

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**DJANIRA CABRAL VIÉGAS BORGES DA CRUZ OLIVEIRA**

**RESTAURAÇÃO DO CONCRETO APARENTE: ESTUDO  
TECNOLÓGICO PARA SALVAGUARDA DE EDIFICAÇÕES  
COM TENDÊNCIAS MODERNISTAS**

**BELÉM  
2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**DJANIRA CABRAL VIÉGAS BORGES DA CRUZ OLIVEIRA**

**RESTAURAÇÃO DO CONCRETO APARENTE: ESTUDO  
TECNOLÓGICO PARA SALVAGUARDA DE EDIFICAÇÕES  
COM TENDÊNCIAS MODERNISTAS**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.**

**Orientadora: Prof. Dra. Thaís Alessandra Bastos Caminha Sanjad.**

**Coorientadora: Prof. Dra. Isaura Nazaré Lobato Paes.**

**Área de Concentração: Conservação, Restauro e Tecnologia.**

**BELÉM  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

---

Oliveira, Djanira Cabral Viégas Borges da Cruz,  
1985-

Restauração do concreto aparente: estudo  
tecnológico para salvaguarda de edificações com  
tendências modernistas / Djanira Cabral Viégas  
Borges da Cruz Oliveira. - 2013.

Orientadora: Thaís Alessandra Bastos  
Caminha Sanjad;

Coorientadora: Isaura Nazaré Lobato Paes.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de  
Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém,  
2013.

1. Concreto-Conservação e restauração. 2.  
Arquitetura-Conservação e restauração. 3.  
Arquitetura moderna. 4. Argamassa. I. Título.

CDD 720.288. ed. 22

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**Restauração do concreto aparente: Estudo tecnológico para salvaguarda de edificações com tendências modernistas.**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.**

**Área de Concentração – Conservação, Restauro e Tecnologia.**

**APROVADO EM: MARÇO/2013**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Thaís Alessandra Bastos Caminha Sanjad (Orientadora)**  
Universidade Federal do Pará – UFPA

---

**Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica (Membro do PPGAU)**  
Universidade Federal do Pará – UFPA

---

**Prof. Dr. Márcio Santos Barata (Membro Externo)**  
Universidade Federal do Pará – UFPA

**BELÉM  
2013**

*Aos meus pais, Antônio Cruz e  
Glória Viégas, e meus irmãos  
Darlaní Silva e Edgar Cruz com  
amor e gratidão.*

*Ao meu marido Bruno Oliveira com  
todo meu amor e admiração.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar à Deus e Jesus Cristo, minha preciosa e inesgotável fonte de força e esperança;

Aos meus pais Antônio e Glória, por todo apoio, suporte e carinho dispensado ao longo dessa etapa;

À minha mestra, amiga e orientadora Prof. Dra. Thaís Sanjad, a quem dedico minha admiração e devo eterna gratidão pelo apoio, paciência e orientação, de fundamental importância pro meu crescimento profissional e amadurecimento pessoal;

À minha co-orientadora Prof. Dra. Isaura Paes, pelas orientações e suporte no desenvolvimento da pesquisa e ensaios laboratoriais;

Aos Prof. Dr. Rômulo Angélica, Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, Prof. Dr. Márcio Barata e Prof. Msc. Rose Norat, pelas orientações e contribuições ao longo do desenvolvimento da pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPA pelos ensinamentos e incentivo;

Ao engenheiro e arquiteta do Tribunal de Contas do Estado do Pará, Nelson e Cristina, que apoiaram a pesquisa cedendo dados e espaço para o desenvolvimento desta;

Aos laboratoristas Maneca, Arnaldo, Joel e Bené pela ajuda nos ensaios laboratoriais e preparo de amostras;

Às lacoretas e lacoretos pela companhia e parceria, os quais contribuíram para tornar essa caminhada mais agradável;

Aos laboratórios da UFPA e da UFBA que possibilitaram a realização das análises laboratoriais: Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE/UFPA), Laboratório de Caracterização Mineral (LCM/UFPA), Laboratório de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (LaMIGA/UFPA), Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV/UFPA) e Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração (NTPR/UFBA);

À CAPES pela bolsa a mim concedida;

E por fim, ao meu marido, companheiro, amigo e parceiro Bruno Oliveira, que foi fundamental para a realização das minhas análises, ensaios e coletas de amostras. Obrigada por fazer das minhas madrugadas de estudo e desespero muito mais divertidas.

## RESUMO

O concreto é basicamente formado pela mistura de cimento, água, pedra e areia, e surgiu como um material de construção destinado a substituir a madeira, a pedra, o tijolo e até o aço estrutural, mas somente no século XX a sua beleza estética passaria a ser reconhecida. O modernismo corrente se apropriou da nova tecnologia construtiva e suas possibilidades plásticas e rompeu definitivamente com os estilos passadistas. Influenciados pelas escolas do eixo Rio-São Paulo, os arquitetos e engenheiros que construíam em Belém deixaram um verdadeiro legado de construções em concreto aparente, que infelizmente vem sendo ameaçado pela falta de cuidados específicos, visto que muitas vezes a execução de intervenções é feita de forma aleatória e equivocada. Portanto, o objetivo da presente pesquisa é estudar o concreto aparente sob o viés histórico e tecnológico de modo a desenvolver uma metodologia de restauro para recomposição de áreas com lacunas, considerando aspectos como cor, textura e resistência, buscando um material compatível ao concreto original. O trabalho foi desenvolvido em três diferentes etapas: 1) Pesquisa Histórica; 2) Pesquisa de Campo; 3) Investigação Laboratorial. Os materiais do presente estudo correspondem a amostras coletadas em três edificações e amostras produzidas em laboratório. A caracterização física das amostras coletadas permitiu conhecer o traço aproximado do concreto antigo, de 1:3 e a resistência do material, que é de aproximadamente 22MPa. A caracterização mineralógica e química indicou que o material original vem sofrendo um processo de transformação mineralógica, evidenciado pela presença dos polimorfos de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), bem como permitiu entender que os agregados utilizados na composição do material podem ter origem quartzosa ou ser oriundos de brita, dada a presença de mica e feldspato na sua caracterização. Observou-se também que as cores e texturas do material variam em função do tipo de cimento e agregado utilizado na produção do concreto. A partir da identificação das principais características do material original, foi então desenvolvida uma metodologia para produção de uma argamassa de restauro com propriedades similares às do material antigo. Os resultados quanto a cor, textura, resistência e aderência foram satisfatórios, pois além de atenderem os valores estabelecidos por norma, também foram compatíveis quanto a aparência do concreto original, permitindo assim o restabelecimento da imagem da obra e assim alcançando os objetivos inicialmente propostos.

**Palavras-chave:** Arquitetura moderna. Concreto Aparente. Restauração. Argamassa.

## ABSTRACT

Concrete is basically formed by mixed cement, water, sand and stone, and has emerged as a building material to replace wood, stone, brick and even structural steel, but only in the twentieth century its aesthetic beauty was recognized. The modernism appropriated the new constructive technology and its plastic possibilities and splited definitively with the passed styles. Influenced by the schools of Rio and São Paulo, architects and engineers who built at Belém left a legacy of unfinished concrete constructions, which unfortunately is being threatened by the lack of specific care, since many interventions are made in a random and misguided way. Therefore, the aim of this research is to study the unfinished concrete under the historical and technological aspects in order to develop a methodology for restoration of areas with gaps, considering aspects such as color, texture and strength, seeking a compatible material to the original concrete. The study was conducted in three different steps: 1) Historical Research, 2) Field Research; 3) Research Laboratory. The materials of this study correspond to samples collected in three buildings and laboratory samples. The physical characterization of the samples allowed to find the approximated trace of the old concrete of 1:3 and the strength of the material, which is approximately 22MPa. The chemical and mineralogical characterization indicated that the original material has been suffering process of mineralogical transformation evidenced by the presence of polymorphs of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) and allowed to understand that the aggregates used in the composition of the material may have quartz or gravel origin. It was also observed that the color and texture of the material varies depending on the type of cement and aggregate used in the production of concrete. From the identification of the principle features of the original materials was developed a methodology for producing a mortar for restoration with properties similar to the antique material. The results as color, texture, and strength were satisfactory, because the values established by rule were accomplished and were also compatible to the appearance of the original concrete, allowing restoring the image of the building and achieving the proposed objectives.

**Keywords:** Modern architecture. Unfinished concrete. Restauration. Mortar.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABCP</b>	: Associação Brasileira do Cimento Portland
<b>ABNT</b>	: Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACI</b>	: American Concrete Institute
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing Materials
<b>CP</b>	: Cimento Portland
<b>DR-X</b>	: Difração de Raios-X
<b>EBCT</b>	: Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos
<b>FAU</b>	: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
<b>INT</b>	: Instituto Nacional de Tecnologia
<b>MEV</b>	: Microscopia Eletrônica de Varredura
<b>NBR</b>	: Norma Brasileira
<b>SED</b>	: Sistema de Energia Dispersiva
<b>SEMA</b>	: Secretaria de Meio Ambiente
<b>SERPRO</b>	: Serviço Federal de Processamento de Dados
<b>TCE</b>	: Tribunal de Contas do Estado do Pará
<b>UFPA</b>	: Universidade Federal do Pará
<b>UFRGS</b>	: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>USP</b>	: Universidade de São Paulo

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Intervenções restaurativas realizadas aleatoriamente em importantes edificações construídas em concreto aparente: (a) Tribunal de Contas do Estado do Pará; (b) Atelier de Arquitetura da UFPA; (c) Aeroporto Internacional de Belém. ....	23
Figura 2: Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - FAU-USP (1961) projetado por Vilanova Artigas e SESC POMPEIA-SP (1977) de Lina Bo Bardi. Fonte: VASCONCELOS; CARRIERI JUNIOR, 2005. ....	31
Figura 3: MASP antes e depois de receber a pintura nas vigas e pilares. Fonte: VASCONCELOS; CARRIERI JUNIOR, 2005. ....	32
Figura 4: Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro projetado por Affonso Reidy e inaugurado em 1963. Fonte: VASCONCELOS; CARRIERI JUNIOR, 2005. ....	34
Figura 5: Escola Vilhena Alves. ....	37
Figura 6: Sede da EBTC. ....	38
Figura 7: Anúncios comerciais em jornais de 1952, destacando o comércio do cimento importado e nacional. Fonte: Jornal “O Liberal” (26/01/1952). ....	39
Figura 8: Edifício Costa Leite. Fonte: VIDAL, 2008. ....	40
Figura 9: Manchete do jornal O Diário do Pará evidenciando a arquitetura precursora de Judah Levy. Fonte: Jornal “O Diário do Pará” (13/01/2002). ....	41
Figura 10: Edifício Piedade e Renascença, projetados pelo engenheiro Judah Levy, localizado na então Avenida 15 de Agosto, atual Avenida Presidente Vargas. ....	41
Figura 11: Edifício Palácio do Rádio. Fonte: Jornal “O Liberal” (07/02/1952). ....	42
Figura 12: Edifício Manoel Pinto da Silva. Fonte: VIDAL, 2008. ....	43
Figura 13: Edifício São Miguel. ....	43
Figura 14: Edifício sede do Clube do Remo projetado pelo engenheiro e arquiteto Camilo Porto de Oliveira e inaugurado em 1958; e sede da Tuna Luso-Brasileira projetada pelo engenheiro Laurindo Amorim entre os anos de 1960 e 1963. Fonte: Acervo Renata Gribel. ....	44
Figura 15: Casa Bitencourt e Casa Belisário Dias. Fonte: VIDAL, 2008. ....	45
Figura 16: Edifícios do Campus Universitário da UFPA construídos no final da década de 1960. ....	47
Figura 17: Edifício da Promotoria da República projetado pelo engenheiro e arquiteto Alcyr Meira na década de 1960. ....	47

Figura 18: Edifício do Serviço Federal de Processamento de Dados – SERPRO e da Secretaria de Meio Ambiente – SEMA. ....	48
Figura 19: Brises soleil em concreto aparente no edifício da SEMA. ....	48
Figura 20: Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPA, de autoria do arquiteto Armando Couceiro.....	49
Figura 21: Edifício sede do Tribunal de Contas do Estado do Pará. Fonte: Acervo do Tribunal de Contas do Estado do Pará. ....	50
Figura 22: Divulgação da inauguração do Monumento da Cabanagem. Fonte: Jornal “A Província do Pará” (08/01/1985).....	51
Figura 23: Edificações em concreto aparente. ....	52
Figura 24: Aeroporto Internacional de Belém. ....	52
Figura 25: Edifício Eleonor Fernandes. ....	53
Figura 26: Edifício do Banco Itaú. ....	53
Figura 27: Materiais e sistemas de reparo. Fonte: Galletto, 2005. ....	70
Figura 28: Fachada Principal do Tribunal de Contas do Estado do Pará. ....	75
Figura 29: Identificação dos locais onde foram coletadas as amostras do Tribunal de Contas do Estado do Pará. ....	75
Figura 30: Quadro com apresentação e descrição das amostras do Tribunal de Contas do Estado do Pará. ....	76
Figura 31: Memorial da Cabanagem projetado por Oscar Niemeyer. ....	77
Figura 32: Identificação dos locais onde foram coletadas as amostras do Memorial da Cabanagem.....	78
Figura 33: Quadro com apresentação e descrição das amostras do Memorial da Cabanagem.....	78
Figura 34: Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFPA.....	79
Figura 35: Quadro com apresentação e descrição das amostras do Atelier de Arquitetura da UFPA. ....	80
Figura 36: Organograma da terceira etapa da pesquisa, referente ao processo de investigação laboratorial.....	81
Figura 37: Imagens do ensaio de traço: (a) amostras preparadas para receber o ácido clorídrico (HCl); (b) solução HCl na proporção 1:4; (c) filtragem da amostra diluída em HCl.....	83
Figura 38: Imagens do ensaio de granulometria: (a) jogo de peneiras utilizada no ensaio; (b) areia retidas nas peneiras; (c) pesagem do material.....	84

Figura 39: Imagens do ensaio de granulometria: (a) pirofosfato sendo aplicado na amostra (b) finos reagindo com pirofosfato; (c) equipamento recebendo amostra para análise.....	85
Figura 40: Carta de Munsell: (a) Carta de Munsell e amostras que serão analisadas; (b) amostra sendo comparada às tonalidades sugeridas na Carta de Munsell; (c) tonalidade escolhida para a amostra analisada. ....	86
Figura 41: Ensaio de Resistência à Compressão: (a) Amostra coletada no TCE; (b) amostra após ser laminada e transformada em dois cubos; (c) amostra rompida após aplicação do ensaio.....	87
Figura 42: Caracterização da areia: (a) Jogo de peneiras; (b) agitador mecânico; (c) areia separada por módulo de finura.....	88
Figura 43: Produção das Argamassas de Referência: (a) areia e cimento na proporção 1:3; (b) argamassa no estado fresco; (c) 18 amostras das argamassas de referência já curadas.....	89
Figura 44: Ensaio de Colorimetria: (a) equipamento da marca Minolta; (b) amostra da argamassa inserida no canhão de leitura; (c) resultados exibidos no display do equipamento.....	90
Figura 45: Seleção das áreas a serem restauradas: (a) Tribunal de Contas do Estado do Pará; (b) Memorial da Cabanagem; (c) Atelier de Arquitetura - UFPa. ....	91
Figura 46: Preparo e limpeza do substrato: (a) remoção das camadas de resina de proteção do concreto; (b) lixamento com lixadeira elétrica; (c) lixamento com lixa d'água; (d) limpeza com auxílio de pincel. ....	91
Figura 47: Seleção das argamassas: (a) Tribunal de Contas do Estado do Pará; (b) Memorial da Cabanagem; (c) Atelier de Arquitetura - UFPa. ....	92
Figura 48: Produção das “bolachas de concreto”: (a) preparo das “bolachas” nas formas cilíndricas; (b) “bolachas” prontas para aplicação das argamassas e corpos de prova cilíndricos preparados para ensaio de resistência à compressão; (c) “bolachas” superfície lisa e rugosa.....	93
Figura 49: Produção das argamassas: (a) materiais sendo misturados na argamassadeira; (b) e (c) realização do ensaio de Determinação do índice de consistência normal da argamassa. ....	97
Figura 50: Aplicação das argamassas nas “bolachas de concreto”: (a) quatro variáveis para a aplicação de uma argamassa onde as duas que receberam argamassa com junta seca foram saturadas com água e as duas destinadas uso da	

ponte de aderência com cola epóxi; (b) argamassa sendo aplicada no substrato; (c) aplicação finalizada e iniciada a cura da argamassa. ....	98
Figura 51: Caracterização física das argamassas: (a) e (b) Ensaio para Determinação da resistência à compressão; (c) e (d) Ensaio para Determinação da resistência de aderência à tração.....	99
Figura 52: Curva granulométrica da amostra T1.1 (areia).....	104
Figura 53: Curva granulométrica da amostra M3.1 (areia).....	105
Figura 54: Curva granulométrica da amostra T1.1 (finos). ....	106
Figura 55: Curva granulométrica da amostra M3.1 (finos). ....	106
Figura 56: Curva granulométrica da amostra A1.1 (finos).....	107
Figura 57: Difratoograma da amostra T2. ....	112
Figura 58: Difratoograma da amostra T3. ....	112
Figura 59: Difratoograma da amostra T5. ....	112
Figura 60: Difratoograma da amostra T6. ....	113
Figura 61: Difratoograma da amostra A1. ....	113
Figura 62: Difratoograma da amostra A2. ....	114
Figura 63: Difratoograma da amostra T1. ....	115
Figura 64: Difratoograma da amostra T4. ....	115
Figura 65: Difratoograma da amostra M1.....	115
Figura 66: Difratoograma da amostra M2.....	116
Figura 67: Difratoograma da amostra M3.....	116
Figura 68: Difratoograma da amostra A1.1. ....	117
Figura 69: Difratoograma da amostra M3.1.....	117
Figura 70: Difratoograma da amostra T1.1.....	117
Figura 71: Imagem de MEV/SED da amostra T1, com a identificação das camadas e análises químicas pontuais. ....	119
Figura 72: Imagem de MEV/SED da amostra T3, com a identificação das camadas e análises químicas pontuais. ....	120
Figura 73: Imagem de MEV/SED da amostra T5, com a identificação das camadas e análises químicas pontuais. ....	121
Figura 74: Imagem de MEV/SED da amostra T4, com a identificação das camadas. ....	122
Figura 75: Imagem de MEV/SED da amostra T4, com a análise química pontual. .	122

Figura 76: Curva granulométrica da areia utilizada para a produção das argamassas de referência. ....	124
Figura 77: (a) argamassa 01 / variável 01; (b) argamassa 01 / variável 02; (c) argamassa 01 / variável 03; (d) argamassa 01 / variável 04. ....	129
Figura 78: (a) argamassa 02 / variável 01; (b) argamassa 02 / variável 02; (c) argamassa 02 / variável 03; (d) argamassa 02 / variável 04. ....	130
Figura 79: (a) argamassa 03 / variável 01; (b) argamassa 03 / variável 02; (c) argamassa 03 / variável 03; (d) argamassa 03 / variável 04. ....	130
Figura 80: Difratoograma da Argamassa 01.....	133
Figura 81: Difratoograma da Argamassa 02.....	134
Figura 82: Difratoograma da Argamassa 03.....	134
Figura 83: Subsídios tecnológicos e metodologia de restauração do concreto aparente. ....	140

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação de Cimentos Portland.....	59
Tabela 2: Resultados dos ensaios de determinação dos traços mais prováveis ....	102
Tabela 3: Resultados das análises granulométricas da areia .....	104
Tabela 4: Classificação das tonalidades das argamassas de cimento.....	108
Tabela 5: Quadro com relação de tonalidades das areias obtidas após ensaio de traço .....	109
Tabela 6: Resultado da composição mineralógica das amostras.....	110
Tabela 7: Composição cristalina das amostras dividida em grupos .....	111
Tabela 8: Características físicas da areia utilizada na pesquisa – granulometria, dimensão máxima característica, massa específica e massa unitária. ....	123
Tabela 9: Relação das argamassas de referência .....	125
Tabela 10: Cartela de cores e valores de referência obtidos com ensaio de Colorimetria.....	125
Tabela 11: Seleção das argamassas. ....	127
Tabela 12: Bolachas de concreto.....	128
Tabela 13: Resistência à compressão das “bolachas de concreto”. ....	129
Tabela 14: Resistência à compressão das argamassas. ....	131
Tabela 15: Resistência de aderência à tração das argamassas. ....	132

## SUMÁRIO

1. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	20
2. <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	26
2.1. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO DOS PRIMÓRDIOS DA ARQUITETURA MODERNA BRASILEIRA AO USO DO CONCRETO APARENTE.....	26
2.2. A ARQUITETURA COM TENDÊNCIAS MODERNISTAS EM BELÉM E A CONSOLIDAÇÃO DO USO DO CONCRETO COMO EXPRESSÃO DO MODERNISMO .....	34
2.2.1. <b>As primeiras transformações na forma arquitetônica das construções em Belém</b> .....	34
2.2.2. <b>O início da verticalização</b> .....	39
2.2.3. <b>A fundação do curso de arquitetura da Universidade Federal do Pará - UFPA e a influência no processo de modernização das edificações de Belém</b>	44
2.2.4. <b>O engenheiro e arquiteto Camilo Porto de Oliveira</b> .....	45
2.2.5. <b>A arquitetura do concreto aparente em Belém</b> .....	46
2.3. A MATÉRIA A SER RESTAURADA: CONCRETO APARENTE .....	54
2.3.1. <b>Composição</b> .....	56
2.3.2. <b>Durabilidade</b> .....	61
2.4. PRINCIPAIS CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E SEU PROCESSO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	64
2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA PROCEDIMENTO DE RESTAURAÇÃO DO CONCRETO APARENTE.....	68
2.5.1. <b>Manutenção preventiva e corretiva</b> .....	68
2.5.2. <b>Argamassas como materiais de restauro</b> .....	69
2.5.3. <b>Pontes de aderência</b> .....	71
3. <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	74
3.1. ANÁLISES LABORATORIAIS PARA ARGAMASSA ANTIGA .....	82
3.2. ANÁLISES PARA AMOSTRAS PRODUZIDAS EM LABORATÓRIO.....	88

<b>4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	102
4.1. AMOSTRAS COLETADAS NAS EDIFICAÇÕES .....	102
4.1.1. <b>Caracterização Física</b> .....	102
4.1.2. <b>Caracterização Mineralógica</b> .....	109
4.1.2. <b>Caracterização Química e Física por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/SED)</b> .....	118
4.2. AMOSTRAS PRODUZIDAS EM LABORATÓRIO .....	122
4.2.1. <b>Caracterização Física</b> .....	122
4.2.2. <b>Caracterização Mineralógica</b> .....	133
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	136
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	143

# INTRODUÇÃO

## 1. INTRODUÇÃO

Ao se pensar em arquitetura moderna, não há como se desvincular da imagem de grandes obras executadas em concreto, aparente ou não, ainda que se vá muito além disso. Isso se deve ao fato de que essa arquitetura e todos os seus conceitos e princípios pôde-se fazer executável graças à utilização deste material, que além de ser o mais flexível e maleável, ou seja, que menos determina forma, é também um dos mais resistentes.

No entanto, muito antes do surgimento desta arquitetura moderna, o concreto já havia sido empregado pelos arquitetos romanos e cristãos primitivos, numa versão chamada pozzolana, mas seu uso fora abandonado durante a maior parte da Idade Média e da Renascença.

Na segunda metade do século dezenove, o material voltou a ser plenamente explorado, com a engenharia indicando a possibilidade de novas formas de utilização do concreto (CURTIS, 2008). Este, no entanto, tinha geralmente fins comuns, recomendados pelo seu baixo custo, sua possibilidade de uso em grandes entrecolúnios e sua resistência ao fogo.

O concreto nasceu como um material de construção destinado a substituir a madeira, a pedra, o tijolo e até o aço estrutural. No entanto, estes materiais além de estruturalmente resistentes eram também utilizados com uma finalidade estética, ficando muitas vezes aparentes, expostos à observação das pessoas. Com o concreto porém, a história iniciou de forma diferente, visto que durante o século XIX, era considerado um material pouco atraente, de aspecto fosco e monótono. Sua beleza estética só passaria a ser reconhecida, portanto, em meados do século XX (SILVA, 1995).

Este material é basicamente formado pela mistura de cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico.

Segundo Silva (1995), 1824 e 1848 foram duas datas de grande significado no repertório dos acontecimento ligados à história do concreto. Em 1824 o inglês Joseph Aspidin patenteou a produção do cimento Portland, assim denominado por ele devido à sua coloração semelhante à do calcário encontrado na ilha de Portland.

Em 1848 por sua vez, foi a data em que se realizou o que se pode considerar de o primeiro ensaio de construção utilizando-se um material semelhante ao que viria a ser anos depois o concreto armado. Tal ensaio foi realizado por Joseph Louis Lambot e consistia na construção de uma pequena embarcação constituída de uma armadura de ferro envolta numa camada de 5 cm de espessura de concreto.

A invenção oficial da sua armadura tal qual se conhece atualmente surgiu na década de 1870 e se comprou sua adequação à criação de espaços de trabalho com planta livre e com grandes janelas. A novidade estava justamente na reunião da propriedade de resistência à tração do aço com a resistência à compressão do concreto.

Logo, a arquitetura que já buscava por novos caminhos e que ao início do século XX começava a romper com os estilos passadistas, se apropriou deste novo sistema construtivo, possibilitando o desenvolvimento de um estilo que atendesse suas perspectivas de construções com novas formas genuínas e de qualidade duradoura.

Dentre os incentivadores e precursores a lidar com os potenciais deste material estão August Perret e Frank Lloyd Wright. Este último o achava interessante devido seu baixo custo e sua possibilidade de vencer grandes vãos, e assim, atender suas idéias de espaço. Wright, que enfatizava a natureza dos materiais, optou por deixar o concreto aparente (CURTIS, 2008).

Outro arquiteto que teve grande importância na arquitetura modernista e que explorou as possibilidades deste novo sistema construtivo, foi Charles Edouard Jeanneret, Le Corbusier, que ao trabalhar no atelier de August Perret, na década de 1900, aprendeu as lições fundamentais sobre o concreto armado.

Le Corbusier, ao vir para o Brasil ao final da década de 1920 disseminou suas teorias e conceitos acerca da arquitetura moderna, exercendo uma importante influência nos arquitetos brasileiros, que viriam absorver essa nova arquitetura e mais tarde amadurecê-la, incorporando características próprias da cultura brasileira a ela.

Os arquitetos brasileiros que desempenharam importante papel no cenário da arquitetura moderna brasileira e mundial com o uso do concreto foram Lúcio Costa,

Oscar Niemeyer, os irmãos Roberto, João Batista Vilanova Artigas, João Filgueiras Lima, Afonso Reidy dentre tantos outros.

A produção arquitetônica modernista desenvolvida por estes arquitetos desempenharam, por sua vez, uma forte influência sobre os arquitetos e engenheiros que construíam em Belém.

As viagens ao Rio de Janeiro e São Paulo, assim como o acesso à publicações internacionais, eram as principais formas de contato que os arquitetos paraenses tinham com o movimento modernista. Estes, produziram em Belém obras de singular valor estético e histórico, inserindo a cidade no universo construído da arquitetura moderna, com grande representatividade no cenário nacional.

Arquitetos como Alcyr Meira, Paulo Chaves, Armando Couceiro, Paulo Cal, Milton Montes e Camilo Porto exploraram as potencialidades plásticas do concreto armado, utilizando-o inclusive aparente, como o próprio material de acabamento, sem revestimentos, apropriando-se dos valores brutalistas tantas vezes utilizados por profissionais internacionais.

Suas obras em concreto aparente oferecem à cidade de Belém um valioso repertório de construções modernistas, testemunhando que a cidade não ficou alheia à um dos mais importantes movimentos acontecidos na história da arquitetura.

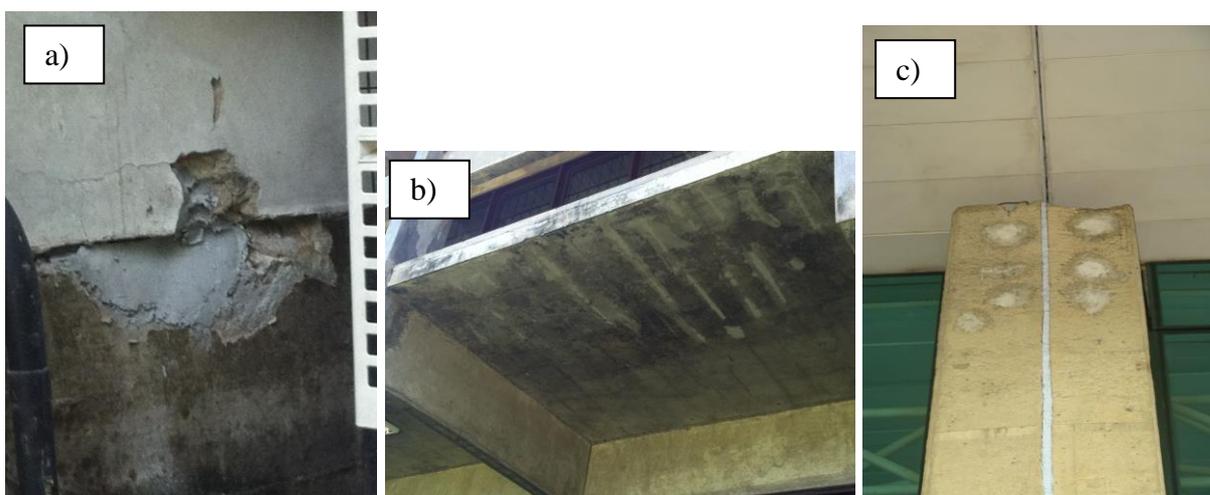
No entanto, o caráter inovador das construções em concreto aparente vêm sendo ameaçado pela falta de cuidados específicos e vêm sofrendo ao longo dos anos, um processo de degradação gerado seja pela falta de manutenção, seja pela execução de intervenções aplicadas de forma aleatória, sem o estabelecimento de critérios e métodos previamente desenvolvidos e aprovados para a reparação dos danos.

Por se tratarem de obras pertencentes a um estilo do passado, por possuírem um caráter muito recente e atual e, por vezes possuírem seus autores ainda vivos, as obras modernas geram uma falsa sensação de que são obras ainda sem valor histórico e/ou artístico e acabam por não receber os cuidados necessários à sua preservação. Isto acaba se agravando pela condição pública do edifício, já que grande parte deste patrimônio arquitetônico abriga instituições públicas e nesse caso, nem sempre os recursos são destinados à sua correta conservação.

É comum, portanto, a prática da pintura nas estruturas em concreto aparente, como forma de intervenção reparadora, no entanto, tal prática interfere e até prejudica as características peculiares a essa tipologia arquitetônica, visto que, uma vez pintada a edificação, esta deixa de ser uma obra em concreto aparente, indo de encontro aos conceitos brutalistas que primavam pela estética do material utilizado sem revestimentos.

Da mesma forma, os danos que requerem intervenções mais complexas, como a reconstituição de áreas fissuradas, destacadas e/ou com lacunas, têm sido reparadas de forma genérica, sem um cuidado específico com a coloração e textura do concreto, tornando-o por vezes verdadeiras “colchas de retalho”, onde, identificam-se facilmente as áreas reconstituídas, interferindo assim no reestabelecimento da unidade artística da edificação (Figura 1).

**Figura 1:** Intervenções restaurativas realizadas aleatoriamente em importantes edificações construídas em concreto aparente: (a) Tribunal de Contas do Estado do Pará; (b) Atelier de Arquitetura da UFPA; (c) Aeroporto Internacional de Belém.



Segundo Brandi (1993), não se restaura a imagem da obra de arte, mas apenas a matéria da mesma. No caso do concreto aparente, além de ser matéria, ele faz parte da imagem desse tipo de arquitetura, interferindo na cor e na textura dos edifícios, ou seja, é matéria também enquanto imagem e, portanto, deve permanecer preservada.

Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa é estudar o concreto aparente sob o viés histórico e tecnológico de modo a desenvolver uma metodologia de restauro para recomposição de áreas com lacunas, considerando aspectos como cor, textura e resistência, buscando um material compatível ao concreto original.

Para isso, foram estabelecidos alguns objetivos específicos que subsidiaram a pesquisa, são eles: a partir da definição das obras a serem estudadas, identificar o contexto histórico do surgimento da arquitetura do concreto aparente em Belém, o primórdio e a popularização deste material; selecionar edificações que serão os objetos de estudo desta pesquisa; identificar as principais causas da deterioração do concreto; caracterizar as amostras coletadas quanto à sua composição física, química e mineralógica a fim de identificar os melhores meios de preservação deste material; elaborar argamassas com propriedades compatíveis às do concreto original, de diferentes cores com os materiais adquiridos comercialmente.

# **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO DOS PRIMÓRDIOS DA ARQUITETURA MODERNA BRASILEIRA AO USO DO CONCRETO APARENTE

É sabido que o período entre-guerras na Europa foi um momento de fundamental importância no processo de desenvolvimento de um novo estilo arquitetônico, o modernismo. As novas técnicas construtivas que surgiam tomavam força, uma necessidade de renovar a linguagem do campo da arquitetura e as demandas da sociedade industrial geraram discussões que culminaram num rompimento com os estilos passados.

Neste período, o Brasil possuía uma população em torno de 17 milhões de habitantes, com cerca de 36% dos brasileiros vivendo nas cidades. A sua economia era formada principalmente pela exportação de produtos primários. Algumas capitais do país, no entanto, vivenciaram um expressivo crescimento demográfico na transição do século XIX para o XX. Belém quase duplicou sua população de 53.150 habitantes em 1872 para 96.560 em 1900. Esse crescimento, porém, era desordenado, o que no futuro viria a implicar em graves conflitos de espaço (SEGAWA, 2002).

Dentro desse contexto, a cidade “modernizava-se”, com base na organização, atividades e modo de viver do velho mundo. Os principais agentes que atuavam para que acontecesse essa modernização eram os engenheiros, que apostavam na ciência e na técnica como instrumentos de progresso material para o país.

Algumas cidades brasileiras, já na segunda metade do século XIX, adotavam medidas modernizadoras em sua infraestrutura, à maneira dos países europeus, e em Belém, a operação das companhias de gás já dava indícios dessa transformação.

A nível nacional, o cenário político na década de 1920, era formado por uma hegemonia política de grupos ligados à exportação, que não tardaram por sofrer com revoltas políticas que chegaram a assumir um caráter revolucionário, o que culminou com a derrubada do então presidente Washington Luis, e iniciava-se então a era Vargas (1930-1945).

