

**ARIOSVALDO GOMES RIBEIRO**

**Ação de Sais Minerais Solúveis em Alvenaria de Tijolos  
Cerâmicos no Município de Petrolina-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia das Construções

Orientador: Prof. Dr. Fernando Artur Nogueira Silva

**RECIFE**

**2013**

Ribeiro, Ariosvaldo Gomes.

AÇÃO DE SAIS MINERAIS SOLÚVEIS EM ALVENARIAS DE TIJOLOS CERÂMICOS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE, RECIFE, 2013.138p

Dissertação – Universidade Católica de Pernambuco – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Origem dos sais minerais solúveis 2. Manifestações dos sais em alvenarias de tijolos cerâmicos 3. Tipos de sais minerais solúveis presentes na água, solo, no ar e nos materiais cerâmicos. 4. Métodos de análise dos sais minerais existentes nas alvenarias de blocos cerâmicos. I. Universidade Católica de Pernambuco. Centro de Ciências e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**CIVIL**

**ARIOSVALDO GOMES RIBEIRO**

**Ação de Sais Minerais Solúveis em Alvenaria de Tijolos**  
**Cerâmicos no Município de Petrolina-PE**

**Comissão Examinadora:**

---

**Prof. Dr. Fernando Artur Nogueira Silva**

**Orientador - Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP**

---

**Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira**

**Examinador Interno - Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP**

---

**Professor Dr. José Getúlio Gomes de Sousa**

**Examinador Externo - Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF**

Aprovado em 12 de Abril de 2013

## Agradecimentos

A Deus por me permitir saúde, força e sabedoria para vencer mais uma batalha na vida.

À minha família (mãe, irmãos, esposa e filhos) que tanto me apoiaram nos momentos mais difíceis nesta caminhada.

Ao Professor Dr. Fernando Artur Nogueira pela sua dedicação e compromisso durante todo o período de orientação para realização deste trabalho,

Ao professor Sérgio Paiva e as graduandas em engenharia ambiental e engenharia química Natália Cordeiro e Monique Carla Souza pela valiosa colaboração nas análises realizadas no Laboratório de Química da Universidade Católica de Pernambuco.

À empresa Central de Tratamento de Resíduos de Petrolina S/A, na pessoa de seu Diretor Executivo, Engenheiro Msc. Fábio André Frutuoso pelo apoio técnico-financeiro ao longo do desenvolvimento de diversas etapas da pesquisa e à Romália Negreiro pela maneira interessada e cordial com que sempre atendia às demandas do trabalho.

Aos colegas Humberto Alencar, Adelmo Siqueira, Paulo Freire, Almair Santos e Mauricio Campos que contribuíram muito no momento inicial e decisivo para o acesso ao Programa de Mestrado. Aos colegas André Patriota e Fábio Danyalgil pelo apoio recebido durante o andamento desta jornada acadêmica.

À Nélia Queiroz, da Secretaria do Mestrado da Universidade Católica de Pernambuco, pela sua forma delicada e dedicada no atendimento a nós alunos.

À Maria Damiana de Araújo pela dedicação intensa durante realização das análises físicas do solo realizadas no Laboratório de Solos do IF Sertão.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, em especial à Profa. Dra. Maria das Graças Vasconcelos Ferreira, Prof. Dr. Silvio Romero Melo Ferreira e Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira pela valiosa colaboração durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos Professores Rubem Franca e Marco Nóbrega por ter dedicado parte do seu tempo para auxiliar durante a análise dos solos.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## **Resumo**

Este trabalho discute o fenômeno da ação de sais minerais solúveis em alvenarias de tijolos cerâmicos no município de Petrolina-PE. Para o entendimento deste fenômeno foi realizado um mapeamento das patologias oriundas da ação de sais minerais solúveis existentes em Petrolina e instalados poços de monitoramento da água subterrânea em cinco pontos considerados de maior ocorrência do fenômeno. Amostras de solo, da água subterrânea, de tijolos afetados pelo fenômeno e do nível de cloreto na atmosfera destas localidades foram coletadas e analisadas em laboratório para caracterização de suas propriedades. Os resultados obtidos indicam que as manifestações patológicas existentes nas paredes de alvenaria de blocos cerâmicos das edificações localizadas nas áreas em estudo são influenciadas pelo elevado conteúdo de sais solúveis observado nas amostras de solo e águas subterrâneas coletadas, não sendo verificada qualquer influência dos cloretos existentes na atmosfera.

**Palavras-Chave:** Sais solúveis, umidade em edificações, cloretos na atmosfera, patologias em alvenarias.

## **Abstract**

The work discusses about the effects of soluble salts action on ceramic brick masonry walls in Petrolina-PE. To understand this phenomenon a mapping of pathologies on walls related with soluble salt action was performed and monitoring wells were installed to capture groundwater in five places on the city where the phenomenon occurs more frequently. Samples of soils and groundwater as well as samples of ceramic bricks and level of chloride in the atmosphere were collected and analyzed in laboratory to assess their properties. Obtained results showed pathological manifestations observed on ceramic bricks walls in building localized on the areas studied are strongly influenced by the high content of soluble salts found in samples of soils and groundwater in the city and not by the content of chloride in the atmosphere.

Keywords: Soluble salts, moisture in buildings, chlorides in the atmosphere, pathologies on masonry.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO .....   | 5  |
| ABSTRACT .....   | 6  |
| SUMÁRIO .....  | 7  |
| LISTA DE TABELAS .....   | 12 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....   | 13 |
| CAPITULO 01 .....  | 16 |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 16 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA .....  | 18 |
| 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....   | 19 |
| 1.3 OBJETIVO GERAL .....   | 19 |
| 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 19 |
| 1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....  | 20 |
| 1.6 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....  | 23 |
| CAPITULO 02 .....  | 24 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 24 |
| 2.1 AÇÃO DE SAIS MINERAIS EM BLOCOS CERÂMICOS .....  | 24 |
| 2.1.1 ASPECTOS GERAIS .....  | 24 |
| 2.1.2 ORIGEM DOS SAIS MINERAIS SOLÚVEIS .....  | 24 |
| 2.1.3.1 Elementos salinos na água .....  | 31 |
| 2.1.3.2 Elementos salinos no solo .....  | 33 |
| 2.1.3.3 Elementos salinos na atmosfera .....   | 37 |
| 2.1.3.3 Elementos salinos em materiais de construção .....   | 38 |
| 2.1.4 MANIFESTAÇÕES DOS SAIS SOLÚVEIS EM EDIFICAÇÕES .....   | 43 |
| 2.1.5 POSSÍVEIS MANEIRAS DE MINIMIZAR OS ATAQUES DE SAIS MINERAIS SOLÚVEIS EM<br>ALVENARIAS DE TIJOLOS CERÂMICOS ..... | 43 |
| CAPITULO 03 .....  | 46 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....   | 46 |
| 3.1-INTRODUÇÃO .....   | 46 |
| 3.2 METODOLOGIA .....  | 47 |
| 3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ESTUDO E CARATERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS<br>PATOLÓGICOS OBSERVADOS .....                   | 48 |
| 3.3.1 Identificação dos pontos de estudos .....  | 48 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.3.2 Caracterização das manifestações patológicas.....   | 56  |
| 3.4 IMPLANTAÇÕES DOS POÇOS DE MONITORAMENTO .....   | 60  |
| 3.5 ENSAIOS REALIZADOS NO SOLO, ÁGUA, TIJOLOS E DETERMINAÇÃO DE CLORETOS NA<br>ATMOSFERA. ....      | 67  |
| 3.5.1 Procedimentos adotados para análise físico-química do solo .....                              | 67  |
| 3.5.2 Procedimentos adotados para análise química da água do subsolo .....                          | 69  |
| 3.5.3 Procedimentos adotados para análise química dos tijolos cerâmicos .....                       | 71  |
| 3.5.4 Procedimentos adotados para determinação de cloretos na atmosfera .....                       | 75  |
| CAPITULO 04 .....   | 81  |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....  | 81  |
| 4.1 AVALIAÇÃO DA AÇÃO DE SAIS MINERAIS SOLÚVEIS EM ALVENARIAS DE TIJOLOS<br>CERÂMICOS .....         | 81  |
| 4.1.1 INTRODUÇÃO.....   | 81  |
| 4.1.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DO SOLO, AGUA, TIJOLOS E DETERMINAÇÃO DE CLORETOS NA<br>ATMOSFERA. .... | 81  |
| 4.1.2.1 Características físicas do solo .....   | 81  |
| TABELA 4. 1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....   | 82  |
| 4.1.2.2 Análise química do solo .....   | 82  |
| 4.1.2.2 Análise da Água do Subsolo .....  | 87  |
| 4.1.2.3- Análise dos Tijolos .....  | 92  |
| 4.1.2.4- DETERMINAÇÃO DE CLORETOS NA ATMOSFERA .....  | 106 |
| CAPITULO 05 .....   | 110 |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA OUTROS TRABALHOS .....   | 110 |
| 6 REFERÊNCIAS.....  | 115 |
| APÊNDICE .....  | 119 |
| APÊNDECE A - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO RASO DA CATARINA... 119                                 |     |
| APÊNDECE B-GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO RASO DA CATARINA 1-A121                                   |     |
| APÊNDECE C - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO ANTÔNIO CASSIMIRO. 123                                  |     |
| APÊNDECE D - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO JARDIM AMAZONAS ... 125                                 |     |
| APÊNDECE E - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO DOM MALAN..... 127                                      |     |
| APÊNDECE F - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO VILA EDUARDO 1 ..... 129                                |     |
| APÊNDECE G - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO VILA EDUARDO 2..... 131                                 |     |
| APÊNDECE H - LIMITES DE ATTERBERG JARDIM AMAZONAS .....   | 133 |
| APÊNDECE I - LIMITES DE ATTERBERG DOM MALAN .....   | 134 |
| APÊNDECE J - LIMITES DE ATTERBERG VILA EDUARDO.....   | 135 |
| APÊNDECE K - ENSAIOS DE SOLO PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS .....  | 136 |
| APÊNDECE L - PERFIL DE SONDAGEM RASO DA CATARINA .....  | 140 |
| APÊNDECE M - PERFIL DE SONDAGEM ANTÔNIO CASSIMIRO .....   | 141 |
| APÊNDECE N- PERFIL DE SONDAGEM JARDIM AMAZONAS.....   | 142 |
| APÊNDECE O - PERFIL DE SONDAGEM DOM MALAN.....  | 143 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. 2 - Processo de produção dos tijolos cerâmicos - Fonte: Autor em 20/12/2012.....  | 22 |
| Figura 2. 1 - Ciclo hidrológico- Fonte: <a href="http://www.ufrj.br">http://www.ufrj.br</a> , acesso em 19/06/2013 .....  | 31 |
| Figura 2. 2 – Correlação condutividade elétrica e sais solúveis no extrato – Fonte: Menezes, et al , 2006 .....   | 39 |
| Figura 2. 3- Correlação entre temperatura de queima e teor sais solúveis - Fonte: MENEZES, et al, 2006 .....  | 39 |
| Figura 2. 4 – Degradação por sais – Fonte: GONÇALVES, 2007 .....  | 41 |
| Figura 2. 5 - Manifestação de sais solúveis em alvenaria - Fonte: NAPPI e MARQUES, 2010 ..  | 43 |
| Figura 2. 6 - Instalação de eletrodos numa parede - Fonte: NAPPI e MARQUES, 2010.....   | 44 |
| Figura 2. 7 - Execução de barreiras contra umidade por capilaridade - Fonte: NAPPI e MARQUES, 2010.....   | 44 |
| Figura 3. 1 - Esgoto a céu aberto nas localidades do Raso da Catarina, Antônio Cassimiro, Jardim Amazonas, Dom Malan e Vila Eduardo – Fonte: O autor em 29/05/2012..... | 49 |
| Figura 3. 2 - Esgoto a céu aberto Raso da Catarina - Fonte: O autor.....  | 51 |
| Figura 3. 3 - Procedimentos para rebaixamento lençol no Raso da Catarina - Fonte: O autor .....   | 52 |
| Figura 3. 4 - Esgoto sanitário a céu aberto nas ruas sendo direcionado ao canal existente - Fonte: O autor.....   | 52 |
| Figura 3. 5 - Edificação com alvenaria em decomposição no Jardim Amazonas - Fonte: O autor.....   | 53 |
| Figura 3. 6 - Edificação apresentando alvenaria em decomposição bairro Dom Malan - Fonte: O autor.....  | 54 |
| Figura 3. 7 - Esgoto a céu aberto escoando próximo às edificações - Fonte: O autor.....   | 55 |
| Figura 3. 8 - Depreciação dos tijolos das alvenarias nos bairros Antônio Cassimiro, Dom Malan, Jardim Amazonas e Vila Eduardo – Fonte: Autor em 29/05/2012 .....        | 56 |
| Figura 3. 9 - Mapeamento dos pontos adotados para pesquisa - Fonte: Autor .....   | 56 |
| Figura 3. 10 - Tijolos da alvenaria degradados e transformados em pó - Fonte: O autor .....   | 57 |
| Figura 3. 11 - Esgoto a céu aberto e nível do lençol freático próximo ao Raso da Catarina - Fonte: O autor.....   | 57 |
| Figura 3. 12 - Esgoto a céu aberto e nível superficial do lençol freático no Antônio Cassimiro - Fonte: O autor .....   | 58 |
| Figura 3. 13 - Edificações em decomposição no jardim Amazonas - Fonte: O autor.....   | 59 |
| Figura 3. 14 - Residência em degradação no bairro Dom Malan - Fonte: O autor .....  | 60 |
| Figura 3. 15 - Edificação apresentando degradação na alvenaria no bairro Vila Eduardo - Fonte: O autor.....   | 60 |
| Figura 3. 16 - Poço de monitoramento número 01 - (Raso da Catarina) – Fonte: O Autor em 28/05/2012.....   | 62 |
| Figura 3. 17 - Poço de monitoramento número 02- Bairro Antônio Cassimiro– Fonte: O autor em 28/05/2012.....   | 63 |
| Figura 3. 18 - Poço de monitoramento número 03 - Bairro Jardim Amazonas – Fonte: O autor em 29/05/2012.....   | 64 |
| Figura 3. 19 - Poço de monitoramento número 04 - Bairro Dom Malan– Fonte: O autor em 29/05/2012.....  | 65 |
| Figura 3. 20 - Poço de monitoramento número 05- Vila Eduardo – Fonte: Autor em 29/05/2012.....  | 66 |
| Figura 3. 21 - Coleta e tratamento das amostras do solo- Fonte: Autor em 29/05/2012.....  | 68 |
| Figura 3. 22 - Coleta das amostras da água subterrânea- Fonte: O autor em 18/07/2012.....   | 70 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 3. 23 - Tratamento das amostras da água subterrânea - Fonte: O autor em 18/07/2012....   | 71  |
| Figura 3. 24 - Detalhe tijolo danificado e não danificado- Fonte: O autor em 29/05/2012 .....   | 71  |
| Figura 3. 25 - Pontos de retiradas de amostras dos tijolos próximo ao Raso da Catarina -<br>Fonte: O autor em 09/10/2012.....                         | 72  |
| Figura 3. 26 - Pontos de retiradas amostras tijolos - Bairro Antônio Cassimiro- Fonte: O autor<br>em 09/10/2012.....                                  | 73  |
| Figura 3. 27 - Pontos retiradas amostras dos tijolos - Jardim Amazonas- Fonte: O autor em<br>09/10/2012.....  | 73  |
| Figura 3. 28 - Pontos retiradas amostras dos tijolos - Bairro Dom Malan - Fonte: O autor em<br>09/10/2012.....  | 74  |
| Figura 3. 29 - Pontos de retiradas das amostras dos tijolos - Bairro Vila Eduardo – Fonte: O<br>autor em 09/10/2012.....                              | 74  |
| Figura 3. 30 - Detalhamento da vela úmida – Fonte: ABNT NBR 06211.2001 .....  | 76  |
| Figura 3. 31 - Vela úmida instalada no Raso da Catarina – Fonte: O autor em 22/08/2012.....   | 77  |
| Figura 3. 32 - Vela úmida instalada Bairro Antônio Cassimiro - Fonte: O autor em 22/08/2012   | 78  |
| Figura 3. 33 - Vela úmida instalada Bairro Jardim Amazonas – Fonte: O autor em 22/08/2012   | 78  |
| Figura 3. 34 - Vela úmida instalada no Bairro Dom Malan – Fonte: O autor em 22/08/2012.....   | 79  |
| Figura 3. 35 - Vela úmida instalada Vila Eduardo– Fonte: O autor em 22/08/2012.....   | 80  |
| Figura 4. 1 - Comparativo do sulfato encontrado no tijolo danificado e a água subterrânea<br>Fonte: O autor.....                                      | 95  |
| Figura 4. 2 - Comparativo do sulfato encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte: O<br>autor.....  | 96  |
| Figura 4. 3 - Comparativo do sulfato encontrado nos tijolos danificados e os tijolos não<br>danificados - Fonte: O autor.....                         | 96  |
| Figura 4. 4 - Comparativo do cloreto encontrado nas amostras dos tijolos danificados e da<br>água subterrânea - Fonte: O autor .....                  | 97  |
| Figura 4. 5 - Comparativo do cloreto encontrado nas amostras dos tijolos danificados e o solo<br>- Fonte: O autor .....                               | 98  |
| Figura 4. 6 - Comparativo do cloreto encontrado nas amostras dos tijolos danificados em<br>relação aos tijolos não danificados - Fonte: O autor ..... | 98  |
| Figura 4. 7 – Comparativo do cálcio encontrado nos tijolos danificados e na água subterrânea<br>- Fonte: O autor .....                                | 99  |
| Figura 4. 8 – Comparativo do cálcio encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte: O<br>autor.....   | 100 |
| Figura 4. 9 – Comparativo do cálcio encontrado nos tijolos danificados e nos tijolos não<br>danificados Fonte: O autor .....                          | 100 |
| Figura 4. 10 - Comparativo do magnésio encontrado nos tijolos danificados e na água<br>subterrânea - Fonte: O autor .....                             | 101 |
| Figura 4. 11 - Comparativo do magnésio encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte:<br>O autor.....  | 102 |
| Figura 4. 12 - Comparativo do magnésio encontrado nos tijolos danificados e nos tijolos não<br>danificados Fonte: O autor .....                       | 102 |
| Figura 4. 13 - Comparativo do potássio encontrados nos tijolos danificados e na água<br>subterrânea - Fonte: O autor .....                            | 103 |
| Figura 4. 14 - Comparativo do potássio encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte:<br>O autor.....  | 103 |
| Figura 4. 15 - Comparativo do potássio encontrado nos tijolos danificados e no tijolos não<br>danificados - Fonte: O autor .....                      | 104 |
| Figura 4. 16 - Comparativo do sódio encontrado no tijolo danificado e água subterrânea -<br>Fonte: O autor.....                                       | 105 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4. 17 Comparativo do sódio encontrado no tijolo danificado e solo - Fonte: O autor.....                           | 105 |
| Figura 4. 18 - Comparativo do sódio encontrado no tijolo danificado e não danificado - Fonte:<br>O autor .....           | 106 |
| Figura 4. 19 - Resultados das amostras da vela úmida em Petrolina e a 100 m de Distancia do<br>mar – Fonte: O autor..... | 108 |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 2. 1- Composição da água do mar – Fonte: PONTES, 2006 .....   | 32  |
| Tabela 2. 2 - Conteúdo de sais na água do mar – Fonte: PONTES, 2006.....   | 32  |
| Tabela 2. 3 - Composição da água do mar em Boa Viagem – Recife - Fonte: PONTES, 2006 ...   | 32  |
| Tabela 2. 4 - Caracterização química do solo antes e depois de inundado - Fonte: MOTTA e FERREIRA, 2011 .....                              | 34  |
| Tabela 2. 5 - Resumo das interpretações dos cálculos pedológicos do solo - Fonte: MOTTA e FERREIRA, 2011 .....                             | 34  |
| Tabela 2. 6 - Caracterização dos líquidos de inundação - Fonte: MOTTA e FERREIRA, 2011..   | 35  |
| Tabela 2. 7 Resultados análise química solo, lodo e mistura solo + lodo coletados na ETE Mangueira Recife-PE - Fonte: Feitosa, (2009)..... | 36  |
| Tabela 2. 8 Resultados análise química solo, lodo e mistura solo + lodo coletados na ETE Curado Recife-PE - Fonte: Feitosa, (2009). .....  | 37  |
| Tabela 2. 9 Deposição de cloretos em Recife – Boa Viagem – Fonte: PONTES, 2006 .....   | 38  |
| Tabela 2. 10 - Sais de ocorrência comum na eflorescência - Fonte: BAER, 2001.....  | 40  |
| Tabela 2. 11 - Prescrições estabelecidas - Fonte; BAUER, 2007.....   | 42  |
| Tabela 2. 12 - limites grau de ataque ao concreto - Fonte: BAUER, 2007 <b>Erro! Indicador não definido.</b>                                |     |
| Tabela 3. 1 - Características do Poço de Monitoramento (PM1) Fonte: O autor .....  | 62  |
| Tabela 3. 2 - Caracterização do Poço de Monitoramento (PM2) Fonte: O autor.....  | 63  |
| Tabela 3. 3 - Caracterização do Poço de monitoramento (PM3) Fonte: O autor .....   | 64  |
| Tabela 3. 4 - Caracterização do Poço de Monitoramento (PM4) Fonte: O autor.....  | 65  |
| Tabela 3. 5 - Caracterização do Poço de monitoramento (PM5) Fonte: O autor .....   | 66  |
| Tabela 4. 1 Caracterização do solo .....   | 82  |
| Tabela 4. 2 - Resultados das análises amostras de solo do município de Petrolina-PE .....  | 83  |
| Tabela 4. 3 - Resultados das análises das amostras da água subterrânea em Petrolina – Fonte: O autor .....                                 | 87  |
| Tabela 4. 4 - Resultados das amostras dos tijolos - Fonte: O autor.....  | 92  |
| Tabela 4. 5 - Resultados análise de cloretos na atmosfera - Fonte: O autor.....  | 107 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| $\mu\text{S/cm}$                     | Microsiemens por centímetro                     |
| 100 Na <sup>+</sup> /T               | Percentual de saturação por sódio               |
| ABNT                                 | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| Al <sup>+3</sup>                     | Íon de alumínio                                 |
| Ca                                   | Cálcio  |
| Ca <sup>++</sup>                     | Íon cálcio                                      |
| CaCl <sub>2</sub>                    | Cloreto de cálcio                               |
| CaCO <sub>3</sub>                    | Carbonato de cálcio                             |
| CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O | Sulfato de cálcio dihidratado ou gipsita        |
| CE                                   | Condutividade elétrica                          |
| Cl <sup>-</sup>                      | Íon cloreto                                     |
| cm                                   | Centímetro                                      |
| CO <sub>2</sub>                      | Dióxido de carbono                              |
| CONAMA                               | Conselho Nacional do Meio Ambiente              |
| CTC                                  | Capacidade de troca de cátions                  |
| ds/m                                 | Decisiemens por metro                           |
| EMBRAPA                              | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária     |
| FeS <sub>2</sub>                     | Pirita  |
| g                                    | Gramas  |
| g/cm                                 | Gramas por centímetro                           |
| g/cm <sup>3</sup>                    | Gramas por centímetro cúbico                    |
| g/L                                  | Gramas por litro                                |
| H <sup>+</sup>                       | Íons de hidrogênio                              |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>       | Ácido sulfúrico                                 |
| ha                                   | Hectare   |
| hab/km <sup>2</sup>                  | Habitante por quilometro quadrado               |
| IBGE                                 | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IF                                   | Instituto Federal                               |
| K                                    | Potássio  |
| K <sup>+</sup>                       | Íon potássio                                    |

