte: autoria própria (2019)

Por meio de análise das curvas granulométricas da Figura 19, é notório uma semelhança de comportamento na distribuição das partículas que compõe cada amostra, indicando uma proximidade em relação a distribuição dos grãos, fato este que indica que a origem geográfica do material usado na produção da argamassa pode ser próxima. A característica da distribuição dos grãos é contínua, ficando entre a faixa de 0,1 mm à 10 mm. As amostras A3 e A4 são as únicas amostras que apresentam um comportamento diferente do restante, onde se encontram um pouco distantes.

O módulo de finura, assim como o diâmetro máximo dos grãos estão presentes na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4. Módulo de finura e diâmetros máximos

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
M. F.	1,94	1,9	1,65	1,55	2,01	2,01	1,84	1,99
D_{máx} (mm)	2,4	2,4	1,18	1,18	2,4	2,4	2,4	2,4

Fonte: autoria própria (2019)

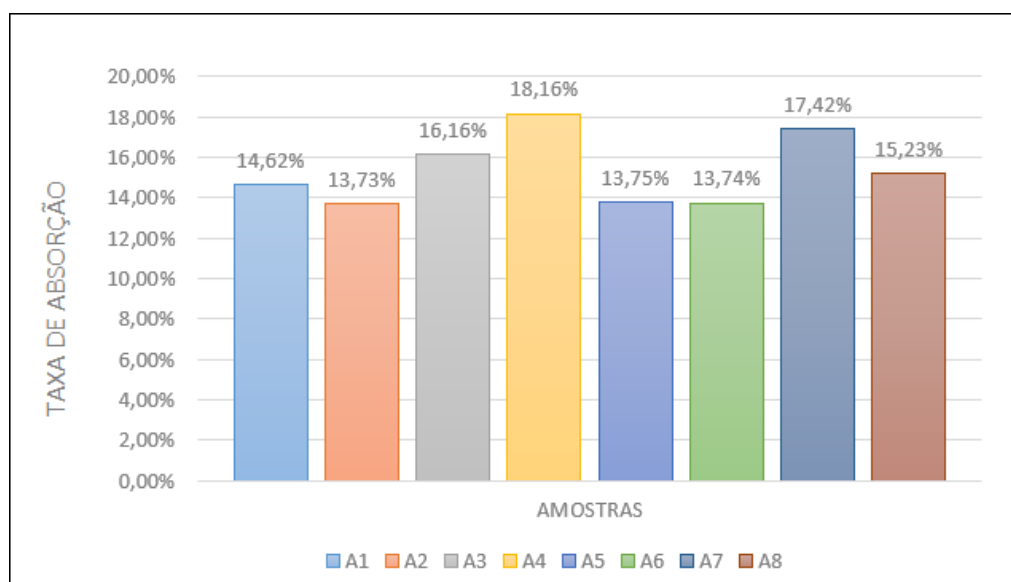
Podemos observar na Tabela 4, que o diâmetro máximo foi de 2,4mm para as amostras A1, A2, A4, A5, A6, A7 e A8, e 1,18 mm para somente a A3.

O módulo de finura presente na Tabela 4 mostra que houve variação entre as amostras das argamassas e que, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), todas as amostras estão presentes na zona utilizável inferior, e que as mesmas, são classificadas como areia fina uma vez que seu módulo de finura apresentou valores entre 1,55 a 2,01.

5.4 ABSORÇÃO

Através do ensaio de absorção presente na Figura 20 é possível observar a taxa média de absorção de água em cada amostra analisada.

Figura 20. Taxa de absorção



Fonte: autoria própria (2019)

As amostras A2, A5 e A6, encontradas na área interna e externa da edificação, apresentaram comportamento idênticos quanto a absorção, 13,7%, sendo também as amostras que menos absorveram água.

A amostra A4 com 18,16% é a amostra que possui a maior taxa de absorção. Alguns dos valores encontrados nesta pesquisa são semelhantes aos valores encontrados por Almeida (2019) que encontrou taxas de absorções que variaram entre 11 e 13%.

Ao se comparar com taxas de absorções argamassas cimentícias, pode-se observar que as amostras de argamassas apresentadas possuem taxas aproximadamente 35% superior. Fortalecendo a afirmação que as argamassas de cal apresentam maior quantidade de poros que argamassas ou concretos que possuem cimento em sua composição.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou a caracterização de argamassas históricas presentes no revestimento na Casa dos Trabalhadores Livres do Engenho Belém, construído no início do século de XIX, na cidade de São José de Mipibu – RN. Após as análises realizadas é possível afirmar que:

- Algumas amostras no momento da extração apresentaram resistência pra se desprenderem da alvenaria, entretanto, com outras houve uma maior facilidade de remoção;
- O traço utilizado na época de sua construção variou entre 1:5 e 1:20;
- Não existe um padrão de traço em argamassas em relação ao nível de exposição aos agentes agressivos no qual a parede está sujeita a sofrer, ou seja, independe do ambiente ser interno ou externo;
- O agregado encontrado foi classificado como areia fina, e encontram-se enquadrados na zona utilizável inferior;
- As argamassas possuem taxas significativamente altas de absorção, sendo resultado de uma maior quantidade de agregado miúdo e uma menor quantidade de aglomerante que possibilitasse o envolvimento dos grãos e refinamento da estrutura porosa.