O governo de Getúlio Vargas tinha um discurso nacional-desenvolvimentista, e o sentido de modernização fundamentava-se na transformação das estruturas que formavam a oligarquia cafeeira em uma administração centralizada e intervencionista. Logo definiram-se rumos para o capitalismo industrial do país, o que acabaria por ser reafirmado, de forma autoritária, com a implantação do Estado Novo em 1937. Esta política de Vargas assumiria então, um papel fundamental na disseminação do movimento modernista no país.

Faz-se necessário dizer que indícios históricos afirmam que o marco inicial do movimento moderno no Brasil tenha acontecido em São Paulo, em 1917, com a exposição de pinturas de Anita Malfatti, visto que suas pinturas, por não possuírem relação com o academismo vigente, acabou por chamar a atenção de jovens intelectuais que se solidarizaram com a pintora. Esses jovens então formaram o primeiro grupo modernista brasileiro, que buscava a renovação do ambiente cultural em geral e não apenas com as artes plásticas e a literatura.

A primeira manifestação conjunta desse grupo aconteceu em 1922, com a Semana de Arte Moderna, dentro de um suposto primeiro momento do modernismo brasileiro, entre os anos 1917 e 1924, onde o modernizar era permeado pela polêmica dos modernistas contra os valores passadistas. Era a busca da atualização estética sem a orientação de correntes específicas (SEGAWA, 2002).

O segundo momento seria estabelecido entre os anos 1924 e 1929, onde o modernismo passa a adotar como primordial a questão da elaboração de uma cultura nacional, na qual a qualidade da obra de arte não está mais no seu caráter de renovação formal, mas na capacidade de refletir o país em que foi criada.

Logo, o movimento modernista brasileiro buscava uma arte nacional, evitando a pura importação de formas, conceitos e soluções, que muitas vezes não se adequavam à realidade do país.

Vale ressaltar que, o movimento neocolonial, que teve seu apogeu na década de 1920, e que ainda foi praticado e apropriado popularmente nas décadas seguintes, teve grande influência do desenvolvimento da retórica nacionalista da arquitetura moderna, uma vez que, buscava por uma arquitetura identificadora da nacionalidade e da autonomia nacional. Além disso, o discurso dos seus defensores

não era isento de uma vontade modernizadora no sentido de atualizar a arquitetura diante das transformações da sociedade e da cultura material.

Tal anseio, foi impulsionado pela retórica nacional-desenvolvimentista do governo de Getúlio Vargas e expressada na combinação de modernidade, brasilidade e monumentalidade nas obras de arquitetos como Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Vilanova Artigas, dentre tantos outros.

O ano de 1929 foi fundamental para o desenvolvimento desta arquitetura, pois foi o ano em que a disseminação das idéias de Le Corbusier na América do Sul, com palestras realizadas em Buenos Aires, Rio de Janeiro e São Paulo, introduziram conceitos bem consolidados. Le Courbusier indicava que o único caminho em direção a uma nova arquitetura era August Perret, que desenvolvia uma arquitetura a partir da experimentação técnica e formal sobre o concreto armado. Definia-se então, a arquitetura moderna como a que, para realizar os novos programas, utiliza os materiais e procedimentos da construção de seu tempo.

Um dos primeiros arquitetos a desenvolver com maestria uma obra com os novos e modernos processos de construção no país foi o arquiteto francês Victor Dubugras, que construiu uma estação ferroviária na cidade de Mairinque, SP.

O edifício é praticamente uma estrutura monolítica de concreto armado. Segawa (2002) menciona trecho de artigo escrito por Hyppolito Pujol Júnior (engenheiro civil recém-formado) no qual o autor ressalta o pioneirismo da obra:

“A bela composição do Sr. Dubugras tem o grande mérito de convencer da possibilidade de fazer bela uma obra em cimento armado [...] é efetivamente difícil escapar à insensível repetição das velhas normas de composição, adaptar-se a um material novo, seguindo unicamente as indicações do bom senso, procurar uma composição geral e uma decoração inspiradas na própria construção, chegando, enfim, a uma obra original, inteligente e bela [...] o arquiteto nos dá um brilhante exemplo a seguir, no caminho da reabilitação estética do cimento armado.” (SEGAWA, 2002).

Na contramão de Dubugras, o arquiteto russo Warchavchik, também formado à luz do modernismo, introduziu conceitos modernos em suas obras construídas no Brasil, como o projeto da sua própria casa, concluída em 1928, que constituiu uma das primeiras expressões de arquitetura moderna. Segawa (2002), no entanto, menciona que tal obra não pode ser considerada um trabalho fiel ao ideário moderno europeu, tampouco ao seu discurso revolucionário, visto que era uma casa que aparentava ter uma geometria própria para a racionalização da construção, mas era

toda de tijolo revestido e não empregava o concreto armado, tampouco componentes pré-fabricados.

Já na segunda metade da década de 1930, tendências modernizantes já estavam em plena assimilação nas cidades brasileiras. É nesse período que ocorre o grande divisor de águas no cenário da arquitetura nacional com a repercussão internacional da arquitetura brasileira, representada pelo pavilhão brasileiro da Feira Mundial de Nova York em 1938 e com o conseqüente reconhecimento de um dos maiores arquitetos modernista do país, Oscar Niemeyer.

O pavilhão brasileiro da Feira Mundial de Nova York em 1938, cujo projeto fora vencido por Lucio Costa e posteriormente renunciado para uma nova criação em associação com Oscar Niemeyer, foi considerado um dos pontos altos de toda a exposição e o sucesso na mídia internacional gerou uma positiva repercussão no Brasil. Estava, então, amadurecida a superação do racionalismo mais ortodoxo, com a consciência de uma nova dimensão estética da arquitetura moderna acima da aridez do mero rebatimento da função sobre a forma (lição aprendida com Le Corbusier em 1936) (SEGAWA, 2002).

Lúcio Costa explicou como ocorrera esse amadurecimento:

“Respeitamos a lição de Le Courbusier: não pretendemos subordinar o espírito moderno exclusivamente às conveniências de ordem técnica e funcional nem tampouco fazer cenografia “pseudo-moderna”. Queremos a aplicação rigorosa da técnica moderna e a satisfação precisa das exigências de programas e locais, tudo, porém, guiado e controlado, no conjunto e nos detalhes, pelo desejo constante de fazer obra de arte plástica no sentido mais puro da expressão”. (SEGAWA, 2002).

Uma das analogias preferidas por Oscar Niemeyer fora mencionada em carta de Lúcio Costa a Le Corbusier, a qual mencionava que *“Oscar teve a idéia de aproveitar a curva do terreno – bela como uma curva de mulher – e o resultado foi uma arquitetura elegante e graciosa”*.

Niemeyer teve seu talento reconhecido por seu mestre Lúcio Costa, com o projeto do pavilhão de Nova York. Já trabalhava como desenhista no escritório Lúcio Costa/Gregori Warchavchik, tinha participado da equipe de projeto do Ministério da Educação e Saúde e também compôs a equipe encarregada da Cidade Universitária. Ao longo dos trabalhos, revelou-se uma personalidade habilidosa.

Sua associação com Lúcio Costa em Nova York proporcionou a ele uma maior visibilidade, o que o levou a se tornar encarregado de trabalhos de maior porte

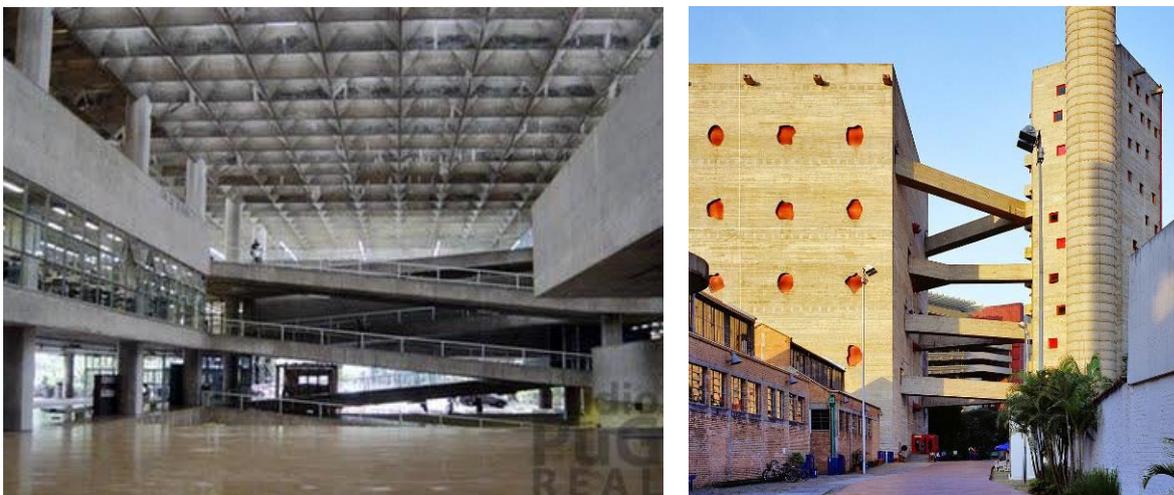
e responsabilidade, como: o Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN) o encarregaria de projetar o Grande Hotel de Ouro Preto, e o prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubitschek de Oliveira, o convocaria para projetar alguns edifícios públicos, e mais adiante, como presidente eleito do Brasil, o convidaria para projetar os edifícios institucionais da nova capital federal.

Ao passo que a arquitetura moderna se instalava e adquiria características próprias no Brasil, na Europa, o berço onde nasceu todo o movimento moderno, as discussões já giravam em torno de estabelecer-se uma mudança de direção, onde, os objetivos e ideais já não correspondiam aos ideais preconizados no início no movimento (FUÃO, 2000).

Dentro deste contexto internacional, algumas ciências humanas como a Antropologia Cultural, a Psicologia, e a Teoria da Comunicação de Massa adquiriram grande importância para a crítica arquitetônica. Uma das maiores críticas em relação ao Movimento Moderno foi justamente aquela que constatou a perda da identidade das cidades e do significado da arquitetura. O Estruturalismo colocou em check toda uma série de valores da sociedade, em que todos os valores são determinados pelas especificidades culturais (FUÃO, 2000).

Da contribuição do estruturalismo, resultaram três manifestações interessantes na arquitetura. Uma delas, que tomou a palavra ao pé da letra e foi buscar na estrutura a verdade e a pureza da forma, foi nomeada de Novo Brutalismo, que se apoiava na premissa de que não importava muito o ter, mas apenas e essencialmente o ser. E essa postura se traduzia na forma arquitetônica, na qual mostrar a nudez da forma, retirar os revestimentos, mostrar somente a estrutura, era uma prática essencial, que viria em seguida, se refletir na arquitetura produzida por importantes nomes no cenário nacional (Figura 2), como Lina Bo Bardi e Vilanova Artigas, ainda que estes continuassem com uma constante busca por uma imagem arquitetônica e cultural nacionalista.

**Figura 2:** Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - FAU-USP (1961) projetado por Vilanova Artigas e SESC POMPEIA-SP (1977) de Lina Bo Bardi.



Fonte: VASCONCELOS; CARRIERI JUNIOR, 2005.

Importante frizar que o apelo à expressividade do concreto, de matriz corbuseriana, foi tributário do pensamento em torno do movimento ocorrido na Inglaterra denominado, Brutalismo, ou Novo Brutalismo, de meados dos anos 1950, como caracterizado por Reyner Banham.

A utilização dos materiais a vista, assim como a preocupação por um funcionalismo foram logo associados às obras de Vilanova Artigas e seu grupo que junto aos arquitetos que trabalhavam com a mesma linguagem ganharam o nome de “Brutalismo Paulista”.

No entanto, Segawa (2002) reitera que distinguir a produção paulista como “Brutalista” força uma relação de ascendência que acaba por diminuir as demais influências significativas na formação deste pensamento arquitetônico.

Pode-se dizer ainda que em toda a grande produção arquitetônica brasileira dos anos 60-70 com características explicitamente brutalistas (com a utilização do código estético de utilização de materiais como o concreto bruto, tijolos à vista, instalações aparentes, destaque das caixas d’água, destaque volumétrico de elevadores e escadas) pode até não fazer referência ao vocabulário formal e teórico dos Novos Brutalistas europeus, restringindo-se à descrição simplista do projeto, dos materiais e da criatividade estrutural.

Os referidos arquitetos faziam parte de um grupo que tinha as suas origens não nas belas-artes, como ocorrera com a escola carioca de arquitetura moderna,

mas na engenharia, o que lhes configurava uma maior familiaridade com a arquitetura enquanto questão tecnológica, a escola paulista de arquitetura moderna.

O edifício da FAU-USP, projetado e construído entre 1961 e 1969 por João Batista Vilanova Artigas e que recebeu o Prêmio internacional Jean Tshumi da União Internacional de Arquitetos em 1985, por sua contribuição ao desenvolvimento tecnológico em arquitetura, foi concebido apoiado num paradigma de uma arquitetura definida pela beleza de suas formas e modéstia nos acabamentos. Uma arquitetura que se apropria dos materiais e tecnologias construtivas para explorá-los nas suas possibilidades plásticas, como citado pelo próprio autor:

“O concreto utilizado não é só uma solução mais econômica, como corresponde à necessidade de se encontrar meios de expressão artística, lançando mão da estrutura do edifício, sua parte mais digna. A estrutura, para o arquiteto, não deve desempenhar o papel humilde de esqueleto, mas exprimir a graça com que os novos materiais permitem dominar as formas cósmicas, com a elegância de vão maiores, de formas leves (...)”.  
(ARTIGAS, 1997)

A arquiteta Lina Bo Bardi, por sua vez, assim como Vilanova Artigas, se apropriou dos conceitos que prezavam pelo uso dos materiais na sua forma bruta sem revestimentos, principalmente o concreto utilizado na estrutura da edificação, a exemplo de uma de suas mais emblemáticas obras, o edifício do Museu de Arte de São Paulo (MASP) (Figura 3), projetado e construído todo em concreto aparente e painéis de vidro e inaugurado em 1968.

**Figura 3:** MASP antes e depois de receber a pintura nas vigas e pilares.



Fonte: VASCONCELOS; CARRIERI JUNIOR, 2005.

Devido problemas estruturais na viga do edifício, que geravam infiltrações extremamente prejudiciais ao acervo do museu, recomendou-se que intervenções

reparadoras deveriam ser feitas para solucionar o problema. Após diversas tentativas de impermeabilização da cobertura do edifício, constatou-se que a solução seria revestir as vigas com pintura de modo que a água não infiltrasse através delas (MIYOSHI, 2007).

Defensora de sua arquitetura brutalista, Lina prontamente recusou a solução sugerida, pois acreditava que a imagem de sua obra e dos conceitos que fundamentaram a sua concepção ficaria prejudicada e apenas convenceu-se após a realização de estudos que certificavam que não haviam outras alternativas (MIYOSHI, 2007).

Uma empresa então se dispôs a participar da renovação da fachada do edifício, doando os produtos. Realizaram-se então vários testes até chegar à cor escolhida por Lina, o “vermelho-bombeiro” (MIYOSHI, 2007).

Para a escola paulista, da qual Lina fazia parte, a tecnologia da construção era um tema extremamente relevante, e a industrialização da construção era uma preocupação constante. Logo, no âmbito dos sistemas construtivos de maior tecnologia, o concreto armado monopolizou as especificações.

Muito do que se produziu no país em concreto aparente teve suas influências nascidas também dos estudos e obras de Le Corbusier, que em 1951, apresentou aos brasileiros seus ensaios em concreto aparente na unidade de habitação em Marselha (1946-1952), por meio dos premiados painéis presentes na I Bienal Internacional de São Paulo.

Na mesma mostra, outras obras chamaram a atenção dos profissionais brasileiros como o hangar para aviações e o edifício para Exposições de Turim, de Pier Luigi Nervi, o que acabou por sugerir novas estéticas para os arquitetos brasileiros (SEGAWA, 2002).

Reidy foi o primeiro a empregar o concreto aparente de forma expressiva no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (Figura 4). Rino Levi também trabalhou com o concreto aparente de forma escultural, e não tardou a disseminar uma generalizada aceitação das possibilidades estéticas do material aparente.

**Figura 4:** Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro projetado por Affonso Reidy e inaugurado em 1963.



Fonte: VASCONCELOS; CARRIERI JUNIOR, 2005.

Com a deferência de Oscar Niemeyer e sua apologia do material como suporte ideal para suas elaborações plásticas, o concreto tornou-se uma solução recorrente.

## 2.2. A ARQUITETURA COM TENDÊNCIAS MODERNISTAS EM BELÉM E A CONSOLIDAÇÃO DO USO DO CONCRETO COMO EXPRESSÃO DO MODERNISMO

### 2.2.1. As primeiras transformações na forma arquitetônica das construções em Belém

A cidade de Belém passou por um período áureo de prosperidade econômica ao final do século XIX e início do século XX, graças ao comércio em larga escala da borracha, o que se refletiu no desenvolvimento da infra-estrutura da cidade e nas edificações nela construída. Desse período a cidade herdou um grande catálogo de suntuosos prédios ecléticos além de praças e equipamentos urbanos.

No entanto, o declínio do comércio da borracha, e a conseqüente frágil economia da região amazônica acabou por gerar impactos na infra-estrutura da cidade, que por volta do início da década de 1930, sofria constantemente com a falta de energia elétrica e de água (VIDAL, 2004).

A recente imagem que remetia ao momento de riqueza, com as residências e palacetes dos comerciantes e negociantes da borracha ainda perdurou na mente de

grande parte da população por algumas gerações, e as tentativas de reavivamento deste período levaria à algumas iniciativas de embelezamento realizadas pelo governo, iniciativas estas que promoveriam mais adiante, transformações na imagem da cidade.

Como consequência da centralização do poder na esfera nacional, os recursos destinados ao investimento em obras públicas e estruturais geraram *a priori*, uma série de limitações no processo de transformações ocorridas na cidade, que associada à demora na chegada da industrialização brasileira, refletiria numa absorção de maneira tardia nas iniciativas modernizadoras, se comparada ao que ocorria no eixo Rio-São Paulo.

Foi inevitável que a diversidade estilística do ecletismo perdurasse até meados do século XX, porém, não impediu o desenvolvimento de novas expressões da modernidade arquitetônica.

A crescente preocupação com a identidade nacional levou, em primeiro lugar, à proposta do estilo neocolonial, que permaneceu por aproximadamente trinta anos no cenário urbano de Belém (SARQUIS, 2002). Outra tendência neste período eram os edifícios de três e quatro andares que equilibravam características ecléticas e linhas despojadas que anunciavam o modernismo.

Em 1934, a Comissão Reformadora dos Negócios Municipais aprovou o “Código de Administração Municipal”. Neste código constavam as orientações básicas sobre os padrões a serem adotados nas construções, elementos, medidas, formas, segurança e pavimentação de vias. O código inclusive possuía um artigo que destacava bem o perfil modernizador da política nacional: *“os edifícios destinados a hospitais, maternidades, colégios e outros semelhantes; teatros, cinematógrafos ou qualquer lugar de reuniões públicas, adotarão os moldes mais modernos, aconselhados pela higiene, estética e segurança”* (VIDAL, 2004).

Enquanto alguns edifícios, nos anos 1930, seguiam a tendência de manter a linguagem do ecletismo, outros edifícios expressavam a prática fundada sob uma racionalidade que já anunciava as construções da próxima geração de engenheiros e construtores.

Entre os anos trinta e sessenta a produção arquitetônica em Belém se propagava de forma diversificada, com residências ecléticas, edificações com

plantas coloniais e fachadas ecletizadas, edifícios com linhas modernas e detalhes *art déco*.

Em Belém, as tendências estilísticas do *Art Déco* e o racionalismo clássico<sup>1</sup>, precederam e abriram caminho ao modernismo, possibilitando uma transição tardia, mas irreversível, do ecletismo historicista para a Arquitetura Moderna.

Era comum, no entanto, o *Art Déco* e o racionalismo clássico serem empregados paralelamente ao modernismo, visto que o modernismo não era uma escolha absoluta, e por vezes dava lugar aos estilos mais conservadores.

No cenário econômico no qual surgia uma nova classe formada por profissionais liberais em ascensão (médicos, advogados, engenheiros) e por comerciantes e empresários relacionados a exportação da castanha do Pará, surgem as propostas de novas formas de moradias, que passam a incluir o edifício de apartamentos e as residências que incorporavam elementos e soluções da arquitetura moderna brasileira (VIDAL, 2008).

A realidade econômica da cidade de Belém durante a década de 1940 não era diferente da década de 1930 e a administração municipal não conseguia suprir as necessidades da infra-estrutura e as consequências da restrita atividade econômica. A industrialização brasileira não chegaria a Belém até os anos sessenta.

Por conta disso, as iniciativas modernizadoras aos moldes do que ocorria no eixo Rio-São Paulo tardariam a ser implantadas na cidade. Logo, a realidade econômica local confrontava uma ansiedade social provocada por uma vontade de modernidade e progresso.

A modernização que impulsionava o Estado adaptaria o conjunto das instituições públicas a um determinado modelo de desenvolvimento, e a modernização ampliou o espaço de atuação das instituições. Nesse sentido, os edifícios escolares tiveram destaque, com a proposta de reformulação da área educacional que resultou na elaboração de modelos de edifícios escolares (VIDAL, 2008).

---

<sup>1</sup> NOTA: O racionalismo clássico possibilitou a perpetuação dos princípios da composição, da proporção e da simetria e, ao mesmo tempo, permitiu maior liberdade projetual por meio de uma espacialidade mais dinâmica, com preferência por volumes puros, uma estética mais simplificada e racionalidade construtiva referente ao emprego das novas tecnologias. (Fonte: SARQUIS, 2002)

Com a reformulação do sistema educacional, a construção das escolas passaria então a ser orientada para uma arquitetura racionalizada no processo construtivo e na forma. Conceitos de funcionalidade seriam inseridos no processo projetual, levando em consideração a orientação do edifício, as linhas do partido arquitetônico, bem como a elaboração de um programa de necessidades específico para a uso da edificação (VIDAL, 2008).

Em Belém, a administração de Gama Malcher, entre 1937 e 1943 executou alguns edifícios escolares de linhas modernizantes. Dentre estes edifícios, destaca-se a construção da escola “Vilhena Alves” (1938) (Figura 5), uma edificação de traços modernos para os padrões locais, de caráter art déco. Seu projeto fazia parte de um conjunto de edifícios escolares promovidos pela Diretoria de Obras Públicas.

O edifício apresenta um partido racionalizado com linhas retas horizontais, marcadas por frisos e vãos de janelas que cercam toda a edificação. Sua entrada principal é destacada por dois volumes verticais que apresentam os mesmos frisos presentes no restante da edificação. O prédio passou por várias manutenções ao longo dos anos, as quais modificaram suas cores originais.

**Figura 2:** Escola Vilhena Alves.



Houve ainda, um projeto nacional de normalização arquitetônica, que estabeleceu-se no âmbito do então Departamento de Correios e Telégrafos. Num esforço de reequipamento do sistema, os anos de 1930-1940 conheceram um esforço de aperfeiçoamento da infra-estrutura de edifícios mediante o projeto e a

construção de sedes regionais nas capitais e agências das principais cidades brasileiras, dentre elas, Belém. Em dez anos, o governo federal construiu 141 agências em todo o Brasil. É possível que essa política arquitetônica moderna tenha se inspirado na ação dos Correios e Telégrafos da França (SEGAWA, 2002).

A sede da “Empresa Brasileira dos Correios e Telégrafos” (EBTC) de Belém (Figura 6) é um exemplo no qual a modernidade e a idéia de progresso fica visivelmente impressa.

**Figura 3:** Sede da EBTC.



Estas construções apesar de ainda apresentarem elementos do decorativismo déco, também possuíam estruturas amplas e leves, proporcionadas pelo uso de novas tecnologias construtivas, como as possibilidades plásticas que o concreto armado dispõe, por exemplo.

E essa intenção de modernizar-se se expressava nas notícias veiculadas nos jornais exaltando as novas construções, ou nos anúncios da imprensa que divulgava os novos materiais de construção como o cimento e o vidro (Figura 7).

**Figura 4:** Anúncios comerciais em jornais de 1952, destacando o comércio do cimento importado e nacional.



Fonte: Jornal “O Liberal” (26/01/1952).

Estes novos materiais que subsidiavam as novas tecnologias construtivas, aliadas ao “Plano Urbanístico da Cidade”, que se tratava de um código de obras conforme com as linhas observadas nas modernas cidades, elaborado pelo engenheiro Jerônimo Cavalcante, foram fundamentais para o processo de verticalização na cidade.

### 2.2.2. O início da verticalização

O incentivo mais contundente à construção em altura seria dado com a lei 3450 de 6 de outubro de 1956, determinando que qualquer construção situada na Avenida 15 de Agosto obedeceria a altura mínima de 12 pavimentos e as situadas em avenidas e ruas mais importantes de seu entorno imediato, teriam 10 pavimentos (VIDAL, 2008).

Absorvido pelo país, o ideal norte americano dos arranha-céus, os edifícios cênicos e luxuosos, aonde a beleza vinha associada à qualidade e a nobreza dos materiais logo tonaram-se sinônimos de modernidade para a classe burguesa urbana, assim como as novas técnicas construtivas também marcaram a inserção do modernismo nas edificações.

A Avenida 15 de Agosto foi sem dúvidas o eixo de expansão da construção de um novo modelo de arquitetura na cidade. No entorno desta avenida instituiu-se

uma nova política de ocupação urbana e buscou-se instaurar um “Novo Centro”, econômico, político e administrativo, inclusive com a construção de novas sedes de instituições públicas.

O governo municipal incentivou então a implantação de novas edificações “mais modernas”, facilitando a aquisição de terrenos por comerciantes e instituições que alí pretendiam construir.

A urbanização da Avenida da 15 de Agosto, que mais tarde se chamaria Avenida Presidente Vargas, foi portanto, uma das medidas de maior impacto para o crescimento da cidade.

A evolução das construções e do crescimento da cidade à luz da modernidade, não demorou por esbarrar nas limitações provocadas pela ausência de um ensino de arquitetura na cidade, visto que a arquitetura era o foco para onde se dirigiam as atenções que almejavam pela reconstrução de um espaço social e político.

Então, os primeiros responsáveis pela utilização dos padrões modernos nas edificações, foi um grupo de engenheiros formado por Judah Levy, Laurindo Amorim, Agenor Penna de Carvalho e Camilo Porto de Oliveira. Destes, Carmilo Porto e Judah Levi, foram os grandes responsáveis pela introdução das novas tecnologias construtivas como o concreto armado, os panos de vidro entre outras.

Em 1938, Judah Levy projetou o edifício “Costa Leite” (Figura 8), que viria a ser uma proposta original, através da justaposição de três volumes que formam o conjunto.

**Figura 5:** Edifício Costa Leite. Fonte: VIDAL, 2008.



Em 1946, ele projeta o seu primeiro edifício com mais de quatro pavimentos, o edifício “Piedade” e posteriormente em 1948, projeta o edifício “Renascença”, com 10 pavimentos e elevador, características estas que foram recebidas pela sociedade com receios, embora a imprensa elogiasse seus atributos modernos (Figura 9) (VIDAL, 2008).

**Figura 9:** Manchete do jornal O Diário do Pará evidenciando a arquitetura precursora de Judah Levy.



Fonte: Jornal “O Diário do Pará” (13/01/2002).

Estes dois edifícios foram construídos em duas esquinas, um de frente para o outro, na então Avenida 15 de Agosto, e enfatizavam as formas possibilitadas pela adoção da técnica do concreto armado (Figura 10).

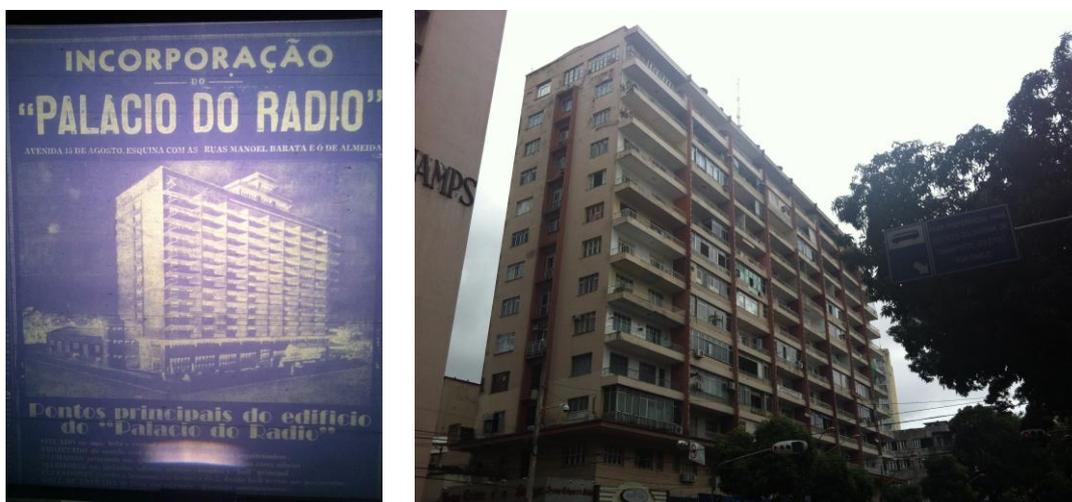
**Figura 6:** Edifício Piedade e Renascença, projetados pelo engenheiro Judah Levy, localizado na então Avenida 15 de Agosto, atual Avenida Presidente Vargas.



Judah Levy foi, então, o pioneiro na construção de edifícios de mais de dez pavimentos em Belém. Sua permanência durante três anos no Rio de Janeiro, foi fundamental para o desenvolvimento das suas obras, visto que trouxe consigo o conhecimento das técnicas de construção dos edifícios que lá se desenvolviam.

Outra obra de grande expressividade de Judah Levy foi o edifício “Palácio do Rádio” (1952-1956) (Figura 11), encomendado por um proprietário de uma emissora de rádio local e considerado desde a época da sua construção, um ícone de modernidade e muito evidenciado na mídia local.

**Figura 7:** Edifício Palácio do Rádio. Fonte: Jornal “O Liberal” (07/02/1952).



Mas foi o edifício “Manoel Pinto da Silva” (Figura 12) que alimentou os desejos de progresso que se disseminavam na cidade. Com vinte e seis pavimentos, este edifício seria por bastante tempo, o mais alto de Belém. O engenheiro e arquiteto autor da edificação, Feliciano Seixas, concedeu uma entrevista ao Jornal Folha do Norte, em 09 de janeiro de 1954, onde descrevia que no seu processo de criação arquitetônica, “a forma, nada mais é que o fruto da necessidade de uma época, do espírito dominante da mesma, traduzida com as possibilidades dos materiais e do progresso técnico”.

**Figura 8:** Edifício Manoel Pinto da Silva.



Fonte: VIDAL, 2008.

Em sua concepção, a forma arquitetônica era consequência do uso acertado e atualizado das técnicas e dos materiais. Aqui ficam nítidas as influências do movimento modernista e dos conceitos que se apropriavam das tecnologias construtivas para o desenvolvimento do estilo.

Já no final da década de 1950 e década de 1960, o desenvolvimento da construção em altura começava a acelerar o seu ritmo, e é nesse período que o edifício “São Miguel” (Figura 13) é projetado e construído introduzindo os esquemas da arquitetura da “escola carioca” de arquitetura moderna na cidade, com a inserção do pavimento térreo com planta livre possibilitado pela construção em pilotis.

**Figura 9:** Edifício São Miguel.



### 2.2.3. A fundação do curso de arquitetura da Universidade Federal do Pará - UFPA e a influência no processo de modernização das edificações de Belém

A fundação do curso de Arquitetura em Belém, em 1964, também foi um passo decisivo no reconhecimento da atividade de arquiteto na cidade, e foi produto de uma articulação por parte de engenheiros locais interessados em terem reconhecido legalmente suas atribuições como arquitetos. A primeira organização didático-estrutural estava dividida em duas categorias: o curso de graduação destinado à formação de arquitetos e o curso de adaptação profissional voltado aos engenheiros interessados em exercer a profissão de arquiteto.

Os primeiros professores vieram da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e orientavam os alunos do curso a amadurecer o seu repertório modernista e optar por seguir essa nova tendência.

Assim, engenheiros-arquitetos cujas obras expressam fortemente essa influência modernista como Camilo Porto, Milton Monte e Alcyr Meira, adaptavam as tendências modernistas aos padrões locais. E as formas mais ousadas eram mais exploradas em clubes desportivos (Figura 14), escolas, edifícios, residências de alto padrão e edificações institucionais.

**Figura 14:** Edifício sede do Clube do Remo projetado pelo engenheiro e arquiteto Camilo Porto de Oliveira e inaugurado em 1958; e sede da Tuna Luso-Brasileira projetada pelo engenheiro Laurindo Amorim entre os anos de 1960 e 1963.



Fonte: Acervo Renata Gribel.

#### 2.2.4. O engenheiro e arquiteto Camilo Porto de Oliveira

No que diz respeito à arquitetura residencial unifamiliar deste período, o arquiteto Camilo Porto do Oliveira, surge como um dos profissionais mais representativos, fazendo uso do concreto armado para dar liberdade à formas muitas vezes influenciadas pela arquitetura de Niemeyer.

Nascido em 1923, Camilo Porto graduou-se engenheiro em 1946 pela Escola de Engenharia do Pará e como arquiteto em 1966, no curso de arquitetura do qual foi um dos articuladores para a criação do curso. Suas freqüentes viagens ao Rio de Janeiro e a São Paulo lhe proporcionariam repertórios de projeto que a partir da década de cinquenta serão utilizadas em variadas propostas residenciais (VIDAL, 2008).

No princípio do desenvolvimento da sua arquitetura, seus projetos chegaram a ser rejeitados, por desviarem do que a sociedade estava habitada a construir. No entanto, logo viriam se tornar um modismo na sociedade que estavam ávidos pela novidade e pela expressão de uma estética arquitetônica que expressasse sua inventividade (Figura 15) (VIDAL, 2008).

**Figura 15:** Casa Bitencourt e Casa Belisário Dias.



Fonte: VIDAL, 2008.

As residências de Camilo Porto começaram a ser aceitas pelas famílias que podiam pagar por elas e participar da experimentação formal desenvolvida pelo engenheiro.

Na casa “Belisário Dias” (1954), o engenheiro tira um maior proveito das possibilidades plásticas do concreto armado. E a partir dos meados da década de 1960, suas obras adquirem formas mais simplificadas e regulares. Isso se deve

provavelmente às dimensões mais reduzidas dos terrenos onde estão construídas, além de uma mudança no gosto dos clientes (VIDAL, 2004).