|  |  |
|--|--|
| KCl  | Cloreto de potássio                                |
| km   | Quilômetro   |
| km <sup>2</sup>                              | Quilômetro quadrado                                |
| kN   | Quilo Newton                                       |
| m  | Metro  |
| m  | Saturação do alumínio                              |
| m <sup>2</sup> .d                            | Metro quadrado por dia                             |
| Mg   | Magnésio   |
| mg Ca <sup>++</sup> /100g tijolo             | Miligrama de íon cálcio por cem gramas de tijolo   |
| mg Ca <sup>++</sup> /L                       | Miligrama de íon cálcio por litro                  |
| mg Cl <sup>-</sup> /100g tijolo              | Miligrama de íon cloreto por cem gramas de tijolo  |
| mg Cl <sup>-</sup> /L                        | Miligrama de íon cloreto por litro                 |
| mg K <sup>+</sup> /100g tijolo               | Miligrama de íon potássio por cem gramas de tijolo |
| mg K <sup>+</sup> /L                         | Miligrama de íon potássio por litro                |
| mg Mg <sup>++</sup> /100g tijolo             | Miligrama de íon magnésio por cem gramas de tijolo |
| mg Mg <sup>++</sup> /L                       | Miligrama de íon magnésio por litro                |
| mg Na <sup>+</sup> /100g tijolo              | Miligrama de íon sódio por cem gramas de tijolo    |
| mg Na <sup>+</sup> /L                        | Miligrama de íon sódio por litro                   |
| mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /100g tijolo | Miligrama de íon sulfato por cem gramas de tijolo  |
| mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /L           | Miligrama de íon sulfato por litro                 |
| mg/(m <sup>2</sup> .d)                       | Miligrama por metro quadrado dia                   |
| mg/100g tijolo                               | Miligrama por 100 gramas de tijolo                 |
| mg/kg  | Miligrama por quilo                                |
| mg/L   | Miligrama por litro                                |
| mg/L Ca <sup>+2</sup>                        | Miligrama por litro de íon cálcio                  |
| mg/L CaCO <sub>3</sub>                       | Miligrama por litro de carbonato de cálcio         |
| mg/L Cl <sup>-</sup>                         | Miligrama por litro de íon cloreto                 |
| mg/L K <sup>+</sup>                          | Miligrama por litro de íon potássio                |
| mg/L Mg <sup>+2</sup>                        | Miligrama por litro de íon magnésio                |
| mg/L Na <sup>+</sup>                         | Miligrama por litro de íon sódio                   |
| mg/L SO <sub>4</sub> <sup>++</sup>           | Miligrama por litro de íon sulfato                 |
| mg/m <sup>2</sup>                            | Miligrama por metro quadrado                       |
| Mg <sup>++</sup>                             | Íon magnésio                                       |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| MgCl <sub>2</sub>            | Cloreto de Magnésio                       |
| MgSO <sub>4</sub>            | Sulfato de magnésio                       |
| mm                           | Milímetro                                 |
| N                            | Coordenada geográfica Norte (North)       |
| Na                           | Sódio                                     |
| Na <sup>+</sup>              | Íon sódio                                 |
| Na <sup>+</sup> /CTC         | Íon sódio por capacidade de troca cátions |
| NaCl                         | Cloreto de sódio                          |
| NBR                          | Norma Brasileira                          |
| °C                           | Grau Celsius                              |
| pH                           | Potencial hidrogênico                     |
| PIB                          | Produto Interno Bruto                     |
| PM                           | Poço de Monitoramento                     |
| ppm                          | Partes por milhão                         |
| RC                           | Retenção de cátions                       |
| S                            | Coordenada geográfica Sul (South)         |
| S                            | Soma das bases                            |
| SO <sub>2</sub>              | Dióxido de enxofre                        |
| SO <sub>3</sub>              | Trióxido de enxofre                       |
| SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Íon sulfeto                               |
| SO <sub>4</sub>              | Sulfato                                   |
| Tr                           | Capacidade de troca de cátions da argila  |
| UNICAP/PE                    | Universidade Católica de Pernambuco       |
| V                            | Grau de saturação por bases               |
| W                            | Coordenada geográfica Oeste (West)        |

## 1. Introdução

No Brasil o aumento populacional acelerado nas últimas décadas tem contribuído para elevação dos índices de déficit habitacional. Considerando as necessidades da população em geral, as oportunidades de empregos têm atingido índices baixos na zona rural, sendo mais elevada nos centros urbanos. Com a maior concentração das indústrias nas áreas urbanas, houve evasão do homem do campo para a cidade buscando oportunidades de emprego, fato este que naturalmente gerou a necessidade do aumento da oferta de mais unidades residenciais, fortalecendo cada vez mais o crescimento do mercado imobiliário (TAVARES, 2004).

Com o crescimento do mercado imobiliário nos grandes e médios centros urbanos, os espaços nobres disponíveis para novos empreendimentos se reduzem causando um aumento na procura pelas poucas áreas existentes. Este fato tende a aumentar a competitividade pela escassez da oferta, principalmente nas grandes metrópoles e cidades de médio porte, gerando uma necessidade de aproveitamento dos poucos espaços existentes e forçando os empreendedores a uma tendência natural de procurar adquirir terrenos que muitas vezes não são adequados para novos empreendimentos. Na maioria das vezes os terrenos disponíveis se acham localizados em áreas sem a devida drenagem apresentando na sua superfície focos da presença de sais minerais solúveis, exigindo tratamentos especiais e estudos específicos de análise do solo, antes de planejar novos empreendimentos.

O quadro descrito anteriormente se aplica com muita adequabilidade ao município de Petrolina, situado no Sertão do Rio São Francisco, interior do estado de Pernambuco, onde se evidencia terrenos com essas características, em locais destinados a novos empreendimentos.

O município de Petrolina foi criado em 18/05/1870 pela Lei nº 921. Com área territorial de 4.558,53 km<sup>2</sup>, Petrolina fica localizada na mesorregião do São Francisco Pernambucano, a 730 km da Capital do Estado. Possui a 6ª maior economia do estado com PIB de R\$ 3,1 bilhões em 2010 a sua economia teve uma alta, chegando a 1ª cidade com maior PIB do interior de Pernambuco (IBGE, 2010).

Segundo IBGE, a cidade em 2010 atingiu uma população de 294.081 habitantes e registrou um crescimento de 34,56% entre 2000 a 2010, resultando numa densidade

demográfica de 66,98 hab/km<sup>2</sup>. A região se apresenta com clima semiárido, característico do sertão pernambucano.

Na região observa-se um elevado número de edificações novas e antigas que apresentam manifestações patológicas que podem estar associadas à ação de sais minerais ou outros agentes solúveis, sendo frequente, inclusive o registro de patologias como, manchas, corrosão de armaduras e fissuras em edificações recém-construídas, com idade média de três anos.

A salinização dos solos, fenômeno observado em importante escala no município de Petrolina, ocorre devido às condições climáticas desfavoráveis como a elevada evaporação, baixa infiltração, ventos contínuos e baixa precipitação, situação comum em regiões áridas e semiáridas (MENEZES, et al., 2006).

De acordo com estudos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária a região do São Francisco apresenta elevados teores de sais minerais na sua superfície, sendo mais elevado próximo ao rio (EMBRAPA, 2002). É o caso do município de Petrolina que, em vários pontos do seu centro urbano, exhibe indícios de conter na sua superfície com sais minerais solúveis que afetam diretamente, e de forma rápida, as edificações. O mecanismo de ação deste fenômeno se dá, em geral, através de um processo de absorção por capilaridade mediante a presença da umidade. Este fenômeno tem ocorrido de forma frequente e evolutiva nas edificações do município e tem preocupado os moradores e autoridades locais.

Diante deste quadro, a pesquisa busca oferecer informações que permitam o entendimento do fenômeno observado, a percepção de sua extensão no município e as consequências de sua ação sobre as edificações.

## 1.1 Justificativa

No município de Petrolina em especial na área urbana, nos locais de cotas menos elevadas é predominante a existência de umidade frequente nas edificações. Com o crescimento da população os problemas relacionados à umidade nas edificações tendem a aumentar cada vez mais, principalmente nos novos bairros periféricos com edificações populares situados em pontos baixos da planície da área urbana do município, locais esses que há uma tendência natural se construir em maior escala sem a orientação de profissionais habilitados, sendo a maioria das construções executadas pelos próprios donos com a ajuda de pedreiros sem um acompanhamento técnico adequado. A ausência de profissional habilitado para orientar construtores na maioria das vezes leva ao não cumprimento das técnicas que minimizariam a ação de fatores naturais típicos dos locais adotados para se construir. Como exemplo deste fato, destaca-se a existência de umidade no local fato este que poderá contribuir para o surgimento de sais solúveis nas edificações.

Com base em dados já diagnosticados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2002), Petrolina apresenta teores de sais elevados nos solos. Estes elevados teores associados com a umidade frequente em vários pontos da cidade têm afetado as edificações de vários bairros na sua área urbana, e vem preocupando cada vez mais a população e o poder público local. Esta preocupação tem fundamento porque que com o passar do tempo os sais existentes em locais que oferecem condições ambientais favoráveis tendem a se depositar nas paredes das edificações em quantidades cada vez mais elevadas passando por um processo de cristalização que pode ocasionar a completa destruição dos tijolos cerâmicos utilizados nas alvenarias das edificações afetadas.

Dentro deste contexto, trabalhos que lancem luz sobre o fenômeno da ação de sais minerais solúveis em materiais de construção, como os tijolos cerâmicos utilizados em paredes de alvenaria, tem importante relevância não só para o meio técnico da região, mas também para o poder público local que pode, conhecendo informações cientificamente testadas, agir preventivamente, adotando estratégias para minimizar a ocorrência de patologias em edificações decorrente da ação destes sais solúveis.

## **1.2 Problema de Pesquisa**

O presente trabalho pretende contribuir para o entendimento da ação de sais minerais solúveis em edificações nas áreas urbanas do município de Petrolina-PE, buscando oferecer respostas para as seguintes questões:

- Qual a origem e abrangência do fenômeno da ação dos sais minerais solúveis nas edificações do município de Petrolina?
- Quais os tipos de sais que ocorrem com maior frequência?
- Quais as consequências desta agressividade e quais medidas poderiam ser adotadas para mitigar seus efeitos?

## **1.3 Objetivo Geral**

O objetivo geral da pesquisa é buscar um entendimento racional acerca dos mecanismos de ação dos sais minerais solúveis em alvenaria de tijolos cerâmicos em edificações localizadas no município de Petrolina.

## **1.4 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, a pesquisa se propõe a:

- Identificar nos pontos pesquisados os tipos mais frequentes de manifestações patológicas em paredes de alvenaria de blocos cerâmicos no município de Petrolina decorrente da ação de sais minerais solúveis.
- Analisar a composição química da água coletada no subsolo da sede do município de Petrolina.
- Instalar poços de monitoramento para estudo e caracterização da composição físico-química do solo e da água subterrânea.
- Analisar os tipos de sais minerais solúveis existentes em tijolos utilizados em edificações situadas próximas aos pontos adotados para a pesquisa em Petrolina.

- Identificar quais os agentes naturais constantes na água do subsolo, no próprio solo, nos tijolos e na atmosfera que influenciam no surgimento de problemas patológicos das edificações.