Para concluir, é notória a importância de realizar estudos relacionados às argamassas antigas, em especial a sua caracterização, possibilitando não somente uma intervenção de modo adequado em edificações históricas, mas também a preservação da memória de uma região.

7. REFERÊNCIAS

ABCP. 2002. **Manual de revestimentos de argamassa**. 1. ed. São Paulo, SP, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

ALMEIDA, Luís Filipe dos Santos de. **Caracterização das argamassas da muralha tardo – romana de olisipo**. 2015. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geologia Aplicada, Departamento de Geologia, Universidade de Lisboa, Lisboa - Portugal, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal Hidratada Para Argamassas** - Requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto** - Especificação. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 3 p.

BRANDI, Cesare. **Teoria da restauração**. Tradução: Beatriz Mugayar Kühl. São Paulo: Ateliê Editorial, 2004.

BRASIL. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Ministério da Cidadania. O Iphan. 2019. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/872>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

CINCOTTO, M.a.; QUARCIONI, V.a.; JOHN, V.m. (Ed.). **Cal na construção civil**. In:GERALDO C. ISAIA (São Paulo). Instituto Brasileiro do Concreto (ibracon) (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010.

COELHO Ana Zulmira Gomes; Torgal F.P.; JALALI S. **A Cal na Construção**. TecMinho. Lisboa: Publidisa, 2009.

COUTINHO, Joana de Sousa. **Materiais de Construção 2:1ª Parte – Ligantes e caldas**, 2006. 15 p.

COUTINHO, A. DE S. **Fabrico e propriedades do betão**. Volume 1, LNEC, 1988.

CRUZ, Luana Honório. **Os caminhos do açúcar no Rio Grande do Norte**: o papel dos engenhos na formação território potiguar (século xvii ao início do século xx). 2015. 314 f. (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2ª Edição, São Paulo, Pini, 2002.

HUGHES, John J. **The role of mortar in masonry: an introduction to requirements for the desing of repair mortars**. Materials and Structures: RILEM TC 203-RHM: Repair mortars for historic masonry. Scotland, UK, p. 1287-1294, 2012.

ICOMOS – Comitê Científico Internacional para Análise e Restauração de Estruturas do Patrimônio Arquitetônico. **Carta do ICOMOS - Princípios para análise, conservação e restauração estrutural do patrimônio arquitetônico**. Zimbábue, 2003. Disponível em: <https://5cidade.files.wordpress.com/2008/03/carta-do-icomos-2003_principios.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2019.

IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Carta de Machu Picchu** (1977). Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Machu%20Picchu%201977.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

KANAN, Maria Isabel. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal**. Brasília, DF: 172 p. Iphan / Programa Monumenta, 2008.

LIPPS, T. **The mortar story**. Stonexus Magazine, vol. 8, p. 26, 2008.

LIMA, André Barbosa de. **O processo produtivo do cimento Portland**. 2011. 39 f. Monografia (Graduação em Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LIMA, R. M. F.; LUZ, J. A. M. da. **Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes**. Revista Escola Minas vol.54 no.2 Ouro Preto. 2001.

MARGALHA, M. G. **“Argamassas”**. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património. Évora: Universidade de Évora, 2011.

MARTINS, J. G.; PAIVA, P. A. **Materiais de Construção I – Ligantes**, 3ª ed, Universidade Fernando Pessoa, 2010.

MACIEL, L. L., BARROS, M. M. S. B., SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. Convênio EPUSP – ENCOL. PROJETO EP/EN-1. Desenvolvimento Tecnológico de Métodos Construtivos para Alvenarias e Revestimentos, São Paulo, 2008.

MARTINGANÇA, J. A. S. et al. **Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas**. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2005.

OLIVEIRA, K. A. S. et al. **Análise comparativa entre argamassa de assentamento preparada em obra e argamassa industrializada**. Revista Construindo, Belo Horizonte, v.6. n.1, p.13, Jan/Jun. 2014. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/4015>>. Acesso em: 1 de nov. 2019.

PINHO, F. **Paredes De Alvenaria Ordinária – Estudo Experimental com modelos Simples e Reforçados**. 2007. 748 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2007.

ROSA, Paulo Jorge Pereira da. **Caracterização de argamassas históricas do convento de Cristo** – Tomar. 2016. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

RODRIGUES, Paula Nader. **Caracterização das argamassas históricas da ruína de são miguel arcanjo/rs**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2013.

SAMPAIO, J.C. **Materiais de Construção**. AEFEUP, Universidade do Porto, 1978.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007.

SEQUEIRA, A. C.; FRADE, D. E GONÇALVES, P. **Cal Hidráulica – Um ligante para a reabilitação**. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2007.

SILVA, N. G. DA. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOUSA, Adla Kellen Dionisio. **Argamassas do Grupo Escolar Augusto Severo/RN: Caracterização e Incidência de Manifestações Patológicas**. 2014. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2014.

VEIGA M. R. **OS REVESTIMENTOS ANTIGOS E A IDENTIDADE DOS EDIFÍCIOS**. *Arquitectura Ibérica*, v. 12, p. 36-45, 2006a.

VEIGA, M. R., Aguiar, J., SANTOS, Silva. A., CARVALHO, F. **METHODOLOGIES FOR CHARACTERISATION AND REPAIR OF MORTARS OF ANCIENT BUILDINGS**. *Proceedings of the 3rd International Seminar on Historical Constructions*, Guimarães, 2001, 353-362