Os arquitetos modernistas paraenses desenvolveram e disseminaram, portanto, um racionalismo arrojado de forte apelo plástico. A arquitetura moderna se fez presente em Belém, ora na forma de uma tradução fiel aos seus princípios, ora mostrando tendências e modelos alternativos, nos quais modernista era a aparência física da edificação e nem sempre, a concepção projetual (SARQUIS, 2002).

### **2.2.5. A arquitetura do concreto aparente em Belém**

A cidade de Belém também presenciou os reflexos desta arquitetura “brutalista”, ainda que os arquitetos que as tenham produzido não façam qualquer menção à esta vertente arquitetônica. Os mesmos optaram por utilizar o concreto aparente, como uma alternativa de expressão modernista, coerente com o desenvolvimento tardio desta arquitetura que foi absorvida na cidade.

Fica evidente que a grande influência adquirida pelos profissionais locais tenha vindo da arquitetura produzida pelas referidas escolas, carioca e paulista, mais do que a corrente européia, de fato. No entanto, não há como negar que por meio desse processo evolutivo, iniciado nas discussões na Europa, durante o pós-guerra, as características desta arquitetura, que se desapegava dos materiais de revestimento, foram claramente impressas em algumas obras construídas na cidade a partir da década de 1960.

A arquitetura em concreto aparente foi explorada em Belém, principalmente em edifícios institucionais, nos quais se tirava proveito dos partidos arquitetônicos para imprimir a plasticidade do material bruto.

Um dos precursores dessa arquitetura do concreto aparente em Belém foi o engenheiro e arquiteto Alcyr Meira, que buscou na escola carioca de arquitetura, as influências para a elaboração dos projetos de edifícios do campus universitário profissional da UFPA e da Procuradoria da República, que datam do final da década de 1960.

Nos prédios projetados para o campus da UFPA (Figura 16), Alcyr optou por marcar a estrutura das edificações, mantendo-as em concreto aparente e contrastando com as vedações em alvenaria e esquadrias em madeira.

**Figura 10:** Edifícios do Campus Universitário da UFPA construídos no final da década de 1960.



Já no prédio da Procuradoria da República (Figura 17), projetado com elementos estruturais em concreto aparente, vedação da fachada em painéis de vidro e forro de madeira, o concreto aparente além de exercer sua função estrutural, passou a assumir um apelo plástico, observado principalmente nos pilares presentes na fachada da edificação.

**Figura 11:** Edifício da Promotoria da República projetado pelo engenheiro e arquiteto Alcyr Meira na década de 1960.



Na década de 1970 Alcyr Meira projetou os prédios do Serviço Federal de Processamento de Dados – SERPRO e da Secretaria de Meio Ambiente – SEMA (Figura 18). O primeiro lembra o partido arquitetônico adotado nas edificações da UFPA, cujo concreto aparente foi explorado para fazer a marcação da estrutura da edificação. No segundo, por sua vez, o arquiteto utilizou o concreto aparente como o principal elemento plástico, o qual se faz presente em toda a extensão da fachada do edifício.

**Figura 12:** Edifício do Serviço Federal de Processamento de Dados – SERPRO e da Secretaria de Meio Ambiente – SEMA.



Interessante ressaltar que no edifício da SEMA o concreto foi empregado inclusive em elementos de proteção contra a insidência solar na fachada, como os brises (Figura 19), elementos estes muito presentes na arquitetura desenvolvida pela escola carioca de arquitetura moderna.

**Figura 13:** Brises soleil em concreto aparente no edifício da SEMA.



Alcyr Meira, além de expressar em suas obras características e fundamentos da arquitetura moderna adquiridos na academia de arquitetura, trazia consigo também das frequentes viagens ao Rio de Janeiro, as influências e novidades relacionadas à arquitetura que se desenvolvia naquela cidade. Ele buscava imprimir em seus projetos a essência do modernismo presente nas obras dos profissionais cariocas, o que viria abrir caminho no Pará para diversos outros profissionais fazerem uso do material.

Exemplo disso foi o edifício projetado para abrigar o curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPA (Figura 20), de autoria do arquiteto Armando Couceiro e que data aproximadamente dos anos de 1973/74. O arquiteto se refere a Alcyr como um grande mestre desta tipologia edilícia. Couceiro optou por utilizar o concreto aparente com a finalidade de manter uma unidade arquitetônica no campus, visto que as edificações já existentes – projetadas por Alcyr – já possuíam tal partido.

**Figura 14:** Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPA, de autoria do arquiteto Armando Couceiro.

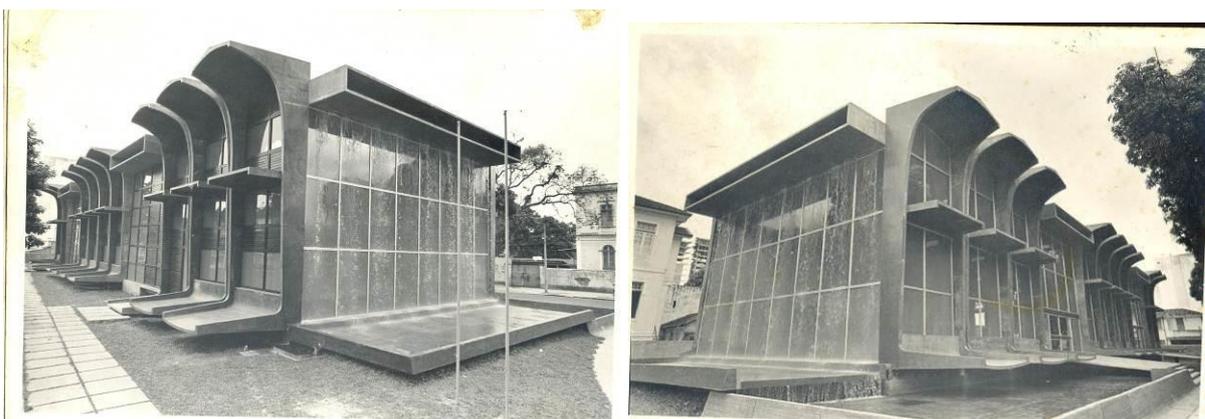


Esta edificação possui uma breve semelhança com o edifício da FAU-USP, projetado pelo arquiteto paulista Vilanova Artigas, o que fica bem evidenciado na laje nervurada em concreto aparente presente no interior da edificação, indicando uma possível influência da arquitetura produzida pela escola paulista de arquitetura moderna. Vale registrar que esta edificação, assim como diversas outras construídas em concreto aparente, acabou recebendo camadas de pintura durante processos de manutenção, mas sua pintura foi retirada a pedido da arquiteta responsável pela obra, Prof. Dra. Thaís Sanjad, de modo que a obra tornasse a ser uma obra genuinamente em concreto aparente.

Outro símbolo emblemático dessa tipologia é o prédio sede do Tribunal de Contas do Estado do Pará (TCE) (Figura 21), construído no final da década de 1960 e início da década de 1970, projetado pelos arquitetos Paulo Chaves e Paulo Cal, que expressa um partido arquitetônico muito semelhante ao de algumas obras desenvolvidas por Niemeyer – que também empregou o concreto aparente em diversas edificações – para a cidade de Brasília.

Um dos autores da obra, o arquiteto Paulo Chaves, recém formado pela primeira turma de arquitetura da Universidade Federal do Pará, quando projetou o edifício, declarou que buscou em Niemeyer as fontes inspiradoras para o desenvolvimento do projeto, e dizia: “afinal, quem não gostaria de ser Niemeyer naquela época?”.

**Figura 21:** Edifício sede do Tribunal de Contas do Estado do Pará.



Fonte: Acervo do Tribunal de Contas do Estado do Pará.

A edificação do TCE foi projetada em concreto aparente e sua estrutura foi trabalhada com bandeijas e platimbandas em arcos. As fachadas apresentam ainda painéis de vidro e uma delas tem cortina d'água. Como resultado obteve-se volumetria explorada com maestria e cujos ritmos quebram as linhas retas e horizontais.

Tanto a edificação, quanto o seu entorno, sofreram modificações ao longo dos anos. O entorno que antes favorecia a apreensão visual do edifício atualmente encontra-se com mais duas edificações anexas, também construídas com sua estrutura em concreto aparente, porém, com características contemporâneas e não são de autoria dos mesmos arquitetos. A edificação sede por sua vez, sofreu

alterações em algumas esquadrias, em parte da sua estrutura interna e recebeu camadas de pintura em tons semelhantes ao do concreto aparente.

Mais adiante, já na década de 1980, essa arquitetura moderna, com ares brutalistas ainda se mantinha viva na cidade. Para as comemorações dos 150 anos do movimento da cabanagem, o arquiteto Oscar Niemeyer tem sua primeira obra construída no norte do país (Figura 22). A construção e a inauguração do monumento em homenagem aos cabanos foi amplamente noticiada nos jornais locais. Não deixava de representar o período de desenvolvimento e progresso da cidade e do país.

O monumento da cabanagem, como é chamada a obra, também foi construída toda em concreto armado aparente compondo então o repertório das obras de grande valor histórico construída nesse período na cidade de Belém.

**Figura 15:** Divulgação da inauguração do Monumento da Cabanagem.



Fonte: Jornal "A Província do Pará" (08/01/1985).

Além destas, outras edificações ainda de autoria e data desconhecida, também foram concebidas e construídas em concreto aparente e destinadas a diversificados usos, dentre as quais uma residência localizada na Avenida Conselheiro Furtado, um prédio que abriga uma agência bancária localizada na Avenida Magalhães Barata; e um edifício situado na Avenida Nazaré (Figura 23).

**Figura 16:** Edificações em concreto aparente.



Em Belém, observa-se também uma produção de edificações em concreto aparente mais contemporâneas, sugerindo, portanto, que o material permanece sendo utilizado até os dias atuais como uma das principais tecnologias construtivas. Dentre estas edificações de caráter contemporâneo se tem o Aeroporto Internacional de Belém, o edifício Eleonor Fernandes e o edifício que abriga a agência do Banco latú.

No Aeroporto Internacional de Belém, projetado pelo arquiteto Sérgio Parada, o concreto foi utilizado em grande parte da sua estrutura e em acabamentos internos. A textura do concreto utilizado no exterior da edificação possui uma aparência mais áspera, com os agregados graúdos expostos, enquanto que na parte interna o acabamento dado ao concreto possui uma aparência mais lisa. Nele, encontram-se ainda áreas que passaram por recomposição com argamassas com tonalidades diferentes das do concreto original (Figura 24).

**Figura 17:** Aeroporto Internacional de Belém.



O edifício Eleonor Fernandes, de autoria do arquiteto Paulo Chaves, localizado na Travessa dos Pariquis, no bairro de Batista Campos, o concreto

aparente foi utilizado tanto como estrutura quanto como vedação. Nesta edificação não foi utilizada alvenaria, sendo todas as paredes executadas em concreto aparente (Figura 25).

**Figura 18:** Edifício Eleonor Fernandes.



A edificação que abriga o banco Itaú, de autoria desconhecida, localizado na Avenida Visconde de Souza Franco foi concebida em concreto aparente, no entanto encontra-se atualmente com o concreto pintado, como tantas outras edificações que também passaram por intervenções como esta (Figura 26).

**Figura 19:** Edifício do Banco Itaú.



No entanto, após anos de exposição ao intemperismo tropical, o concreto aparente da maioria das edificações citadas apresenta diversos problemas de

degradação. Por se tratar de um material que requer cuidados específicos para a limpeza e manutenção, a solução mais simples para efeito de conservação adotada para a maioria das edificações foi a pintura que, por sua vez, compromete o caráter inovador dos conceitos da arquitetura moderna e vai de encontro com os fundamentos adotados por seus arquitetos projetistas.

Da mesma forma, nas situações em que as edificações apresentam lacunas, fissuras, perfurações e partes desgastadas, as intervenções têm sido executadas de forma desastrosa, visto que os materiais empregados para recomposição constituem verdadeiros remendos, interferindo na textura, cor e composição plástica do material, o que acaba por prejudicar a aparência deste que carrega em si a imagem da obra.

### 2.3. A MATÉRIA A SER RESTAURADA: CONCRETO APARENTE

O concreto é um material de larga aplicação na construção civil e é formado a partir de uma mistura feita de cimento, agregados miúdos, graúdos e água, formando uma pasta conhecida desde a antiguidade. Trata-se de um material plástico, moldável, ao qual é possível impor os mais variados formatos. Segundo Benevolo (1976), a partir do final do século XIX o concreto começou a ser usado com uma armadura de aço, dando origem ao concreto armado, e passou a ser utilizado nas edificações. Juntamente com o vidro e o aço, ele constitui o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna, que passaram a ser produzidos em larga escala e viabilizaram a construção de arranha-céus, pontes, estações ferroviárias, etc., formando o cenário característico do mundo modernizado do século XX.

Segundo Ribeiro (2002), a tecnologia do concreto envolve várias fases. A primeira delas se trata da definição da dosagem, ou traço, a qual deve atender às condições requeridas de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, que são propriedades fundamentais deste material. A segunda fase se refere à produção do concreto e envolve o transporte, o lançamento, o adensamento e a cura do mesmo.

Ribeiro (2002) sugere que a dosagem do concreto deve ser feita de modo a buscar a mistura mais econômica e com características capazes de atender às condições de serviço, utilizando os materiais disponíveis.

Dentre os tipos de dosagem, a empírica é baseada na experiência do construtor ou através da utilização de tabelas. Segundo a NBR 6118, a dosagem empírica só é permitida em obras de pequeno porte, respeitando as condições referentes à trabalhabilidade. Esta dosagem está diretamente ligada à fixação da relação água-cimento e depende da resistência de dosagem, das características da obra e da definição de uma trabalhabilidade compatível, tanto com os materiais, quanto com a execução do concreto.

Já a dosagem experimental, requer que os materiais constituintes, bem como o concreto obtido, sejam previamente ensaiados em laboratório. Esta dosagem relaciona o traço do concreto à resistência e trabalhabilidade previstas.

Os métodos de dosagem mais conhecidos são: o método ACI (*American Concrete Institute*), o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), o método IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) e o método INT (Instituto Nacional de Tecnologia).

Com relação aos aditivos químicos, Barata (2007) menciona que tais aditivos tem por função agregar alguns benefícios ao material, como: aceleração, retardo, incorporação de ar, redução da água de amassamento, maior plasticidade, dentre outros. O mesmo autor sugere ainda que as adições minerais como as escórias de alto-forno e a cinza volante, também proporcionam aumento de desempenho ao material, como por exemplo, na resistência final do concreto, na impermeabilidade e na durabilidade a alguns ataques químicos. Além disso, podem reduzir o calor gerado a partir da hidratação do cimento, o qual pode ocasionar fissuras de origem térmica.

Quanto à produção do concreto, Ribeiro (2002) indica que esta pode ser feita de forma manual ou mecânica, ou seja, feita em betoneiras. O tempo de produção é variável, sendo determinado pela homogeneização do concreto, uma vez que a pasta de cimento deve necessariamente envolver os grãos de areia e o agregado gráudo. A falta dessa homogeneidade pode levar ao decréscimo da resistência mecânica e da durabilidade do material.

As propriedades do concreto no estado fresco (trabalhabilidade, exsudação, segregação e pega) devem ser observados e monitorados, vistos que são propriedades que influenciam diretamente na resistência e durabilidade do material.

A trabalhabilidade, segundo Barata (2007), é determinada pela facilidade e homogeneidade com a qual o concreto fresco pode ser misturado, transportado, adensado e acabado e não deve apresentar excessiva segregação e exsudação.

A exsudação por sua vez, consiste na sedimentação dos constituintes mais pesados do concreto, formando uma película de água na superfície do concreto. Segundo Barata (2007), essa exsudação pode ser reduzida ou eliminada com uma dosagem apropriada de finos, ou seja, aumento no consumo de cimento ou de adições minerais como pozolanas ou aditivos incorporadores de ar.

Já a segregação é caracterizada pela separação dos agregados graúdos da mestrura resultando numa massa não uniforme e é um dos responsáveis pelo surgimento de vazios no concreto, que acabam por reduzir a resistência além de facilitar o ingresso de agentes agressivos (BARATA, 2007).

Após terminada a fase da produção do concreto, o material é lançado nas formas que devem ser previamente preparadas para receber este, que posteriormente deverá ser adensado, ou seja, compactado e eliminados os vazios da massa, aumentando a resistência, a impermeabilidade e a durabilidade do concreto endurecido. O adensamento é realizado através de vibradores de imersão na massa e deve ser feito na medida certa, visto que tanto a falta quanto o excesso de vibração são prejudiciais ao concreto.

A cura deste requer alguns cuidados, a fim de evitar que a água utilizada na mistura do concreto evapore, já que ela deve reagir com o cimento.

### **2.3.1. Composição**

#### **2.3.1.1. Cimento**

O cimento *Portland* é o aglomerante mais utilizado na construção civil. Trata-se de um pó fino acinzentado, que é constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, que uma vez misturado a água, é capaz de desenvolver elevada resistência mecânica. Sua composição é formada substancialmente por óxidos de silício, de cálcio, de alumínio e de ferro.

As principais fontes de CaO são os calcários, mármore e até conchas do mar, enquanto que as fontes de sílica e alumina são as argilas e xistos argilosos. Já

os óxidos de ferro, que além de possuírem propriedades fundentes e formarem compostos com o CaO e o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, provém da própria argila, pirita e minérios de ferro (MEHTA; MONTEIRO *apud* BARATA, 2007).

Segundo Velho (2005), o cimento *Portland* foi criado pelo engenheiro francês Louis Vicat (1786-1861), em 1817, quando obteve o cimento a partir da mistura de argila com calcário finamente moído e posteriormente cozendo essa mistura. No entanto, a mistura foi cozida a uma temperatura de 1000<sup>0</sup>C, incapaz de formar o silicato tricálcico, componente este essencial para a propriedade de resistência mecânica do cimento. Somente em 1824, o inglês Aspidim obteve um cimento de melhor qualidade, após cozer a mistura a uma temperatura de 1400<sup>0</sup>C.

Velho (2005) cita ainda que a denominação *Portland* vem de um comentário de John Smeaton, por volta de 1756, em que afirmava que com o cimento por ele produzido, se obtinha um material semelhante no que diz respeito a cor, solidez e durabilidade, ao calcário da ilha inglesa de Portland. Velho (2005) define, portanto, que o cimento portland é um aglomerante obtido pela pulverização do clínquer.

O clínquer, por sua vez, se origina a partir da fusão seguida pelo arrefecimento da mistura de matérias-primas calcárias e argilosas, homogeneizada e dispersa, que se aglomeram em grânulos. Suas partículas variam de diâmetro entre 3 e 20mm, e possuem cerca de 20% a 30% de uma fase vítrea. Seu alto teor de ferro o leva a ter uma coloração escura e é um produto duro, que ao ser moído e adicionado água, endurece rapidamente. Para retardar a pega, adiciona-se ao clínquer gesso (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), numa proporção de 4% a 5%. Barata (2007) descreve o processo de produção e transformação como:

“O clínquer do cimento é produzido a partir da britagem, moagem e mistura das matérias primas que constitui a farinha (processo via seca) ou a pasta (via úmida), que posteriormente é aquecida em um forno rotatório entre 1.300-1.450<sup>0</sup>C. A energia necessária para a formação do clínquer varia de 730-800Kcal/kg a 1.400-1.500 Kcal/kg de clínquer produzido. A seqüência das reações é a seguinte: Na temperatura de 100<sup>0</sup>C, a água livre é evaporada. Na zona de calcinação (100<sup>0</sup>-750<sup>0</sup>C), a água de cristalização dos argilominerais é perdida. Na zona de transição (750<sup>0</sup>- 1.000<sup>0</sup>C), o carbonato de cálcio é destruído, gerando CaO e dióxido de carbono CO<sub>2</sub>. Entre 1.000<sup>0</sup> e 1.450<sup>0</sup>C (zona de queima) ocorre a fusão parcial da mistura, com a formação dos silicatos tricálcico (3CaO.SiO<sub>2</sub>) e dicálcico (2CaO.SiO<sub>2</sub>), principais constituintes do clínquer. Na zona de resfriamento (1.450-1.300<sup>0</sup>C) há a cristalização do material fundido, com a formação do aluminato de cálcio e do ferroaluminato de cálcio. O clínquer formado durante a queima é resfriado e moído conjuntamente com 4 a 5% de gesso de modo a alcançar a finura desejada para cada tipo de cimento. Eventualmente são adicionados no processo de moagem compostos

polares para melhorar o rendimento desta etapa (WOLTER, 1985; TAYLOR, 1992 apud BARATA, 2007).”

As matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento consistem em fontes de CaO, geralmente na forma de CaCO<sub>3</sub> (calcários, mármore e conchas), e argila, que possui a função de fornecer o equilíbrio em sílica e alumina. O ferro é outra matéria-prima utilizada e é o agente fundente. Além disso, o gesso entra como fonte de SO<sub>3</sub>, a fim de controlar o tempo de pega. Esse gesso pode ser natural ou sintético, como subproduto de centrais energéticas. Estas matérias-primas geralmente possuem impurezas, que devem ser controladas, visto que uma vez aplicadas em quantidades excessivas, podem provocar a expansão e falência do cimento (VELHO, 2005).

Segundo Barata (2007), o cimento *Portland* possui quatro fases principais, sendo elas o silicato tricálcico (3CaO.SiO<sub>2</sub> ou simplesmente C<sub>3</sub>S), o silicato bicálcico (2CaO.SiO<sub>2</sub> ou C<sub>2</sub>S), o aluminato tricálcico (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou C<sub>3</sub>A) e a fase ferrita ou ferroaluminato tetracálcico (4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou C<sub>4</sub>AF). As funções destas quatro fases principais na composição do cimento estão descritas a seguir:

- Silicato tricálcico (C<sub>3</sub>S): representa de 50% a 90% do clínquer, forma-se a temperaturas acima de 1.250<sup>o</sup> C pela reação do C<sub>2</sub>S com o CaO. É responsável pelo rápido desenvolvimento de resistência e reage rapidamente com a água. Devido a sua grande liberação de calor de hidratação, pode causar retração hidráulica intensificando o risco de fissuração;
- Silicato bicálcico (C<sub>2</sub>S): constitui de 10% a 40% do clínquer e possui maior capacidade de incorporar outros íons de que o C<sub>3</sub>S, além de reagir com a água lentamente. Inicia a reação de hidratação lentamente após dias e, portanto, tem pega e endurecimento lentos. Além disso, libera pouca quantidade de calor de hidratação, diminuindo o risco de retração e fissuração;
- Aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A): corresponde de 5% a 10% do clínquer e, devido a sua capacidade de reagir rapidamente com a água, geralmente ocasiona problemas como pega instantânea, exceto se adicionado agentes reguladores de pega, como o gesso;
- Fase ferrita (C<sub>4</sub>AF): Está presente no clínquer de 5% a 15%. Sua taxa de reação com a água é variável, mas em geral é alta inicialmente.

Quanto aos tipos de cimento encontrados atualmente no Brasil, a maioria possui adição mineral<sup>2</sup> incorporada a sua mistura a fim de reduzir os custos energéticos gastos com a produção do clínquer. Sua classificação segue na tabela 01.

**Tabela 1:** Relação de Cimentos Portland.

<b>Cimento</b>	<b>Classes de resistência (MPa)</b>	<b>Clínquer + sulfatos (%)</b>	<b>Escória (%)</b>	<b>Pozolana (%)</b>	<b>Materiais carbonáticos (%)</b>
CP I (NBR 5732/91)	25-32-40	100			0
CP I-S (NBR 5732/91)	25-32-40	99-95			1-5
CP II-E (NBR 11578/91)	25-32-40	94-56	6-34		0-10
CP II-Z (NBR 11578/91)	25-32-40	94-76		6-14	0-10
CP II-F (NBR 11578/91)	25-32-40	94-90			6-10
CP III (NBR 5735/91)	25-32-40	65-25	35-70		0-5
CP IV (NBR 5238/91)	25-32	85-45		15-50	0-5
CP V-ARI (NBR 5733/91)	-----	100-95			0-5

Sendo:

- CP I: Cimento Portland Comum;
- CP II: Cimento Portland Composto;
- CP III: Cimento Portland de Alto Forno;
- CP IV: Cimento Portland Pozolânico;
- CP V – ARI: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

A cor do cimento vem dos óxidos de ferro e manganês que ele possui, variando desde o branco, quando estes óxidos estão em teores inexpressivos

<sup>2</sup> São materiais mais ou menos silicosos finamente moídos com propriedades pozolânicas (Ensaio de Pozolanidade), adicionados ao cimento em substituição ao clínquer ou ao concreto em quantidades relativamente grandes, com o objetivo de modificar algumas de suas propriedades. Já os materiais pozolânicos são considerados rochas sedimentares de natureza ácida, contendo um elevado teor de sílica ativa (SiO<sub>2</sub>), capaz de reagir com o óxido de cálcio (CaO), originando silicatos amorfos de características cimentantes.

( $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,8\%$  e  $\text{MnO} < 0,02\%$ ), passando pelos diversos tons de cinza à medida que vão aumentando. Outro fator importante para determinar a cor cimento é o tipo e o teor das adições que ele apresenta. O cimento pozolânico produzido com cinza volante dá como resultados, concretos de tonalidades escuras, que aumentam de intensidade conforme o aumento do teor de adição. Os produzidos com pozolanas naturais ou artificiais podem gerar concretos com tonalidades avermelhadas. O cimento de Alto Forno por sua vez, apresenta tonalidade cinza esverdeada podendo haver variações a depender do teor e procedência da escória. O concreto produzido com este tipo de cimento, ao entrar em contato com a atmosfera pode perder essa cor, tornando-se mais claro que concretos produzidos com cimentos portland comuns (SILVA, 1995).

Vale ressaltar que é comum encontrar os mesmos tipos de cimento com tonalidades diferentes, uma vez que, a cada produção do cimento, por não possuírem as mesmas fontes de matéria prima, podem haver variações de coloração.

Além disso, a execução de concretos aparentes com cimento contendo adições precisa ser bastante controlada, visto que, as mesmas podem alterar a cor do concreto.

#### 2.3.1.2. Agregados

Os agregados do concreto representam cerca de 60% a 80% do volume da mistura e influenciam na massa específica, no módulo de deformação e na estabilidade dimensional do concreto, assim como na durabilidade. Os agregados graúdos são maiores que 4,75mm e os miúdos menores que 4,75mm. Os agregados naturais são geralmente constituídos por areia, seixos e pedras britadas, enquanto que os sintéticos são argilas expandidas, escórias metalúrgicas e cinza volante (BARATA, 2007).

Velho (2005) descreve as britas como pedras britadas provenientes de arenitos, granitos, dioritos, gabro e basaltos. Suas propriedades físicas estão ligadas à sua resistência mecânica, à compressão e à abrasão e sua qualidade depende da textura da rocha, a qual determina a força das ligações intergranulares. As britas mais resistentes são aquelas provenientes de rochas ricas em quartzo. Já as

provenientes de rochas ígneas com textura vítrea ou muito porosa são pouco resistentes.

Velho (2005) sugere ainda que as rochas metamórficas como os quartzitos e mármoreos dão bons agregados. Os gnaisses, por sua vez, se tiverem baixos conteúdos de micas, também são considerados bons agregados. Já no caso das rochas sedimentares, quanto maior o grau de cimentação, e menor o conteúdo em argila, melhores são os agregados dela derivados.

A areia é também largamente empregada como agregado, porém ao contrário das britas, é classificada como agregado miúdo. Quanto a sua composição, Velho (2005), decreve que:

“as areias são constituídas predominantemente por quartzo que, sendo um mineral frequente na maioria das rochas granulares, pela sua dureza, durabilidade e insolubilidade, é um componente desejável nos agregados finos. Associados ao quartzo, encontram-se outros minerais e componentes não minerais, tais como: micas, minerais argilosos, cherte e carvão que diminuem a qualidade do agregado. O contaminante mais importante das areias e que limita as suas aplicações é o ferro, sob a forma de óxidos e hidróxidos, que costuma revestir exteriormente a superfície das partículas, ou preencher as pequenas frecturas das partículas.”

A qualidade da areia deve ser criteriosamente controlada, visto que em caso de estar suja com argila, micas e matéria orgânica e/ou revestidas por carbonatos de cálcio e ferro, podem impedir que se estabeleça uma ligação perfeita entre cimento e partícula mineral, comprometendo a durabilidade do material, que ficará mais vulnerável às tensões e ao desgaste.

### **2.3.2. Durabilidade**

O concreto é um material sólido e de elevada resistência, mas não é um sólido perfeito e indestrutível, pois internamente possui uma fina rede de poros formada pela água utilizada para hidratação do cimento, que ao evaporar, deixa vazios que favorecem a penetração de substâncias agressivas como o CO<sub>2</sub> (gás Carbônico), Cl<sup>-</sup> (Cloro), O<sub>2</sub> (Oxigênio) e H<sub>2</sub>O, os quais interferem diretamente na durabilidade do material.

Bauer (2012) considera que durabilidade está condicionada pelo eventual ataque de agentes agressivos a que o material está sujeito durante a sua vida em serviço. Tais agentes podem levar ao desenvolvimento progressivo de desordens

que conduzem a uma desagregação da estrutura. Entretanto, tais processos destrutivos podem ser interrompidos sanando-se as causas da destruição progressiva.

Mehta; Monteiro (2001) definem que a durabilidade do concreto de cimento portland é estabelecida por sua capacidade de resistir à ação do clima, aos ataques químicos, à abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, ou seja, um concreto durável mantém sua forma original e qualidade mesmo exposto às ações do meio ambiente. No entanto, reiteram que nenhum material é inerentemente durável, visto que as propriedades deste mudam com o tempo, resultantes das interações do meio ambiente com a sua microestrutura.

Silva (1995) ressalta que no estudo de durabilidade do concreto devem ser analisados o meio ambiente no qual o concreto está inserido, a qualidade da camada de superfície e a permeabilidade<sup>3</sup>, a qual depende do tamanho, distribuição e continuidade dos poros da pasta, da permeabilidade dos agregados, da zona de transição pasta/agregado, do lançamento, adensamento e cura do concreto. Bauer (2012) acrescenta que a permeabilidade é consequência da relação água/cimento, da proporção de finos presentes na mistura, do eventual emprego de aditivos e mesmo das camadas superficiais de proteção.

Bertolini (2010) destaca também que a resistência de uma estrutura à ação dos agentes agressivos depende das propriedades do concreto e sobretudo da sua capacidade de bloquear a sua penetração e descreve alguns fatores que influenciam na resistência do concreto à penetração dos agentes agressivos:

- relação água/cimento (a/c): fator chave para determinar a porosidade capilar da pasta de compostos de cimento e, assim, a resistência à penetração dos agentes agressivos;
- tipo de cimento e adições: as adições pozolânicas ou de escória de alto-forno influenciam na melhora da resistência à penetração dos íons agressivos (em particular,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ); os cimentos compostos têm efeitos benéficos em relação ao ataque por sulfatos e à reação álcali-agregados e são caracterizados por um baixo calor de hidratação;

---

<sup>3</sup> NOTA: Permeabilidade é entendida como sendo a propriedade que governa a velocidade do fluxo de um fluido para dentro de um material sólido. (SILVA, 1995)

- cura: uma cura inadequada compromete a hidratação do cimento e leva a uma porosidade capilar elevada, sobretudo no cobrimento. Pode gerar uma camada superficial fraca, porosa e permeável, vulnerável ao ingresso de várias substâncias agressivas;
- aditivos: os superfluidificantes são indispensáveis para obter um concreto fresco trabalhável, caso se requeira uma baixa relação a/c para garantir a resistência à compressão ou os requisitos de durabilidade;
- consistência: a trabalhabilidade do concreto deve ser especificada na fase do projeto, para evitar o risco de má compactação ou de acréscimo de água no canteiro de obras;
- resistência à compressão: além de ser requerida por razões estruturais, está correlacionada às exigências de durabilidade;

De acordo com Galletto (2005), outro aspecto importante na questão da durabilidade é relativo a temperatura, uma vez que tal fator é diretamente responsável pela velocidade das reações químicas. Galletto (2005) indica ainda que as questões da deterioração química nas estruturas situadas em países de clima equatorial e tropical são mais graves que nas estruturas similares localizadas em países de clima temperado, devido as altas temperaturas observadas em tais localidades.

No entanto, assim como o meio ambiente e a temperatura estão relacionados à durabilidade do material, Silva (1995) e Galletto (2005) chamam a atenção para a questão do micro-clima que pode acarretar diferentes manifestações patológicas em estruturas localizadas em um mesmo ambiente e/ou em partes diferentes de uma mesma estrutura. Ou seja, uma edificação que está inserida em um determinado macro ambiente pode ter partes de sua estrutura sujeitas a diferentes condições de exposição, apresentando diferentes tipos e graus de danos.

Galletto (2005) conclui então que a durabilidade e conseqüentemente a vida útil de uma estrutura de concreto deve ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo que consiste na concepção, projeto, fabricação de materiais e componentes, execução e durante a etapa de uso da estrutura, a realização de manutenções preventivas e corretivas,

as quais desempenham papel fundamental no prolongamento da vida útil da estrutura de concreto.

#### 2.4. PRINCIPAIS CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E SEU PROCESSO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Segundo Bertolini (2010), Mehta e Monteiro (2012) a degradação do concreto pode ser consequência de vários fenômenos. A ação do meio ambiente nas estruturas de concreto armado pode determinar um dano progressivo no concreto, que pode ser do tipo físico – ou mecânico – e/ou químico. No caso do tipo físico, há uma degradação direta do concreto, que pode ocorrer tanto na pasta de compostos de cimento como nos agregados, dependendo da causa, podendo induzir inclusive a corrosão das armaduras.

Outros fatores como o projeto da estrutura, a mistura do concreto ou a execução da obra se não forem feitos corretamente, podem ocasionar uma degradação precoce da estrutura.

Galletto (2005) indica que as causas da deterioração de origem física são agrupadas em duas categorias: a deterioração por causa do desgaste superficial e a fissuração.

A deterioração devido ao desgaste superficial ocorre com a perda progressiva de massa a partir da superfície do concreto, que pode ser decorrente da abrasão, da erosão e da cavitação<sup>4</sup>.