## 1.5 Delimitação do trabalho

A pesquisa foi realizada no município de Petrolina, situado na região do São Francisco que, de acordo com dados da Prefeitura Municipal de posse de levantamento planialtimétrico executado, a sede do município de Petrolina possui seis bacias hidrográficas - figura 1.1 - que influenciam na malha urbana da cidade, perfazendo uma área total de 47.960 hectares, resumidamente descritas a seguir:

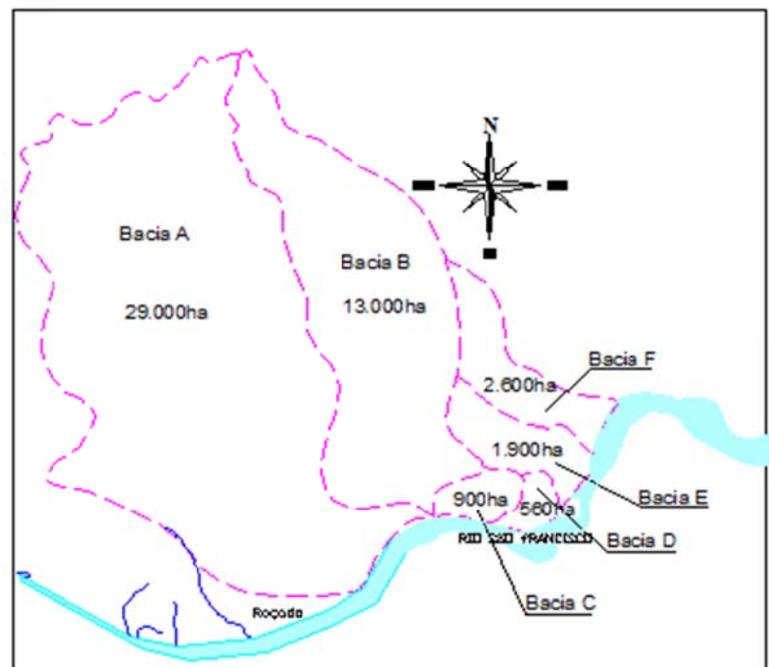


Figura 1.1 Divisão de Bacias Perímetro urbano de Petrolina - Fonte: Prefeitura Municipal de Petrolina

- Bacia “A” com 29.000 ha tendo como eixo de contribuição o Riacho da Vitória, que passa sob a estrada da Tapera desaguando no Rio São Francisco, lavando o lado Oeste do perímetro urbano;
- Bacia “B” com 13.000 ha tendo como eixo de contribuição o Riacho das Ponteiros, cruzando a cidade no sentido norte/oeste desaguando no Rio São Francisco;

- Bacia “C” com 900 ha nascendo dentro do perímetro urbano, as margens da Avenida 07 de Setembro sentido sul;
- Bacia “D” com 560 ha nascendo no perímetro urbano na junção da Avenida Monsenhor Ângelo Sampaio com a Estrada das pedrinhas, desaguando no rio São Francisco sentido sul;
- Bacia “E” com 1.900 ha nascendo dentro do perímetro urbano, na perimetral Tapera sentido norte/leste desaguando no Rio São Francisco;
- Bacia “F” com 2.600 ha nascendo no Sítio São Bento, cortando a área urbana da cidade no sentido norte/leste passando sob a Estrada das Pedrinhas e desaguando no Rio São Francisco;

As bacias A, B e F têm suas nascentes recebendo contribuição direta do perímetro irrigado do município, sendo provável a recepção de resíduos de agrotóxicos utilizados como defensivos agrícolas. As bacias C, D, e E têm suas nascentes com origem dentro do perímetro urbano não recebendo, desta forma, nenhuma contribuição direta de agrotóxicos.

A área em estudo deste trabalho envolve todas as bacias hidrográficas nos pontos de baixo relevo, locais esses onde há maior incidência da presença de sais minerais solúveis no lençol freático. Neste sentido, foram selecionados para estudo cinco pontos do município assim denominados: Raso da Catarina, Antônio Cassimiro, Dom Malan, Jardim Amazonas e Vila Eduardo.

As manifestações patológicas estudadas se limitam àquelas observadas em blocos cerâmicos utilizados em paredes de edificações familiares. Estes blocos, em sua maioria, tem origem no próprio município de Petrolina com a existência de duas cerâmicas, localizadas no distrito de Pedrinhas, que comercializam grande parte da sua produção no próprio município. As matérias primas utilizada nestas cerâmicas são da localidade onde se encontram instaladas.

Existem também algumas cerâmicas nos municípios de Dormentes (03 unidades), Afrânio (04 unidades) e Santa Maria da Boa vista (02 unidades), que fornecem sua produção a uma parte do mercado de Petrolina.

Há cerca de dez anos os tijolos cerâmicos comercializados em Petrolina tinham origem na sua maioria dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí, devido à inexistência de cerâmicas na região suficiente para atender o mercado, fato este que difere da situação atual.

A maior parte das cerâmicas que abastecem o mercado de Petrolina conta com equipamentos modernos conforme mostra a figura 1.2. Por outro lado, percebe-se que há neste setor uma necessidade de aprimoramento técnico para melhoria do produto fabricado, principalmente no que diz respeito à qualidade da matéria prima utilizada, que é pouco conhecida. Ademais, no tocante à água utilizada na produção dos diversos componentes, observa-se que sua origem advém quase que exclusivamente de poços artesianos, cuja qualidade não é comumente avaliada.



**Figura 1. 1 - Processo de produção dos tijolos cerâmicos - Fonte: Autor em 20/12/2012**

Na pesquisa realizada, optou-se por se analisar o fenômeno da degradação de tijolos em paredes de edificações em cinco localidades no município de Petrolina,

denominados Raso da Catarina, Antônio Cassimiro, Dom Malan, Jardim Amazonas e Vila Eduardo. Estas localidades estão situadas em áreas baixas e foram selecionadas a partir da análise da macrodrenagem urbana do município. Registre-se, complementarmente, que estes locais são os que apresentam uma maior incidência de problemas de degradação de alvenaria, decorrentes da ação de sais minerais solúveis.

## **1.6 Estruturação da Dissertação**

A Dissertação esta estruturada em 6 capítulos.

O Capítulo 01 é dedicado à introdução do tema, apresentando a justificativa, o problema da pesquisa, os objetivos, a metodologia utilizada e as delimitações do trabalho.

O Capítulo 02 é reservado à revisão bibliográfica sobre os aspectos mais relevantes da ação de sais minerais em blocos cerâmicos. Suas origens, manifestações em paredes e soluções recomendadas para o problema.

O Capítulo 03 trata dos materiais e métodos utilizados para a realização da pesquisa.

O Capítulo 04 é reservado á análise de dados e discussão dos resultados obtidos com pesquisa.

O Capítulo 05 apresenta as conclusões obtidas a partir dos resultados das análises e aponta sugestão para desenvolvimento de trabalhos futuros.

Ao final são apresentadas as referencias bibliográficas utilizadas nesta pesquisa e os anexos utilizados.

## Capítulo 02

### **2. Revisão Bibliográfica**

#### **2.1 Ação de Sais Minerais em Blocos Cerâmicos**

##### **2.1.1 Aspectos gerais**

Pesquisas evidenciam que o processo de salinização de solos ocorre devido às condições climáticas desfavoráveis, à elevada evaporação, à baixa infiltração, à ocorrência de ventos contínuos e baixa precipitação, característicos em regiões áridas e semiáridas (MENEZES et al.2006).

Visando formular um entendimento deste fenômeno, neste capítulo serão relatados estudos já realizados que norteiam novos horizontes sobre a origem dos sais minerais solúveis, suas manifestações patológicas em alvenarias de tijolos cerâmicos e outros elementos das edificações, metodologias já desenvolvidas para análise da água subterrânea, solo, atmosfera e materiais cerâmicos utilizados em edificações. Para efeito conclusivo serão também referenciados resultados de experiências já realizadas voltadas ao entendimento das manifestações patológicas causadas em edificações pela ação dos sais minerais solúveis.

##### **2.1.2 Origem dos sais minerais solúveis**

Os sais solúveis são compostos iônicos constituídos de cátions e ânions. O conhecimento da sua natureza, propriedades e proveniência são de fundamental importância no entendimento dos processos de degradações originadas por estes sais em edificações em geral. Os sais minerais solúveis nas construções podem ter origem diversificada, sendo mais frequentes nas possíveis proveniências (PUIM, 2010):

- Cloreto de sódio: encontrados na água do mar ou em produtos salgados armazenados nas construções e no solo, resultante do intemperismo;
- Nitratos: podem ser oriundos de fertilizantes orgânicos utilizados no solo ou excrementos animais;

- Sulfato de sódio: pode ser oriundo de solos fertilizados ou mesmo de produtos cerâmicos (GONÇALVES, 2007 apud PUIM, 2010);
- Sulfato de magnésio: pode ser originado de materiais cerâmicos (GONÇALVES, 2007 apud PUIM, 2010);
- Sais Carbonatos: podem resultar da reação em presença de água entre os álcalis do cimento Portland e o CO<sub>2</sub> do ar (GONÇALVES, 2007 apud PUIM, 2010);
- Gesso: a sulfatação dos materiais carbonatados (ex. pedras calcárias) a partir do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) existente em atmosferas poluídas proporciona a formação do gesso CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, (GOUDIE e VILES, 1997 apud PUIM, 2010);
- Nitrato de cálcio: com reações de diferentes óxidos existentes em atmosfera poluída e vapor de água proporcionam a formação de produtos ácidos susceptíveis de causara transformação de carbonato de cálcio em nitrato de cálcio (RANALLI et al, 2000 apud PUIM, 2010).

Segundo (MENEZES et al, 2006), os solos salinizados são os que apresentam maior concentração de sais solúveis ou de sódio trocável ou ambos. Os sais solúveis contêm os cátions sódio, cálcio e magnésio e os ânions cloretos e sulfatos, tendo em menor quantidade potássio, bicarbonatos e carbonatos. Pesquisas realizadas evidenciam que a salinização dos solos ocorre devido às condições climáticas desfavoráveis, tipo elevada evaporação e baixa precipitação, típica das regiões áridas e semiáridas (MENEZES et al, 2006) e (PUIM, 2010).

Estes sais presentes no solo podem chegar às alvenarias ou concretos pela ação capilar, sendo trazidos pela umidade podendo ser cristalizados após a evaporação da água e causarem danos aos materiais componentes da alvenaria ou concreto.

Para que aconteça a formação de depósitos de sais nos materiais cerâmicos ou concretos faz-se necessária a coexistência de água, sais solúveis em água e condições ambientais favoráveis que proporcionem a percolação e evaporação da água. Sem qualquer uma dessas condições não será possível a existência de depósitos de sais.

Em ambientes de elevada umidade (tipo porões) ou em locais onde ocorra a presença de sais deliquescentes (difícil secagem), os sais não chegam a cristalizar ficando em forma de gel servindo como moderador de sais solúveis (MENEZES et al, 2006).

Segundo (GONÇALVES, 2005 apud PUIM, 2010), os materiais de construção porosos se apresentam com três categorias relacionadas às dimensões da sua porosidade, sendo caracterizado da seguinte forma:

a)- Microporos: com dimensões 0,10  $\mu\text{m}$  são responsáveis pelo impedimento do transporte da água, devido elevadas forças capilares proporcionadas pela sua reduzida dimensão.

b)- Mesoporos: com dimensões variando entre 0,1 a 30  $\mu\text{m}$ , são responsáveis pelo transporte líquido por capilaridade.

c)- Macroporos: com dimensão superior a 30  $\mu\text{m}$ , têm significativa preponderância no transporte do vapor de água.

Segundo NETTO (1995) apud NAPPI e MARQUES (2010), pode-se definir o sal como o composto proveniente dos ácidos, pela substituição total ou parcial dos seus hidrogênios ionizados por cátion, ou das bases pela substituição total ou parcial dos grupos OH pelos ânions dos ácidos. De forma resumida pode-se afirmar que o sal é uma substância iônica oriunda da reação química entre um ácido e uma base.

Nem todos os sais causam problemas para as edificações. Para que isso ocorra fazem-se necessárias duas características: o grau de solubilidade e a higroscopicidade. O grau de solubilidade é a capacidade que possuem os sais de se dissolverem em meio aquoso, ou seja, condição em que o sal adsorve a água do meio ambiente e a higroscopicidade é a condição em que o sal adsorve água do meio ambiente.

Os sais quando na sua estrutura cristalina aumentam de volume, causando um efeito similar ao do gelo, sendo que esta condição imposta ao sal somente acontece mediante temperatura elevada e umidade frequente.

As fontes e contaminação que originam os sais podem ser produzidas pelo homem nas atividades industriais ou surgirem através da mistura de alguns materiais de construção, divididos em seis grupos (NAPPI e MARQUES, 2010):

a) Materiais de construção

- i. Podem conter sais incorporados a sua composição química ou depositados em seus poros ou mesmo dissolvidos na água presente do seu interior. Podem também ser de origem da água consumida pelo homem, considerando que a água é elemento essencial para execução de qualquer edificação e poderá encontra-se contaminada. As areias das

- praias e rios constam sais que chegam a teores de até 6% em relação a sua massa. (METHA e MONTEIRO, 1994 apud NAPPI e MARQUES, 2010). Nas argamassas, o próprio cimento contem em torno de 0,01% de sal e a água potável poderá conter 250 ppm de íons cloreto, considerando uma relação água/cimento 0,4 é o suficiente para contribuir com a mesma quantidade de íons com o próprio cimento;
- ii. Os tijolos oriundos de argilas contaminadas por pirita ( $\text{FeS}_2$ ), ao serem cozidos transformam-se em sulfato de um metal alcalino ferroso (cálcio, magnésio) podendo assim ser uma fonte de contaminação;
  - iii. Muitos aditivos aceleradores de pega utilizados nas argamassas de assentamento dos tijolos ou mesmo revestimentos têm como base na sua composição os cloretos;
  - iv. Os sais existentes nos materiais de construção geralmente são em níveis muito reduzidos, não chegando a atingir a estrutura do material, mas se forem adicionados a varias fontes de contaminação, correm o risco de sofrerem danos significativos.

b) Contaminação inadequada de alguns materiais de construção

- i. De acordo com Colleparidi (1990) apud Nappi e Marques (2010) na restauração de edificios pode ocorrer a utilização de materiais incompatíveis com os existentes nas alvenarias e rebocos, dentre eles destaca-se os aglomerantes hidráulicos (cimento Portland, cal hidráulica ou mistura de cal-pozolana). As reações químicas que têm originado degradação em revestimentos de alvenarias de edificações restauradas traz como consequência a interação entre os materiais utilizados para a restauração e os já existentes na edificação. Os produtos que podem se originar dessas reações são denominados de etringita  $\{\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}\} \cdot [(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  e taumasita  $\{\text{Ca}_6[\text{Si}(\text{OH})_6]_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}\} \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot (\text{CO}_3)_2$ , dois bem conhecidos dos componentes da química do cimento Portland.

c) Atmosfera

- i. Na atmosfera os combustíveis e as madeiras contêm enxofre, por processo de combustão geram o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). Parte dele é oxidado formando o trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ), que ao reagir com a água através de chuva ácida que contem ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que é muito reativo ataca os carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) das argamassas. Esses carbonatos, quando localizados no exterior das paredes, formam uma camada que poderá de desprender e no seu interior, ao se hidratar, ocorre um aumento de volume da ordem de 32% (BUERGO et al, 1994 apud NAPPI e MARQUES, 2010) que provocando o descasamento e perdas do material.
- ii. O ar contem cloretos, podendo esses ser transportados em até 2 km pelo vento, dependendo da sua intensidade e da topografia do terreno. Esse sal poderá ser depositado nas fachadas causando a decomposição dos tijolos (METHA e MONTEIRO, 1994 apud NAPPI e MARQUES, 2010).

d) Sais de degelo e adubos

- i. Em regiões onde existe o acúmulo de neve são utilizados sais para acelerar o processo de liquefação do gelo. Esses sais são depositados na maioria das vezes no solo, contaminando o lençol freático e as edificações.
- ii. Na agricultura a utilização de adubos na sua maioria contem sais de sulfato, ao serem depositados no solo poderão afetar as edificações (NAPPI e MARQUES, 2010).

e) Solo ou no lençol freático

- i. Águas salobras contem cloretos, não sendo prejudicial quando este teor de cloreto e de sulfato não ultrapassem a 500 ppm (parte por

milhão equivalente a mg/L) e 1000 ppm (NAPPI, 2010). Segundo METHA e MONTEIRO (1994), a água do mar no oceano Atlântico tem uma salinidade total cerca de 3,6%, composta de íons principais os cloretos com 2% e sulfatos com 0,28%. Na sua composição os sais dissolvidos ficam em média 78% NaCl, 15% MgCl<sub>2</sub> e MgSO<sub>4</sub>;

- ii. Não é comum se construir em locais onde haja ação direta do mar, mas varias obras são construídas sobre aterros em regiões que no passado eram mar, existindo no solo uma concentração de sais que com o passar do tempo ascendem para as fundações das edificações pelo processo de capilaridade e consequentemente atingirá as paredes;
- iii. O lençol freático é comum também ser atingido por cloretos oriundos de matérias orgânicas, contendo cloro que poderão reagir com os íons de cálcio existentes na água dos poros das argamassas. Segundo (NAPPI e MARQUES, 2010), o sulfato existente no lençol freático tem origem animal, podendo também ser originado de fertilizantes ou de efluentes industriais. Os nitratos surgem de excrementos animais, a exemplo de urina em forma de nitritos que se transformam em nitratos.

#### f) Metabolismo de microrganismos

- i. O metabolismo de microrganismos, quando liberados alguns sais a exemplo de nitratos, leva a contaminação ao ambiente, que ao afetar os materiais porosos causam a desintegração desses devido a presença de bactérias cocóides, que atacam os materiais de construção chegando ao ponto de haver a desintegração desses materiais. (NAPPI e MARQUES, 2010);

Segundo Silva (2011), a origem dos sais ocorre a partir de três aspectos:

- Dissolução ou intemperização (hidrolise hidratação, solução, oxidação e carbonatação);
- Minerais primários existentes nas rochas e no subsolo, tornando-os mais solúveis;
- Concentração dos sais pela ação do clima e através do fenômeno do <sup>1</sup>endorreísmo que não facilita a drenagem.

Baseado no conceito de ciclo hidrológico (figura 2.1), que é o fenômeno global de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, é possível relacionar os diferentes estados físicos da água que ocorre na hidrosfera, entre oceanos, o gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Esse movimento da água referente a mudança de estado físico permanente deve-se ao sol com a função de fornecer energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação). O efeito da gravidade faz com que a água condensada caia (precipitação), sendo assim a água na superfície circula através de córregos que se reúne aos rios atingindo os oceanos (escoamento superficial), parte da água ao escoar se infiltra nos solos ou nas rochas, através dos poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo), (CARVALHO et al, 2006 apud SILVA, 2011).

---

<sup>1</sup> Força de inibição dos tecidos das raízes das plantas maiores que as forças de retenção da água exercida pelo solo.

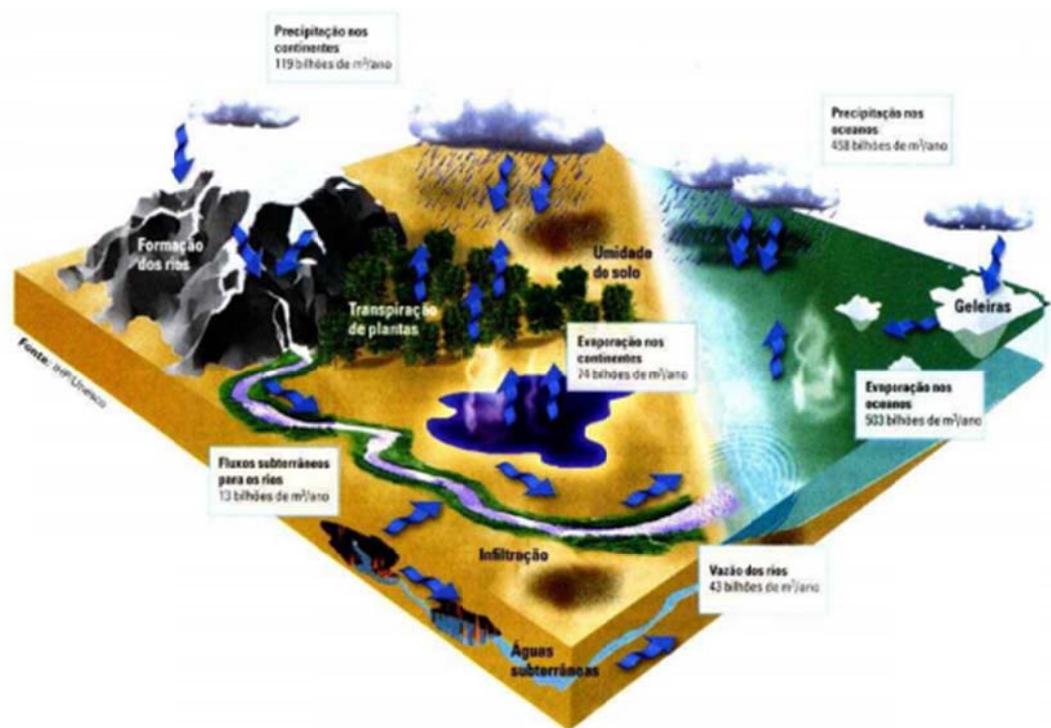


Figura 2. 1 - Ciclo hidrológico- Fonte: <http://www.ufrj.br>, acesso em 19/06/2013

A água infiltrada no solo é sujeita a evaporação direta para atmosfera, sendo absorvida pela vegetação que a devolve à atmosfera pelo processo chamado evapotranspiração (SILVA, 2001 apud CARVALHO et al, 2006).

Segundo Silva (2011), o tipo de solo e do subsolo são os principais fatores para a variação de qualidade das águas dos riachos, podendo apresentar-se salina que quando utilizada na fabricação de materiais de construção poderá causar danos a esses materiais, a exemplo disso os tijolos cerâmicos e telhas.

## 2.1.3 Elementos salinos na água, solo, atmosfera e materiais de construção.

### 2.1.3.1 Elementos salinos na água

Segundo Resolução do CONAMA nº 357 (2005), a água pode ser classificada, em função da quantidade de existente de sais, da seguinte forma: (a) águas doce - com salinidade

igual ou inferior a 0,5%, (b) águas salobras - com salinidade superior a 0,5% e inferior a 30% e (c) águas salinas - com salinidade superior a 30%.

De acordo com a tabela de padrão organoléptico (característica dos objetos que podem ser percebidas pelos sentidos humanos) de potabilidade da Portaria MS N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011), a água para consumo humano deve apresentar padrão de aceitação com o máximo 250 mg/l de cloreto, 200 mg/l de sódio, 1000 mg/l de sólidos totais e 250 mg/l de sulfato.

As águas marítimas na sua maioria são uniformes quanto à composição química e apresentam teores médios de sais 3,5% (35g/L) com os principais íons indicados na Tabela 2.1 (PONTES, 2006).

**Tabela 2. 1- Composição da água do mar – Fonte: PONTES, 2006**

| Íons               | Qt <sup>de</sup> de íons<br>(mg/L) |
|--------------------|------------------------------------|
| SO <sub>4</sub> ** | 2.800                              |
| Mg**               | 1.300                              |
| Ca**               | 400                                |
| Cl*                | 19.900                             |
| Na*                | 11.000                             |
| Ka*                | 400                                |
| pH                 | >8                                 |

Segundo Pontes (2006), os sais contidos na água do mar ocorrem com a magnitude indicada na Tabela 2.2 a seguir, sendo o valor mais elevado àquele correspondente ao cloreto se sódio – 78,32%.

**Tabela 2. 2 - Conteúdo de sais na água do mar – Fonte: PONTES, 2006**

| Sal   | g/1.000 mL  | % em relação |
|---|-------------|--------------|
| Cloreto se sódio  | 26,9        | 78,32        |
| Cloreto de magnésio                                     | 3,2         | 9,44         |
| Sulfato de magnésio                                     | 2,2         | 6,40         |
| Sulfato de cálcio                                       | 1,3         | 3,94         |
| Cloreto de cálcio                                       | 0,6         | 1,69         |
| Outros (sufato de potássio, bicarbonato de cálcio, etc) | -           | 0,21         |
| <b>Total</b>  | <b>34,3</b> | <b>100</b>   |

Pesquisas realizadas em Recife (PONTES, 2006) na praia de Boa Viagem indicaram a composição iônica do mar, conforme Tabela 2.3 a seguir.

**Tabela 2. 3 - Composição da água do mar em Boa Viagem – Recife - Fonte: PONTES, 2006**

| Íons                             | Data da coleta |           |           |           |           |           |
|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                  | 31/08/05       | 29/09/05  | 31/10/05  | 30/11/05  | 29/12/05  | 31/01/06  |
| Cloretos (mg Cl <sup>-</sup> /L) | 18.434,00      | 18.059,50 | 20.738,25 | 20.029,25 | 21.092,75 | 20.520,53 |

|   |           |           |           |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sulfatos (mg $\text{SO}_4^-/\text{L}$ )                   | 2.967,04  | 3.198,84  | 3.532,36  | 3.569,72  | 3.569,72  | 3.668,88  |
| Cálcio (mg $\text{Cl}^{++}/\text{L}$ )                    | 560,00    | 640,00    | 720,00    | 440,00    | 480,00    | 480,96    |
| Magnésio (mg $\text{Mg}^{++}/\text{L}$ )                  | 1.166,40  | 1.166,40  | 1.166,40  | 1.336,50  | 1.530,90  | 1.361,36  |
| Sódio (mg $\text{Na}^+/\text{L}$ )                        | 9.406,06  | 9.509,91  | 10.344,00 | 10.444,00 | 11.279,79 | 11.586,03 |
| Potássio (mg $\text{K}^+/\text{L}$ )                      | 534,09    | 583,81    | 633,52    | 623,59    | 588,70    | 540,86    |
| Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$<br>25°C) | 45.100,00 | 47.200,00 | 43.100,00 | 50.000,00 | 52.300,00 | 51.200,00 |
| Salinidade (%)  | 35,04     | 36,82     | 39,36     | 39,19     | 41,14     | 40,20     |
| pH  | 7,30      | 7,50      | 7,30      | 7,90      | 6,90      | 7,98      |

Segundo Metha e Monteiro (1994), comumente são encontrados na água subterrânea e nas águas do mar sulfato e bicarbonato de magnésio. Esses elementos quando em contato com uma edificação, podem reagir com o hidróxido de cálcio presente na pasta do cimento Portland utilizado na construção dando origem a sais solúveis de cálcio.

### 2.1.3.2 Elementos salinos no solo

Segundo Prado (2005), o solo pode ser sódico, solódico, salino e sálico. Para caracterizar se o solo é sódico ou solódico deve-se analisar a percentagem de sódio no complexo de troca de cátions. Quando  $\text{Na}^+/\text{CTC} \geq 15\%$  o solo tem caráter sódico. Se  $\text{Na}^+/\text{CTC}$  variar entre 6 a 15% o solo passa a assumir caráter solódico. Estes critérios foram inicialmente utilizados nos Estados Unidos em 1954 e pela Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas em 1974. O caráter salino e sálico é definido pela presença no solo de sais solúveis em água fria podendo ser quantificado pela análise da condutividade elétrica (CE) no extrato de saturação. O solo é salino quando o valor CE for  $\geq 4$  e  $< 7$  ds/m. (25°) e passa a assumir o caráter sálico quando sua CE  $\geq 7$  ds/m (25°).

Segundo EMBRAPA (1999), os sais solúveis nos solos podem ser determinados através da medição de cátions e ânions no extrato aquoso, através do extrato obtido na pasta de saturação. Podem, de maneira alternativa, ser estimado pela condutividade elétrica do solo. Para obter esta classificação dos solos deve-se proceder à análise química buscando os seguintes elementos: Condutividade elétrica, cátions solúveis (Ca, Mg, Na e K) e ânions solúveis, entre eles os carbonatos, bicarbonatos, cloretos e sulfatos.

A inundação de um solo pode alterar a sua composição química e mudar a sua caracterização. Como exemplo pode-se citar comparativos entre elementos já comprovados tais como água destilada, água sanitária, chorume, detergente, esgoto bruto, óleo de soja e sabão em pó (Tabela 2.4). Entre os elementos apontados destaca-se o uso de chorume e

esgoto bruto que apresenta resultados elevados referentes à condutividade elétrica, quando comparados com resultados obtidos do solo natural antes de ser inundado por tais elementos. Desta forma, o solo passa a ter caráter sódico (MOTTA e FERREIRA, 2011).

**Tabela 2. 4 - Caracterização química do solo antes e depois de inundado - Fonte: MOTTA e FERREIRA, 2011**

| Solo natural/inundado por: | pH               | CE    | Na <sup>+</sup>                    | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup> | S    | CTC   | RC    | Tr     | V     | m     | Sat. Por sódio |
|----------------------------|------------------|-------|------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------|
|                            | H <sub>2</sub> O | μS cm | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> |                |                  |                  |                  |                |      |       |       |        | %     |       |                |
| Solo natural não inundado  | 4,19             | 133   | 0,02                               | 0,15           | 0,72             | 2,50             | 0,60             | 2,13           | 3,39 | 6,12  | 44,34 | 68,01  | 55,40 | 15,03 | 0,36           |
| Água destilada             | 4,42             | 77    | 0,15                               | 0,18           | 0,72             | 1,25             | 0,60             | 1,89           | 2,29 | 4,78  | 32,14 | 53,14  | 47,94 | 20,74 | 3,05           |
| Água sanitária             | 4,64             | 95    | 0,50                               | 0,23           | 0,68             | 2,30             | 0,60             | 1,88           | 3,71 | 6,19  | 47,86 | 68,75  | 59,92 | 13,93 | 8,01           |
| Chorume                    | 6,83             | 438   | 1,04                               | 0,44           | 0,64             | 1,40             | 2,00             | 1,52           | 3,51 | 7,03  | 61,26 | 78,15  | 49,95 | 36,28 | 14,74          |
| Detergente                 | 4,47             | 61    | 0,09                               | 0,14           | 0,24             | 1,50             | 0,40             | 1,60           | 1,98 | 3,98  | 26,41 | 44,18  | 49,70 | 16,83 | 2,36           |
| Esgoto Bruto               | 4,50             | 301   | 0,70                               | 0,15           | 0,56             | 1,60             | 0,40             | 1,62           | 3,01 | 5,03  | 37,89 | 55,89  | 59,84 | 11,73 | 14,00          |
| Óleo de soja               | 3,64             | 79    | 0,02                               | 0,11           | 0,24             | 1,00             | 2,00             | 10,35          | 1,37 | 13,72 | 37,49 | 152,49 | 10,01 | 59,28 | 0,15           |
| Sabão em pó                | 6,83             | 526   | 2,68                               | 0,17           | 0,36             | 1,30             | 2,00             | 1,15           | 4,51 | 7,66  | 72,32 | 85,09  | 58,87 | 30,53 | 34,96          |

CE-Conductividade elétrica, Na<sup>+</sup> - Sódio, K<sup>+</sup> - Potássio, Ca<sup>2+</sup> - Cálcio, Mg<sup>2+</sup> - Magnésio, Al<sup>3+</sup> - Alumínio, H<sup>+</sup> - Hidrogênio, S-Soma das bases, CTC-Capacidade de troca de cátions, RC-Retenção de cátions , Tr- Capacidade de troca de cátions da argila, V-Grau de saturação por bases e m-Saturação do alumínio.

No resumo das interpretações dos cálculos analíticos pedológicos do solo apresentado por MOTTA e FERREIRA (2011), (Tabela 2.5), a condutividade elétrica do solo apresenta como mudança significativa após inundação com chorume e o sabão em pó, que de acordo com os resultados obtidos na sua condutividade elétrica o solo passa a obter um caráter salino.

**Tabela 2. 5 - Resumo das interpretações dos cálculos pedológicos do solo - Fonte: MOTTA e FERREIRA, 2011**

| Análise química | Solo natural  | Solo após inundação com: |                |                  |               |               |               |                  |
|-----------------|---------------|--------------------------|----------------|------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
|                 |               | Água destilada           | Água sanitária | Chorume          | Detergente    | Esgoto bruto  | óleo de soja  | Sabão em pó      |
| pH              | ácido         | ácido                    | ácido          | lentamente ácido | ácido         | ácido         | ácido         | lentamente ácido |
| CE              | baixo         | baixo                    | baixo          | salino           | baixo         | baixo         | baixo         | salino           |
| V               | mesoeutrófico | mesoeutrófico            | mesoeutrófico  | mesoeutrófico    | mesoeutrófico | mesoeutrófico | mesoeutrófico | mesoeutrófico    |
| m               | Não álico     | Não álico                | Não álico      | Não álico        | Não álico     | Não álico     | álico         | Não álico        |
| RC              | Não ácrico    | Não ácrico               | Não ácrico     | Não ácrico       | Não ácrico    | Não ácrico    | Não ácrico    | Não ácrico       |
| CTC             | baixo         | baixo                    | baixo          | baixo            | baixo         | baixo         | baixo         | baixo            |
| Tr              | Ta            | Ta                       | Ta             | Ta               | Ta            | Ta            | Ta            | Ta               |
| 100 Na+/T       | baixo         | baixo                    | solódico       | solódico         | baixo         | solódico      | baixo         | sódico           |

Ta - atividade alta, CE- Condutividade elétrica, V-Grau de saturação por bases, m-saturação do alumínio, RC- Retenção de cátions, CTC- Capacidade de troca de cátions, Tr-Capacidade de troca de cátions da argila e  $\text{Na}^+/\text{T}$ -Saturação por sódio.

Motta e Ferreira (2011), apresentam na Tabela 2.6, a caracterização dos líquidos utilizados para inundação de corpos de prova moldados de solo durante a realização de ensaios em laboratório com concentração 1:120 e óleo de soja puro. Dentre os valores apresentados destaca-se a condutividade elétrica (CE) do chorume, esgoto bruto e sabão em pó, que apresentam valores elevados variando entre 6.120 a 15.680  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

**Tabela 2. 6 - Caracterização dos líquidos de inundação - Fonte: MOTTA e FERREIRA, 2011**

| Líquido de inundação | Peso específico (kN m <sup>3</sup> ) | Tensão superficial(mN m <sup>-2</sup> ) | pH    | Condutividade elétrica( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) |
|----------------------|--------------------------------------|---|-------|---|
| Água destilada       | 9,82                                 | 69,94                                   | 6,20  | 20,00   |
| Água sanitária       | 9,83                                 | 67,16                                   | 10,10 | 810,00  |
| Chorume              | 10,00                                | 57,67                                   | 8,00  | 15.680,00                                       |
| Detergente           | 9,82                                 | 29,36                                   | 6,80  | 440,00  |
| Esgoto bruto         | 9,83                                 | 36,38                                   | 6,60  | 6.120,00  |
| Óleo de soja         | 9,00                                 | 31,53                                   | 4,50  | 20,00   |
| Sabão em pó          | 9,88                                 | 27,12                                   | 10,40 | 9.250,00  |

Segundo Metha e Monteiro (1994), a maioria dos solos contêm alguns tipos de sulfato sob a forma de gipsita variando de 0,01 a 0,05%, sendo essa quantidade inofensiva ao concreto. A concentração de sulfato solúvel no solo maior do que 0,1 % no solo (150 mg/L  $\text{SO}_4$  na água) põe o concreto em perigo e mais que 0,5 % por cento no solo (acima de 2000 mg/L  $\text{SO}_4$  na água) poderá gerar sérios efeitos.