De acordo com Bertolini (2010), a fissuração, que é um dos mais frequentes sintomas patológicos, é decorrente de falhas de projeto ou de execução do concreto, podendo manifestar-se após anos, semanas ou mesmo após algumas horas. Sua causa pode derivar dos seguintes fatores:

- Presença de retração restringida, seja na fase plástica (retração plástica, nas primeiras horas depois do lançamento), seja ao final da cura (retração higrométrica); a retração dimensional do concreto (ou dos aglomerantes), logo

---

<sup>4</sup> NOTA: Abrasão se refere ao atrito seco; Erosão é um termo normalmente usado para descrever o desgaste pela ação abrasiva de fluidos contendo partículas sólidas em suspensão; Cavitação é a perda de massa pela formação de bolhas de vapor e sua subsequente ruptura em virtude das mudanças repentinas de direção em águas que fluem com alta velocidade (GALLETTO, 2005).

após a secagem, aumenta quando cresce a relação água/cimento (a/c), do teor de cimento, quando diminui a quantidade e o módulo de elasticidade dos agregados etc., quando a retração é bloqueada – por vínculos externos ou pelas armaduras – criam-se tensões no concreto que podem causar sua fissuração;

- Acomodação plástica, devido a acomodação do concreto depois do adensamento, em geral nos pontos de contato com as armaduras;
- Calor de hidratação, em grandes lançamentos, pode determinar um aquecimento maior do núcleo com relação a zona superficial (que troca calor com o ambiente), suficiente para gerar tensões capazes de fissurar o concreto; o calor de hidratação depende do tipo de cimento empregado (é menor no caso de cimentos de hidratação mais lenta, como os pozolânicos) e da dosagem do cimento.

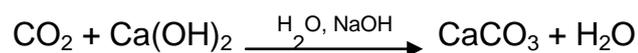
Segundo Bertolini (2010), tais processos mesmo quando não produzem danos relevantes na estrutura, favorecem a penetração dos agentes agressivos e tornam a estrutura mais vulnerável à subsequente ação do ambiente. Estes fenômenos podem ser previstos na fase de projeto e podem ser prevenidos com um planejamento correto da composição do concreto.

Com relação a deterioração do concreto por causas químicas, Mehta e Monteiro (2012) indicam que o processo destrutivo se dá por interações químicas entre agentes agressivos presentes no meio externo e os constituintes da pasta de cimento, dentre as quais destacam-se:

- Ataque por sulfatos: Os íons de sulfato podem penetrar no concreto quando este está em contato com águas ou solos nos quais são dissolvidos tais íons. Quando os sulfatos reagem com os componentes da matriz de cimento, gera produtos expansivos. Podem, assim, produzir-se dilatações que, partindo das arestas e dos ângulos das peças, geram fissuras e desagregação do concreto. Em geral, o ataque por sulfatos ocorre em três estágios: a penetração dos íons de sulfato na matriz de cimento; sua reação com o hidróxido de cálcio para formar gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); a reação do gesso com os aluminatos para resultar em compostos expansivos como a etringita ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ). A dimensão do ataque depende tanto do

teor de sulfatos no solo e na água em contato com o concreto como das características do concreto. A agressividade do ambiente, obviamente, aumenta à medida que cresce o teor de sulfatos. Em ambientes contendo sulfato, uma baixa permeabilidade do concreto é a melhor defesa contra este tipo de ataque; a penetração dos sulfatos e o ataque consequente podem ser reduzidos pela diminuição da relação a/c ou pelo emprego de cimentos com adições pozolânicas (BERTOLINI, 2010).

- Hidrolise dos componentes da pasta de cimento: águas contendo pouco ou nenhum íon de cálcio, quando em contato com a pasta de cimento portland, causam a lixiviação do hidróxido de cálcio expondo outros componentes cimentícios à decomposição química. Esse processo leva o concreto a uma perda de resistência e afeta também a sua estética, pois o produto lixiviado, interagindo com o CO<sub>2</sub> presente no ar, resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície (MEHTA E MONTEIRO, 2012).
- Carbonatação: o dióxido de carbono presente na atmosfera pode reagir com os compostos alcalinos presentes na solução dos poros do concreto (NaOH, KOH), mas também na matriz de cimento sob a forma de Ca(OH)<sub>2</sub> (portlandita) e de sílico-aluminatos hidratados. A reação de carbonatação, que se produz em solução aquosa através de várias reações intermediárias pode ser representada conforme a seguinte reação:



A carbonatação leva o pH da solução dos poros a valores próximos da neutralidade, logo o aço do concreto carbonatado não fica mais protegido pelo filme de passividade. Logo, o aço despassivado torna-se suscetível à corrosão, com uma velocidade que dependerá das condições de exposição ambiental. Além disso, a carbonatação ao gerar alterações na estrutura da pasta de cimento, aumenta a sua tendência à fissuração (BERTOLINI, 2010; SILVA, 1995; MEHTA e MONTEIRO, 2012).

- Ação dos sais à base de cloreto: Os sais à base de cloreto são perigosos, sobretudo porque, penetrando no concreto, podem induzir a corrosão das armaduras. Em algumas circunstâncias, podem até ter efeitos negativos diretamente sobre o concreto. O cloreto de sódio pode estimular a reação

álcali-agregado, determinando o aumento do teor de sódio ou da concentração de íons  $\text{OH}^-$  (determinada por reações entre cloretos e os produtos de hidratação). O cloreto de cálcio, quando está presente nas soluções extremamente concentradas, pode exercer uma ação desagregadora sobre a pasta de compostos de cimento.

Além destes, outros fenômenos patológicos são descritos por Bertolini (2010) e Mehta e Monteiro (2012):

- Desagregação: caracteriza-se pela perda do caráter conglomerante do cimento, levando a uma perda de coesão do concreto e reduzindo assim sua resistência mecânica. Pode indicar a ocorrência de ataque químico pela ação de sulfatos e/ou cloretos;
- Disgregação: caracteriza-se pela ruptura do concreto, em geral nas regiões salientes da peça. Um dos motivos mais frequentes deste fenômeno é a corrosão das armaduras. A elevada pressão exercida pela camada expansiva do óxido dá lugar a um forte estado tensional no concreto;
- Ninhos de concretagem: é comum confundir ninhos de concretagem com segregação. A segregação surge pelo mau planejamento da concretagem (por exemplo, lançamento do concreto de altura inadequada e concreto excessivamente plástico), ocasionando uma separação entre a argamassa e os agregados. Os ninhos de concretagem podem surgir por mau adensamento, altas taxas de armadura, como por exemplo, em pé de pilar, ou por incompatibilidade de dimensões do agregado graúdo, impedindo a passagem do concreto em determinadas regiões resultando em espaços sem preenchimento não só de pasta, mas também do agregado graúdo surgindo "buracos" ao longo da peça.

## 2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA PROCEDIMENTO DE RESTAURAÇÃO DO CONCRETO APARENTE

### 2.5.1. Manutenção preventiva e corretiva

Uma das melhores formas de se fazer a manutenção e proteção do concreto aparente é revesti-lo com proteções que visem aumentar a sua vida útil, inclusive em ambientes agressivos, evitando a penetração de água, gás carbônico, oxigênio e cloretos.

A escolha dos revestimentos protetores de superfície devem atender a critérios como a sua capacidade de resistir à absorção de água; a profundidade de penetração no concreto; a aptidão em ser refeito em intervalos regulares; a sua estabilidade em longo prazo em meio ácido e alcalino; sua estabilidade de cor a fim de não manchar e modificar a cor do concreto tratado.

Silva (1995) indica que há dois tipos de revestimentos protetores, que alteram minimamente o aspecto superficial natural do concreto que são os revestimentos hidrófugos ou repelentes, e revestimentos impermeabilizantes<sup>5</sup>.

Para receber estes tipos de revestimentos protetores, o concreto deve ser preparado com uma limpeza da sua superfície, que pode ser feita por hidrojateamento, lixamento grosso com lixadeira elétrica e lixamento fino manual com lixa d'água. A superfície também deverá estar seca e isenta de poeira, óleo, gordura, produtos desmoldantes, etc.

Procedimentos de reparos e limpeza também devem ser feitos constantemente nas obras em concreto aparente, evitando inclusive que danos maiores exijam intervenções mais complexas e custosas.

A limpeza e restauração de componentes ou elementos estruturais danificados deve ser executada de forma cuidadosa e planejada, visto que o problema pode se tornar mais visível que anteriormente. Deve ser feita

---

<sup>5</sup> NOTA: Os hidrófugos de superfície são também conhecidos como hidrofugantes ou repelentes. Os revestimentos hidrofugantes agem mudando a tensão capilar do substrato e não formam película superficial. O substrato que tende a succionar a água, ao receber o hidrófugo, tende a repeli-la. Este tipo de revestimento não altera o aspecto do substrato e mantém os poros abertos, permitindo assim a passagem do vapor de água. Suas moléculas agem nos poros capilares. Os revestimentos impermeabilizantes ao contrário dos hidrofugantes, atuam formando uma barreira contínua, que consiste de uma película superficial com baixa permeabilidade a gases, vapor de água e água.

periodicamente, o que pode favorecer o aumento da vida útil do concreto, bem como melhorar a sua aparência. A periodicidade da limpeza varia em função da poluição atmosférica em que o edifício está inserido, da textura do concreto, dentre outros fatores.

Silva (1995) recomenda que o primeiro passo para se efetuar uma limpeza consiste em identificar as substâncias que causaram a mancha, para posteriormente definir qual o método a ser adotado, de modo que não altere a textura e a cor da camada de superfície.

O método de limpeza ou tratamento depende do objetivo e da profundidade do trabalho e podem consistir numa lavagem com água a baixa ou alta pressão, escovagens, soluções de compostos químicos, jatos de ar ou areia, e limpeza a quente.

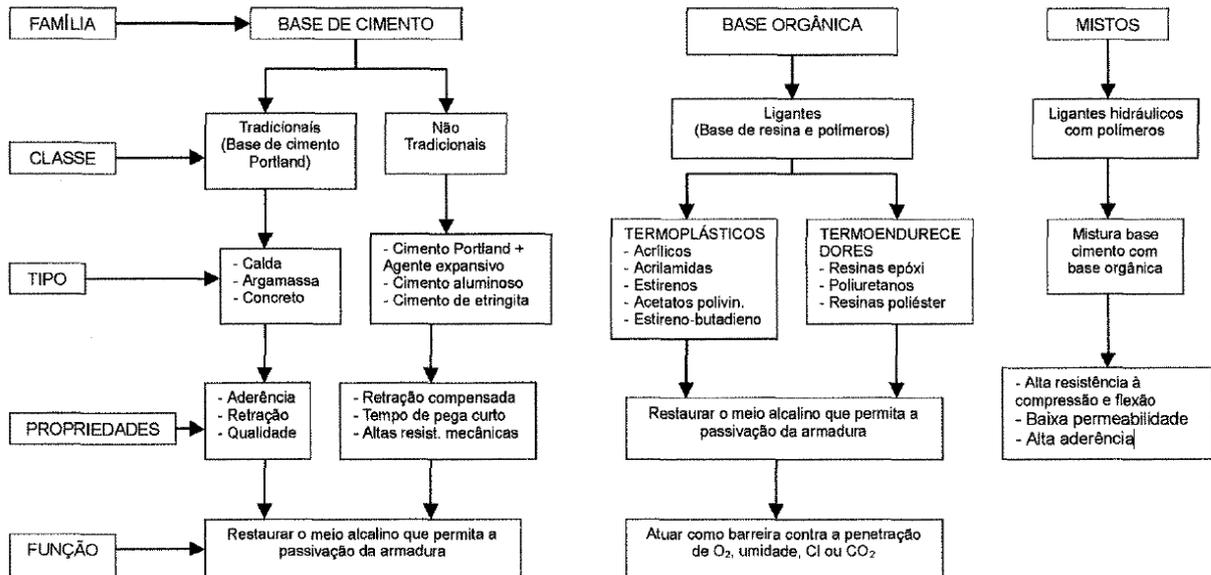
Todos os métodos devem ser controlados e previamente testados em áreas que não comprometam a apreensão visual e estética da edificação, visto que o jato de areia, por exemplo, pode alterar a textura e coloração da camada de superfície, assim como a utilização de algumas substâncias químicas pode provocar a diluição desta camada além de manchá-la.

Quando há a necessidade de reparos em áreas que apresentam lacunas, devem-se utilizar argamassas resistentes e que proporcionem uma boa aderência ao substrato, de modo que resultem em um reparo durável. Do mesmo modo, estas argamassas deverão ter uma coloração semelhante a do concreto original, minimizando assim impactos visuais na estética da edificação.

### **2.5.2. Argamassas como materiais de restauro**

Galletto (2005) descreve que os materiais para restauro de estruturas de concreto podem ser divididos em três grupos, os materiais à base de cimento; os materiais cujo aglomerante orgânico é à base de polímeros termoestáveis; e os materiais com aglomerantes mistos formados por cimento portland e polímeros termoplásticos (Figura 27). Para a presente pesquisa será abordada apenas as argamassas de base cimentícia como material de restauro.

Figura 20: Materiais e sistemas de reparo.



Fonte: Galletto, 2005.

É comum se utilizar argamassa como material de restauro para concretos danificados que queiram recoposição da camada superficial da estrutura.

Bertolini (2010) indica que as propriedades requeridas do material de restauro em estado fresco dependem da espessura do cobrimento, ou seja, se a espessura do cobrimento for elevada, pode-se empregar formas e o material deve ter uma consistência fluida e ser aderente, de modo a preencher os espaços no interior das formas sem segregar. No entanto, quando a espessura do cobrimento é baixa, o material pode ser aplicado manualmente.

Ainda segundo Bertolini (2010), o material deve ter uma boa aderência ao substrato de concreto, aderência esta que está relacionada ao preparo do substrato, às propriedades do material de restauro e à compactação durante a sua aplicação. Além disso, para limitar o risco de perda de aderência, ou para evitar que o material apresente sinais de deterioração precoce, a argamassa deverá ter um módulo de elasticidade semelhante ao do concreto, tornando-os compatíveis.

As prescrições necessárias para as argamassas devem ser baseadas em ensaios que devem ser feitos antes da sua aplicação, para verificação da sua viabilidade. Os ensaios devem objetivar a avaliação da consistência e as propriedades mecânicas da argamassa, por meio de ensaios voltados para o estudo

do comportamento da argamassa em curto prazo (resistência à compressão, aderência à tração, módulo de elasticidade, etc.).

### **2.5.3. Pontes de aderência**

De acordo com Galletto (2005) a resistência da ponte de aderência é dada por dois fatores: adesão e atrito.

A adesão é influenciada pela rugosidade da superfície da junta, pelo tratamento da superfície da junta, pelo método de aplicação do material de restauro, uso de agentes de ligação dentre outros fatores.

O atrito por sua vez é influenciado pelo tamanho e forma dos agregados, pela rugosidade da superfície, pela resistência à compressão do concreto e pela tensão normal de compressão.

Para a presente pesquisa foi utilizada a junta seca e adesivos à base de epóxi como ponte de aderência.

- Adesivos à base de epóxi

Segundo Smith; Hashemi (2012), as resinas epóxi são de uma família de materiais poliméricos termofixos que não formam produtos de reação quando são tratados (ligação cruzada) e então possuem baixa contração. Também possuem satisfatórias: adesão em outros materiais, resistência química e ambiental, propriedades mecânicas e propriedades de isolamento elétrico.

Para formar materiais termofixos sólidos, as resinas epóxi devem ser tratadas usando agentes de ligação cruzada e/ou catalisadores para desenvolverem as propriedades desejadas.

Para a cura na temperatura ambiente, na qual os requisitos de calor para materiais sólidos de epóxi são baixos (abaixo dos 100° C), aminas, tais como triamina dietileno e tetramina trietileno são usados como agentes de cura. Algumas resinas epóxi são unidas por ligações cruzadas usando um reagente de cura, enquanto outras podem reagir com seu próprio local de reação se um catalisador apropriado estiver presente (SMITH; HASHEMI, 2012).

Com relação a sua estrutura e propriedades, o baixo peso molecular de resinas epóxi não tratadas no estado líquido lhes fornece uma excepcional mobilidade durante o tratamento. Esta propriedade permite às resinas líquidas de epóxi penetrar as superfícies de modo completo e rápido. Esta ação de penetração é importante para epóxis usadas em materiais de reforço e adesivos.

Segundo a ASTM C 881, a classificação das resinas epoxídicas são classificadas da seguinte forma:

- Tipo I: para aplicação em estruturas não portantes na ligação entre concretos endurecidos;

- Tipo II: para aplicação em estruturas não portantes na ligação entre concreto fresco e concreto endurecido;

- Tipo III: para aplicação como ligante entre materiais antiderrapantes e concretos endurecidos e como ligante em argamassas ou concretos epoxídicos usados em superfícies sujeitas a movimentações térmicas ou mecânicas;

- Tipo IV: para aplicação em estruturas portantes na ligação entre concretos endurecidos e outros materiais e como ligante para argamassas epoxídicas e concretos;

- Tipo V: para aplicação em estruturas portantes na ligação entre concreto fresco e concreto endurecido;

- Tipo VI: para ligação e selagem de elementos pré-fabricados com cordoalhas internas e para o levantamento tramo-a-tramo de elementos com protensão temporária;

- Tipo VII: para aplicação como selante não estrutural para elementos pré-fabricados quando se faz o levantamento tramo-a-tramo sem protensão temporária.

Para a utilização dos adesivos epoxídicos como ponte de aderência, alguns cuidados devem ser tomados, tais como: a superfície do concreto deve estar limpa, isenta de poeira, graxa e totalmente seca.

Após misturar os componentes do adesivo, o mesmo deve ser aplicado ainda pegajoso, obedecendo o tempo de manuseio especificado pelo fabricante, levando-se em consideração que esse tempo varia em função da temperatura ambiente.

# **MATERIAIS E MÉTODOS**

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos do trabalho, este foi desenvolvido em três diferentes etapas que correspondem: 1) Pesquisa Histórica; 2) Pesquisa de Campo; 3) Investigação Laboratorial.

A primeira etapa, referente à Pesquisa Histórica foi realizada por meio de investigação em fontes primárias, bibliográficas e entrevistas com os arquitetos e/ou engenheiros responsáveis pelas obras estudadas, resultando em um repertório teórico que se divide em diferentes linhas de assuntos. Uma linha foi desenvolvida com base em dados históricos acerca do processo de implantação e disseminação dos conceitos modernistas nas construções em Belém até à consolidação das construções em concreto aparente, bem como do atual estado de conservação destas edificações. A outra linha consistiu em informações acerca da matéria a ser restaurada, o concreto aparente, identificando qual a sua composição, quais fatores interferem no seu processo de degradação e indicações técnicas para preservação e conservação do material.

A etapa da Pesquisa de Campo foi realizada com base nas entrevistas e na pesquisa histórica, e teve por finalidade estabelecer as edificações a serem estudadas neste trabalho e sua amostragem. Foram escolhidas três edificações: Tribunal de Contas do Estado do Pará (TCE), Memorial da Cabanagem e Atelier de Arquitetura da UFPA. A seleção destas edificações ocorreu por apresentarem diferentes tipos de acabamento (realizados em manutenções ocorridas ao longo dos anos), por viabilizarem a coleta de amostras e por serem ícones da arquitetura do concreto aparente construídos em Belém.

Localizado na Travessa Quintino Bocaiúva, nº 1585, no bairro de Nazaré, o edifício do TCE (1970) (Figura 28), também chamado de Palácio Serzedello Corrêa, foi projetado pelo arquiteto Paulo Chaves, que se refere à edificação como uma das primeiras construções em concreto aparente em Belém. Atualmente, o concreto se encontra coberto em partes por uma película de resina protetora, a qual já apresenta sinais de danos provocados pela ação intempérica, e partes coberto por pintura, igualmente danificada.

**Figura 21:** Fachada Principal do Tribunal de Contas do Estado do Pará.



Para a coleta das amostras no TCE foram escolhidas áreas nas quatro fachadas do edifício, bem como na sua cobertura, de modo a obter amostras com diferentes tipos de textura e sujeitas a diferentes situações de microclima. Foram coletadas seis amostras nomeadas T1, T2, T3, T4, T5 e T6. A localização e descrição das amostras seguem nas Figuras 29 e 30.

**Figura 22:** Identificação dos locais onde foram coletadas as amostras do Tribunal de Contas do Estado do Pará.



**Figura 23:** Quadro com apresentação e descrição das amostras do Tribunal de Contas do Estado do Pará.

Amostra	Área da coleta da Amostra	Amostra	Descrição
T1			Amostra coletada na fachada lateral direita da edificação. O bloco já estava solto da edificação. A amostra apresenta textura lisa e uma cobertura de resina.
T2			Amostra coletada na marquise da fachada lateral esquerda da edificação. A amostra apresenta textura rugosa, com agregados miúdos expostos.
T3			Amostra coletada na fachada lateral direita da edificação, próxima ao gradil do espelho d'água. Nesta área, o concreto apresenta uma textura impressa pela formas de madeira.
T4			Amostra coletada na fachada posterior da edificação, ao lado da porta de acesso posterior. A textura desta amostra é rugosa, mas não apresenta agregados expostos.
T5			Amostra coletada na fachada lateral esquerda da edificação, no piso da cortina d'água, com textura lisa.
T6			Amostra coletada na cobertura da marquise da fachada principal. Apresenta textura rugosa, com agregados expostos.

O Memorial da Cabanagem (Figura 31), localizado no complexo viário do Entroncamento, foi projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer, a primeira dele na região norte brasileira. O monumento foi desenvolvido a pedido do então governador Jader Barbalho, para a comemoração dos 150 anos da Cabanagem, que aconteceu em 7 de janeiro de 1985.

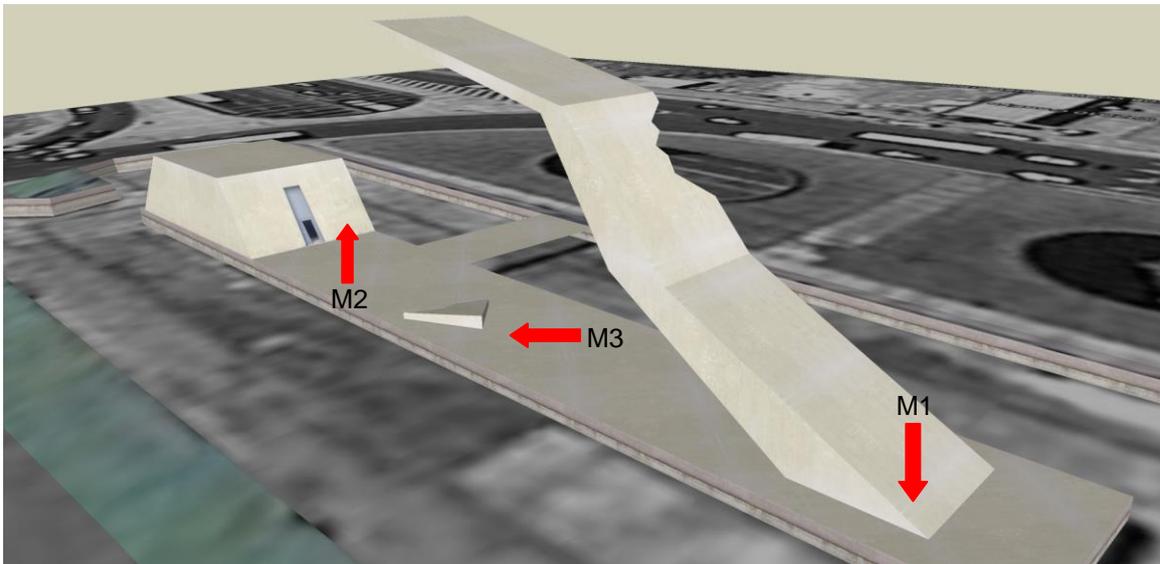
**Figura 24:** Memorial da Cabanagem projetado por Oscar Niemeyer.



O Memorial da Cabanagem representa a luta heróica do povo cabano, que foi um dos movimentos mais importantes de todo o Brasil. A rampa elevada representa a grandiosidade da revolta popular e a fratura faz alusão à ruptura do processo revolucionário. Trata-se de uma obra de cerca de 15 metros de altura por 20 metros de comprimento, construída em concreto armado aparente.

As três partes que compõem a obra possuem texturas semelhantes, com a superfície lisa, sem agregados graúdos expostos, porém com algumas áreas apresentando poros e marcas de formas de madeira. Foram retiradas três amostras, nomeadas de M1, M2 e M3, uma de cada parte do conjunto (Figuras 32 e 33), respeitando as áreas que já apresentavam sinais de degradação. Por se tratarem de amostras de tamanho reduzido, estas apresentaram apenas uma superfície de textura lisa.

**Figura 25:** Identificação dos locais onde foram coletadas as amostras do Memorial da Cabanagem.



**Figura 26:** Quadro com apresentação e descrição das amostras do Memorial da Cabanagem.

Amostra	Área da coleta da Amostra	Amostra	Descrição
M1			Amostra coletada no monumento que representa uma mão.
M2			Amostra coletada no prédio do monumento, ao lado da porta principal.
M3			Amostra coletada na parte do monumento que representa um bloco caído no chão.

O Atelier de Arquitetura e Urbanismo da UFPa (Figura 34) está localizado no campus profissional da Cidade Universitária José Silveira Neto. Foi projetado pelo arquiteto Armando Diogo Couceiro Filho e data aproximadamente dos anos de 1973/74.

**Figura 27:** Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFPa.

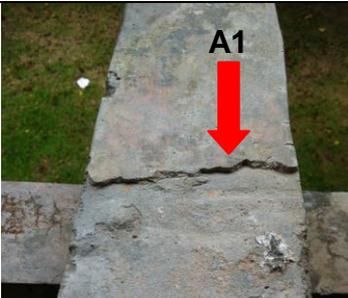
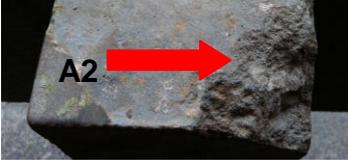


Também se trata de uma obra em concreto aparente, que segundo o arquiteto Armando Couceiro, a escolha deste material está relacionada à composição estética dos demais prédios construídos na universidade, de modo a buscar uma unidade estética no campus. Couceiro explica que o concreto aparente era um material utilizado na época por influências do movimento da arquitetura modernista que vinha sendo desenvolvida no Brasil.

O prédio atualmente está com o concreto aparente exposto, sem qualquer camada de pintura ou revestimentos, conforme citado no capítulo anterior. A textura do material é lisa e não possui marcas de formas ou agregados, o que pode ser resultante da aplicação de uma fina camada de nata de cimento aplicada sobre o concreto para uniformizar a sua superfície.

Desta edificação foram coletadas duas amostras nomeadas A1 e A2, retiradas de parte do guarda-corpo externo que já estava danificada (Figura 35).

**Figura 28:** Quadro com apresentação e descrição das amostras do Atelier de Arquitetura da UFPA.

Amostra	Área da coleta da Amostra	Amostra	Descrição
A1			Amostra coletada da camada superficial do guarda-corpo da área externa.
A2			Amostra coletada em camada mais interna do concreto do guarda-corpo da área externa.

A terceira etapa da pesquisa, chamada de Investigação Laboratorial, foi realizada em duas frentes de trabalho. A primeira frente teve como objetivo a identificação e caracterização (física, mineralógica e química) das amostras coletadas nas edificações para que se pudesse conhecer as diversas características do material como o tipo de acabamento, o tipo de agregado, a cor e resistência, e assim propor um material de restauração compatível visual e tecnologicamente.

A segunda frente foi desenvolvida com amostras produzidas em laboratório, e está descrita no passo-a-passo abaixo e apresentada na Figura 36:

**1º passo:** aquisição dos cimentos e agregados disponíveis no mercado;

**2º passo:** estabelecimento dos traços a serem utilizados nas produções das argamassas;

**3º passo:** produção de argamassa;

**4º passo:** seleção e limpeza das áreas a serem restauradas (*in loco*);

**5º passo:** escolha das argamassas a serem aplicadas usando a cor como referência;

**6º passo:** produção e preparo das bolachas de concreto para simulação do substrato;

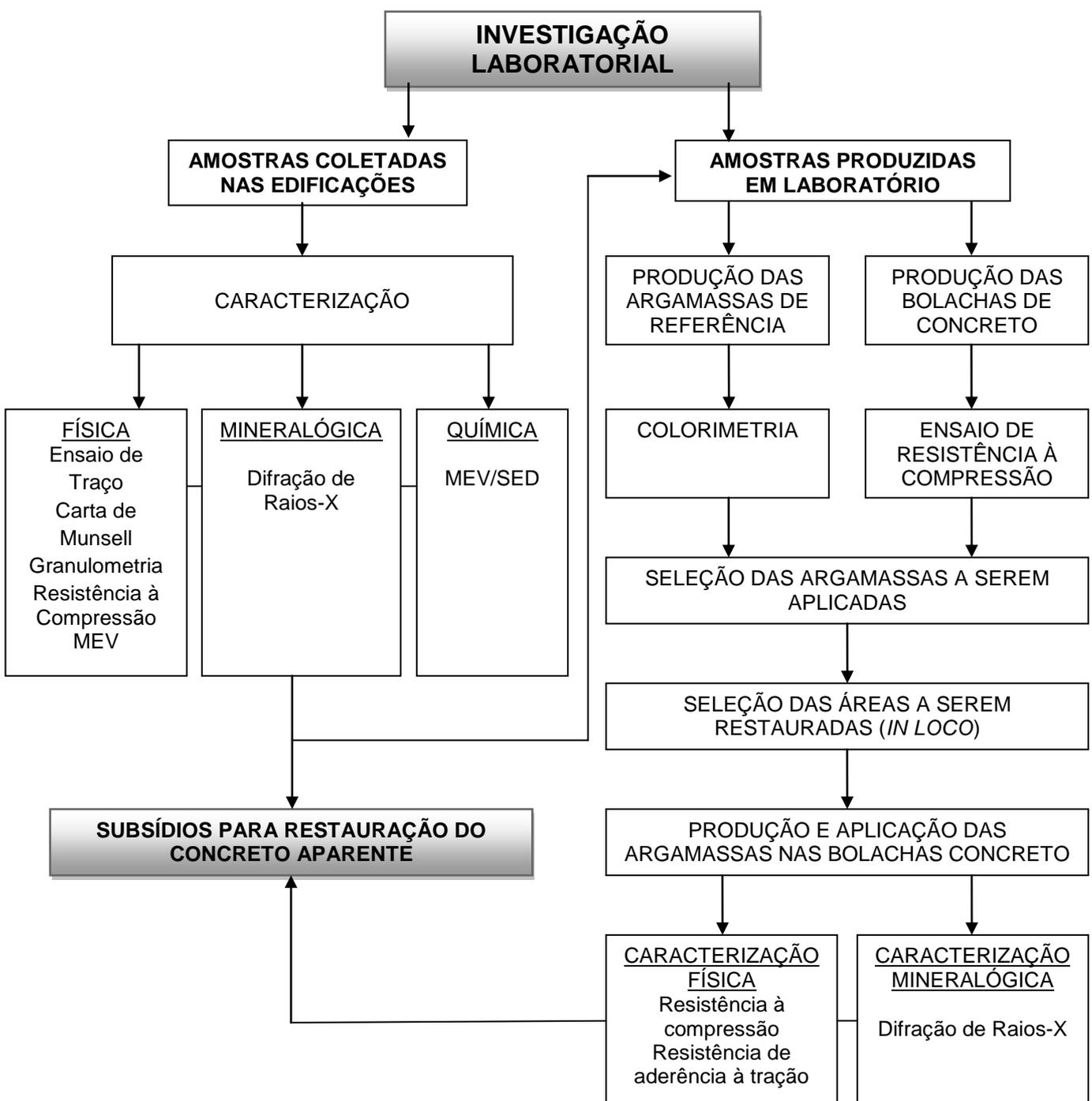
**7º passo:** aplicação das argamassas nas bolachas de concreto;

**8º passo:** caracterização física: colorimetria, ensaios de resistência à compressão e resistência de aderência à tração;

**9º passo:** caracterização mineralógica por difração de raios-x;

**10º passo:** estabelecimento dos subsídios para restauração do concreto aparente.

**Figura 29:** Organograma da terceira etapa da pesquisa, referente ao processo de investigação laboratorial.



### 3.1. ANÁLISES LABORATORIAIS PARA ARGAMASSA ANTIGA

As análises laboratoriais para verificar as características físicas e composições mineralógicas e químicas tanto das amostras coletadas nas edificações quanto das amostras produzidas em laboratório foram realizadas em diversos centros de pesquisa.

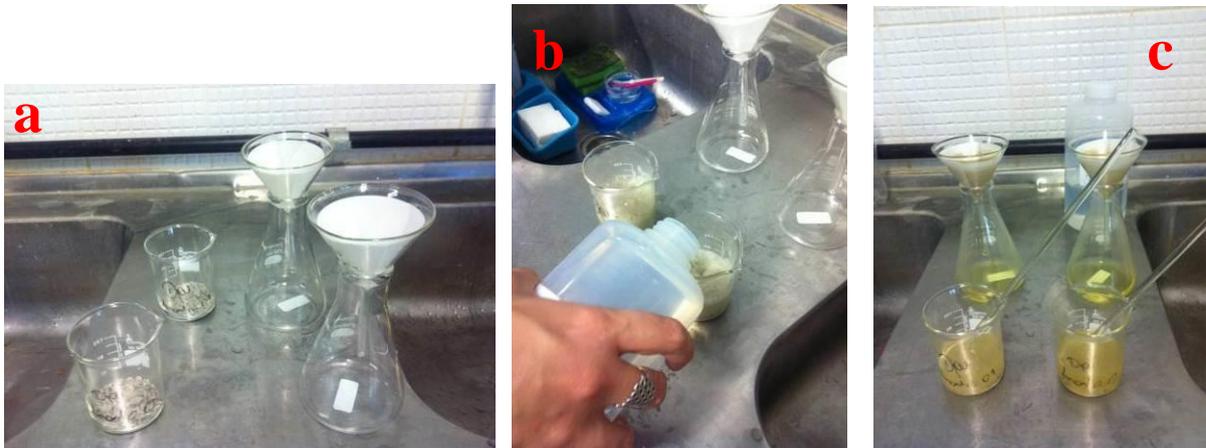
A caracterização mineralógica e química foi realizada no Laboratório de Caracterização Mineral e Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura respectivamente, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (CG-UFGPA). Os ensaios para caracterização física das amostras foram desenvolvidos no Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE/ITEC), Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia (NTPR/UFBA), Laboratório de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (LAMIGA/CG/UFGPA) e Laboratório de Engenharia Civil da UFGPA.

As análises e métodos utilizados para caracterização das amostras coletadas nas edificações, com sua respectiva preparação estão descritos a seguir:

- Ensaio de traço mais provável.

De acordo com Teotonico (1988), o ensaio de traço mais provável (Figura 37) tem por finalidade determinar os teores dos materiais empregados na dosagem da argamassa de concreto, possibilitando a reconstituição mais semelhante possível da argamassa original. O ensaio consiste em atacar os carbonatos da amostra com solução de ácido clorídrico, para dissolução do aglomerante. Assim, pode-se determinar a quantidade de resíduos insolúveis em ácido clorídrico (agregados), bem como a quantidade de carbonato de cálcio, visando quantificar a proporção cimento:areia. Vale ressaltar que esta análise é utilizada para argamassas de cal, areia e barro e foi adaptada para argamassa de cimento.