Metha e Monteiro (1994), com base em normas desenvolvidas originalmente pelo U.S Bureau of Reclamati on, a exposição do sulfato é classificada em quatro graus de severidade no ACI Building Code 318-83 (ACI 318-83), contendo os seguintes requisitos:

° Ataque negligenciável: Quando o conteúdo de sulfato está abaixo de 0,1 % no solo ou abaixo de 150 mg/L na água, não havendo restrição quanto ao tipo de cimento a ser utilizado e a relação a/c;

° Ataque moderado: Quando o conteúdo de sulfato está entre 0,1 a 0,2 % no solo ou 150 a 1.500 mg/L na água devendo neste caso ser utilizado o cimento Portland tipo II ASTM, ou pozolânico, ou escória com fator água cimento menor que 0,5 no caso de uso no concreto de peso normal;

° Ataque severo: Quando o conteúdo de sulfato no solo é de 0,2 a 2% ou 1.500 a 10.000 mg/L na água, devendo ser utilizado neste caso o cimento Portland tipo V ASTM com fator água/cimento menor que 0,45;

° Ataque muito severo: Quando o conteúdo de sulfato no solo está acima de 2% ou acima de 10.000 mg/L na água, deve-se neste caso ser utilizado o cimento tipo V ASTM com adição de pozolânica, com fator água/cimento menor que 0,5.

Feitosa (2009), apresenta na tabela 2.7 resultados obtidos em análise química do solo, lodo de esgoto e da mistura de lodo de esgoto e solo coletados na ETE mangueira em Recife-PE, de posse dos valores apresentados observa-se a elevação moderada do Na<sup>+</sup> trocável com valor inicial 67,67 passando para 72,67 Cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na base a uma dose de 50 Mg/há<sup>-1</sup> (mistura solo + lodo), assim como o K<sup>+</sup> trocável o solo inicial no topo apresentou 2,67 Cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> passando para 12,33 Cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, tendo uma maior elevação dos seus valores. O cálcio e o magnésio não elevaram seus valores, após serem misturados com lodo, ficando os resultados finais próximos dos valores apresentados no solo inicialmente.

**Tabela 2.7 Resultados análise química solo, lodo e mistura solo + lodo coletados na ETE Mangueira Recife-PE - Fonte: Feitosa, (2009).**

| Amostra                | Atributo                           |                                    |                                    |                                    |                                    |                     |                     |      |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|------|
|                        | K+                                 | Na+                                | Mg <sup>++</sup>                   | Ca <sup>++</sup>                   | Al <sup>+++</sup>                  | P                   | N                   |      |
|                        | Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |      |
| Solo (inicial)         | 0,15                               | 0,08                               | 0,55                               | 3,4                                | 0,00                               | 20                  | -                   |      |
| Solo                   | Topo                               | 2,67                               | 67,67                              | 1,14                               | 3,01                               | 1,84                | 3,05                | 1,12 |
|                        | Base                               | 3,33                               | 67,67                              | 0,97                               | 3,16                               | 1,58                | 2,87                | 1,91 |
| Solo - Lodo            | 2.100,00                           | 300,00                             | 1.200,00                           | 9.400,00                           | -                                  | 45.000,00           | -                   |      |
| 25 mg ha <sup>-1</sup> | Topo                               | 2,33                               | 68                                 | 0,13                               | 3,08                               | 1,81                | 5,53                | 0,53 |
|                        | Base                               | 2,33                               | 60,00                              | 0,13                               | 3,28                               | 0,90                | 3,26                | 0,76 |
| 50 mg ha <sup>-1</sup> | Topo                               | 12,33                              | 72,67                              | 0,20                               | 3,31                               | 1,41                | 7,33                | 1,02 |
|                        | Base                               | 2,33                               | 69,00                              | 0,13                               | 3,18                               | 1,37                | 4,19                | 1,32 |
| 75 mg ha <sup>-1</sup> | Topo                               | 12,00                              | 67,33                              | 0,67                               | 3,14                               | 1,51                | 9,05                | 1,09 |
|                        | Base                               | 3,33                               | 66,67                              | 0,54                               | 3,24                               | 1,48                | 2,99                | 1,12 |

Na ETE Curado em Recife-PE Feitosa (2009), mostra na Tabela 2.8 os resultados obtidos das análises químicas resultantes das amostras coletadas do solo natural, lodo e da mistura solo + lodo. Dentre os resultados obtidos destacar-se o crescimento do Na<sup>++</sup> (0,30

Cmol/kg<sup>-1</sup> passando a apresentar valor 26,90 Cmol/kg<sup>-1</sup>), o K<sup>+</sup> apresentou 0,20 Cmol/kg<sup>-1</sup> no solo natural, passando 2,20 Cmol/kg<sup>-1</sup> após misturado com lodo e a condutividade elétrica inicialmente apresentou 10,00 ms/cm/25° C sendo elevada para 5.940 ms/cm/25° C, mostrando assim grande influencia do lodo de esgoto misturado com o solo.

**Tabela 2. 8 Resultados análise química solo, lodo e mistura solo + lodo coletados na ETE Curado Recife-PE - Fonte: Feitosa, (2009).**

| Determinação                                       | Unidade           | Solo areia  | Lodo   | Mistura solo-lodo |       |       |
|--|-------------------|-------------|--------|-------------------|-------|-------|
|  |                   |             |        | 5%                | 10%   | 15%   |
| pH em água   | -                 | 6,08        | 7,22   | 6,9               | 7,01  | 7,13  |
| pH em KCl  | -                 | 6,00        | 7,30   | 7,06              | 7,15  | 7,18  |
| Carbono orgânico                                   | g/kg              | 1,07        | 14,29  | 8,60              | 9,67  | 11,46 |
| Matéria orgânica                                   | g/kg              | 1,85        | 24,64  | 14,82             | 16,67 | 19,76 |
| Mg <sup>++</sup> trocável                          | cmolc/kg          | 3,30        | 11,00  | 3,00              | 0,20  | 1,50  |
| Na <sup>+</sup> trocável                           | cmolc/kg          | 0,30        | 185,80 | 10,40             | 22,30 | 26,90 |
| K <sup>+</sup> trocável                            | cmolc/kg          | 0,20        | 18,40  | 1,30              | 1,90  | 2,20  |
| H <sup>+</sup> + Al <sup>+++</sup> extraível       | cmolc/kg          | 8,10        | 8,90   | 6,01              | 6,67  | 7,37  |
| Hidrogênio extraível                               | cmolc/kg          | <b>7,70</b> | 8,80   | 5,71              | 6,27  | 6,95  |
| Valor de V (% de sat. de Base)                     | %                 | <b>0,38</b> | 0,97   | 0,76              | 0,83  | 0,86  |
| % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> no Ext. sulfúrico | g/kg              | 0,50        | 2,25   | 0,63              | 0,75  | 0,88  |
| % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> no Ext. sulfúrico | g/kg              | 1,50        | 3,30   | 1,50              | 3,20  | 3,40  |
| Condutividade elétrica no ext. Sat.                | ms/cm/25°C        | 10          | 9769   | 2708              | 3670  | 5940  |
| Superfície específica                              | m <sup>2</sup> /g | 18,40       | 14,70  | 3,70              | 11,00 | 11,00 |

### 2.1.3.3 Elementos salinos na atmosfera

Segundo (BLACHARD et al, 1984 apud PONTES, 2006), a existência de cloretos na atmosfera diminui de forma significativa a uma altura acima da superfície do mar entre 14,5 m a 620 m, havendo uma redução cada vez maior a medida que aumenta a altura em relação ao mar. Este efeito deve-se a presença de partículas maiores que sofrem influencia da força da gravidade fazendo com que não alcancem níveis muito elevados em altitudes.

Um maior distanciamento em relação ao mar, o efeito gravimétrico e a fricção com obstáculos do aerossol marinho ao assumir maior participação desse fenômeno contribuem para que haja uma diminuição da concentração salina (Tabela 2.7), sendo assim as construções situadas na zona da atmosfera marinha sofrem níveis de agressividade distintos (GUSTAFSSON e FRANZEN, 1996 apud PONTES, 2006).

Pesquisa realizada no bairro de Boa Viagem na Cidade do Recife em 2005/2006 (Tabela 2.7) mostra que, à medida que se distancia do mar, há uma queda significativa na concentração de cloretos na atmosfera (PONTES, 2006).

**Tabela 2. 9 Deposição de cloretos em Recife – Boa Viagem – Fonte: PONTES, 2006**

| Estação de coleta | Concentração de cloretos (mg/m <sup>2</sup> .dia) |               |              |               |               |              |                                    |
|-------------------|---|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------------------------|
|                   | agosto/2005                                       | setembro/2005 | outubro/2005 | novembro/2005 | dezembro/2005 | janeiro/2006 | Média (agosto/2005 a janeiro/2006) |
| E1 (7 m)          | 1050,39   | 678,04        | 484,41       | 332,60        | 394,94        | 386,03       | 554,40                             |
| E2 (100 m)        | 406,14  | 370,10        | 355,91       | 469,41        | 403,15        | 353,50       | 393,04                             |
| E3 (160 m)        | 151,00  | 127,59        | 111,30       | 155,94        | 146,35        | 178,23       | 145,07                             |
| E4 (230 m)        | 46,74   | 36,09         | 31,66        | 52,22         | 41,47         | 36,41        | 40,76                              |
| E5 (320 m)        | 53,13   | 42,89         | 39,18        | 49,66         | 41,73         | 37,75        | 44,06                              |

### 2.1.3.3 Elementos salinos em materiais de construção

Segundo (MENEZES et al, 2006), estudos realizados com corpos de prova argila em laboratório mostram que um dos indicadores da existência de sais solúveis nos materiais de construção pode ser a correlação entre condutividade elétrica e a quantidade de sais solúveis no extrato de saturação das argilas dos tijolos queimados em laboratório (Figura 2.2). Dentre os resultados obtidos, o teor de sais solúveis de 0,025% em materiais cerâmicos se constitui no limite adequado para avaliar a aptidão ou não das peças cerâmicas para apresentarem eflorescências. Observa-se na Figura 2.3 que a temperatura de queima dos materiais cerâmicos influencia na variação do teor de sais solúveis, sendo cada vez menor à medida que a temperatura de queima aumenta, independente da água de amassamento ser destilada ou altamente salina.

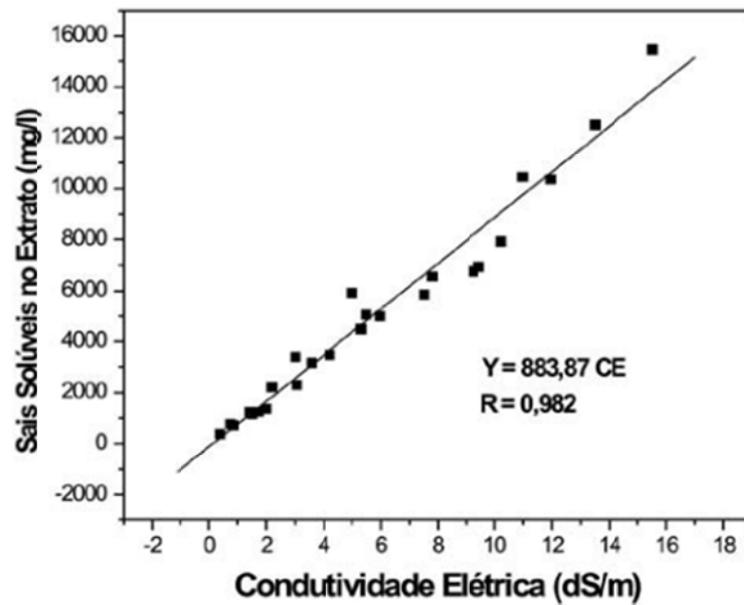


Figura 2. 2 – Correlação condutividade elétrica e sais solúveis no extrato – Fonte: Menezes, et al , 2006

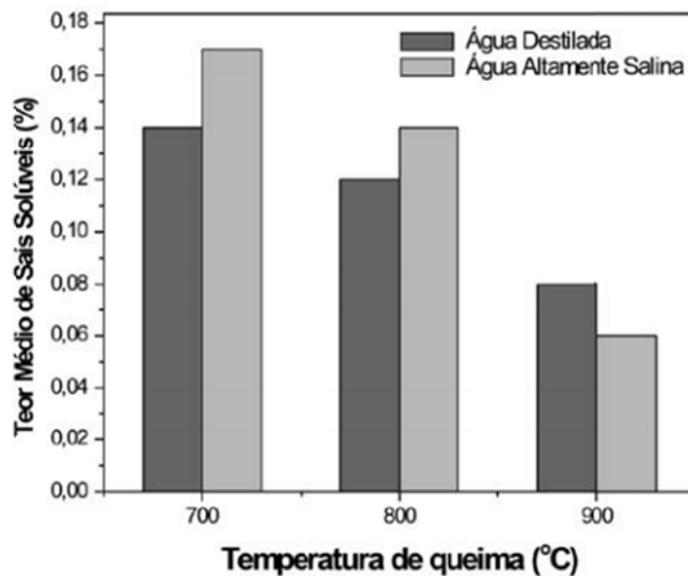


Figura 2. 3- Correlação entre temperatura de queima e teor sais solúveis - Fonte: MENEZES, et al, 2006

Os sais encontrados nas matérias primas são uma das principais causas da eflorescência (MENEZES et al, (2006) apud SILVA, 2011).

Os depósitos salinos principalmente os de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio) na superfície de alvenarias, decorrentes da migração de sais solúveis encontrados nos materiais de construção e/ou componentes da alvenaria, dão origem a eflorescência (BAUER, 2001).

Segundo Bauer (2001), os sais ao se depositarem nas edificações podem ser agressivos, causando desagregação profunda, como as do tipo expansivas. Para ocorrer a

agressividade a uma edificação, causada por sais solúveis faz-se necessário existir concomitantemente três fatores de igual importância: o teor de sais solúveis existentes nos materiais ou componentes, a presença de água e a pressão hidrostática necessária para que a solução migre para a superfície.

Na tabela 2.10, Bauer (2001) indica os sais comuns em eflorescências, as fontes prováveis de seu aparecimento e a sua solubilidade em água.

**Tabela 2. 10- Sais de ocorrência comum na eflorescência – Fonte: BAUER, 2001**

| Composição química            | Salubidade em água   | Fonte provável  |
|-------------------------------|----------------------|---|
| Carbonato de cálcio           | Pouco solúvel        | Carbonatação do hidróxido do cimento; Cal não carbonatado                 |
| Carbonato de magnésio         | Pouco solúvel        | Carbonatação do hidróxido do cimento; Cal não carbonatado                 |
| Carbonato de potássio         | Muito solúvel        | Carbonatação do hidróxido alcalino de cimentos de elevado teor de alcalis |
| Carbonato de sódio            | Muito solúvel        | Carbonatação do hidróxidoalcalino de cimentos de elevado teor de alcalis  |
| Hidróxido de cálcio           | Solúvel              | Cal hidratada na hidratação do cimento                                    |
| Sulfato de cálcio desidratado | Parcialmente solúvel | Hidratação do sulfato do tijolo   |
| Sulfato de magnésio           | Solúvel              | Tijolo e água de amassamento  |
| Sulfato de cálcio             | Parcialmente solúvel | Tijolo e água de amassamento  |
| Sulfato de potássio           | Muito solúvel        | Tijolo e água de amassamento e cimento                                    |
| Sulfato de sódio              | Muito solúvel        | Tijolo e água de amassamento e cimento                                    |
| Cloreto de cálcio             | Muito solúvel        | Água de amassamento   |
| Cloreto de magnésio           | Muito solúvel        | Água de amassamento   |
| Nitrato de magnésio           | Muito solúvel        | Solo adubado ou contaminado   |
| Nitrato de sódio              | Muito solúvel        | Solo adubado ou contaminado   |
| Nitrato de amônio             | Muito solúvel        | Solo adubado ou contaminado   |

Segundo Puim (2010), a degradação causada por sais solúveis em materiais de construção porosos envolve a existência simultânea de água e sais, além de condições ambientais susceptíveis de causar ciclos de cristalização. A manifestação desta degradação pode se concretizar através das seguintes ocorrências.

- Eflorescências;
- Manchas de umidade em superfícies;
- Fendilhação de rebocos, argamassas e elementos constituintes de alvenarias;
- Arenização de argamassas;
- Destacamentos de revestimento;

- Pulverização de materiais pétreos e cerâmicos.

(GONCALVES et al, 2007 apud PUIM, 2010), mostra vários fatores envolvidos na degradação por sais solúveis e a forma como os sais se inter-relacionam (Figura 2.4).

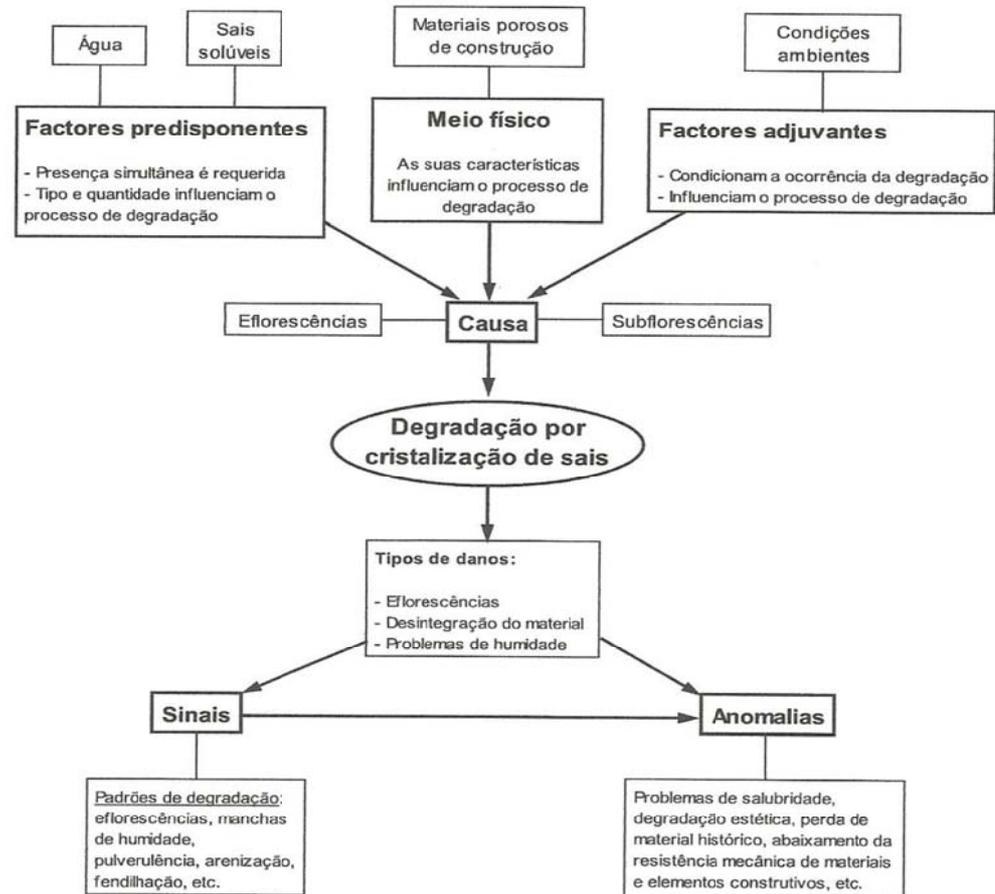


Figura 2. 4 – Degradação por sais – Fonte: GONÇALVES, 2007

Segundo Bauer (2007), as reações químicas podem distinguir dois tipos de ação ao concreto:

- A lixiviação: Em geral é comprovada da água doce, ácidos, sais e graxas e óleos.
- A expansão: Deve-se principalmente aos sulfatos.

A água doce pode atacar o concreto. O poder de dissolução da água é tanto maior quanto mais pura a água, ou seja, quanto menos carbonato ácido de cálcio e magnésio ela contém mais fraca é a sua dureza.

Os ácidos a maioria ataca o cimento pela reação com os ácidos formando sais solúveis de cálcio.

Os sais de magnésio e de amônio são os de maior referência, a exemplo o sulfato e cloreto de magnésio dissolvem o hidróxido de cálcio do cimento.

As graxas e óleos ao penetrarem no concreto podem baixar a sua resistência por amolecimento mecânico.

No que se refere à expansão, as soluções de sulfato de cálcio ou de sulfatos alcalinos formam em contato com os constituintes aluminosos dos cimentos endurecidos, o trissulfato (aluminato de cálcio hidratado) que no estado natural é conhecido sob o nome de etringita, que provoca a expansão. O sulfato de magnésio igualmente a sulfato de cálcio provoca a expansão quando interage com o cálcio, podendo também formar com o aluminato de cálcio a etringita. A expansão acontece quando a solução penetra no concreto, havendo uma troca entre o magnésio e o cálcio.

Na Tabela 2.11 é apresentado por Bauer (2007), estudos que mostram o grau de ataque por sulfato ao concreto nos Estados Unidos e Inglaterra.

**Tabela 2. 11 – Prescrições estabelecidas – Fonte: BAUER, 2007**

| Grau de ataque            | Estados Unidos    |                        | Inglaterra        |                        |
|---------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
|                           | Teor SO4 mg/litro | Teor SO4 % água + solo | Teor SO4 mg/litro | Teor SO4 % água + solo |
| Agressividade nula        | 0 a 150           | 0 – 0,1                | 0 a 300           | 0 a 0,2                |
| Agressividade fraca       | 150 a 1000        | 0,1 – 0,2              | 300 a 1000        | 0,2 a 0,5              |
| Agressividade forte       | 1000 a 2000       | 0,2 a 0,5              | superior a 1000   | superior a 0,5         |
| Agressividade muito forte | superior a 2000   | superior a 0,5         | -                 | -                      |

Com a proposição da Comissão Laboratorial da Associação das Fábricas de Cimento Alemã, para obras em contato com as águas subterrâneas é necessário levar em conta que as substâncias agressivas se renovam com a mesma proporção em que enfraquece a permeabilidade do solo. A Tabela 2.12 mostra como é feito a determinação do grau de agressividade ao concreto pelas águas subterrâneas (BAUER, 2007).

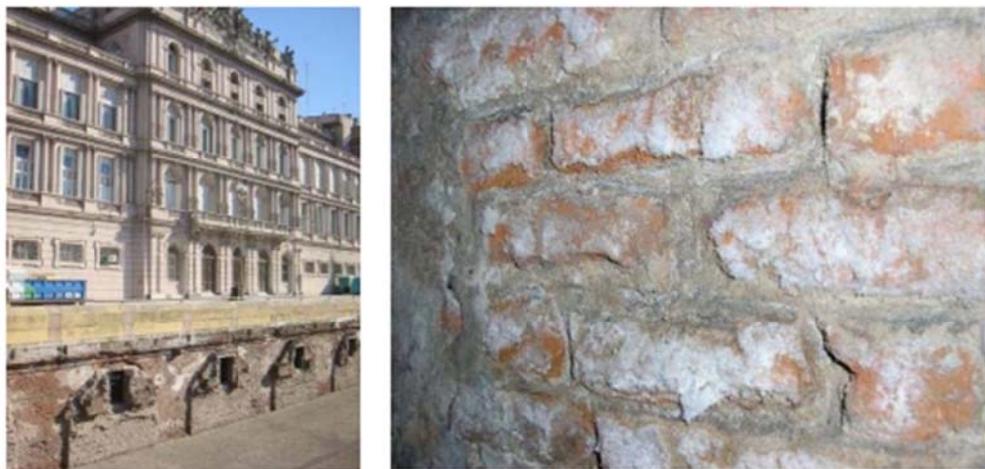
**Tabela 2. 12 - limites grau de agressividade ao concreto - Fonte: BAUER, 2007**

| Valores a determinar | Grau de agressividade |           |                |
|----------------------|-----------------------|-----------|----------------|
|                      | Fraco                 | Forte     | Muito forte    |
| pH                   | 6,5 - 5,5             | 5,5 - 4,5 | Inferior a 4,5 |

|   |           |            |                 |
|---|-----------|------------|-----------------|
| Anidrido Carbônico dissolvido a cal (CO <sub>2</sub> ) mg/litro | 15 - 30   | 30 - 60    | Superior a 60   |
| Amônio (NH <sub>4</sub> ) mg/litro                              | 15 - 30   | 30 - 60    | Superior a 60   |
| Magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) mg/litro                           | 100 - 300 | 300 - 1500 | Superior a 1500 |
| Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) mg/litro                            | 200 - 600 | 600 - 2500 | Superior a 2500 |

## 2.1.4 Manifestações dos sais solúveis em edificações

Nappi e Marques (2010) apud Henriques (2011) afirmam que a manifestação da umidade em uma edificação pode ocorrer de varias maneiras. Dentre estas, destacam-se a umidade do terreno, a umidade da construção, a umidade da precipitação, a umidade da condensação, a umidade de higroscopicidade e umidade proveniente de defeitos em instalações específicas. Aliado a esta umidade pode ainda ser destacado o transporte de sais dissolvidos que tende a se depositar e posteriormente se evaporar com consequente aparecimento da eflorescência. A força expansiva surgida pela ação da cristalização dos sais causa problemas graves nos materiais de construção tornando-se causas determinantes para a deterioração de elementos das edificações (Figura 2.5).



Prédio antigo afetado por sais

Detalhe parede de prédio antigo afetado por sais

Figura 2. 5 - Manifestação de sais solúveis em alvenaria - Fonte: NAPPI e MARQUES, 2010

## 2.1.5 Possíveis maneiras de minimizar os ataques de sais minerais solúveis em alvenarias de tijolos cerâmicos

A melhor alternativa para evitar a degradação decorrente da ação de sais é a retirada do sal. No entanto, em muitas situações é praticamente impossível esta remoção. Procedimentos como eliminação da umidade e implantação de barreiras para conter o problema, nem sempre tem eficácia desejada NAPPI e MARQUES (2010). A utilização de eletrodos (Figura 2.6), o reboco de sacrifício - argamassa de uso temporário com função de reter os sais – são técnicas usualmente empregadas para se minimizar os efeitos deletérios da ação dos sais em materiais de construção. Estas alternativas somente deverão ser utilizadas quando a fonte de alimentação de sais for eliminada, para que não voltem a contaminar (NAPPI e MARQUES, 2010).



**Figura 2. 6 - Instalação de eletrodos numa parede - Fonte: NAPPI e MARQUES, 2010**

A implantação de barreiras para impedir a umidade por capilaridade nas paredes das edificações pode obter sucesso uma vez que sem a presença da água os sais não aparecerão (Figura 2.7).



**Figura 2. 7 - Execução de barreiras contra umidade por capilaridade - Fonte: NAPPI e MARQUES, 2010**

Medidas que visam ocultar o problema com a instalação de elementos que venham a impedir a visualização dos danos, exerce apenas um papel paliativo, permitindo a funcionalidade da edificação por um curto período de tempo.

A solução para eliminar as ações de sais solúveis em edificações se constitui numa tarefa complexa. Alguns fatores determinam esta complexidade, dentre os quais se destacam os seguintes: natureza e caracterização dos sais presentes, tipo de aglomerantes utilizado em argamassas, granulometria dos agregados, forma de contaminação, umidade relativa do ar, variação térmica, predominância do vento, orientação solar da edificação, porosidade do material, impermeabilizações da fundação.

Segundo Puim (2010), o uso de materiais porosos (tijolos, argamassas e pedras) contaminados com sais solúveis ou com a incorporação de constituintes que, depois de aplicados potencializem a ocorrência de reações químicas com elementos externos, pode originar a formação de sais. Os casos mais comuns são a introdução na alvenaria pré-existente de:

- Sais provenientes da água do mar, normalmente o cloreto de sódio;
- Sulfatos, muito comuns nos materiais cerâmicos;
- Alcális nas argamassas ricas em ligantes hidráulicos - ao reagir com o  $\text{CO}_2$  do ar na água presente na alvenaria, originam a formação de carbonatos alcalinos.

A maneira mais eficiente de se evitar a deterioração decorrente da ação dos sais em alvenaria é realizar uma manutenção regular da construção procurando impedir a entrada de água que se constitui num meio mais direto de agressão às edificações (PUIM, 2010). De acordo com Puim (2010), um diagnóstico efetuado por técnico habilitado pode ser vantajoso possibilitando a caracterização e identificação da origem dos sais e a indicação de técnicas e materiais mais adequados para cada situação específica.

## 3. Materiais e Métodos

### 3.1-Introdução

As manifestações patológicas presentes em parte expressiva das paredes de alvenaria de blocos cerâmicos nas edificações do perímetro urbano do município de Petrolina contam com a presença de sais minerais solúveis. As ocorrências mais frequentes se acham presentes em edificações localizadas nas áreas mais baixas da macrodrenagem do município.

Visando analisar este fenômeno, foi realizado o mapeamento das áreas com maior incidência da ação de sais minerais solúveis. Nestas localidades, foram implantados poços de monitoramento e foram colhidas amostras do solo e da água do lençol freático para o estudo. Para análise do teor de cloretos existente na atmosfera do município nas localidades selecionadas, foi utilizado o Método da Vela Úmida.

Feito o mapeamento dos pontos de maior incidência na malha urbana da cidade de Petrolina, baseado na Norma da ABNT NBR 15.495-2001, foram implantados cinco poços de monitoramento distribuídos em pontos distintos. Na ocasião da implantação, foram retiradas amostras do solo localizado no nível do lençol freático. Após implantação, fez-se o monitoramento do lençol freático, realizando o esgotamento dos poços a cada três dias durante um período de nove dias corridos. Após a estabilização do lençol foram retiradas amostras da água do lençol freático e encaminhadas para análise em laboratório da Universidade Católica de Pernambuco– UNICAP –juntamente com as amostras do solo.

Adicionalmente, procedeu-se a retirada de amostras dos tijolos afetados e não afetados pela eflorescência nas alvenarias das edificações localizadas nas áreas em estudo. Este material, depois de tratado, foi igualmente encaminhado ao laboratório de química da UNICAP para realização das análises.

Para determinação de cloreto na atmosfera, foi utilizado o Método da Vela Úmida, conforme as exigências constantes na Norma da ABNT NBR6211/2001. Após instalação dos equipamentos foram retiradas as amostras a cada 30 dias corridos durante quatro meses, sendo realizadas as análises no Laboratório de Química da UNICAP.

## 3.2 Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa contemplou duas linhas de ação distintas. A primeira se constituiu num trabalho experimental realizado no Laboratório de Química da Universidade Católica de Pernambuco. Neste trabalho foram realizados ensaios de caracterização do solo, da água, dos tijolos utilizados nas edificações afetadas e da atmosfera do município de Petrolina-PE, mediante instalação “in loco” de cinco poços para monitoramento do solo e cinco estações de captura de percentual de cloreto na atmosfera para avaliação do conteúdo de sais na atmosfera. Cada um dos materiais foi caracterizado segundo normas aplicáveis, nacionais ou internacionais, conforme o caso.

- Avaliação da água subterrânea: foram feitas dezessete determinações, sendo utilizadas para tal fim as normalizações do (APHA, 2012)
- Avaliação do solo: foram realizadas vinte e uma determinações, sendo utilizada para estas análises a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999).
- Avaliação dos tijolos utilizados nas alvenarias de edificações afetadas: foram feitas seis determinações de sais solúveis, tanto nas amostras dos tijolos danificados como nos não afetados por cloretos. Para estas análises utilizou-se o método adotado pela Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999).
- Determinação de cloretos na atmosfera: foram feitas durante seis meses, análises das amostras e adotou-se o método da vela úmida de acordo com a ABNT NBR 6211/2001.

Paralelamente ao programa de ensaios experimentais, foi também realizado um inventário fotográfico com o registro das manifestações patológicas mais frequentes em paredes de alvenaria de blocos cerâmicos no município de Petrolina-PE.

### **3.3 Identificação dos pontos de estudo e caracterização dos problemas patológicos observados**

#### **3.3.1 Identificação dos pontos de estudos**

A identificação dos locais mais afetados pela ação de sais minerais solúveis nas alvenarias das edificações de Petrolina foi realizada através de inspeção visual in-loco. Para este fim foram realizadas varias vistorias em cada uma das localidades consideradas na pesquisa contemplando um número de quinze edificações vistoriadas. As manifestações patológicas associadas à ação dos sais solúveis foram mais frequentemente sendo observada nas áreas de baixo relevo no perímetro urbano do município, onde se percebe uma tendência natural para escoamento de água a céu aberto e com a ocorrência perene de umidade.

Considerando a macrodrenagem de Petrolina, pode-se afirmar que a cidade tem sua superfície com suaves declividades em direção ao principal corpo receptor - o rio São Francisco, contando com talvegues e riachos que cortam sua área urbana. Na estação chuvosa observar-se um alargamento das secções dos córregos e riachos que cortam a cidade, em decorrência das baixas velocidades de escoamento superficial (figura 3.1). Estes fatos têm contribuído para o surgimento de alagamentos nos pontos mais baixos da malha urbana.



**Figura 3. 1 - Esgoto a céu aberto nas localidades do Raso da Catarina, Antônio Cassimiro, Jardim Amazonas, Dom Malan e Vila Eduardo – Fonte: O autor em 29/05/2012.**

A situação é mais grave devido à constatação de que a maior parte desses córregos recebe esgoto a céu aberto, principalmente nas partes mais baixas e próximas ao Raso da Catarina, Antônio Cassimiro, Jardim Amazonas, Dom Malan, Vila Eduardo. Tem-se, desta forma, uma situação de elevada insalubridade nestas localidades.

A escolha das áreas para o desenvolvimento da pesquisa levou em conta vários fatores, dentre os quais se destacam os seguintes:

- Raso da Catarina- Poço de Monitoramento 1 – PM1
  - Tratar-se de um local onde funciona uma estação de tratamentos de resíduos sólidos (antigo lixão). Situado entre bairros habitados em todas as direções dos pontos cardiais, com edificações nesta área apresentando problemas decorrentes da ação de sais minerais solúveis, vindo a aparecer principalmente no bairro Vila Eulália localizado adjacente ao Raso da Catarina. Entre os problemas mais relevantes destacam-se a existência de água a céu aberto (Figura 3. 2 - Esgoto a céu aberto Raso da Catarina - Fonte: O autor
  - 3.2) armazenada dentro desta área, sendo esta bombeada para uma lagoa de aeração, em seguida sendo novamente bombeada e encaminhada através de tubulação em PVC cerca de 1 km e despejada a céu aberto em um canal passando jusante do bairro Antônio Cassimiro. Todo procedimento tem a finalidade de rebaixar o nível do lençol freático neste local sendo o processo descrito suas etapas conforme mostra a Figura 3.3. Vale salientar que após esta água ser jorrada no referido canal a céu aberto, segue no sentido norte cerca de 150 m, mudando de direção para o oeste seguindo sentido ao bairro Jardim Amazonas, não entrando no referido bairro seguindo pelo Distrito Industrial de Petrolina tendo como receptor o rio São Francisco.