**Figura 30:** Imagens do ensaio de traço: (a) amostras preparadas para receber o ácido clorídrico (HCl); (b) solução HCl na proporção 1:4; (c) filtragem da amostra diluída em HCl.



O procedimento do ensaio constituiu no seguinte:

1. A amostra foi desagregada de forma a não quebrar os grãos de areia;
2. Foi colocada na estufa por vinte e quatro horas à temperatura de aproximadamente 75°C para retirar a umidade da amostra;
3. Depois foi pesado em balança analítica aproximadamente 10g da amostra;
4. A amostra foi depositada em um béquer de 100ml previamente pesado e depois se umedeceu com água deionizada;
5. Adicionou-se cerca de 80ml de ácido clorídrico diluído em água deionizada na proporção 1:4;
6. Foi verificado se o ligante foi totalmente dissolvido adicionando uma gotas de ácido clorídrico concentrado até que não haja mais formação de efervescência;
7. A água deionizada acrescentada no béquer foi agitada para que as partículas finas ficassem em suspensão e as grossas no fundo do recipiente;
8. Em seguida, se despejou o líquido com as partículas em suspensão sobre o papel de filtro, previamente pesado;
9. A filtragem foi repetida adicionando água deionizada e agitando a amostra até que a água de lavagem ficasse limpa;
10. Foram colocados na estufa o béquer com os resíduos grossos e o papel de filtro com os finos por vinte e quatro horas a temperatura de aproximadamente 75°C;

11. Após esfriar em um dessecador , o material foi pesado em balança analítica anotando as pesagens. Calculou-se o percentual dos finos e dos grossos, para identificar o traço mais provável da argamassa.

- Granulometria

#### Granulometria da Areia:

O ensaio de granulometria (Figura 38) da areia tem por finalidade determinar as porcentagens dos tamanhos das partículas do agregado estudado, e a partir dos resultados obtidos, é possível construir a curva granulométrica. O ensaio é feito com a utilização de um jogo de peneiras e balança.

**Figura 31:** Imagens do ensaio de granulometria: (a) jogo de peneiras utilizada no ensaio; (b) areia retidas nas peneiras; (c) pesagem do material.



O procedimento do ensaio constituiu no seguinte:

1. Foi pesado o conjunto de peneiras ASTM (*American Society for Testing Materials*) de nº 16, 35, 60, 100 e 200 após limpas e secas, anotando o peso de cada uma para depois montá-las na ordem do menor número para o maior;
2. Pesou-se a amostra seca (os grossos que ficaram no béquer do teste de traço mais provável);
3. A amostra foi despejada no conjunto de peneiras montadas, mais precisamente na de nº 16;
4. Agitou-se por cerca de cinco minutos;
5. Foi desmontado o conjunto de peneiras para depois pesar uma a uma com o que ficou retido da amostra nelas;
6. Foi calculado o percentual de amostra retida em cada peneira;

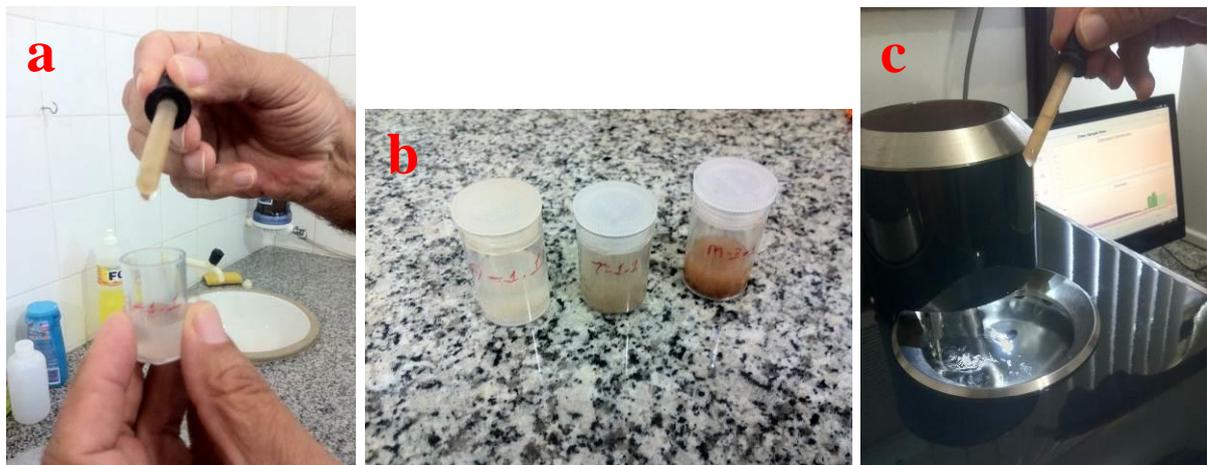
7. Por fim foi traçada a curva granulométrica obtida de acordo com padrão ASTM, onde:

- A peneira mesh nº 16 retém areia grossa;
- As peneiras mesh nº 35 e mesh nº 60 retém areia média;
- As peneiras mesh nº 100 e mesh nº 200 retém areia fina;
- O recipiente abaixo da peneira mesh nº 200 retém silte e/ou argila (>200)

Granulometria dos finos obtidos após ensaio de traço mais provável:

A granulometria dos finos obtidos após o ensaio de traço foi analisada por meio da utilização do granulômetro a laser Analyssete 22 – Wet Dispersion Unit da marca Fritsch. A análise tem por finalidade determinar as porcentagens dos tamanhos das partículas, e gerar uma curva granulométrica do material(Figura 39).

**Figura 32:** Imagens do ensaio de granulometria: (a) pirofosfato sendo aplicado na amostra (b) finos reagindo com pirofosfato; (c) equipamento recebendo amostra para análise.



Segue abaixo descrição do ensaio:

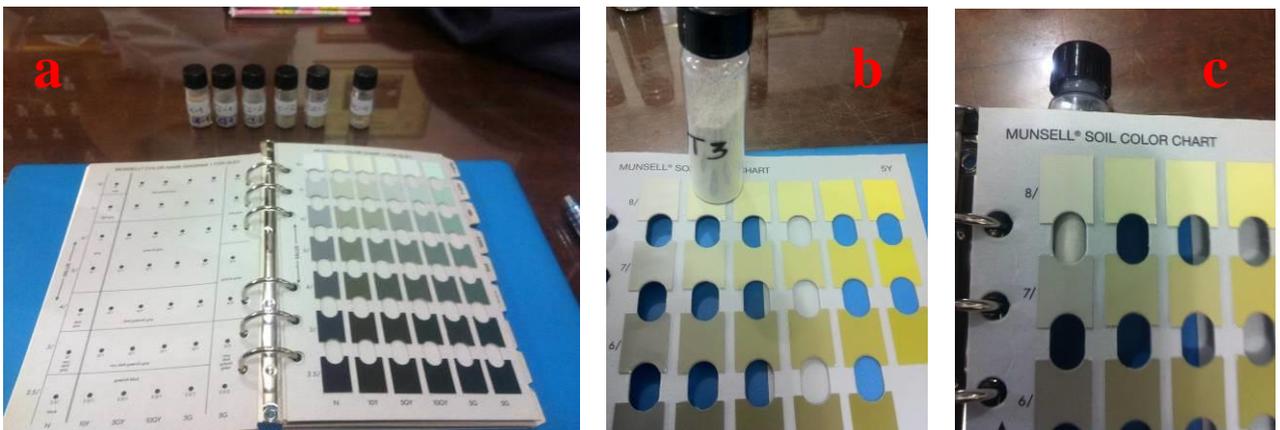
1. Os finos retidos no papel de filtro após o ensaio de traço foram pulverizados em grau de ágata;
2. Adicionou-se a eles água destilada e duas gotas de pirofosfato, a fim de evitar que as partículas se aglomerassem ;
3. A solução permaneceu reagindo por vinte e quatro horas;
4. Em seguida, agitou-se a amostra para que a solução ficasse homogênea;

5. Foi despejada então a solução no equipamento de leitura a laser e determinação da curva granulométrica, sendo os diâmetros dos grãos classificados da seguinte forma:

- Argila: 0,01 a 2 d [ $\mu\text{m}$ ];
- Silte: 2 a 50 d [ $\mu\text{m}$ ];
- Areia: 50 a 1000 d [ $\mu\text{m}$ ];
- Carta de Munsell

Para a classificação das tonalidades das amostras coletadas foi utilizada a Carta de Munsell (Figura 40), que é uma base cadastral comumente utilizada na designação de cores do solo. Nesta carta constam o matriz, o valor (tonalidade) e o croma (intensidade). O matriz refere-se a relação entre os pigmentos de cor amarela e vermelha enquanto que o valor indica a proporção de branco e preto no solo. O procedimento é feito de forma prática, por meio da comparação visual da amostra seca com as cores presentes na carta.

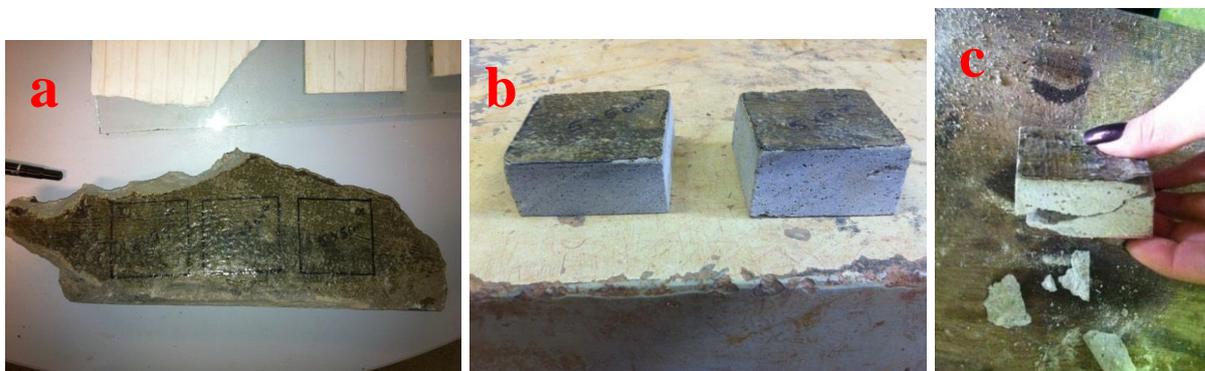
**Figura 33:** Carta de Munsell: (a) Carta de Munsell e amostras que serão analisadas; (b) amostra sendo comparada às tonalidades sugeridas na Carta de Munsell; (c) tonalidade escolhida para a amostra analisada.



- Ensaio para determinação da resistência à compressão.

A fim de se descobrir a resistência do concreto utilizado nas edificações estudadas, uma das amostras coletadas no edifício do TCE foi submetida ao ensaio de resistência à compressão (Figura 41). A partir do resultado deste ensaio foi possível determinar a resistência para a produção das bolachas de concreto que foram utilizadas como substrato nas etapas de aplicação da argamassa.

**Figura 34:** Ensaio de Resistência à Compressão: (a) Amostra coletada no TCE; (b) amostra após ser laminada e transformada em dois cubos; (c) amostra rompida após aplicação do ensaio.



Segue abaixo a descrição do procedimento:

1. A amostra coletada no TCE recebeu uma marcação com a finalidade de orientar os cortes realizados em tamanhos previamente estabelecidos;
2. Em seguida, a amostra foi levada para a laminação, resultando em dois cubos de tamanhos iguais;
3. Por fim, os dois cubos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

- Difração de Raios-X

Para a realização da difratometria de raios-X, as amostras coletadas nas edificações foram pulverizadas e preparadas com os devidos instrumentos no Laboratório de Caracterização Mineral (LCM), do Instituto de Geociências – UFPa.

Após serem preparadas, as amostras foram analisadas no mesmo laboratório, em difratômetro modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60) da PANalytical, com goniômetro PW3050/60 ( $\theta/\theta$ ), tubo de raios X cerâmico com anodo de Cu ( $K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$ ), modelo PW3373/00, foco fino longo (2200 W- 60 kV), filtro  $K\beta$  de níquel. O intervalo de varredura contínua utilizado foi de 5 a  $45^\circ 2\theta$ . E as interpretações dos difratogramas foram feitas utilizando o *software X'PERT High Score* da PHILIPS.

- Microscopia Eletrônica de Varredura / EDS

As análises de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no Laboratório de microscopia eletrônica de varredura do Instituto de Geociências – UFPa, por meio da utilização do equipamento da marca LEO, modelo 1430 VP.

As amostras foram metalizadas com Platina (Pt) no metalizador da marca EMITECH K550X, o qual metaliza as amostras a partir da interação entre um alvo de Au, Pt ou C puro e íons de ar (gás argônio), a uma pressão de  $2.10^{-1}$  mbar, com corrente de 25 mA durante 02'30", depositando uma camada de espessura média de aproximadamente 15 nm sobre as amostras.

As análises químicas semi-quantitativas foram obtidas através do sistema de energia dispersiva acoplado ao MEV, utilizando aceleração de voltagem de 20kV.

### 3.2. ANÁLISES PARA AMOSTRAS PRODUZIDAS EM LABORATÓRIO

As análises e métodos utilizados para produção, aplicação e caracterização das amostras produzidas em laboratório, por sua vez, estão descritos a seguir:

Para a definição das argamassas de referência, primeiramente procurou-se adquirir cimentos de diferentes tipos e fabricantes disponíveis no mercado (resultando em seis tipos distintos), bem como a areia, para que a partir de então fosse estabelecido o traço e produzida as argamassas.

A areia passou ainda por uma caracterização, por meio da utilização de jogo de peneiras e agitador mecânico para definição da curva granulométrica (Figura 42).

**Figura 35:** Caracterização da areia: (a) Jogo de peneiras; (b) agitador mecânico; (c) areia separada por módulo de finura.



- Produção das argamassas de referência.

A produção das argamassas se iniciou com o estabelecimento dos seguintes traços:

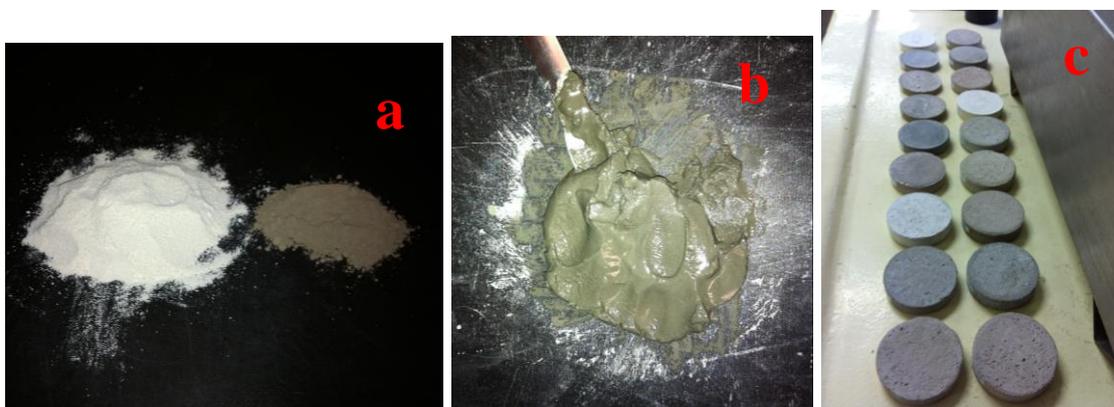
- Traço 1:3 (cimento:areia): o primeiro traço foi aplicado com a utilização dos cimentos e areia branca adquiridos comercialmente, resultando em seis amostras;

- Traço 1:3 (cimento:areia queimada e pulverizada): para a produção do segundo traço, foram utilizados os seis tipos de cimento adquiridos e a areia foi levada ao forno, a 1000°, e posteriormente pulverizada, buscando assim obter um agregado livre de matéria orgânica e com granulometria mais fina, objetivando obter uma argamassa com textura mais lisa;

- Nata de cimento: o terceiro “traço” estabelecido foi uma nata de cimento e água. Este “traço” foi considerado relevante para o trabalho tendo em vista a declaração dos construtores das obras estudadas, os quais relataram que após a construção da obra, era comum a aplicação de uma nata de cimento para dar o acabamento final no concreto aparente.

Foram produzidas argamassas de referência, as quais foram moldadas em em formas com 6 cm de diâmetro e curadas ao ar livre (Figura 43).

**Figura 36:** Produção das Argamassas de Referência: (a) areia e cimento na proporção 1:3; (b) argamassa no estado fresco; (c) 18 amostras das argamassas de referência já curadas.



- Colorimetria – Cartela de Cores

O ensaio de colorimetria tem por finalidade avaliar a cor das amostras, traduzindo essa cor em números e realiza as leituras das amostras por reflectância.

O equipamento da marca Minolta é composto por um processador de dados, um canhão de leitura, uma placa de calibração, e um acessório para utilização de leituras de produtos líquidos, o qual não precisou ser utilizado nesta pesquisa, visto que as amostras eram todas sólidas.

A aplicação do ensaio consiste na inserção da amostra no canhão de leitura, posteriormente deve-se acionar a tecla Measure para em seguida os resultados serem mostrados no display do equipamento (Figura 44).

**Figura 37:** Ensaio de Colorimetria: (a) equipamento da marca Minolta; (b) amostra da argamassa inserida no canhão de leitura; (c) resultados exibidos no display do equipamento.



A interpretação dos valores obtidos se dão com base nas seguintes referências:

**L:** mede a claridade da amostra e varia de 0 a 100, onde 0= preto total e 100= branco total;

**a+:** tendência da cor para o vermelho;

**a-:** tendência da cor para o verde;

**b+:** tendência da cor para o amarelo;

**b-:** tendência da cor para o azul.

Para a seleção das áreas a serem restauradas nas edificações em estudo foi determinado que a área a ser selecionada já deveria estar degradada apresentando lacunas (Figura 45).

**Figura 38:** Seleção das áreas a serem restauradas: (a) Tribunal de Contas do Estado do Pará; (b) Memorial da Cabanagem; (c) Atelier de Arquitetura - UFPa.



- Preparo e limpeza do substrato

Após a escolha das áreas a serem restauradas, foi realizado um processo de preparo e limpeza do concreto a fim de se obter a coloração mais aproximada do concreto original, visto que o concreto das edificações apresentou sinais de sujeira e camadas de películas de tinta e/ou proteção superficial do concreto (Figura 46).

**Figura 39:** Preparo e limpeza do substrato: (a) remoção das camadas de resina de proteção do concreto; (b) lixamento com lixadeira elétrica; (c) lixamento com lixa d'água; (d) limpeza com auxílio de pincel.



O processo foi realizado da seguinte forma:

1. Remoção das camadas de pintura e resina de proteção do concreto aparente;
2. Lixamento com auxílio de lixadeira elétrica da marca Bosch;
3. Lixamento fino com utilização de lixas d'água com variadas numerações;
4. Limpeza com a utilização de uma escova com cerda de aço;
5. Limpeza fina com a utilização de pincel com cerdas sintéticas.

- Seleção das Argamassas

Após a limpeza do concreto aparente e a obtenção da coloração mais aproximada do material originalmente executado, foi realizada a seleção das argamassas que possuíam a cor mais próxima do concreto de cada edifício. As argamassas de referência produzidas em laboratório foram comparadas *in loco*, selecionando-se aquela que possuía a tonalidade mais parecida com a do concreto original (Figura 47). Logo, para cada edifício foi selecionada uma argamassa.

**Figura 40:** Seleção das argamassas: (a) Tribunal de Contas do Estado do Pará; (b) Memorial da Cabanagem; (c) Atelier de Arquitetura - UFPa.



Vale ressaltar que o concreto aparente das edificações por ter sido executado há algumas décadas, já passou por processos de transformação e degradação, apresentando portanto colorações pigmentadas e não homogêneas, diferentemente das argamassas de referência, que são materiais novos e de coloração homogênea. Logo, as cores das argamassas selecionadas têm uma coloração aproximada e não exatamente idêntica a do concreto original.

- Produção das “bolachas de concreto”

Para simular o substrato de concreto aparente para aplicação das argamassas, foram preparadas “bolachas de concreto” e em seguida, tratadas as suas superfícies de modo que a metade apresentasse a superfície lisa e a metade a superfície rugosa (Figura 48). Durante a produção das bolachas foram formados corpos de prova cilíndricos para posterior avaliação da resistência do concreto.

**Figura 41:** Produção das “bolachas de concreto”: (a) preparo das “bolachas” nas formas cilíndricas; (b) “bolachas” prontas para aplicação das argamassas e corpos de prova cilíndricos preparados para ensaio de resistência à compressão; (c) “bolachas” superfície lisa e rugosa.



A produção das “bolachas de concreto” se deu da seguinte forma:

1. Determinação da resistência do concreto a ser produzido;
2. Dosagem do concreto;
3. Preparação e pesagem do material usado na produção do concreto;
4. Mistura do concreto realizada em betoneira elétrica;
5. Após a mistura ficar pronta, foi despejada em formas de pvc para cura do concreto, resultando em 12 “bolachas”;
6. Foram preparados quatro corpos de prova cilíndricos 10 X 20 cm submetidos ao ensaio de determinação da resistência à compressão;
7. Após a cura do concreto a metade das “bolachas” foi apicoada na sua superfície com o a utilização de talhadeira, até o agregado graúdo ficar exposto, a fim de se obter uma superfície rugosa.

O cálculo da dosagem do concreto segue abaixo:

- Resistência de dosagem do concreto

$F_{cj28} = 25 \text{ MPa}$

- Traço Piloto (1:5,0)

$$\alpha = 51\% \text{ (teor de argamassa seca)}$$

$$a = \alpha (m+1) - 1$$

$$a = 0,51 (5+1) - 1$$

$$a = 2,06$$

$$m = a+p$$

$$p = m - a$$

$$p = 5 - 2,06$$

$$p = 2,94$$

$$40 \text{ Kg (seixo)} \text{-----} 2,94$$

$$a \text{ -----} 2,06$$

$$a \text{ (areia)} = 28,0 \text{ Kg}$$

$$40 \text{ Kg -----} 2,94$$

$$C \text{ -----} 1$$

$$C \text{ (cimento).} = 13,60 \text{ Kg}$$

$$\frac{a}{c} = x \implies \frac{a}{c} = 0,6 \text{ (ábaco de dosagem)} \implies \text{água} = 8,20 \text{ Kg}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cimento} = 13,60 \text{ Kg} \\ \text{Areia} = 28,0 \text{ Kg} \\ \text{Seixo} = 40,0 \text{ Kg} \\ \text{Água} = 8,2 \text{ Kg} \end{array} \right\} \quad \boxed{1 : 2,06 : 2,94 : 0,6}$$

$$\alpha = 51\% \longrightarrow \text{Slump (80 +- 20)mm} \longrightarrow \text{Não foi alcançado.}$$

$$\alpha = 53\% \text{ (teor de argamassa seca)}$$

$$a = \alpha (m+1) - 1$$

$$a = 0,53 (5+1) - 1$$

$$a = 2,18$$

$$m = a+p$$

$$p = m - a$$

$$p = 5 - 2,18$$

$$p = 2,82$$

$$40 \text{ Kg (seixo)} \text{-----} 2,82$$

$$a \text{ -----} 2,18$$

$$a \text{ (areia)} = 31,0 \text{ Kg}$$

$$40 \text{ Kg -----} 2,82$$

$$C \text{ -----} 1$$

$$C \text{ (cimento).} = 14,20 \text{ Kg}$$

$$\frac{a}{c} = x \implies \frac{a}{c} = 0,6 \text{ (ábaco de dosagem)} \implies \text{água} = 8,50 \text{ Kg}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cimento} = 14,2 \text{ Kg} \\ \text{Areia} = 31,0 \text{ Kg} \\ \text{Seixo} = 40,0 \text{ Kg} \\ \text{Água} = 8,5 \text{ Kg} \end{array} \right\} \quad \boxed{\text{Traço Piloto (1:5,0)} \\ 1 : 2,18 : 2,82 : 0,6}$$

$\alpha = 53\% \longrightarrow \text{Slump (80 +- 20)mm} \longrightarrow \text{OK.}$

- Traço Rico (1:3,5)

$\alpha = 53\%$  (teor de argamassa seca)

$$a = \alpha (m+1) - 1$$

$$a = 0,53 (3,5+1) - 1$$

$$a = 1,38$$

$$40 \text{ Kg (seixo)} \text{-----} 2,12$$

$$a \text{-----} 1,38$$

$$a \text{ (areia)} = 26,0 \text{ Kg}$$

$$m = a+p$$

$$p = m - a$$

$$p = 3,5 - 1,38$$

$$p = 2,12$$

$$40 \text{ Kg} \text{-----} 2,12$$

$$C \text{-----} 1$$

$$C \text{ (cimento).} = 18,90 \text{ Kg}$$

$$H\% = \frac{x}{(1+m)} \implies H\% = \frac{a/c}{(1+5)} \implies H\% = \frac{0,60}{(1+5)} \implies H\% = 0,100$$

$$\frac{a}{c} = 0,100(3,5+1) \implies \frac{a}{c} = 0,45 \implies \frac{a}{18,90} = 0,45 \implies \text{água} = 8,50 \text{ Kg}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cimento} = 18,90 \text{ Kg} \\ \text{Areia} = 26,0 \text{ Kg} \\ \text{Seixo} = 40,0 \text{ Kg} \\ \text{Água} = 8,5 \text{ Kg} \end{array} \right\} \quad \boxed{\text{Traço Rico (1:3,5)} \\ 1 : 1,38 : 2,12 : 0,45}$$

- Traço Pobre (1:6,5)

$\alpha = 53\%$  (teor de argamassa seca)

$$a = \alpha (m+1) - 1$$

$$a = 0,53 (6,5+1) - 1$$

$$a = 2,98$$

$$m = a+p$$

$$p = m - a$$

$$p = 6,5 - 2,98$$

$$p = 3,52$$

<p>40 Kg (seixo)----- 3,52</p> <p style="padding-left: 100px;">a ----- 2,98</p> <p>a (areia) = 33,9 Kg</p>		<p>40 Kg ----- 3,52</p> <p>C ----- 1</p> <p>C (cimento).= 11,36 Kg</p>			
$\frac{a}{c} = 0,100(6,5 + 1) \implies \frac{a}{c} = 0,75 \implies \frac{a}{11,36} = 0,75 \implies \text{água} = 8,52 \text{ Kg}$					
<table style="border: none; margin: auto;"> <tr> <td style="font-size: 4em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding: 0 10px;">           Cimento = 11,36 Kg            Areia = 33,9 Kg            Seixo = 40,0 Kg            Água = 8,52 Kg         </td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Traço Pobre (1:6,5)</b>            1 : 2,98 : 3,52 : 0,75         </td> </tr> </table>			{	Cimento = 11,36 Kg Areia = 33,9 Kg Seixo = 40,0 Kg Água = 8,52 Kg	<b>Traço Pobre (1:6,5)</b> 1 : 2,98 : 3,52 : 0,75
{	Cimento = 11,36 Kg Areia = 33,9 Kg Seixo = 40,0 Kg Água = 8,52 Kg	<b>Traço Pobre (1:6,5)</b> 1 : 2,98 : 3,52 : 0,75			

---

- Consumo de Cimento (Kg/m<sup>3</sup>):

$$\text{Traço Rico (1:3,5)} \quad \frac{1000}{\frac{1}{2,97} + \frac{1,38}{1,57} + \frac{2,12}{2,98} + 0,45} = 421 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Traço Piloto (1:5,0)} \quad \frac{1000}{\frac{1}{2,97} + \frac{2,18}{1,57} + \frac{2,82}{2,98} + 0,60} = 306 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Traço Pobre (1:6,5)} \quad \frac{1000}{\frac{1}{2,97} + \frac{2,98}{1,57} + \frac{3,52}{2,98} + 0,75} = 240 \text{ Kg/m}^3$$

Onde: Massas específicas do cimento (2,97), da areia (1,57) e do seixo (2,98).

Para a produção das “bolachas de concreto” foi utilizada a dosagem estabelecida no Traço Piloto:

{	Cimento = 14,2 Kg Areia = 31,0 Kg Seixo = 40,0 Kg Água = 8,5 Kg	<b>Traço Piloto (1:5,0)</b> 1 : 2,18 : 2,82 : 0,6
---	--	--

- Produção e aplicação das argamassas

Após a seleção das argamassas e o preparo do substrato, foram produzidas as argamassas para aplicação nas “bolachas de concreto” e preparados corpos de prova cilíndricos para posterior caracterização física e mineralógica da argamassa (Figura 49).

**Figura 42:** Produção das argamassas: (a) materiais sendo misturados na argamassadeira; (b) e (c) realização do ensaio de Determinação do índice de consistência normal da argamassa.



Segue abaixo a descrição do processo de produção das argamassas:

1. Dosagem da argamassa;
2. Separação, secagem e pesagem dos materiais utilizados para a produção da argamassa;
3. Mistura dos materiais em misturador mecânico;
4. Realização do ensaio de Determinação do índice de consistência normal da argamassa.

Para a aplicação das argamassas (Figura 50) nas “bolachas” foi estabelecido que, para cada argamassa teriam-se quatro variáveis, com o intuito de se avaliar em qual situação a argamassa apresentaria o melhor desempenho quanto a sua aderência, são elas:

- Substrato liso / Junta seca;
- Substrato rugoso / Junta seca;
- Substrato liso / Ponte de aderência com cola epóxi;

- Substrato rugoso / Ponte de aderência com cola epóxi.

Sendo assim, a aplicação das argamassas ocorreu da seguinte forma:

1. Limpeza da superfície do substrato com pincel e pano seco;
2. Nas bolachas que receberam argamassa com junta seca, o substrato foi saturado com água;
3. Aplicação da cola epóxi nas “bolachas” destinadas à aplicação da argamassa com ponte de aderência;
4. Aplicação das argamassas.

**Figura 43:** Aplicação das argamassas nas “bolachas de concreto”: (a) quatro variáveis para a aplicação de uma argamassa onde as duas que receberam argamassa com junta seca foram saturadas com água e as duas destinadas uso da ponte de aderência com cola epóxi; (b) argamassa sendo aplicada no substrato; (c) aplicação finalizada e iniciada a cura da argamassa.



A caracterização física das argamassas ocorreu por meio da realização de dois ensaios, o ensaio de Determinação da resistência à compressão (NBR 7215) e o ensaio de Determinação da resistência de aderência à tração (NBR 13528) descritos a seguir (Figura 51):

**Figura 44:** Caracterização física das argamassas: (a) e (b) Ensaio para Determinação da resistência à compressão; (c) e (d) Ensaio para Determinação da resistência de aderência à tração.



- Determinação da resistência à compressão (NBR 7215):
  1. Para cada argamassa foram preparados quatro corpos de prova cilíndricos no tamanho de 5 X 10 cm;
  2. Os moldes foram preparados com óleo desmoldante;

3. A argamassa foi então colocada nos moldes e compactada manualmente com a utilização de um soquete, conforme indicado pela referida norma;

4. Ao 14º dia foi realizado o ensaio em dois corpos de prova;

5. Ao 28º dia foi realizado o ensaio final para obtenção da resistência definitiva da argamassa.

- Determinação da resistência de aderência à tração (NBR 13528):

1. Para cada variável estabeleceu-se a aplicação de quatro pastilhas para a realização do ensaio;

2. Primeiramente foi feito um corte circular com serra-copo, na dimensão das pastilhas a serem coladas, na profundidade da espessura da argamassa;

3. Em seguida foi feita colagem das pastilhas com cola epóxi Araldite Profissional da Brascola;

4. A colagem da pastilha permaneceu secando durante 24 horas;

5. Após as 24 horas de secagem da cola foi realizado o arrancamento das pastilhas por meio da utilização de equipamento da marca Solotest.

6. Por fim, foi realizada a coleta dos resultados das forças exercidas para o arrancamento da pastilha, indicado no display do equipamento.

# **APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. AMOSTRAS COLETADAS NAS EDIFICAÇÕES

As amostras analisadas são representativas em termos de como o concreto aparente foi produzido e como se encontra hoje nas edificações de Belém, conforme foi dito anteriormente.

#### 4.1.1. Caracterização Física

As verificações realizadas nas amostras de concreto antigo consistem na identificação do traço mais provável, da granulometria, da cor e da resistência do material.

- Identificação do traço mais provável

Foram realizados ensaios para quatro amostras de concreto (T1, M3, A1 e A2), onde os resultados estão apresentados resumidamente na Tabela 02:

**Tabela 2:** Resultados dos ensaios de determinação dos traços mais prováveis

Amostra	Porcentagem de finos – argila + silte (%)		Porcentagem de grossos - areia (%)		Porcentagem de ligante – resíduo solúvel (%)		Traço mais provável (média das determinações)- Cal: Areia fina: Areia média
	1ª det.	2ª det.	1ª det.	2ª det.	1ª det.	2ª det.	
<b>T1</b>	6,31	6,29	64,89	66,27	28,80	27,43	1 : 0,305 : 3,155
<b>M3</b>	5,29	9,30	79,22	72,39	15,48	18,31	1 : 0,575 : 6,125
<b>A1</b>	11,63	-	13,27	-	75,10	-	1 : 0,21 : 0,24
<b>A2</b>	6,73	-	73,47	-	19,80	-	1 : 0,46 : 5,01

Comparando os resultados, pode-se verificar uma variação nas quantidades de cal, areia fina e areia média e conseqüentemente no traço do concreto das edificações. De modo geral as amostras amostras T1, M3 e A2 obtiveram sua maior porção composta por agregados, enquanto que a A1 apresentou baixos teores deste material.

A amostra A1 destacou-se por apresentar uma quantidade consideravelmente superior de porcentagem de finos e no percentual de ligante, se comparada às outras amostras.

O concreto do Atelier de Arquitetura e do Memorial da Cabanagem apresentaram traços aproximados, 1 : 0,46 : 5,01 e 1 : 0,575 : 6,125 respectivamente. Para a amostra do TCE no entanto, foi obtido um traço com uma menor relação aglomerante : agregado (1:3,155) o que pode ser considerado um traço mais forte que os outros. Esta variação pode ser decorrente das distintas dosagens de concreto projetadas para cada obra especificamente.

O traço da amostra A1 (1 : 0,21 : 0,24) por sua vez se diferenciou bastante das outras amostras, já que os baixos teores de agregado sugerem que se trata de um material fino, como uma nata de cimento, utilizado para fazer o tratamento de superfície da edificação.

A importância da composição e da proporção do concreto, está na possibilidade de utilizar um material novo com, praticamente, as mesmas características do antigo.