Figura 3. 2 - Esgoto a céu aberto Raso da Catarina - Fonte: O autor

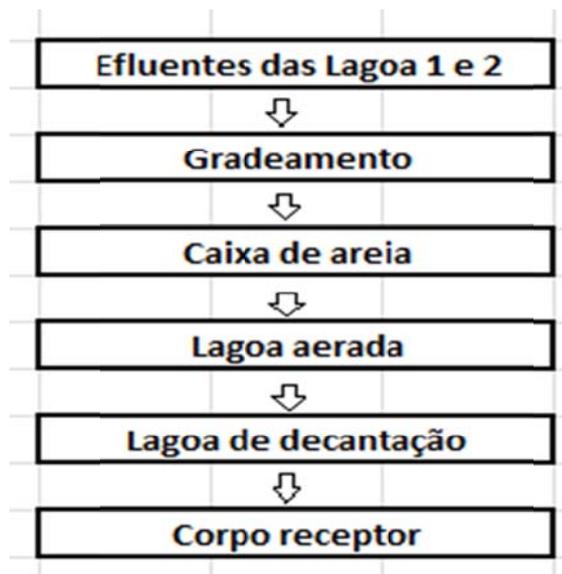


Figura 3. 3 - Procedimentos para rebaixamento lençol no Raso da Catarina - Fonte: O autor

- Antônio Cassimiro - Poço de Monitoramento 2 – PM2
  - Bairro localizado a jusante do Raso da Catarina. Potencialmente habitado com grande parte das edificações apresentando problemas característicos da ação de sais minerais solúveis. Durante diversas vistorias realizadas nesta área observaram-se vários pontos do referido bairro com a existência de esgotos sanitários sendo jogado nas ruas a céu aberto, inclusive parte deste tendo destino final sem qualquer tratamento num canal existente a jusante do bairro (Figura 3.4).



Figura 3. 4 - Esgoto sanitário a céu aberto nas ruas sendo direcionado ao canal existente - Fonte: O autor

- Jardim Amazonas – Poço de monitoramento 3 – PM3
  - Bairro localizado as margens da BR-407 em área baixa do município. Totalmente habitado com edificações com paredes em elevado estágio de decomposição, característico da cristalização de sais solúveis (Figura 3.5). Na área vistoriada observou-se a existência de um canal a céu aberto passando ao lado do referido bairro, cuja origem recebe contribuição de esgotos de diversos bairros situados a montante, inclusive o Raso da Catarina e Antônio Cassimiro.



**Figura 3.5 - Edificação com alvenaria em decomposição no Jardim Amazonas - Fonte: O autor**

- Dom Malan – Poço de Monitoramento 4 - PM4
  - Bairro populoso, localizado entre as Avenidas Sete de Setembro e Integração. É cortado por um canal a céu aberto que recebe contribuição de esgotos. Outro fator relevante é a existência de uma lagoa de estabilização que descarrega em um canal existente no sentido do bairro Antônio Cassimiro. As edificações existentes na sua maioria são de padrão médio e se apresentam em grande numero com problemas característicos da ação de sais solúveis, tais como o esfarelamento de tijolos localizados próximos a fundação conforme mostra a Figura 3.6.



**Figura 3.6 - Edificação apresentando alvenaria em decomposição bairro Dom Malan - Fonte: O autor**

- Vila Eduardo 5 – Poço de Monitoramento 5 - PM5
  - Considerado um bairro antigo de Petrolina, tem suas edificações na grande maioria compostas por um padrão médio habitacional além de vários comércios varejistas. Um dos pontos considerados agravante em relação ao surgimento de umidade nas edificações é a existência de um canal a céu aberto sem nenhuma impermeabilização, localizado muito próximo das edificações existentes (Figura 3.7) cortando o bairro no sentido sul desaguando no rio São Francisco. Mesmo considerando as edificações existentes de um padrão médio, percebe-se que na maioria não existe medidas adequadas para inibir a ação dos possíveis sais solúveis existentes no local, fato estes que poderá ter contribuído para que várias edificações se encontrem em processo de degradação nas suas alvenarias.



**Figura 3.7 - Esgoto a céu aberto escoando próximo às edificações - Fonte: O autor**

Principalmente nas áreas baixas da cidade, próximas a córregos e riachos, observa-se a existência da degradação dos tijolos das alvenarias na sua parte inferior (Figura 3.8).

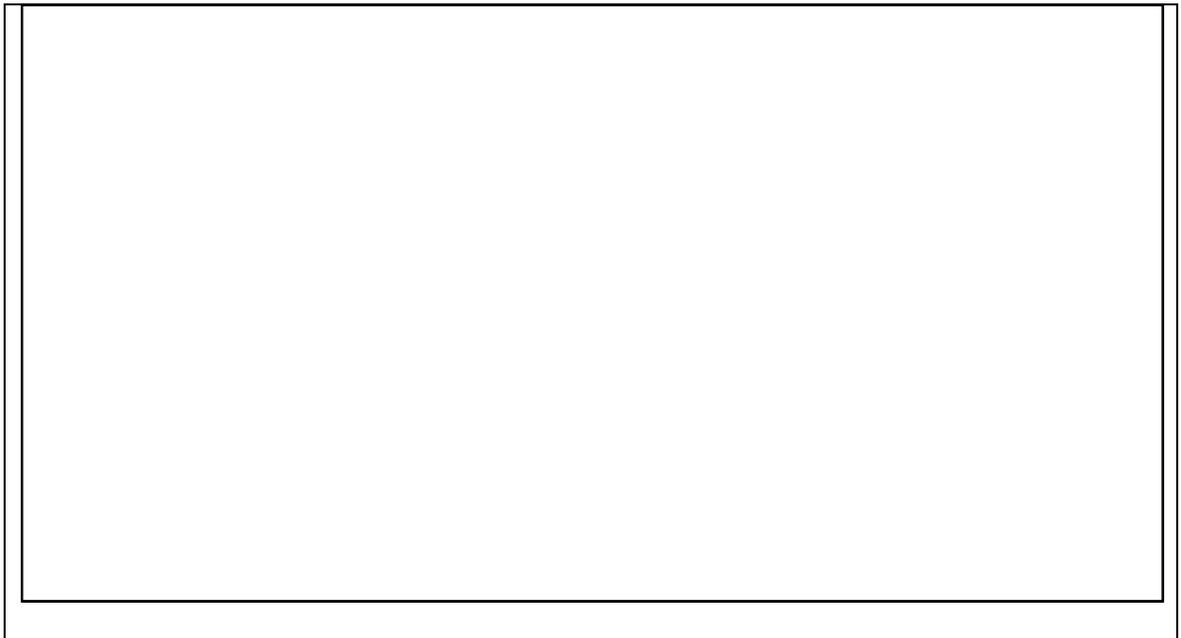
Durante o processo de identificação dessas anomalias em algumas áreas da cidade, tem sido referendado pela população prejuízos causado pela depreciação das edificações.





**Figura 3. 8 - Depreciação dos tijolos das alvenarias nos bairros Antônio Cassimiro, Dom Malan, Jardim Amazonas e Vila Eduardo – Fonte: Autor em 29/05/2012**

Considerando os problemas detectados nas áreas mais afetadas, onde há de forma mais intensa reclamações da população, foram identificados cinco pontos para a realização desta pesquisa, a saber: Raso da Catarina, Antônio Cassimiro, Jardim Amazonas, Dom Malan e Vila Eduardo (Figura 3.9).



**Figura 3. 9 - Mapeamento dos pontos adotados para pesquisa - Fonte: Autor**

### **3.3.2 Caracterização das manifestações patológicas**

A Figura 3.10 exemplifica as manifestações patológicas existentes nas áreas objeto da pesquisa. Percebe-se como características predominantes a deterioração contínua dos tijolos cerâmicos de paredes de alvenaria que culminam por fragmentar estes tijolos a ponto de transformá-los em material pulverulento.



**Figura 3. 10 - Tijolos da alvenaria degradados e transformados em pó - Fonte: O autor**

Na área denominada Raso da Catarina identificada como PM1 na Figura 3. 9 - Mapeamento dos pontos adotados para pesquisa - Fonte: Autor

3.9 observam-se esgotos a céu aberto nas ruas. A maior parte das edificações existentes no bairro mais próximo, Vila Eulália, se apresenta com focos de umidade, principalmente nos pontos baixos mais próximos da fundação. Apesar das características dos problemas patológicos existentes serem iguais, registra-se que o bairro Vila Eulália não recebe contribuição de esgoto do Raso da Catarina, sendo mais afetado desse ponto de vista por esgotos sanitários do próprio bairro. Nesta localidade observam-se diversos pontos na localidade com esgotos sendo lançado nas ruas e terrenos baldios sem nenhum tratamento adequado. É possível observar que o solo apresenta diversos pontos com umidade frequente muito próximo da superfície (figura 3.11).



**Figura 3. 11 - Esgoto a céu aberto e nível do lençol freático próximo ao Raso da Catarina - Fonte: O autor**

A área denominada Antônio Cassimiro identificada como PM2 (Figura 3.9) apresentou na maior parte focos de umidade frequentes na superfície. Outro fator observado nesta área foi a inexistência de saneamento básico canalizado em parte do bairro, sendo comum existência de canais de esgoto a céu aberto nestas mediações (Figura 3.12). Também se observou a ocorrência de poços de água paralisada sem drenagem que podem contribuir para a manifestação de sais minerais existentes nas edificações da localidade.

Na sua maioria, as edificações nesta área são do tipo popular executadas com fundações superficiais do tipo alvenaria de pedra ou de tijolo cerâmico de uma vez sem nenhum tratamento impermeável que venha servir de barreira para minimizar os efeitos do processo de capilaridade da água nas paredes das edificações. Tratando-se de uma área com umidade frequente, as edificações desta localidade, na sua maioria, se apresentaram com seus tijolos destruídos pela ação dos sais existentes.



**Figura 3. 12 - Esgoto a céu aberto e nível superficial do lençol freático no Antônio Cassimiro - Fonte: O autor**

Na área denominada Jardim Amazonas, denominada PM3 na Figura 3.9, foram observadas diversas edificações apresentando patologias que vem contribuindo para deterioração das alvenarias de tijolos cerâmicos. Diversos canais de drenagem a céu aberto, recebendo contribuição de esgotos, passando as margens do bairro, são encontrados na área. Nesta área o canal existente recebe contribuição direta das águas escoadas dos bairros Dom Malan, Antônio Cassimiro e Raso da Catarina, que se localizam a montante da área PM3 em estudo. Nas áreas baixas deste bairro existem diversas edificações apresentando focos de umidade intensa (Figura 3.13).



**Figura 3. 13 - Edificações em decomposição no jardim Amazonas - Fonte: O autor**

A área denominada Dom Malan identificada como PM4 na Figura 3.9, situa-se a oeste do Raso da Catarina e é cortada pela existência de canal a céu aberto. No entanto, observam-se esgotos oriundos das edificações existentes sendo lançado no canal. A característica predominante nas edificações desta área é do tipo padrão médio de construção. Apesar de serem de melhor padrão também se apresentam com o surgimento de focos de umidade e consequentemente danos nas alvenarias com características da ação de sais minerais (Figura 3.14). De acordo com a macrodrenagem do município, esta área, não obstante a observação da ação de sais minerais também terem atingido as alvenarias das edificações, não recebe contribuição de umidade proveniente de nenhuma das áreas contempladas na pesquisa porque se situa a montante dos pontos 01, 02 e 03.



**Figura 3. 14 - Residência em degradação no bairro Dom Malan - Fonte: O autor**

A área denominada Vila Eduardo identificada como PM5 na Figura 3.9, localiza-se em relação às demais de forma a existir um divisor de água, não tendo nenhuma ligação com os demais pontos adotados para a pesquisa. Sua extensão é cortada por um canal com declividade suave no sentido sul em direção ao Rio São Francisco. Por ter declive suave na extensão do canal existe água paralisada, contribuindo para o aumento da umidade frequente nas edificações da localidade. Não sendo diferentes de outros pontos de Petrolina apresentando características semelhantes, suas edificações se apresentaram em muitas partes com suas alvenarias em estado decomposição podendo ter ligações com a ação de sais minerais solúveis (Figura 3.15).



**Figura 3. 15 - Edificação apresentando degradação na alvenaria no bairro Vila Eduardo - Fonte: O autor**

### **3.4 Implantações dos poços de monitoramento**

Os poços de monitoramento foram implantados observando-se as recomendações da Norma da ABNT NBR 15.495-2001, sendo distribuídos em cinco localidades da área urbana do município de Petrolina, pontos mais afetados pela ação de sais minerais solúveis. Os poços instalados foram do tipo convencional com pré-filtro. Para a instalação foi desenvolvido um projeto básico dos piezômetros e definidos os parâmetros e procedimentos para implantação conforme descritos a seguir:

- Poço de monitoramento (PM-1)
  - Localizado na área denominada Raso da Catarina com coordenadas S=09°22'08.7"e W=40°30'11.4", conforme indicado na Figura 3. 16 - Poço de monitoramento número 01 - (Raso da Catarina) – Fonte: O Autor em 28/05/2012
  - . Para a sua implantação utilizou-se o trado manual a percussão. Durante a implantação foi realizado o reconhecimento das características do solo existente, recolhido amostras para fazer o reconhecimento e registrados em ficha de detalhamento dos procedimentos de execução, até atingir a cota desejada conforme Tabela 3.1. Durante a implantação verificou-se que no solo existe vestígios de chorume proveniente do lixo depositado neste local, fato que dificultou a execução do furo formando uma bucha nas extremidades do trado utilizado. Conclui-se o poço de monitoramento a uma profundidade de 2,00 metros após atingir o nível do lençol freático, sendo colocado um tubo de revestimento diâmetro de 6" com tapa e dispositivo de fechamento através de cadeados, para conferir maior segurança e mantendo-o em bom estado de funcionamento ao longo do período de desenvolvimento da pesquisa de campo. Do exame do perfil de sondagem anexo pode-se observar que o material encontrado até a profundidade de 2,0 m foi uma areia fina siltosa de coloração marrom e o nível de água se localiza numa profundidade de 1,40 metros.

| Perfuração do poço de monitoramento | Poço de monitoramento instalado |
|-------------------------------------|---------------------------------|
|-------------------------------------|---------------------------------|



Figura 3. 16 - Poço de monitoramento número 01 - (Raso da Catarina) – Fonte: O Autor em 28/05/2012

Tabela 3. 1 - - Características do Poço de Monitoramento (PM1) Fonte: O autor

| Localização               | Profundidade | N. A.  | Classificação unificada do solo | Data       | Condições do terreno | Condições do tempo |
|---------------------------|--------------|--------|---------------------------------|------------|----------------------|--------------------|
| Raso da Catarina (PM1)    | 2,00 m       | 1,40 m | SM - Areia Siltosa              | 28/06/2012 | Úmido                | Bom                |
| S=9°22'08.7"W=40°30'11.4" |              |        |                                 |            |                      |                    |

Obs.: Após 2,00 metros, impenetrável ao trado, adotado cota final instalado e protegido com tampão de ferro Para evitar destruição por vândalos.

- Poço de monitoramento número 02 (PM2)
  - Localizado no Bairro Antônio Cassimiro a jusante do Raso da Catarina, com coordenadas geográficas S=9°22'19.6'' e W=40°30'32.2''. Para sua implantação utilizou-se o trado manual a percussão (Figura 3. 17 - Poço de monitoramento número 02- Bairro Antônio Cassimiro– Fonte: O autor em 28/05/2012

Tabela 3. 2 - - Caracterização do Poço de Monitoramento (PM2) Fonte: O autor

- Adotando os mesmos procedimentos utilizados no poço de monitoramento número 01, realizando de maneira idêntica o reconhecimento das características do solo existente e recolhido amostras para estudo de caracterização, registrando em ficha de detalhamento dos procedimentos de execução, até atingir a cota desejada conforme Tabela 3.2. De posse do perfil de sondagem anexo verificou-se que o solo característico é areia siltosa de coloração marrom até a cota de 40 cm, passando a coloração bege após esta cota até atingir 1,80 de profundidade, com existência do lençol freático a

apenas 40 cm da superfície. Conclui-se o poço de monitoramento a uma profundidade de 1,80 m, sendo implantado finalmente o tubo de revestimento e proteção com dispositivo de fechamento.



Figura 3. 17 - Poço de monitoramento número 02- Bairro Antônio Cassimiro– Fonte: O autor em 28/05/2012

Tabela 3. 2 - - Caracterização do Poço de Monitoramento (PM2) Fonte: O autor

| Localização               | Profundidade | N. A.  | Classificação unif. do solo | Data       | Condições do terreno | Condições do tempo |
|---------------------------|--------------|--------|-----------------------------|------------|----------------------|--------------------|
| Antônio Cassimiro (PM2)   | 1,80 m       | 0,40 m | SM - Areia Siltosa          | 28/06/2012 | Úmido                | Bom                |
| S=9°22'19.6"W=40°30'32.2" |              |        |                             |            |                      |                    |

Obs.: Após 2,00 metros, impenetrável ao trado, adotado cota final instalado e protegido com tampão de ferro.