Portanto, diante dos resultados obtidos, optou-se por escolher o traço referente ao concreto coletado no edifício do Tribunal de Contas do Estado do Pará, traço médio de 1:3,15, e então aproximá-lo a 1:3 (aglomerante : agregado), para servir como referência para a elaboração das argamassas produzidas em laboratório.

- Granulometria

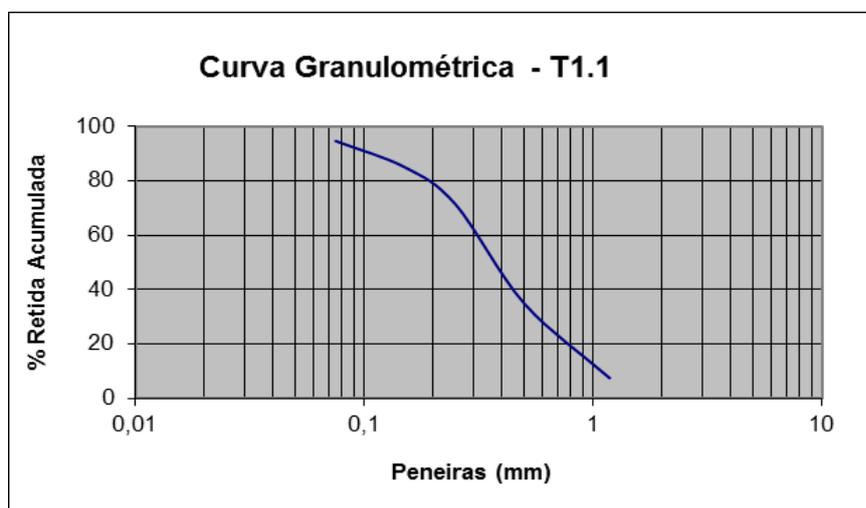
#### Granulometria da Areia

Em função dos principais componentes do concreto serem cimento e agregados, foram feitos ensaios com o material grosso (areia) desagregado pela análise de determinação do traço, para verificação da granulometria da areia utilizada. Os resultados estão descritos na Tabela 03.

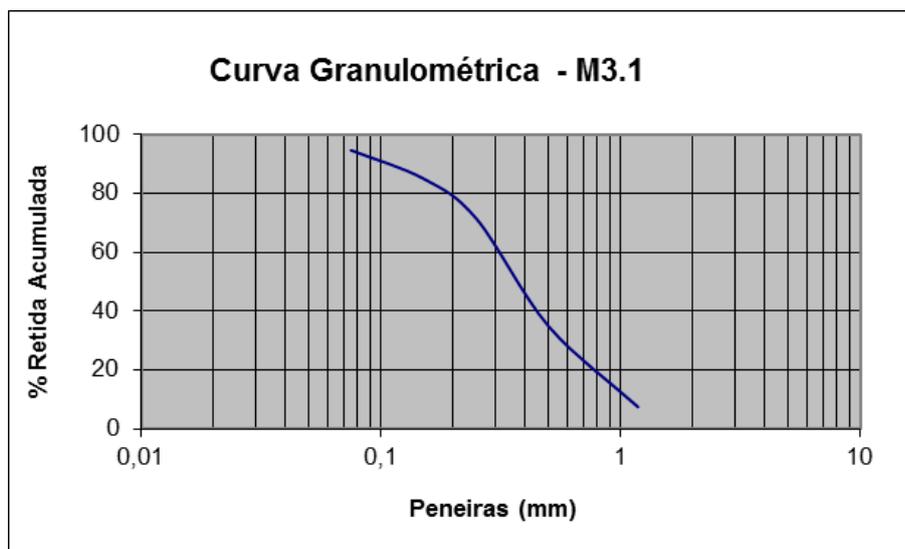
**Tabela 3:** Resultados das análises granulométricas da areia

Amostra	Percentagem Retida					
	Peneira mesh n <sup>o</sup> 16 (%)	Peneira mesh n <sup>o</sup> 35 (%)	Peneira mesh n <sup>o</sup> 60 (%)	Peneira mesh n <sup>o</sup> 100 (%)	Peneira mesh n <sup>o</sup> 200 (%)	Peneira mesh n <sup>o</sup> >200 (%)
<b>Classificação</b>	Grossa	Média	Média	Fina	Fina	Silte/Argila
<b>T1.1</b>	7,44	<b>27,44</b>	<b>36,59</b>	<b>13,64</b>	9,61	7,13
<b>M3.1</b>	5,15	<b>16,62</b>	<b>41,24</b>	<b>22,94</b>	10,82	3,35

A partir dos ensaios realizados foram traçadas curvas granulométricas das amostras, obtidas a partir da percentagem retida em cada peneira, levando em consideração o diâmetro dos grãos. Por se tratar de uma análise apenas da areia da argamassa, o gráfico ficará restrito a classificar o material como areia grossa, média e fina. As curvas granulométricas podem ser visualizadas nas figuras 52 e 53, a seguir:

**Figura 45:** Curva granulométrica da amostra T1.1 (areia).

**Figura 46:** Curva granulométrica da amostra M3.1 (areia).



O ensaio indicou que para a amostra T1.1, a maior quantidade de areia ficou retida entre as peneiras nº 35 e nº 100, indicando portanto, que o material é composto em sua maior porção por um areia de média a fina. Para a amostra M3.1, apesar dos resultados não serem idênticos, foi observado que de um modo geral a areia possui características semelhantes a da outra amostra, classificada como uma areia de média a fina, com a maior quantidade de areia retida entre as peneiras nº 35 e nº 100. Porém, a areia da amostra M3 apresentou um percentual de areia fina maior que a amostra T1.

A ausência de material grosso permite afirmar que o material coletado nas edificações representa apenas a parte de argamassa do concreto, uma vez que o ensaio de granulometria não detectou a presença de seixos ou britas.

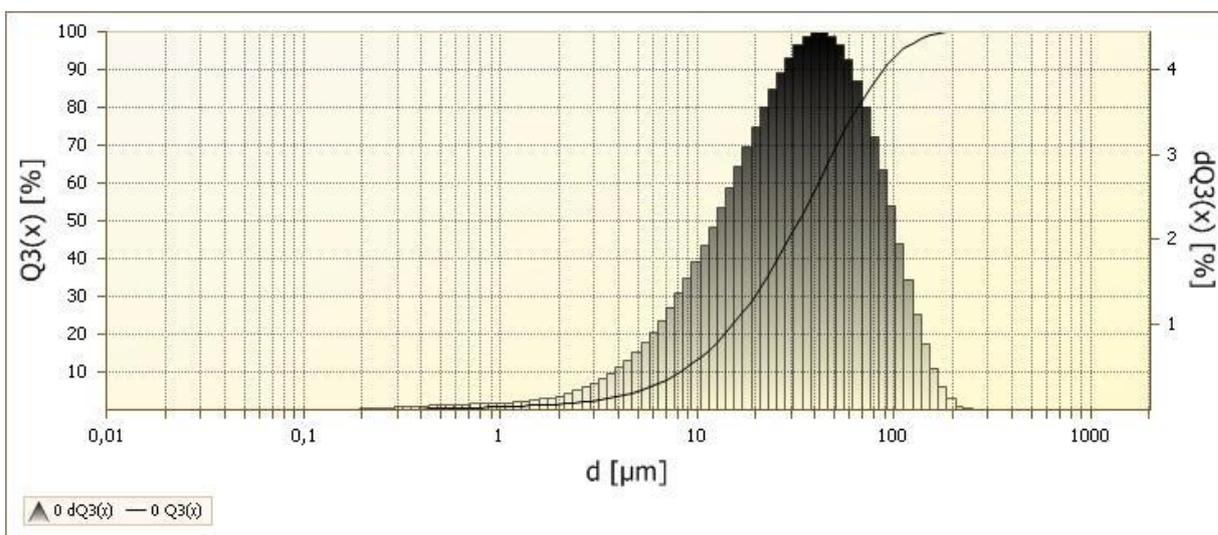
A semelhança entre as curvas granulométricas sugere que a areia utilizada na produção dos concretos das edificações pode ter a mesma origem ou ser oriunda de fontes com materiais semelhantes.

Essas areias identificadas como média a fina influenciam diretamente na aparência do concreto acabado, visto que o concreto de onde as amostras foram coletadas apresentam uma textura lisa, sem a exposição de agregados graúdos.

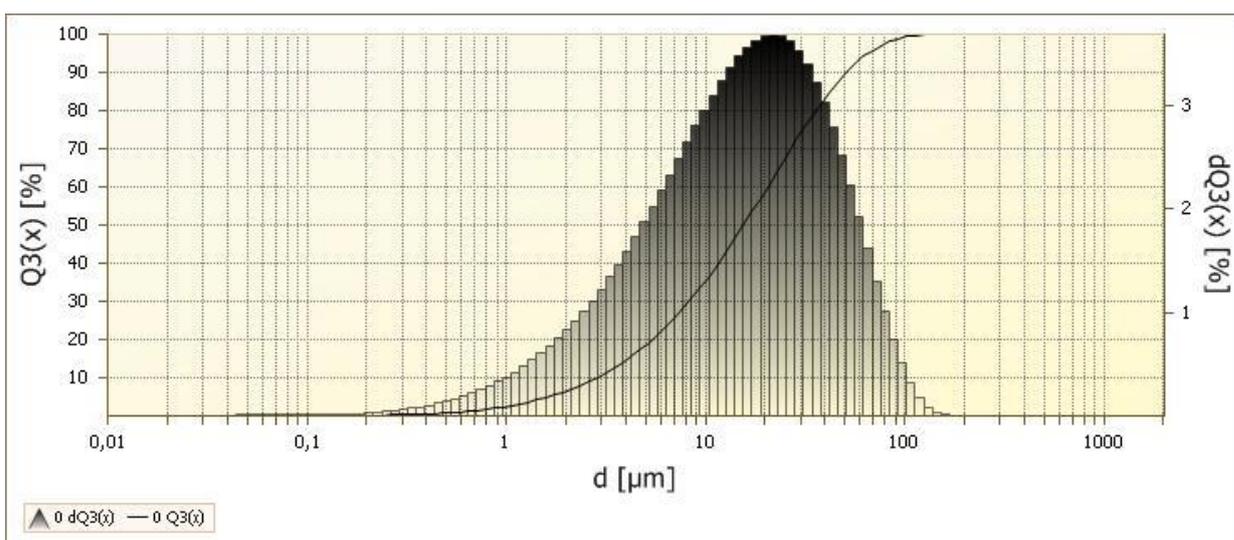
## Granulometria dos Finos

Os finos retidos no papel de filtro após ataque ácido (HCl) no ensaio de traço mais provável foram submetidos ao ensaio de granulometria a laser, a partir da qual foram geradas curvas granulométricas para classificação do material quanto ao diâmetro dos grãos. Os resultados obtidos podem ser observados nas figuras 54 a 56 a seguir:

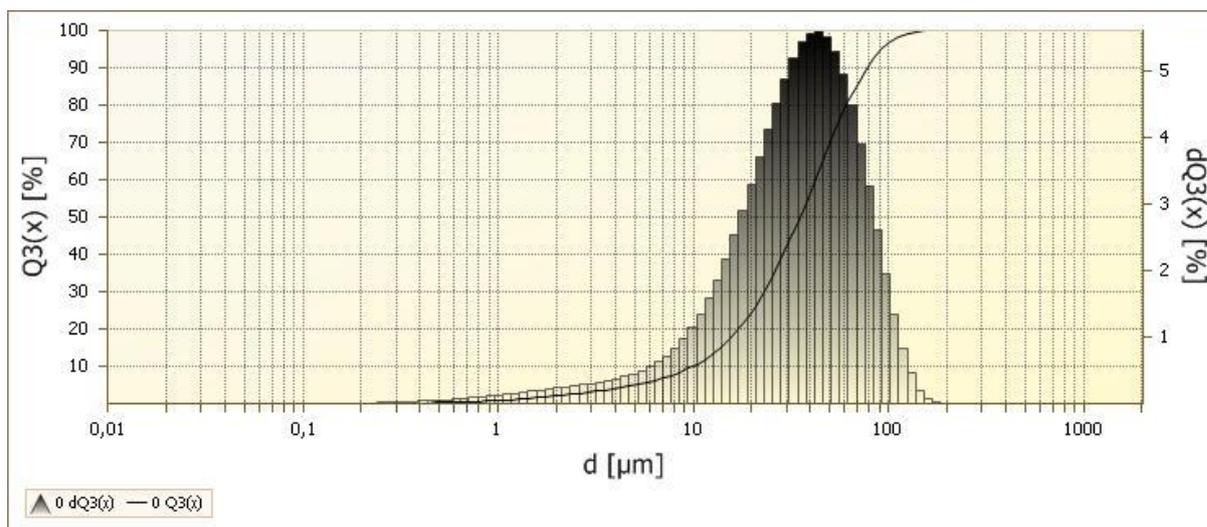
**Figura 47:** Curva granulométrica da amostra T1.1 (finos).



**Figura 48:** Curva granulométrica da amostra M3.1 (finos).



**Figura 49:** Curva granulométrica da amostra A1.1 (finos).



As curvas granulométrias traçadas para a caracterização dos diâmetros dos grãos das amostras obtiveram resultados muito semelhantes, apresentando pequena quantidade de material caracterizado por argila (0,01 a 2 d [ $\mu\text{m}$ ]), a sua maior porção formada por material classificado como silte (2 a 50 d [ $\mu\text{m}$ ]), e uma porção intermediária classificada como areia (50 a 1000 d [ $\mu\text{m}$ ]).

A presença em maior quantidade de material classificado como silte e areia nas amostras, sugere que este material fino pode ser proveniente do cimento e/ou do agregado, o que diminui as possibilidades da utilização de argila na composição do material. Porém, apenas a caracterização mineralógica apresentada mais adiante pode confirmar tal indicação.

Este material fino presente na composição do concreto das edificações também influenciará no aspecto superficial do concreto, conferindo a este uma textura mais lisa e uniforme.

- Cor: Carta de Munsell

As amostras do Tribunal de Contas do Estado do Pará apesar de serem do mesmo edifício, apresentaram diferentes tonalidades (Tabela 04). Pode-se observar uma predominância por tonalidades claras e acinzentadas decorrente dos materiais utilizados na mistura da argamassa de concreto, como a areia branca e o cimento *portland* cinza. Essa variação nas tonalidades das amostras desta edificação pode ser decorrente de alguns fatores como: o cimento utilizado na produção do concreto

que pode ter uma variação de tipo ou de matéria prima, interferindo assim na coloração do mesmo; ou pode ser decorrente do próprio processo de degradação do material, que recebe deposição de camadas de sujidades do meio ao qual está inserido.

Já as amostras do Memorial da Cabanagem e do Atelier de Arquitetura apresentaram uma maior uniformidade quanto a cor, a qual foi caracterizada com uma tonalidade clara.

**Tabela 4:** Classificação das tonalidades das argamassas de cimento

<b>Edificação: Atelier de Arquitetura - FAU - UFPA</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência - Carta de Munsell</b>
A1	Concreto do guarada-corpo externo (nata de cimento)	HUE 10 YR - 8/1 - White
A2	Concreto do guarada-corpo externo	HUE 5 Y - 8/1 - White
<b>Edificação: Memorial da Cabanagem</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência - Carta de Munsell</b>
M1	Concreto da "mão" do monumento (amostra da superfície)	HUE 5 Y - 8/1 - White
M2	Concreto do edifício (amostra da superfície)	HUE 5 Y - 8/1 - White
M3	Concreto do bloco no chão do monumento (amostra mais profunda)	HUE 10 YR - 8/1 - White
<b>Edificação: Tribunal de Contas do Estado do Pará</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência - Carta de Munsell</b>
T1	Concreto da fachada lateral direita	HUE 2.5 Y - 8/1 - White
T2	Concreto do nicho - cortina d'água	HUE 2.5 Y - 7/1 - Light Gray
T3	Concreto da fachada lateral direita	HUE 5 Y - 8/1 - White
T4	Concreto da fachada posterior	HUE 5 Y - 8/1 - White
T5	Concreto do piso da cortina d'água	HUE 2.5 Y - 7/2 - Light Gray
T6	Concreto da fachada principal	HUE 5 Y - 8/1 - White

As areias analisadas apresentaram tonalidades semelhantes e foram classificadas com a tonalidade mais clara da Carta de Munsell (Tabela 05).

**Tabela 5:** Quadro com relação de tonalidades das areias obtidas após ensaio de traço

<b>Edificação: Atelier de Arquitetura - FAU - UFPA</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência - Carta de Munsell</b>
A1.2	Areia da amostra A1 após ensaio de traço	HUE 2.5 Y - 8/1 - White
<b>Edificação: Memorial da Cabanagem</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência - Carta de Munsell</b>
M3.2	Areia da amostra M3 após ensaio de traço	HUE 2.5 Y - 8/1 - White
<b>Edificação: Tribunal de Contas do Estado do Pará</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência - Carta de Munsell</b>
T1.2	Areia da amostra T1 após ensaio de traço	HUE 2.5 Y - 8/1 - White

- Determinação da resistência à compressão

A determinação do traço a ser adotado nas “bolachas” que serviram de substrato para a análise dos materiais de restauro foi estabelecida a partir do rompimento de duas (2) pequenas amostras de 50x50 mm retiradas do concreto aplicado no Tribunal de Contas do Estado do Pará (TCE). Com o rompimento destas, obteve-se um valor de 22 MPa de resistência à compressão axial do concreto. Cabe ressaltar que devido ao tamanho reduzido das amostras e ao pequeno número de corpos de prova que se dispunha, é possível que o valor da resistência do concreto “*in loco*” seja superior aos 22 MPa verificado.

#### **4.1.2. Caracterização Mineralógica**

- Difração de raios-X

A caracterização mineralógica abrange não apenas as amostras de concreto, mas também os materiais desagregados no ensaio de traço, que conforme

visto na caracterização física precisam ser investigados, para confirmação se têm composição argilosa ou quartzosa.

Os resultados obtidos nos difratogramas para as amostras das três edificações refletem a composição do material e a influência do meio que se localiza, seja pela ação intempérica alterando o material, seja pela alteração de outro material nas suas adjacências. A tabela 06 apresenta os minerais resultantes das análises de DR-X, divididos por edificação.

**Tabela 6:** Resultado da composição mineralógica das amostras

<b>Edificação</b>	<b>Amostra</b>	<b>Minerais</b>
Tribunal de Contas do Estado (1970)	T1	quartzo, calcita, albita, microclínio, muscovita
	T2	quartzo e calcita
	T3	quartzo e calcita
	T4	quartzo, calcita, albita, microclínio, muscovita
	T5	quartzo e calcita
	T6	quartzo, calcita e vaterita
Atelier de Arquitetura da UFPA (1973/74)	A1	quartzo, calcita e aragonita
	A2	quartzo calcita e hematita
Memorial da Cabanagem (1985)	M1	quartzo, calcita, caulinita, portlandita, dolomita, rutilo, muscovita e magnesita
	M2	quartzo, calcita, caulinita, portlandita, dolomita, rutilo, muscovita, magnesita e vaterita
	M3	quartzo, calcita e muscovita

Verificou-se que as composições mineralógicas das amostras foram semelhantes quanto aos minerais presentes na composição dos cimentos, mas diferenciaram entre si substancialmente em relação aos minerais oriundos dos agregados, possibilitando dessa maneira apresentá-los em dois grupos: 1) Amostras que indicaram a presença apenas de material quartzoso (areia e/ou seixo) na composição do agregado; 2) Amostras com a presença de minerais que indicam a

utilização de granito (brita) como parte do agregado, conforme apresentado na tabela 07:

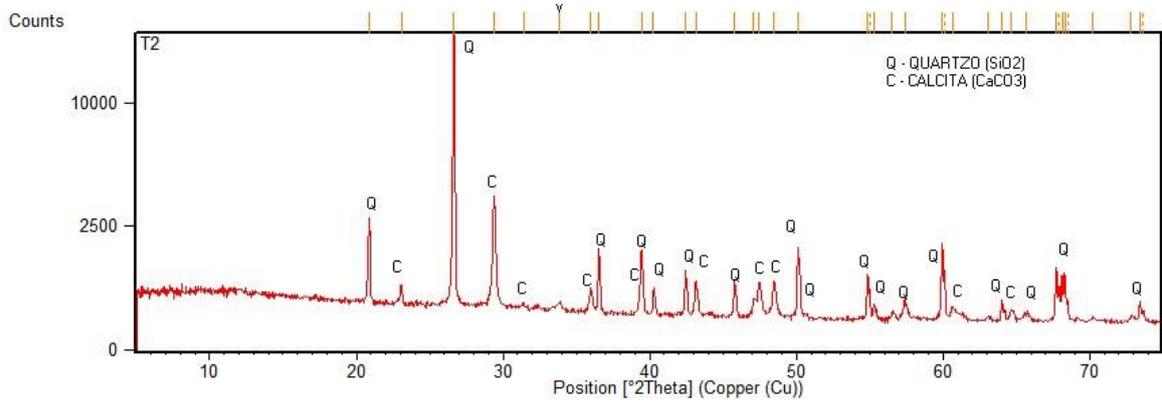
**Tabela 7:** Composição cristalina das amostras dividida em grupos

<b>Grupos</b>	<b>Amostra</b>	<b>Resultado da Difração</b>
<b>1</b>	T2	quartzo e calcita
	T3	quartzo e calcita
	T5	quartzo e calcita
	T6	quartzo, calcita e vaterita
	A1	quartzo, calcita e aragonita
	A2	quartzo calcita e hematita
<b>2</b>	T1	quartzo, calcita, albita, microclínio, muscovita
	T4	quartzo, calcita, albita, microclínio, muscovita
	M1	quartzo, calcita, caulinita, portlandita, dolomita, rutilo, muscovita e magnésita
	M2	quartzo, calcita, caulinita, portlandita, dolomita, rutilo, muscovita, magnésita e vaterita
	M3	quartzo, calcita e muscovita

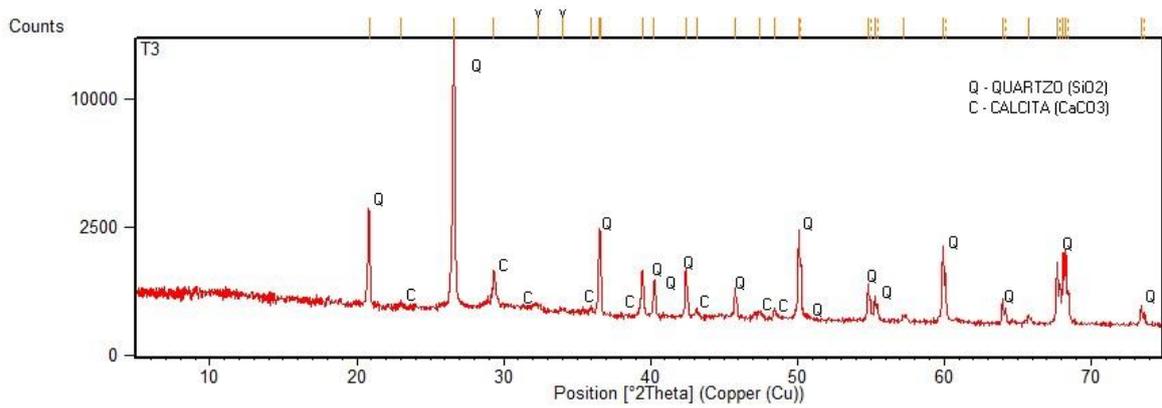
A amostras do TCE e do Atelier, presentes no grupo 1 apresentaram uma uniformidade quanto aos materiais advindos dos agregados como citado anteriormente, mas indicaram variações quanto as fases de  $\text{CaCO}_3$ , o que sugere que o material ainda esteja passando por transformações mineralógicas.

A vaterita encontrada nas amostras T6 e M2, indica que nas áreas onde tais amostras foram coletadas, o processo de transformação mineralógica encontra-se em fase inicial, visto que a vaterita é o polimorfo de  $\text{CaCO}_3$  na sua fase mais instável. Na área em que foi detectada a presença de aragonita (amostra A1) há um indicativo de que esta transformação encontra-se em fase intermediária. A presença da calcita, forma estável do carbonato de cálcio, sugere que o mineral já passou por todo o processo de transformação mineralógica, dando fortes indícios de que o material encontra-se em processo de degradação (Figura 57 a 61).

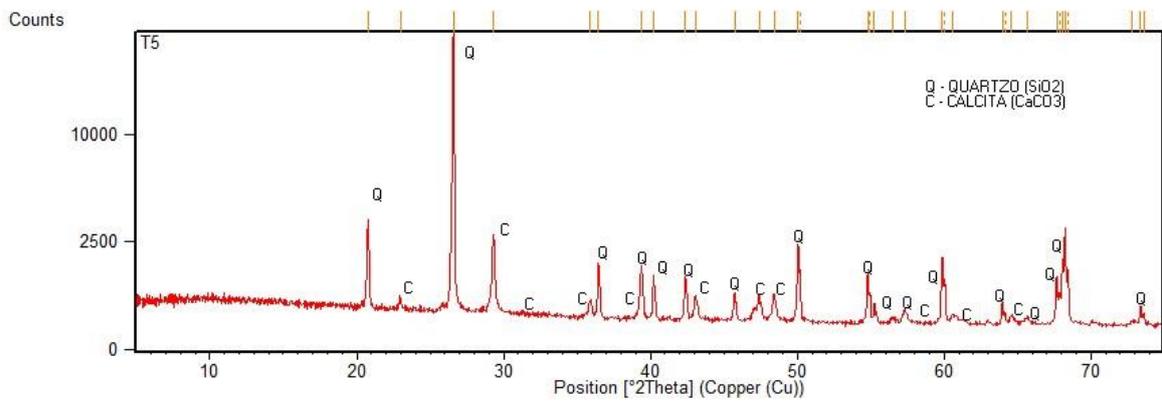
**Figura 50:** Difratoograma da amostra T2.



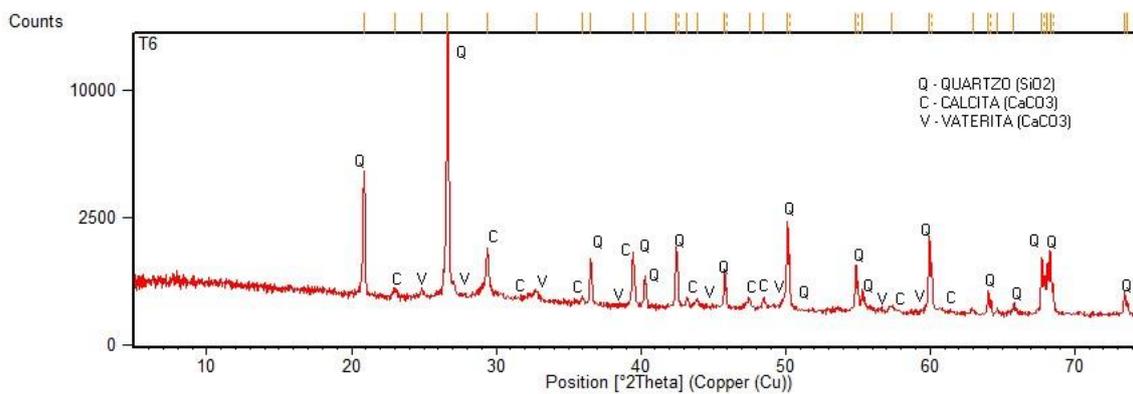
**Figura 51:** Difratoograma da amostra T3.



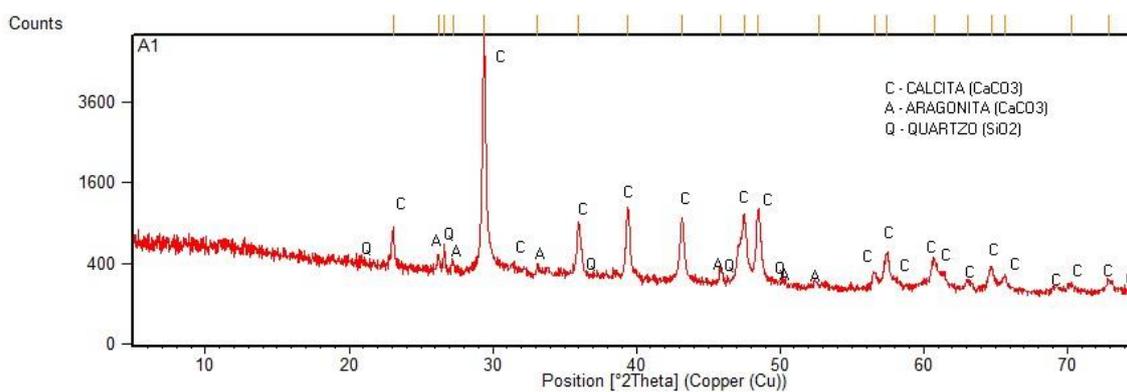
**Figura 52:** Difratoograma da amostra T5.



**Figura 53:** Difratoograma da amostra T6.

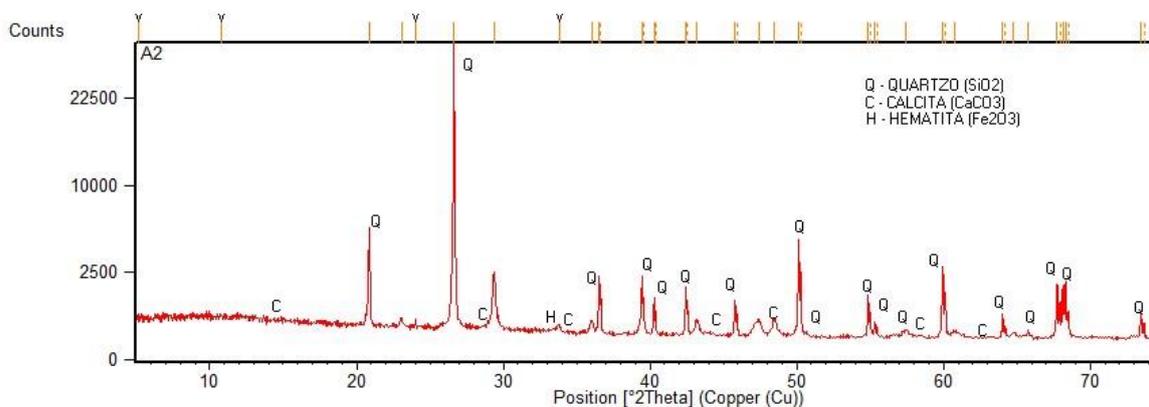


**Figura 54:** Difratoograma da amostra A1.



O difratograma da amostra A2 acusou ainda a presença de hematita (Figura 62) . Este mineral pode ter origem decorrente da contaminação da armadura de ferro do concreto.

**Figura 55:** Difratograma da amostra A2.



Os difratogramas das amostras T1, T4, M1, M2 e M3, do grupo 2 (Figura 63 a 67) apresentam uma composição mineralógica mais complexa, com a presença de mica e feldspato em sua composição, além do quartzo e minerais do cimento, sugerindo que possivelmente foi utilizado uma brita como agregado.

O rutilo indicado na amostra M2 pode ser decorrente de uma intervenção posterior realizada na edificação, com a aplicação de camada de tinta.

A portlandita presente na amostra M1 sugere duas possibilidades, uma de que o material encontra-se bem conservado, sem ainda ter passado pelo processo de carbonatação e outra de que pode ter havido uma intervenção mais recente com aplicação de uma argamassa de cimento.

Figura 56: Difratoograma da amostra T1.

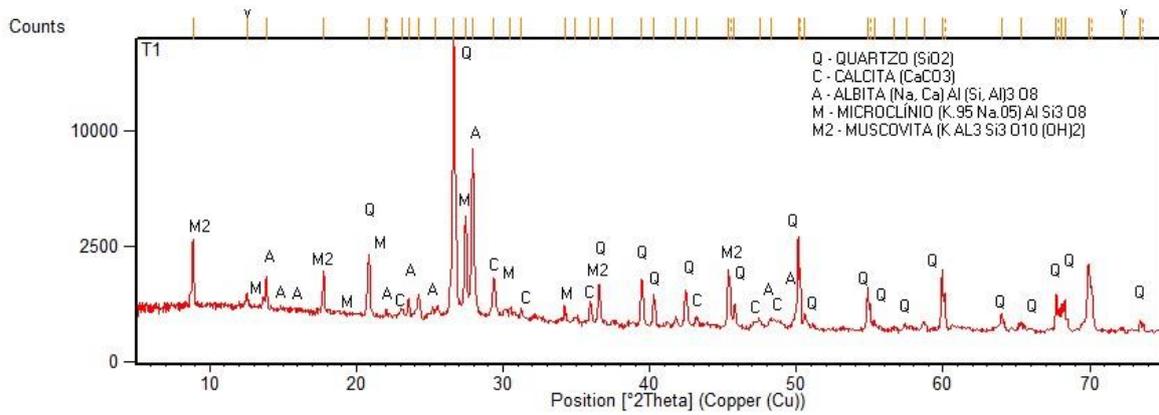


Figura 57: Difratoograma da amostra T4.

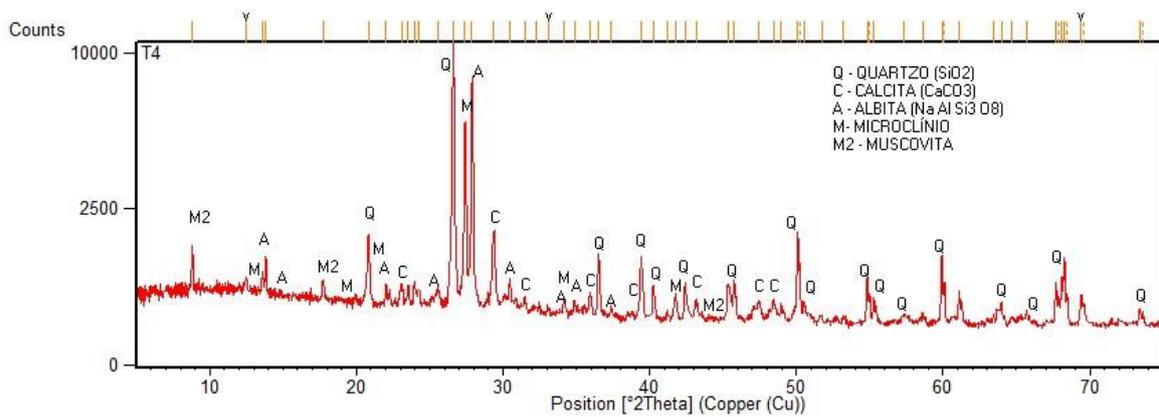
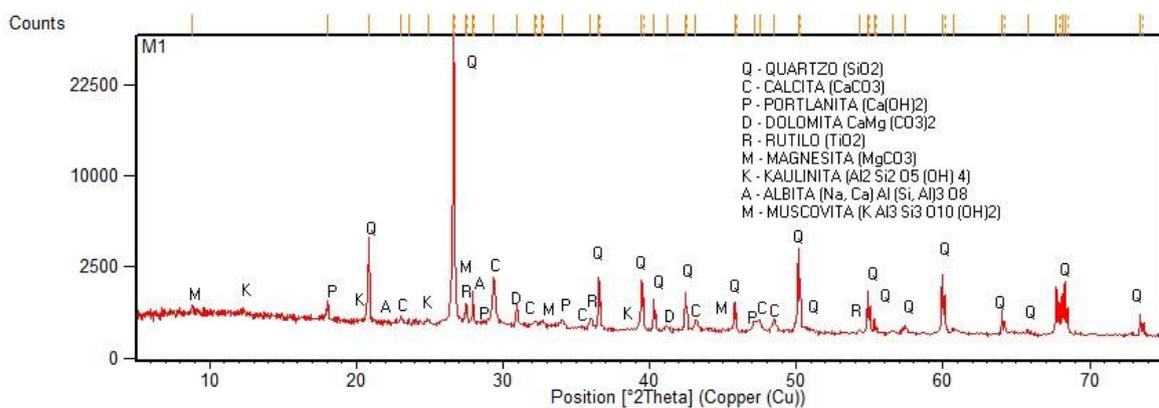
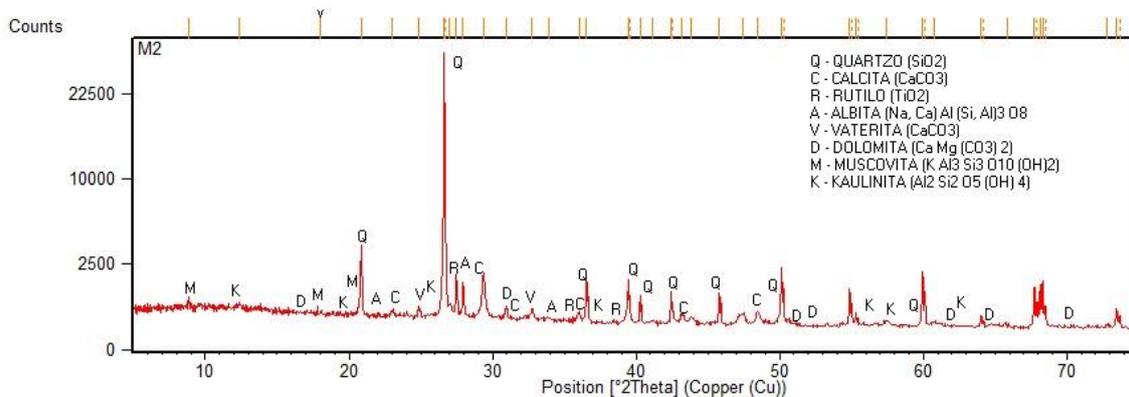


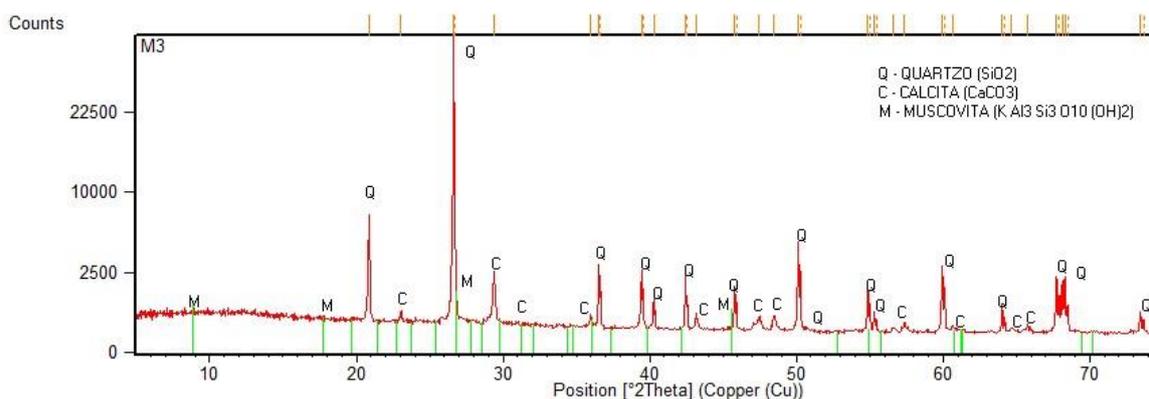
Figura 58: Difratoograma da amostra M1.



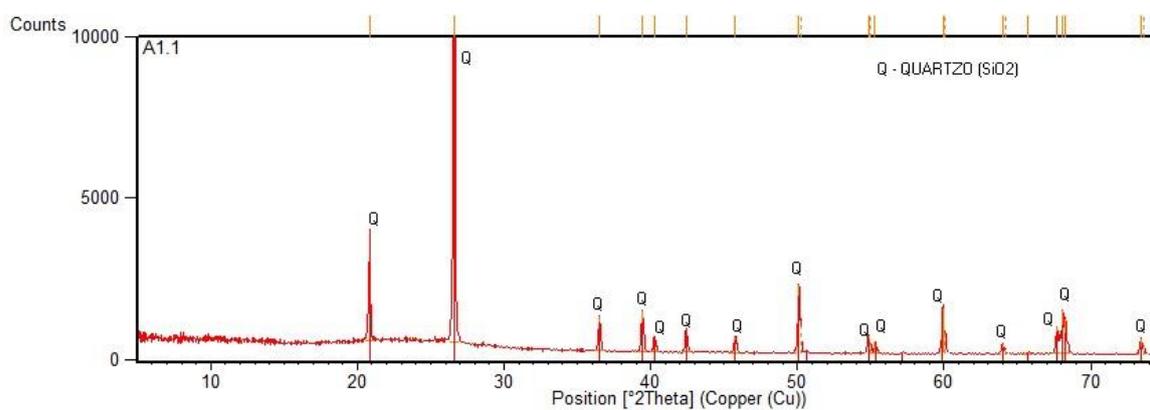
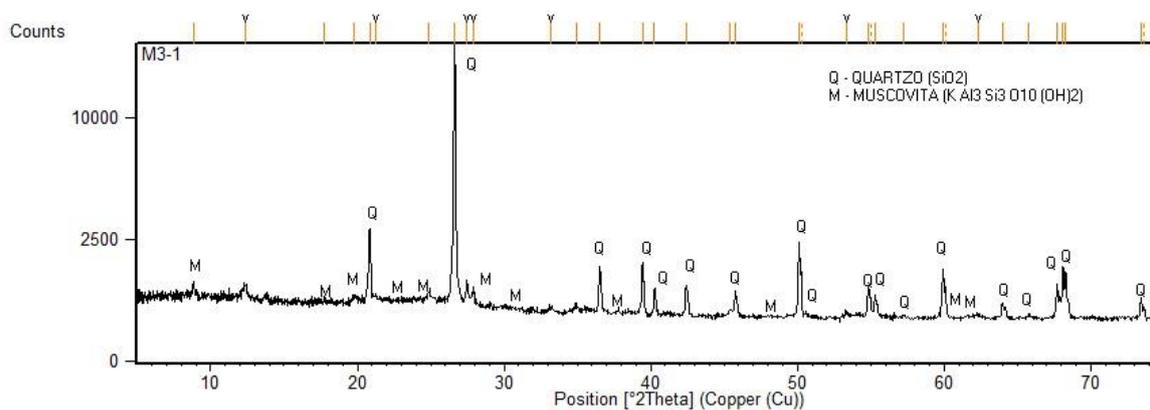
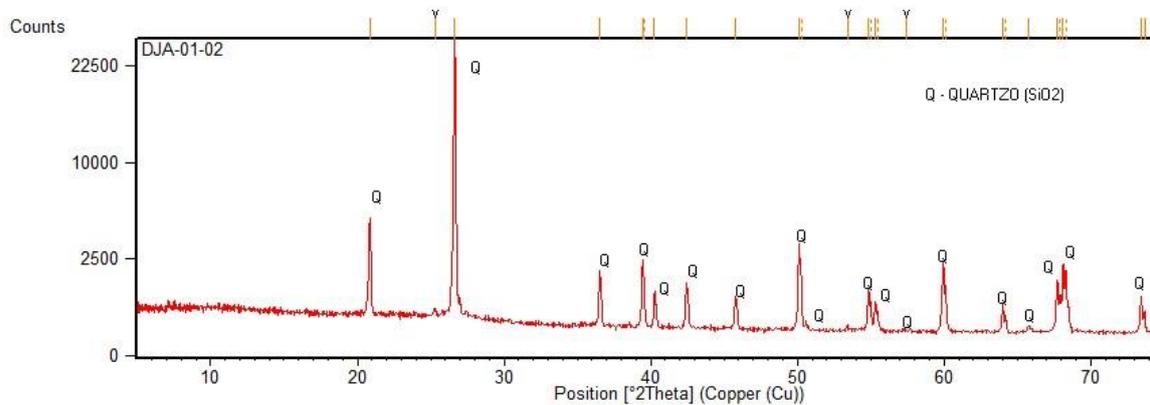
**Figura 59:** Difratoograma da amostra M2.



**Figura 60:** Difratoograma da amostra M3.



Os finos retidos no papel de filtro após ensaio de traço apresentaram em sua composição minerais oriundos do agredado ou do próprio cimento utilizado na produção do concreto, descartando assim a presença de um argilominerais no material (Figura 68 a 70).

**Figura 61:** Difratoograma da amostra A1.1.**Figura 62:** Difratoograma da amostra M3.1.**Figura 63:** Difratoograma da amostra T1.1.

#### **4.1.2. Caracterização Química e Física por Microscopia Eletrônica de Varredura e Sistema de Energia Dispersiva (MEV/SED)**

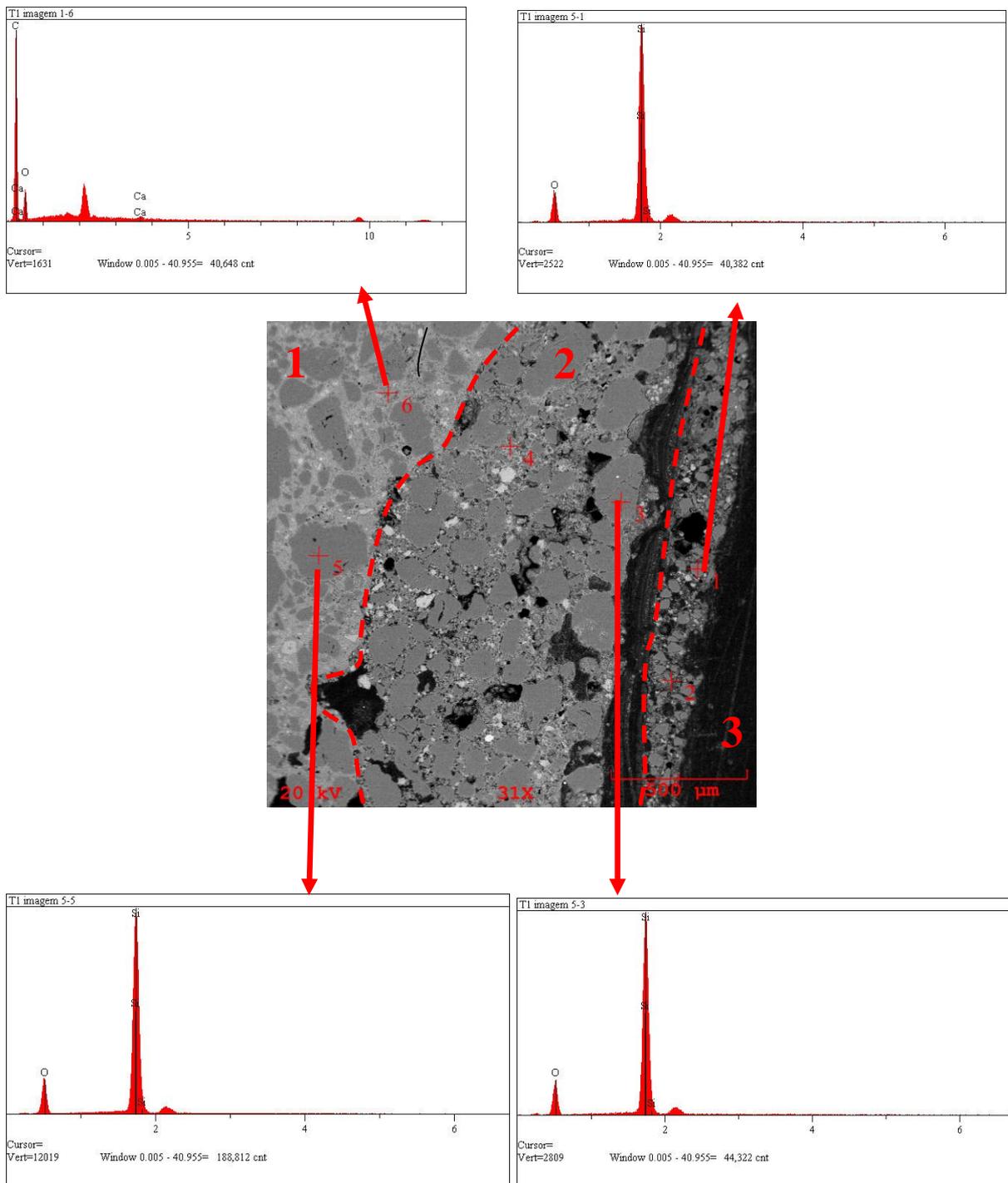
As amostras T1, T3 e T5 foram seccionadas e seu perfil analisado ao MEV/SED, para investigação quanto às quantidades de camadas presentes do material e suas respectivas composições químicas pontuais.

Para a amostra T1 a análise de MEV/SED apresentou três camadas com composições químicas pontuais semelhantes, porém, com aparências diferentes pois a camada 1 apresenta grãos com dimensões maiores que as demais e uma textura pouco porosa. A camada 2 por sua vez, possui uma textura menos uniforme, com poros formados entre os agregados graúdos, o que pode vir a fragilizar a ligação na interface com a camada 1. A camada 3 é visualmente diferente das demais, visto que possui agregados mais finos mas uma porosidade bem acentuada.

Essa diferença entre as três camadas sugere que possivelmente o concreto original passou por intervenções, recebendo pelo menos duas novas camadas de tratamento de superfície.

Em relação a composição química obtida por meio de SED, foi observada a presença de Silício e Oxigênio sugerindo a utilização de um agregado de matriz quartzosa e a presença de Cálcio e Carbono, elementos químicos presentes na matriz do cimento (Figura 71).

**Figura 64:** Imagem de MEV/SED da amostra T1, com a identificação das camadas e análises químicas pontuais.

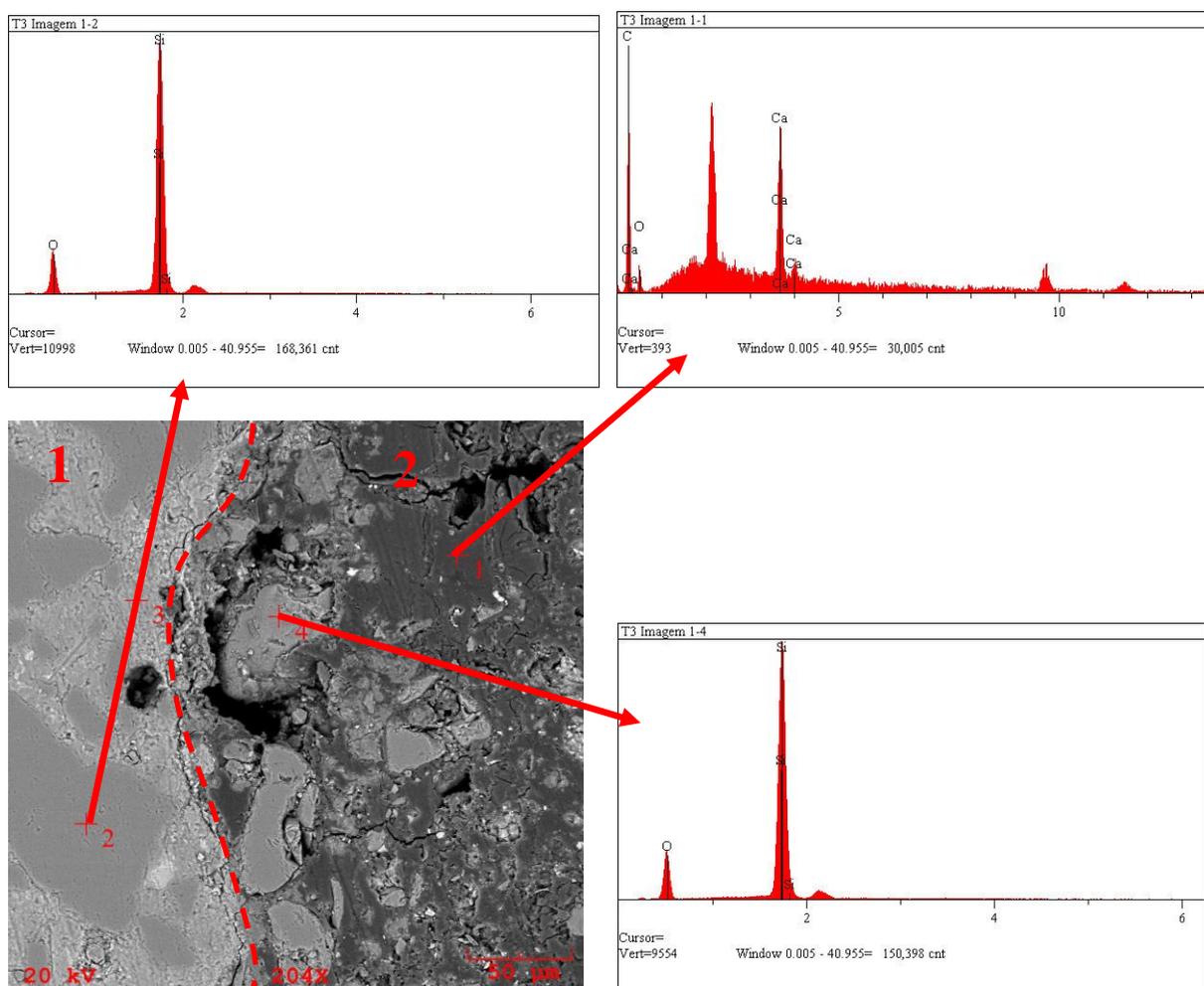


A secção da amostra T3 analisada ao MEV indicou duas camadas com aspectos bem distintos, a iniciar pela diferença de coloração, visto que o concreto original têm uma tonalidade acinzentada mais clara que a camada 2. A distribuição dos grãos também diferem entre si, já que diferentemente da camada 1, a camada 2 possui uma matriz com grãos menores, de formatos e tamanhos variados. A

presença de poros na interface entre as camadas indica uma possível fragilidade de aderência entre estas.

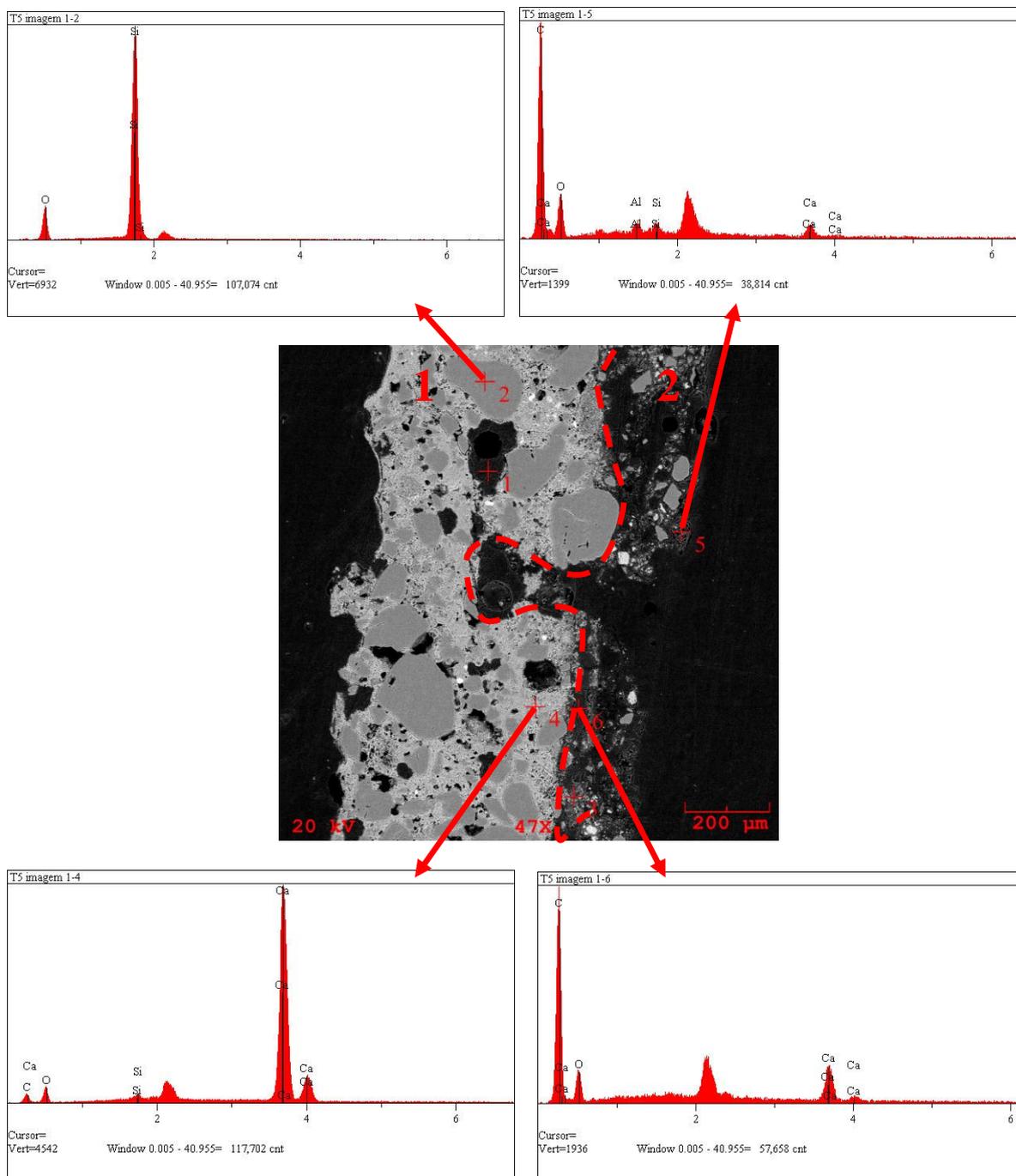
A análise química pontual da camada 2 gerada pelo SED indica a presença de Cálcio, Carbono, Oxigênio e Silício sugerindo um material composto de cimento, água e agregado, formando quase que uma nata de cimento e água (Figura 72).

**Figura 65:** Imagem de MEV/SED da amostra T3, com a identificação das camadas e análises químicas pontuais.



Assim como as amostras anteriores, a secção da amostra T5 também possui mais de uma camada de material carbonático e composição química formada substancialmente por Ca, C, Si e O (Figura 73). A diferença em relação as outras amostras fica por conta da grande quantidade de poros na matriz do concreto original (camada 1).

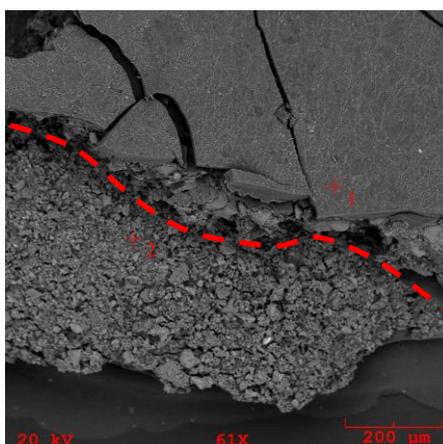
**Figura 66:** Imagem de MEV/SED da amostra T5, com a identificação das camadas e análises químicas pontuais.



Diferentemente das amostras anteriormente apresentadas, a amostra T4 não foi analisada quanto à sua secção, mas as imagens obtidas pelo MEV foram capturas a partir da superfície do material.

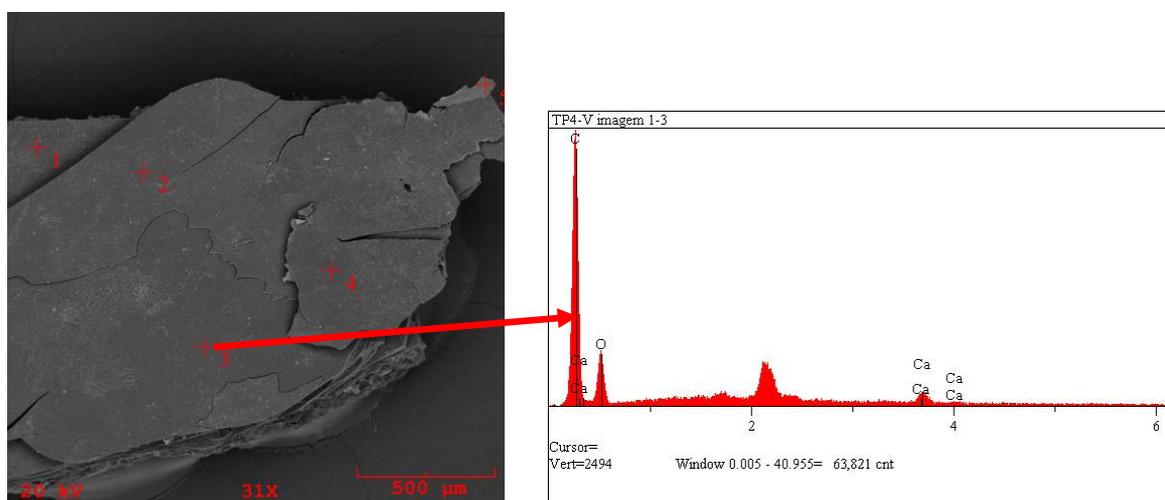
A amostra confirmou a presença de duas camadas visivelmente distintas. Uma com textura rugosa devido possivelmente ao agregado utilizado na composição do material e outra de textura lisa e uniforme (Figura 74).

**Figura 67:** Imagem de MEV/SED da amostra T4, com a identificação das camadas.



A camada de textura lisa da amostra T4, apresenta em sua composição química, obtida por meio do SED, os elementos Cálcio, Carbono e Oxigênio, todos presentes na composição do cimento. A ausência do Silício sugere que na área de onde foi coletada esta amostra foi dado um acabamento de uma nata de cimento e água (Figura 75).

**Figura 68:** Imagem de MEV/SED da amostra T4, com a análise química pontual.



## 4.2. AMOSTRAS PRODUZIDAS EM LABORATÓRIO

### 4.2.1. Caracterização Física

- Aquisição dos cimentos e agregados

Para a execução das argamassas de restauro foi adquirido comercialmente o maior número de cimento de composição e fabricantes diferentes disponíveis no mercado. Sendo assim, obteve-se os seguintes cimentos: CP Branco; CP I S 32 –

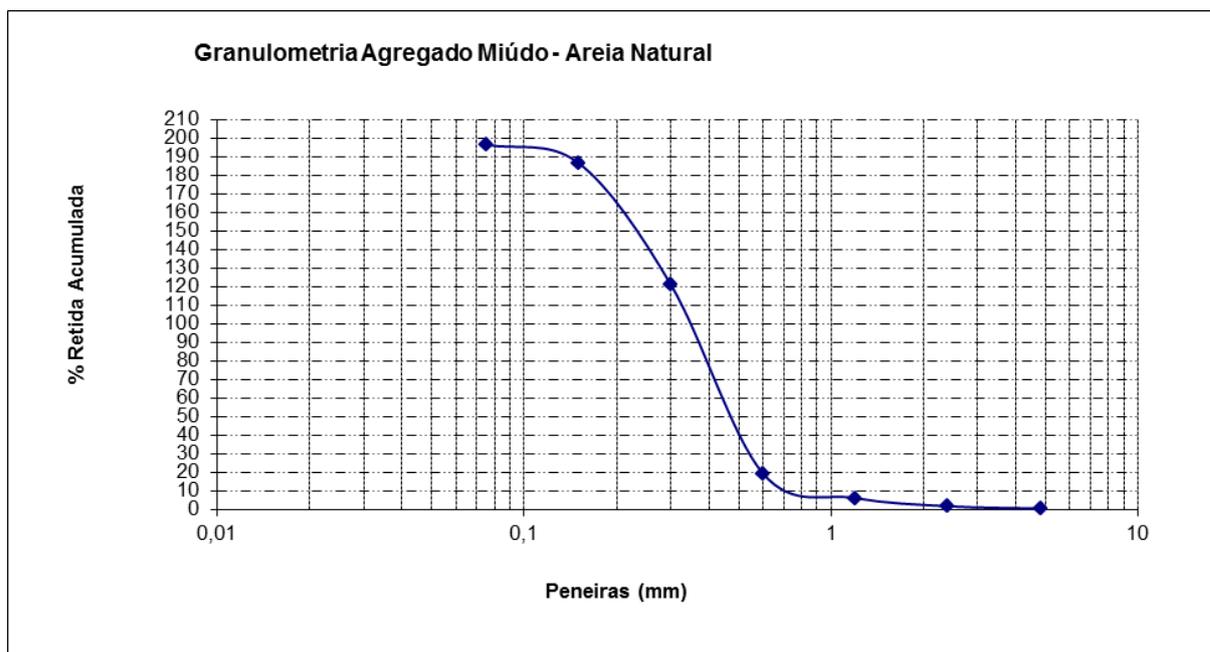
Nassau; CP II Z 32 – Nassau; CP II E 32 – Poty; CP II F 32 – Cimpor Brasil; CP IV – Nassau.

O agregado (areia) adquirido é proveniente de fonte localizada na cidade de Ourém/Pa. Foram realizados alguns ensaios, visando a caracterização deste material: ensaio de granulometria (NBR 7217), massa específica (NBR 9776) e massa unitária (NBR 7251). Os resultados obtidos encontram-se na tabela 08 e Figura 76.

**Tabela 8:** Características físicas da areia utilizada na pesquisa – granulometria, dimensão máxima característica, massa específica e massa unitária.

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>% retida</b>	<b>% retida acumulada</b>	<b>Método de ensaio</b>
4.8	2	0,40	0,40	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
2.4	6	1,20	1,60	
1.2	22	4,40	6,00	
0.6	66	<b>13,20</b>	19,20	
0.3	510	<b>102,00</b>	121,20	
0.15	327	<b>65,40</b>	186,60	
0.075	49	9,80	196,40	
Fundo	18	3,60	200	
TOTAL	1000	200	-	
<b>Módulo de Finura</b>		3,35 mm		NBR NM 248 (ABNT, 2003)
<b>Dimensão máxima característica</b>		2,40 mm		NBR NM 248 (ABNT, 2003)
<b>Massa Específica</b>		2,61 kg/cm <sup>3</sup>		NBR NM 52 (ABNT, 2009)
<b>Massa Unitária</b>		1,45 kg/dm <sup>3</sup>		NBR NM 45 (ABNT, 2006)

**Figura 69:** Curva granulométrica da areia utilizada para a produção das argamassas de referência.



- Produção da argamassa de referência

Para a produção das argamassas de referência, como citado anteriormente, foi considerado o resultado do ensaio de traço mais provável para a amostra do TCE, que indicou um traço aproximado a 1:3 na proporção aglomerante : agregado. Como há indícios do uso de natas de cimento para tratamento de superfície de concreto, determinou-se a utilização de três traços, sendo:

- Traço 01: Nata de Cimento
- Traço 02: 1:3 (cimento:areia)
- Traço 03: 1:3 (cimento:areia levada a 1000° C e pulverizada)

Logo, obteve-se um total de 18 argamassas de referência as quais receberam uma nomenclatura conforme descrito na Tabela 09:

**Tabela 9:** Relação das argamassas de referência

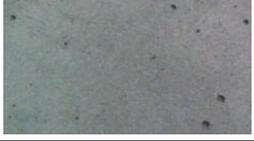
<b>Cimento</b>	<b>Traço 01</b>	<b>Traço 02</b>	<b>Traço 03</b>
CP Branco	CP – CLR 01	CP – CLR 07	CP – CLR 13
CP I S 32 – Nassau	CP – CLR 02	CP – CLR 08	CP – CLR 14
CP II Z 32 – Nassau	CP – CLR 03	CP – CLR 09	CP – CLR 15
CP II F 32 – Cimpor Brasil	CP – CLR 04	CP – CLR 10	CP – CLR 16
CP II E 32 – Poty	CP – CLR 05	CP – CLR 11	CP – CLR 17
CP IV – Nassau	CP – CLR 06	CP – CLR 12	CP – CLR 18

- Colorimetria – Cartela de Cores

Com o ensaio de Colorimetria foi possível criar uma cartela de cores (Tabela 10), com diferentes tons de cinza. Cada cor possui um valor de referência “L”, “a” e “b”.

**Tabela 10:** Cartela de cores e valores de referência obtidos com ensaio de Colorimetria.

<b>CARTELA DE CORES</b>				
<b>COR</b>	<b>NOMENCLATURA</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
	CP - CLR 01	87,06	-4,58	+7,05
	CP - CLR 02	65,65	-4,08	+5,93
	CP - CLR 03	69,36	-2,40	+9,55
	CP - CLR 04	65,64	-2,51	+7,72
	CP - CLR 05	59,66	-4,01	+3,53
	CP - CLR 06	62,72	+0,07	+7,71

	CP - CLR 07	84,23	-3,39	+7,20
	CP - CLR 08	68,00	-2,44	+7,27
	CP - CLR 09	68,4	-1,26	+10,29
	CP - CLR 10	67,37	-1,37	+9,94
	CP - CLR 11	65,11	-2,95	+7,46
	CP - CLR 12	69,01	-0,04	+10,02
	CP - CLR 13	87,63	-3,76	+7,73
	CP - CLR 14	68,59	-2,49	+8,33
	CP - CLR 15	70,88	-1,72	+10,81
	CP - CLR 16	68,38	-0,54	+9,99
	CP - CLR 17	66,21	-3,17	+6,89
	CP - CLR 18	68,69	-0,12	+8,84

- Seleção das argamassas

As argamassas de referência comparadas ao substrato in loco resultaram nas seguintes escolhas (Tabela 11):

**Tabela 11:** Seleção das argamassas.

ARGAMASSA	EDIFICAÇÃO	NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO	TRAÇO
Argamassa 01	Atelier de Arquitetura - UFPa	CP – CLR 06	CP IV - NASSAU + ÁGUA	Nata de cimento
Argamassa 02	Tribunal de Contas do Estado (TCE)	CP – CLR 11	CP II E 32 - POTY + AREIA + ÁGUA	1:3
Argamassa 03	Memorial da Cabanagem	CP - CLR 03	CP II Z 32 - NASSAU + ÁGUA	Nata de cimento

Das três argamassas selecionadas, apenas a destinada ao TCE possui traço 1:3. As demais, formadas apenas por uma nata de cimento, tiveram as suas tonalidades mais aproximadas às do concreto do Atelier de Arquitetura e do Memorial da Cabanagem.

Interessante ressaltar que em nenhuma delas o cimento foi repetido, o que indica que os concretos das três edificações possuem cores e texturas bem distintas entre si.

- Produção das “bolachas de concreto”

A produção das “bolachas de concreto” iniciou com a dosagem do concreto e a sua resistência foi avaliada por meio do ensaio de Determinação da resistência à compressão (NBR 5739).

Ao todo obteve-se 12 “bolachas de concreto”, dividida em três grupos de quatro bolachas. Cada grupo foi destinado à aplicação de uma argamassa, resultando portanto em quatro variáveis para cada argamassa. As referidas variáveis estão descritas na Tabela 12:

Tabela 12: Bolachas de concreto.

ARGAMASSA / EDIFICAÇÃO	NOMENCLATURA DA “BOLACHA DE CONCRETO”	TRATAMENTO DADO À SUPERFÍCIE	PONTE DE ADERÊNCIA
<b>ARGAMASSA 01 (NATA)</b>  ATELIER DE ARQUITETURA	BC 01 (Variável 01)	Liso	Junta seca
	BC 02 (Variável 02)	Rugoso	Junta seca
	BC 03 (Variável 03)	Liso	Ponte de aderência com cola epóxi
	BC 04 (Variável 04)	Rugoso	Ponte de aderência com cola epóxi
<b>ARGAMASSA 02</b>  TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO	BC 05 (Variável 01)	Liso	Junta seca
	BC 06 (Variável 02)	Rugoso	Junta seca
	BC 07 (Variável 03)	Liso	Ponte de aderência com cola epóxi
	BC 08 (Variável 04)	Rugoso	Ponte de aderência com cola epóxi
<b>ARGAMASSA 03 (NATA)</b>  MEMORIAL DA CABANAGEM	BC 09 (Variável 01)	Liso	Junta seca
	BC 10 (Variável 02)	Rugoso	Junta seca
	BC 11 (Variável 03)	Liso	Ponte de aderência com cola epóxi
	BC 12 (Variável 04)	Rugoso	Ponte de aderência com cola epóxi

- Determinação da resistência à compressão (NBR 7215)

O ensaio de determinação da resistência à compressão indicou que aos 28 dias a resistência do concreto utilizado para a produção das bolachas alcançou o valor de 26,8 MPa (Tabela 13), se aproximando da resistência estabelecida

inicialmente que era de 25MPa, estando portanto adequada para simular o substrato das edificações.

**Tabela 13:** Resistência à compressão das “bolachas de concreto”.

CORPO DE PROVA	IDADE (DIAS)	RESISTÊNCIA	TRAÇO	DOSAGEM
1	7 DIAS	25,7 MPa	1:2,18:2,82:0,6	14,5 Kg CIMENTO : 30 Kg AREIA : 40 Kg SEIXO : 8,5 Kg ÁGUA
2	7DIAS	26,7 MPa		
3	28 DIAS	26,4 MPa		
4	28 DIAS	<b>26,8 MPa</b>		

- Descrição das argamassas e ensaio para determinação do índice de consistência normal

A argamassa 01 apresentou fissuras em toda a sua extensão e em todas as variáveis. Sua elevada retração se deu possivelmente pela ausência de um agregado, já que se trata de uma nata feita apenas com cimento e água (Figura 77).

**Figura 70:** (a) argamassa 01 / variável 01; (b) argamassa 01 / variável 02; (c) argamassa 01 / variável 03; (d) argamassa 01 / variável 04.



A argamassa 02 por sua vez não apresentou nenhuma fissura em nenhuma de suas variáveis nem quaisquer outras patologias, resultando em uma aparência e desempenho satisfatórios (Figura 78).

**Figura 71:** (a) argamassa 02 / variável 01; (b) argamassa 02 / variável 02; (c) argamassa 02 / variável 03; (d) argamassa 02 / variável 04.



A argamassa 03, assim como a argamassa 01, teve uma retração elevada por ser uma nata de cimento sem agregados, porém, para as variáveis nas quais foi utilizada a ponte de aderência com cola epóxi, as fissuras diminuíram consideravelmente, apresentando uma aparência satisfatória (Figura 79).

**Figura 72:** (a) argamassa 03 / variável 01; (b) argamassa 03 / variável 02; (c) argamassa 03 / variável 03; (d) argamassa 03 / variável 04.



- Determinação da resistência à compressão (NBR 7215)

Os resultados indicaram resistências aproximadas à do substrato (Tabela 14), sugerindo que os módulos de elasticidade do substrato e da argamassa são compatíveis, visto que o módulo de elasticidade é estabelecido em função da resistência à compressão do material.

Logo, considera-se o resultado satisfatório uma vez que os resultados indicam que não haverá incompatibilidades quanto à deformação do material.

**Tabela 14:** Resistência à compressão das argamassas.

CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS PREPARADOS COM ARGAMASSA APLICADA SOBRE AS BOLACHAS DE CONCRETO - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO				
ARGAMASSA	CORPO DE PROVA	IDADE (DIAS)	RESISTÊNCIA	TRAÇO
01	1	14 DIAS	10,19 Mpa	NATA
	2	14 DIAS	17,58 Mpa	
	3	28 DIAS	<b>29,56 Mpa</b>	
	4	28 DIAS	20,64 Mpa	
02	1	14 DIAS	16,20 Mpa	.1:3
	2	14 DIAS	10,70 Mpa	
	3	28 DIAS	18,85 Mpa	
	4	28 DIAS	<b>21,10 Mpa</b>	
03	1	14 DIAS	14,67 Mpa	NATA
	2	14 DIAS	17,53 Mpa	
	3	28 DIAS	24,20 Mpa	
	4	28 DIAS	<b>28,28 Mpa</b>	

- Determinação da resistência de aderência à tração (NBR 13528/2010)

O ensaio de determinação da resistência de aderência à tração foi realizado apenas para a argamassa 02, visto que das três argamassas selecionadas, é a única que possui traço 1:3. As demais, por se tratarem de natas de cimento, não puderam ser submetidas a este ensaio, já que não se aplica para este tipo de material.

O ensaio indicou que para todas as variáveis propostas de tratamento de superfície do substrato (liso ou rugoso) e de tratamento da ponte de aderência (junta seca ou com cola epóxi), os resultados obtidos foram satisfatórios, alcançando o valor exigido por norma que é de 0,30MPa (Tabela 15). Todos os arrancamentos tiveram sua ruptura na interface pastilha-argamassa, ou seja, por mais que os valores alcançassem os mínimos exigidos por norma, o valor definitivo não pôde ser estabelecido, uma vez que a aderência da argamassa ao substrato superou a aderência da pastina à argamassa, indicando assim que todas as variáveis foram satisfatórias.

**Tabela 15:** Resistência de aderência à tração das argamassas.

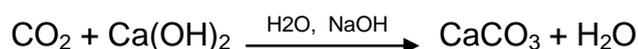
Ensaio de Arrancamento - Resistência de Aderência à Tração - Argamassa 02					
Variável	Pastilha	N	KGF	Resistência	Tipo de Ruptura
BC 05 (substrato liso/junta seca)	1	1009	103	>0,52	Interface: Pastilha-Argamassa
	2	1156	118	>0,6	Interface: Pastilha-Argamassa
	3	793	81	>0,41	Interface: Pastilha-Argamassa
	4	1411	144	>0,73	Interface: Pastilha-Argamassa
BC 06 (substrato rugoso/junta seca)	1	401	41	>0,21	Interface: Pastilha-Argamassa
	2	627	64	>0,33	Interface: Pastilha-Argamassa
	3	1029	105	>0,54	Interface: Pastilha-Argamassa
	4	468	47	>0,24	Interface: Pastilha-Argamassa
BC 07 (substrato liso/ponte de aderência)	1	527	54	>0,28	Interface: Pastilha-Argamassa
	2	558	57	>0,29	Interface: Pastilha-Argamassa
	3	427	44	>0,22	Interface: Pastilha-Argamassa
	4	646	66	>0,34	Interface: Pastilha-Argamassa
BC 04 (substrato rugoso/ponte de aderência)	1	950	97	>0,49	Interface: Pastilha-Argamassa
	2	Sem Pressão	Sem Pressão	Sem Pressão	Interface: Pastilha-Argamassa
	3	1058	108	>0,55	Interface: Pastilha-Argamassa
	4	823	84	>0,43	Interface: Pastilha-Argamassa

#### 4.2.2. Caracterização Mineralógica

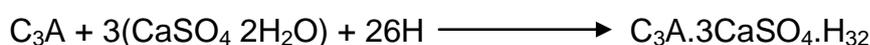
- Difração de raios-X

Os difratogramas das Argamassas 01, 02 e 03 apresentaram os mesmos minerais na composição do material, são eles: calcita, etringita, quartzo, portlandita e silicato de cálcio (Figuras 80 a 82).

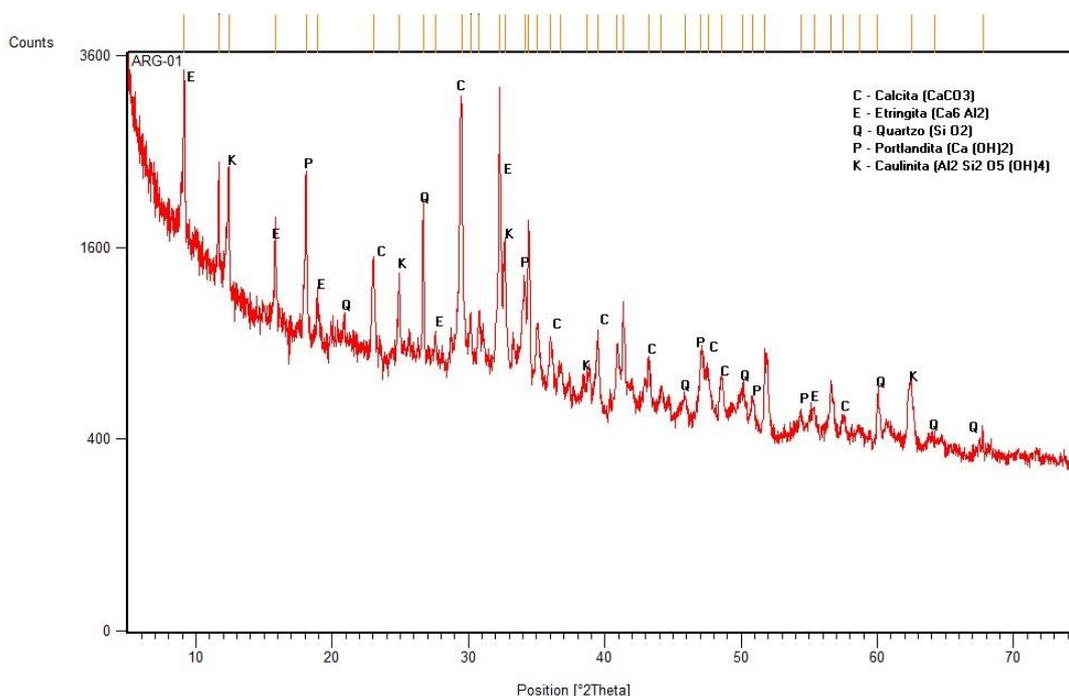
O quartzo é proveniente da areia utilizada como agregado para a argamassa; a portlandita proveniente da matriz do cimento e o silicato de cálcio possivelmente do grão de clínquer não hidratado. A portlandita ao reagir com o dióxido de carbono presente na atmosfera produz a calcita presente dos difratogramas, caracterizando o processo denominado de carbonatação. Esta reação pode ser resumida da seguinte forma:



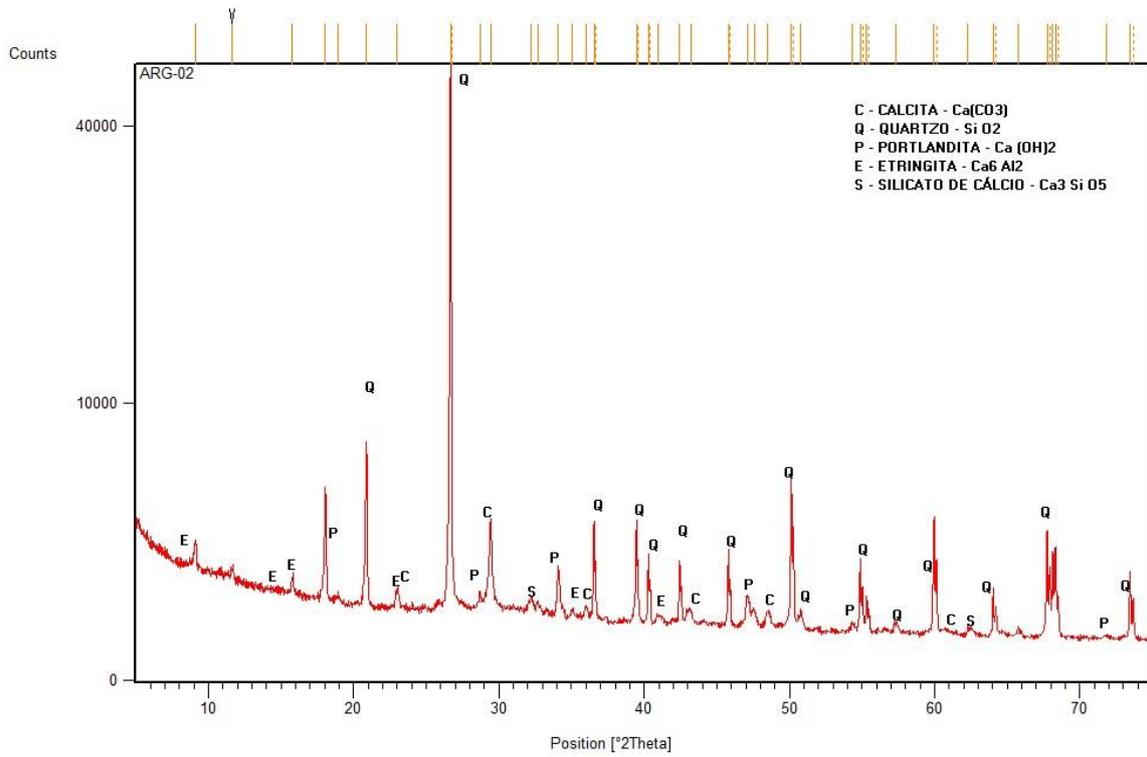
A etringita por sua vez, é definida por Silva (1995), como um sal complexo, decorrente da hidratação do cimento. Trata-se do contato do aluminato tricálcico (C3A) com o gesso, ambos presentes no cimento, na presença de água, formando a seguinte reação:



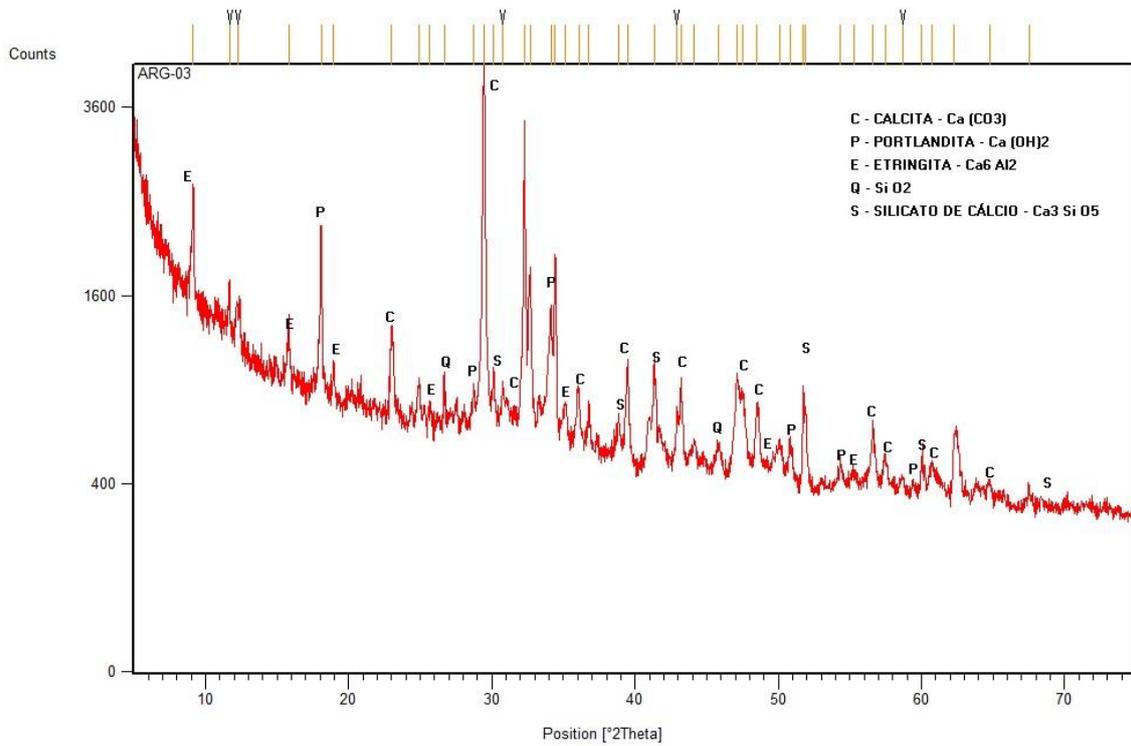
**Figura 73:** Difratograma da Argamassa 01.



**Figura 74:** Difractograma da Argamassa 02.



**Figura 75:** Difractograma da Argamassa 03.



# CONCLUSÕES

## 5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa apresentou a importância da preservação e restauração da arquitetura moderna do concreto aparente construída em Belém, por meio de um panorama histórico, o qual acaba por se refletir na teoria do restauro, e por meio de investigação tecnológica, que deu suporte para entender o material, os processos de degradação e a melhor maneira de conservá-lo. Com base nessas informações foi possível delinear subsídios de restauração, de modo que alcançou os objetivos propostos, com a elaboração de uma metodologia para a restauração da matéria enquanto imagem da obra.

A partir dos objetivos específicos determinados, seguem algumas considerações conclusivas sobre a história da arquitetura moderna e a utilização do concreto aparente, bem como sobre a aparência e características tecnológicas do material e o processo metodológico para recuperação do mesmo.

- **Sobre a história da arquitetura moderna e a utilização do concreto aparente nas edificações de Belém**

O desenvolvimento de uma arquitetura regada a conceitos modernistas em Belém, muito se deveu à iniciativa dos engenheiros e construtores locais que buscavam inspirações de fontes advindas do sul e suldeste do país, onde a arquitetura com traços retos e novas tecnologias construtivas, crescia de forma acelerada.

Este fato fica evidenciado inclusive pela mobilização dos engenheiros locais para a criação do primeiro curso de arquitetura e urbanismo, o qual foi fundado no ano de 1964, e somaria para disseminação dos conceitos modernos.

Em Belém, esta arquitetura, apesar de ter chegado de certa maneira tardiamente se comparada ao resto do país, se estabeleceu e se consolidou, por meio da construção de edificações com caráter inovador e de grande valor estético, o que contribuiu para a sua aceitação e popularização.

Não tardou para que os conceitos brutalistas da arquitetura do concreto aparente ganhassem espaço e seguidores no cenário da arquitetura moderna em

Belém, especialmente aqueles profissionais que tinham de alguma forma contato com as obras projetadas com este material no eixo Rio-São Paulo.

O concreto aparente logo passou a ser uma opção recorrente, sendo utilizado principalmente em obras institucionais, nas quais as potencialidades plásticas do material eram permitidas ser exploradas, tendo em vista o tamanho e escala dos prédios. Poucos foram os casos nos quais o material foi utilizado para fins habitacionais.

No entanto, pela falta de conhecimento acerca de ações preservacionistas e intervenções restaurativas adequadas, a imagem do material, que carrega nela própria a essência conceitual das obras, sofreu ao longo dos anos severos processos de degradação e descaracterização, recebendo camadas de pintura e assim comprometendo o seu caráter inovador, como foi observado e identificado nas análises laboratoriais realizadas pela presente pesquisa.

Contudo, o concreto aparente permanece até à contemporaneidade, como uma valorosa opção de tecnologia construtiva, observado pelas recentes construções executadas em Belém, as quais adotaram o material, a exemplo do Aeroporto Internacional de Belém.

- **Sobre a imagem do concreto aparente e suas características tecnológicas**

Foi observado ao longo da pesquisa algumas características e peculiaridades quanto à aparência do material e suas propriedades tecnológicas.

De um modo geral, o concreto aparente executado nas edificações de Belém é constituído substancialmente por cimento cinza e agregados como areia, seixo e brita. Não foi identificada nenhuma construção executada com cimento branco.

No entanto, as tonalidades dos materiais variaram entre si, algumas apresentando tonalidades acinzentadas mais claras e outras mais escuras, possivelmente decorrente dos diferentes tipos de cimento e dosagem do concreto.

Outra característica referente à imagem do material observada foi quanto a sua textura. Algumas edificações, como o TCE, apresentaram diferentes tipos de textura em uma mesma peça e na edificação como um todo, variando de lisas,

rugosas com agregados expostos e/ou com a marca da forma de madeira impressa no concreto. Nesta edificação e no Atelier de Arquitetura foi identificada também uma textura uniforme composta por material fino, dando fortes indícios da utilização de natas de cimento para tratamento e cobrimento da superfície do concreto.

Os traços dos materiais antigos apresentaram uma pequena variação entre si, exceto o material coletado na superfície da peça do Atelier, o qual acusou uma pequena porção de agregado confirmando a utilização da nata de cimento.

As areias obtidas nestes traços, apesar de terem uma leve variação quanto às porcentagens retidas nas peneiras, apresentaram de uma forma geral características similares, classificadas como areias médias a finas.

As composições mineralógicas obtidas em ensaios laboratoriais, revelaram que o concreto estudado ainda está passando por um processo de transformação mineralógica, constatado pela presença de polimorfos de  $\text{CaCO}_3$ , calcita, aragonita e vaterita, resultantes da carbonatação sofrida pelo material, o que também pode interferir na coloração deste.

- **Sobre a recuperação do concreto aparente**

Para a recuperação e restauração do concreto aparente, é necessário primeiramente que se faça uma investigação das características e composição do material, na área onde ele será restaurado, para se propor um material compatível ao original, a fim de que se resulte numa intervenção duradoura.

Em seguida, deve-se selecionar os materiais disponíveis comercialmente, para serem testados e utilizados na elaboração de argamassas de restauro. Os resultados do estudo, mostraram que as variações nas tonalidades dos cimentos e os traços aplicados, interferem diretamente na coloração do material, possibilitando a criação de uma cartela de cores que facilitam a seleção das argamassas a serem aplicadas.

Estas argamassas de referência também passam por uma investigação tecnológica a fim de se verificar se suas propriedades atingem os níveis requeridos por norma e se assemelham ao concreto antigo quanto à sua cor, textura e resistência.

No entanto, para se analisar as propriedades físicas de resistência e aderência do material, é necessária a produção de substratos para a aplicação das argamassas. Este substrato deve ter resistência aproximada ao substrato original.

Os ensaios realizados para as argamassas produzidas em laboratório revelaram que as amostras produzidas com traço 1:3 obtiveram resultados mais satisfatórios que as de nata de cimento, uma vez que as natas sofreram forte retração, apresentando fissurações na sua superfície após a cura, possivelmente devido à ausência de agregados.

As argamassas apresentaram também excelentes resultados de resistência à compressão, com resistências aproximadas às do substrato, permitindo concluir que estas possuem módulos de elasticidade semelhantes ao do concreto.

O tratamento dado ao substrato e à interface deste com a argamassa também requer atenção, pois influenciará diretamente na aderência da argamassa de restauro.

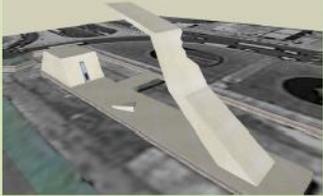
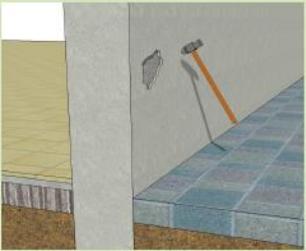
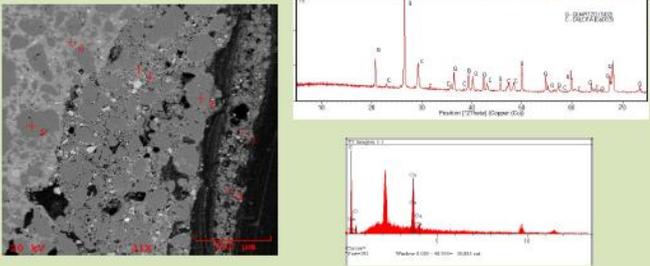
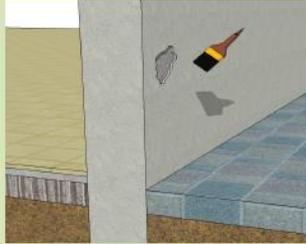
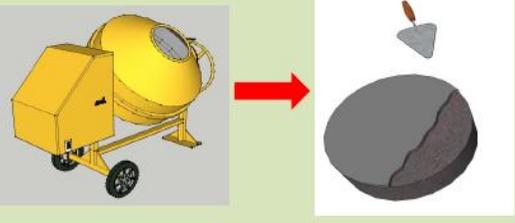
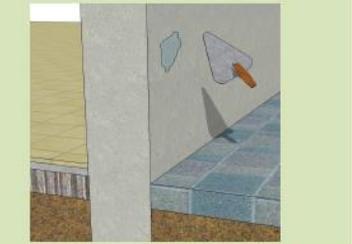
Os resultados revelaram que as argamassas com traço 1:3 tiveram uma aderência satisfatória para todas as variáveis de tratamentos de superfície do substrato, visto que todos os arrancamentos obtiveram valores superiores aos requeridos por norma e suas rupturas ocorreram na interface pastilha-argamassa, indicando que a resistência de aderência foi ainda superior aos resultados obtidos.

Logo, a opção mais indicada foi a variável BC 06, pois além de atender as exigências de aderência exigidas por norma, também oferece uma segurança maior devido a ancoragem mecânica proporcionada pelo substrato rugoso.

Sendo assim, os subsídios de restauro propostos pela presente pesquisa sugerem que a recuperação do concreto aparente não pode ser realizada de forma descriteriosa, visto que o procedimento requer uma investigação quanto a caracterização do material considerando aspectos como a cor, a textura e resistência, de modo a produzir um material semelhante a este. Vale ressaltar que isto se aplica a intervenções pontuais, uma vez que cada área do concreto possui propriedades diferentes, as quais requerem análises específicas, em função da grande variedade de tons e texturas numa mesma peça e/ou numa mesma edificação.

O passo-a-passo desses procedimentos pode ser observado na figura 83.

Figura 76: Subsídios tecnológicos e metodologia de restauração do concreto aparente.

SUBSÍDIOS TECNOLÓGICOS E METODOLOGIA DE RESTAURAÇÃO DO CONCRETO APARENTE									
VIES HISTORICO		VIES TECNOLÓGICO							
<p>As obras em concreto aparente oferecem à cidade de Belém um valioso repertório de construções modernistas, testemunhando que a cidade não ficou alheia à um dos mais importantes movimentos acontecidos na história da arquitetura.</p>		<p>Tribunal de Contas do Estado do Pará (TCE), Memorial da Cabanagem e Atelier de Arquitetura da UFPA representam este legado por serem ícones da arquitetura do concreto aparente construída em Belém.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Composição / Imagem</th> <th>Degradação</th> <th>Restauração</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <p>Cimento / Agregado</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Cor / Textura</p> </td> <td> <p>Ataque por sulfatos; Hidrólise da pasta de cimento; Carbonatação, Ninhos de concretagem; Ação de sais à base de cimento; Desagregação; Disgregação</p> </td> <td> <p>Argamassas como material de restauração:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa aderência;</li> <li>- Boa resistência;</li> <li>- Módulo de elasticidade aproximado ao do substrato.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Composição / Imagem	Degradação	Restauração	<p>Cimento / Agregado</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Cor / Textura</p>	<p>Ataque por sulfatos; Hidrólise da pasta de cimento; Carbonatação, Ninhos de concretagem; Ação de sais à base de cimento; Desagregação; Disgregação</p>	<p>Argamassas como material de restauração:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa aderência;</li> <li>- Boa resistência;</li> <li>- Módulo de elasticidade aproximado ao do substrato.</li> </ul>
Composição / Imagem	Degradação	Restauração							
<p>Cimento / Agregado</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Cor / Textura</p>	<p>Ataque por sulfatos; Hidrólise da pasta de cimento; Carbonatação, Ninhos de concretagem; Ação de sais à base de cimento; Desagregação; Disgregação</p>	<p>Argamassas como material de restauração:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa aderência;</li> <li>- Boa resistência;</li> <li>- Módulo de elasticidade aproximado ao do substrato.</li> </ul>							
METODOLOGIA DE RESTAURAÇÃO DO CONCRETO APARENTE PARA RECOMPOSIÇÃO DE ÁREAS COM LACUNAS									
<p><b>Passo 01:</b> Coleta de amostras nos locais a serem restaurados para investigação das propriedades do material.</p>	<p><b>Passo 02:</b> Caracterização Física, Mineralógica e Química da amostra</p>	<p><b>Passo 03:</b> Aquisição dos materiais para produção das argamassas de referência</p>	<p><b>Passo 04:</b> Produção das argamassas com tonalidades variadas e traços previamente estabelecidos</p>						
									
<p><b>Passo 05:</b> Limpeza do substrato (<i>in loco</i>) para análise comparativa de cores e texturas</p>	<p><b>Passo 06:</b> Produção do substrato em laboratório para teste das argamassas, considerando as variáveis de tratamento de superfície e pontes de aderência pré-estabelecidas</p>	<p><b>Passo 07:</b> Caracterização Física e Mineralógica das argamassas produzidas em laboratório</p>	<p><b>Passo 08:</b> Escolha das variáveis que obtiveram os melhores resultados para aplicação <i>in loco</i> e reintegração da imagem</p>						
									

Como sugestões para trabalhos futuros propõe-se:

- A avaliação de um material semelhante a nata, só que não constituído apenas de cimento, mas cimento e um agregado fino, a fim de diminuir a retração. Sugere-se também o estudo de outros traços como 1:1 e 1:2, com e sem adições minerais, a fim de se combater a retração ocorrida nas natas de cimento;
- Um estudo avaliativo do comportamento a médio e longo prazo, após a aplicação das argamassas, para verificação do seu desempenho frente às ações intempéricas.

**REFERÊNCIAS**  
**BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTIGAS, João Batista Vilanova. **Vilanova Artigas**. Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 1997.

BARATA, Márcio Santos. **Aproveitamento dos resíduos caulíníticos das indústrias de beneficiamento de caulim da região amazônica como matéria-prima para fabricação de um material de construção (pozolanas)**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica – UFPa. Belém, 2007.

BAUER, Luiz A. F.. **Materiais de Construção**. 2.ed. – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.

BITAR, William. **Formação da arquitetura moderna no Brasil (1920-1940)**.

Disponível

em:

<<http://www.docomomo.org.br/seminario%206%20pdfs/William%20Bittar.pdf>>.

Acesso em: 06 ago.2010.

BRANDI, Cesare, 1906-1988. **Teoria da Restauração** / Cesare Brandi; tradução Beatriz Mugayar Kühl; apresentação Giovanni Carbonara; revisão Renata Maria Parreira Cordeiro. – Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2004.

CURTIS, William J. R. **Arquitetura Moderna desde 1900**; tradução Alexandre Salvaterra – 3.ed. – Porto Alegre: Bookman, 2008.

FUÃO, Fernando Freitas. **Brutalismo, a última trincheira do movimento moderno**. Arqtextos 007.09, ano 01, 2000. Acesso em: set.2012.

GALLETTO, Adriana. **Reparo de Estruturas de Concreto: Contribuição ao Estudo da Aderência**. Campinas, SP, 2005.

GONSALES, Célia H. C. **A preservação do patrimônio moderno: Critérios e valores**. In: Segundo Seminário Docomomo N-NE. Salvador: 2008

KAEFER, Luis F. **A Evolução do Concreto Armado**. Disponível em: <<http://www.lem.ep.usp.br/pef605/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2010.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concrete: Microstructure, Properties and Materials**. Outubro, 2001.

MIYOSHI, Alex. **O edifício do MASP como sujeito de estudo**. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/07.084/245>>. Acesso em 06 de ago.2012.

**NBR 5732:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

**NBR 11578:** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

**NBR 7215:** Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

**NBR 13528:** Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

**NBR 7217:** Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

**NBR 9776:** Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

OLIVEIRA, Claudia T. A. **O restauro do moderno: o caso do edifício Vilanova Artigas da FAUUSP**. In: Anais do Sétimo Seminário Docomomo. Porto Alegre, 2007.

PINHEIRO, Maria L. B. **Dilemas na Preservação da Arquitetura Moderna. O Edifício da Faculdade de Arquitetura da USP**. Disponível em: <<http://www.docomomo.org.br/seminario%205%20pdfs/106R.pdf>>. Acesso em: 06 ago.2010.

RIBEIRO, Carmem C. **Materiais de construção civil** / Carmem C. Ribeiro, Joana Darc S. Pinto, Tadeu Starling. 2.ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

SARQUIS, Giovanni Blanco. **A arquitetura como expressão da modernidade em Belém entre 1930 e 1964**. Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo; Mackenzie. São Paulo, v.3, n.1, p. 29-51, 2003.

SEGAWA, Hugo. **Arquiteturas do Brasil 1900-1990** / Hugo Segawa. – 2. Ed. 1. Reimpr. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. – (Acadêmica; 21).

TEUTONICO, Jeanne Marie. **A laboratory manual for architectural conservators**. Roma: Internacional Center for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property, 1988.

VELHO, José Lopes. **Mineralogia Industrial – Princípios e Aplicações**. Ed. Lidel. Portugal, 2005.

VIDAL, Celma Chaves Pont. **La arquitectura en Belém, 1930-1970: Una Modernización dispersa con lenguajes cambiantes**. Tese de doutorado apresentada à *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona de la Universidad politécnica da Cataluña*. Barcelona, 2004.

VIDAL, Celma Chaves Pont. **Modernização, inventividade e mimetismo na arquitetura residencial em Belém entre as décadas de 1930 e 1960**. Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo do programa de pós-graduação do departamento de arquitetura e urbanismo; EESC-USP. São Paulo, 2008.