- Poço de monitoramento número 03 (PM3)
  - Localizado no Bairro Jardim Amazonas com coordenadas geográficas de S=9°22'55.8'' W=40°31'37.8''. Para sua implantação utilizou-se o trado manual a percussão (Figura 3.18). Durante a implantação foi feito o reconhecimento do solo existente, coletado amostras para análise característica e registrados em ficha de detalhamento dos procedimentos de execução, até atingir a cota desejada conforme Tabela 3.3. Conforme perfil de sondagem anexo verificou-se que o solo é areia argilosa com existência do lençol freático a apenas 80 cm. Conclui-se o poço de monitoramento a uma profundidade de 2,20 m

após atingir o nível do lençol freático, sendo implantado para sua proteção um tampão metálico com dispositivo de fechamento com cadeado.



Figura 3. 18 - Poço de monitoramento número 03 - Bairro Jardim Amazonas – Fonte: O autor em 29/05/2012

Tabela 3. 3- Caracterização do Poço de monitoramento (PM3) Fonte: O autor

| Localização               | Profundidade | N. A.  | Classificação unif. do solo | Data       | Condições do terreno | Condições do tempo |
|---------------------------|--------------|--------|-----------------------------|------------|----------------------|--------------------|
| Jardim Amazonas (PM3)     | 2,20 m       | 0,80 m | SC - Areia Argilosa         | 28/06/2012 | Úmido                | Bom                |
| S=9°22'55.8"W=40°31'37.8" |              |        |                             |            |                      |                    |

Obs.: Após 2,00 metros, impenetrável ao trado, adotado cota final instalado e protegido com tampão de ferro.

- Poço de monitoramento número 04 (PM4)
  - Localizado no Bairro Dom Malan, coordenadas geográficas S=9°22'51.2'' W=40°31'37.8'' de acordo com mapeamento pré-determinado. Foi implantado o furo de sondagem atingindo profundidade de 2,20 metros, sendo verificado o atingimento de camada impenetrável (alteração de rocha) e, não obstante a existência de umidade, não foi encontrada água. Com base nesta informação, foi deslocado este poço de monitoramento para outro local próximo ao inicialmente previsto. De maneira idêntica, repetiu-se a situação observada no poço anterior, ao atingir cota de 1,20 m. Descartado o segundo poço, foi executado um terceiro poço com profundidade de 1,45 m, onde a mesma situação se repetiu. Neste terceiro poço,

verificou-se que depois de transcorridos aproximadamente 1,4 metros, pelo processo de percussão rotativo a trado manual, juntou-se uma lamina de água em torno de 45 cm ficando o nível da água a uma profundidade de 1,00 m, sendo o suficiente para entender que havia contribuição de outras fontes, ainda não identificadas. Registra-se que na área em estudo existem esgotos a céu aberto e lagoa de estabilização próxima as edificações existentes. A Figura 3. 19 - Poço de monitoramento número 04 - Bairro Dom Malan– Fonte: O autor em 29/05/2012

- mostra o processo de implantação do poço de monitoramento. Durante a implantação foi feito o reconhecimento do solo existente, feito a coleta para análise física e registrados em ficha de detalhamento dos procedimentos de execução, até atingir a cota desejada conforme Tabela 3.4, sendo finalmente instalado um tampão metálico para a sua proteção.



Figura 3. 19 - Poço de monitoramento número 04 - Bairro Dom Malan– Fonte: O autor em 29/05/2012

Tabela 3. 4 - Caracterização do Poço de Monitoramento (PM4) Fonte: O autor

| Localização     | Profundidade | N. A.  | Classificação do solo | Data       | Condições do terreno | Condições do tempo |
|-----------------|--------------|--------|-----------------------|------------|----------------------|--------------------|
| Dom Malan (PM4) | 1,50 m       | 1,40 m | SC - Areia            | 29/06/2012 | Úmido                | Bom                |

S=9°22'51.2"W=40°31'37.8"

Argilosa

Obs.: Após 2,00 metros, impenetrável ao trado, adotado cota final instalado e protegido com tampão de ferro.

- Poço de monitoramento número 05 (PM5)
  - Localizado no Bairro Vila Eduardo, coordenadas geográficas de S=9°23'30.6'' W=40°29'10.9''. Para sua implantação utilizou-se o trado manual a percussão (Figura 3.20). Tendo os mesmos procedimentos adotados nos demais poços, foi feito o reconhecimento do solo existente, coletado as amostras para sua caracterização e registrados em ficha de detalhamento dos procedimentos de execução, até atingir a cota desejada conforme Tabela 3.5. De posse do perfil anexo verificou-se que o solo é pedregulho argiloso e siltoso até 40 cm, seguido de areia siltosa até a profundidade máxima atingida pelo poço, com existência do lençol freático a apenas 1,00 m. Concluiu-se o poço de monitoramento a uma profundidade de 2,00 m, sendo implantado por fim um tampão metálico para a sua proteção.



Figura 3. 20 - Poço de monitoramento número 05- Vila Eduardo – Fonte: Autor em 29/05/2012

**Tabela 3. 5 - Caracterização do Poço de monitoramento (PM5) Fonte: O autor**

| Localização | Profundidade | N. A.  | Classificação do solo | Data       | Condições do terreno | Condições do tempo |
|-------------|--------------|--------|-----------------------|------------|----------------------|--------------------|
|             | 2,00 m       | 1,00 m | GM -                  | 28/06/2012 | Úmido                | Bom                |

|                           |  |  |   |  |  |  |
|---------------------------|--|--|---|--|--|--|
| Vila Eduardo (PM5)        |  |  | Pedregulho<br>Argiloso e<br>Siltoso até 0,40<br>m e SM - Areia<br>Siltosa |  |  |  |
| S=9°23'30.6"W=40°29'10.9" |  |  |   |  |  |  |

Obs.: Após 2,00 metros, impenetrável ao trado, adotado cota final instalado e protegido com tampão de ferro.

Todos os poços de monitoramento foram implantados utilizando trado manual à percussão até atingir a cota desejada. Em seguida um tubo de ferro com tampa e dispositivo de fechamento foi instalado para proteção e revestimento em cada um dos poços instalados, sendo utilizado concreto simples para sua fixação. Os registros das sondagens foram elaborados com base nos dados constantes em ficha de ocorrências preenchidas no ato da perfuração dos poços e mapeamento georeferenciado em coordenadas.

### **3.5 Ensaios realizados no solo, água, tijolos e determinação de cloretos na atmosfera.**

#### **3.5.1 Procedimentos adotados para análise físico-química do solo**

As amostras do solo utilizadas nesta pesquisa foram extraídas em todas as localidades estudadas já citadas anteriormente, sendo coletadas no momento da implantação dos poços de monitoramento. Sua captura ocorreu no momento em que o poço de monitoramento atingiu o nível do lençol freático estável utilizando o próprio trado de perfuração para coleta das amostras (Figura 3.21). Após a coletado material procedeu-se seu armazenamento em baldes de polietileno devidamente identificados e na sequência foram transportados para laboratório, onde receberam os tratamentos adequados de forma a evitar contaminação após a coleta. Antes de ser analisado, o solo foi secado em bandejas de polietileno descartáveis, todas legendadas, e em seguida expostas ao ar durante três dias e embaladas em recipientes de polietileno identificados e descartáveis para posterior envio ao laboratório de química da Universidade Católica, local destinado para análise das amostras.



Figura 3. 21 - Coleta e tratamento das amostras do solo- Fonte: Autor em 29/05/2012

A análise química foi desenvolvida tendo como parâmetro a metodologia adotada pela EMBRAPA para o estudo do solo, de acordo com o Manual de Métodos de análise de Solo – 2ª edição 1999.

As análises físicas foram realizadas adotando o sistema unificado de classificação dos solos tendo como parâmetro a NBR 7181/1984. O limite de liquidez foi determinado de acordo com NBR 6459/1984, o limite de plasticidade de acordo com NBR 7180/1984 e a massa específica dos grãos de acordo com a NBR 13602/1996. Todas essas análises foram realizadas no Laboratório de Solos do IF Sertão em Petrolina.

As amostras de solo foram submetidas a procedimentos descritos a seguir como etapas de preparação para realização das análises.

- Colocação da amostra, depois de protocolada, em tabuleiro de madeira de 40 x 60 x 8 cm, com posterior espalhamento e destorroamento manual;
- Disposição da amostra em local ventilado e seco até completa dessecação ao ar.
- Pesagem e anotação do peso da amostra que vai ser preparada.
- Destorroamento colocando a amostra sobre peça de couro de 60 x 60cm e 4 a 5 mm de espessura, separando para um lado a fração grosseira. O material foi pressionado manualmente num rolo de madeira até desfazer os torrões maiores. Nesta etapa é preciso se ter cuidado para não quebrar pedras ou concreções.
- Verter a amostra destorroada para um conjunto de duas peneiras, uma em cima de malha de 20 mm e outra em baixo com malha de 2 mm.

- O material retido na peneira de 20 mm (calhaus) e na de 2 mm (cascalho) foi colocado em cápsula de porcelana com água, mais 10 ml de NaOH 1N, agitando com auxílio de um bastão várias vezes durante o dia e mantido por uma noite nesta solução.
- Lavagem adequada dos materiais sobre peneira com malha de 2 mm.

Após estes procedimentos as amostras foram secadas em estufa, pesadas e procedidas às análises físico-químicas.

As amostras foram analisadas de forma abrangente. Dentre as determinações realizadas são ressaltadas a seguir as de maior relevância no processo de ação de sais minerais solúveis em alvenarias de blocos cerâmicos, sendo os resultados descritos no Capítulo 4.

### **3.5.2 Procedimentos adotados para análise química da água do subsolo**

Após a implantação dos poços de monitoramento nas cinco localidades destinadas para realização dos ensaios, foi iniciado o monitoramento sendo procedido o aferimento do nível do lençol freático e esgotamento dos poços após três dias da implantação (figura 3.22), procedimentos esses que visaram atingir a estabilização do nível do lençol freático e foi realizado a cada três dias até o décimo dia da implantação.

Foi constatada a estabilização do lençol freático, três dias após foi executada a retirada da primeira amostra da água em 13/08/2012. Para realização desta etapa foram utilizados os equipamentos e insumos relacionados a seguir.

- 01 voltímetro do tipo digital, com agulhas adequadas (para aferição de temperatura e condutividade elétrica);
- 01 sensor com régua graduada e dispositivo de alarme (para aferição do nível do lençol freático);
- 05 beiler's descartáveis fixados a uma corda (para coleta da água do lençol freático);
- 05 recipientes de polietileno com capacidade de armazenamento três litros (adequados para armazenamento da água);
- 01 fita adesiva do tipo crepe;
- 01 caneta do tipo permanente;
- 01 caixa de isopor.

Todo processo de retirada das amostras da água do subsolo utilizou como parâmetro as recomendações das normas da ABNT, NBR 15.847.2010 e NBR 15.495.2007. De posse de todo material e equipamentos necessários para a coleta da água do subsolo, foi dado início ao recolhimento da primeira amostra, sendo armazenada parcialmente em recipiente de polietileno aberto com indicação do volume armazenado e medido a temperatura da água e a condutividade elétrica (Figura 3. 22 - Coleta das amostras da água subterrânea- Fonte: O autor em 18/07/2012

3.22). Após a realização desta etapa as amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno fechados e descartáveis (Figura 3. 23 - Tratamento das amostras da água subterrânea - Fonte: O autor em 18/07/2012

3.23), sendo feita a identificação finalizando o processo. Na sequência, foi realizado o armazenamento das amostras já colocadas em recipientes lacrados em caixa de isopor lacrada. Este procedimento foi executado nos cinco pontos adotados para a realização da pesquisa. Em seguida todas as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química da Universidade Católica de Pernambuco para análise.

No laboratório, as amostras foram analisadas tendo como suporte normativo as recomendações do (APHA, 2012).



Figura 3. 22 - Coleta das amostras da água subterrânea- Fonte: O autor em 18/07/2012



Figura 3. 23 - Tratamento das amostras da água subterrânea - Fonte: O autor em 18/07/2012

Visando maior precisão nos resultados foi realizada a retirada de uma segunda amostra da água em 09/outubro/2012, sendo adotados todos os procedimentos utilizados na retirada da primeira amostra.

### 3.5.3 Procedimentos adotados para análise química dos tijolos cerâmicos

Com o objetivo de analisar os tijolos cerâmicos utilizados nas alvenarias das edificações que apresentam indícios de patologias decorrentes da ação de sais minerais solúveis, foi realizada a retirada de amostras dos tijolos danificados e não danificados, em todos os pontos onde foi realizada a pesquisa, conforme indicado na figura 3.24.



Figura 3. 24 - Detalhe tijolo danificado e não danificado- Fonte: O autor em 29/05/2012

No Raso da Catarina, local onde foi instalado o poço de monitoramento numero 01, observam-se nas mediações circunvizinhas diversas casas com manifestações patológicas que se mostraram semelhantes àquelas decorrentes da ação de sais minerais. Como exemplo deste fato, destaca-se o Bairro Vila Eulália, localizado junto ao Raso da Catarina. Considerando as condições locais, foram retiradas as amostras numero 01 em uma das edificações do citado bairro, de forma que o tijolo afetado foi extraído a 50 cm acima da fundação e o não afetado no topo da alvenaria (Figura 3.25).



**Figura 3. 25 - Pontos de retiradas das amostras dos tijolos próximo ao Raso da Catarina - Fonte: O autor em 09/10/2012**

No Antônio Cassimiro, local onde foi implantado o poço de monitoramento numero 02, as edificações habitacionais se apresentam com danos expressivos nas suas alvenarias, com características típicas da ação de sais minerais solúveis, observa-se também a existência de prédio público sendo afetado por sais solúveis. Destaca-se nesta área a permanência constante de umidade no solo, além da existência de muito esgoto bruto sendo lançado nas ruas a céu aberto. Diante das circunstancias optou-se pela retirada das amostras dos tijolos em um muro de uma residência, retirando o tijolo afetado a uma altura de 50 cm acima da fundação e o não afetado no topo do muro, conforme indicado na Figura 3.26.



Figura 3. 26 - Pontos de retiradas amostras tijolos - Bairro Antônio Cassimiro- Fonte: O autor em 09/10/2012

No Jardim Amazonas, nas proximidades do poço de monitoramento número 03, a situação encontrada é mais grave, foram observadas edificações totalmente destruídas com focos da ação de sais minerais solúveis, inclusive muros caídos e até mesmo pilares de concreto sendo destruídos pela ação dos sais. De posse das manifestações patológicas encontradas na referida localidade, foram extraídas as amostras em uma edificação situada ao lado do Poço de monitoramento numero 03, sendo extraído o tijolo afetado a uma altura de 50 cm acima da fundação e o não afetado no topo do muro, conforme indicado na Figura 3.27.



Figura 3. 27 - Pontos retiradas amostras dos tijolos - Jardim Amazonas- Fonte: O autor em 09/10/2012

No Bairro Dom Malan, não sendo diferente dos demais pontos supracitados, uma grande maioria das casas e pontos comerciais apresentam desgastes nas alvenarias com características da ação dos sais minerais solúveis. Nesta localidade, além de esgoto a céu aberto nas ruas observar-se a existência de uma lagoa de estabilização que pode contribuir para o surgimento da umidade constante no solo, uma vez que há edificações construídas

muito próximas a referida lagoa. Baseado nos problemas patológicos encontrados no referido local, retirou-se as amostras dos tijolos, de uma edificação situada ao lado do poço de monitoramento numero 04, retirando o tijolo afetado a 50 cm acima da fundação e o não afetado a altura de pé direito da edificação conforme indicado na Figura 3.28.



Figura 3. 28 - Pontos retiradas amostras dos tijolos - Bairro Dom Malan - Fonte: O autor em 09/10/2012

No bairro Vila Eduardo nas proximidades do poço de monitoramento número 05, as edificações se apresentam com diversos focos de sais minerais nas paredes. De posse da situação encontrada foi feito a coleta das amostras nas alvenarias de um muro de um prédio onde funciona o escritório de uma empresa, sendo retirado o tijolo afetado a uma altura de 50 cm acima da fundação e o não afetado no topo da alvenaria existente, conforme indicado na Figura 3.29.



Figura 3. 29 - Pontos de retiradas das amostras dos tijolos - Bairro Vila Eduardo – Fonte: O autor em 09/10/2012

Todas as amostras dos tijolos afetados e não afetados foram colocadas em sacos descartáveis devidamente identificados e encaminhados para o Laboratório de Química da Universidade Católica de Pernambuco, local onde foi realizado o estudo de caso desta pesquisa.

Para análise dos tijolos no laboratório, os mesmos foram triturados, pesados trinta gramas e, na sequência, foram diluído em 300 ml de água destilada num balão de erlenmeyer em agitação por vinte e quatro horas, para obter o extrato da amostra. Após esse procedimento foram feitas as análises dos ânions e cátions existentes nos tijolos danificados e não danificados, tendo como parâmetro para análise o manual de métodos de análise de solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1999).

### **3.5.4 Procedimentos adotados para determinação de cloretos na atmosfera**

Para avaliação do teor de cloretos na atmosfera no município de Petrolina foi utilizado o Método da Vela Úmida de acordo com as recomendações da NBR 6211/2001. Este ensaio consiste em um cilindro de vidro envolvido com gaze cirúrgica e fixado a um frasco coletor por uma rolha conforme indicado na Figura 3.30. O equipamento foi instalado em um suporte metálico constando de duas chapas de aço de 50 x 50 cm, sendo uma para apoio da vela úmida e a outra para cobertura do equipamento.

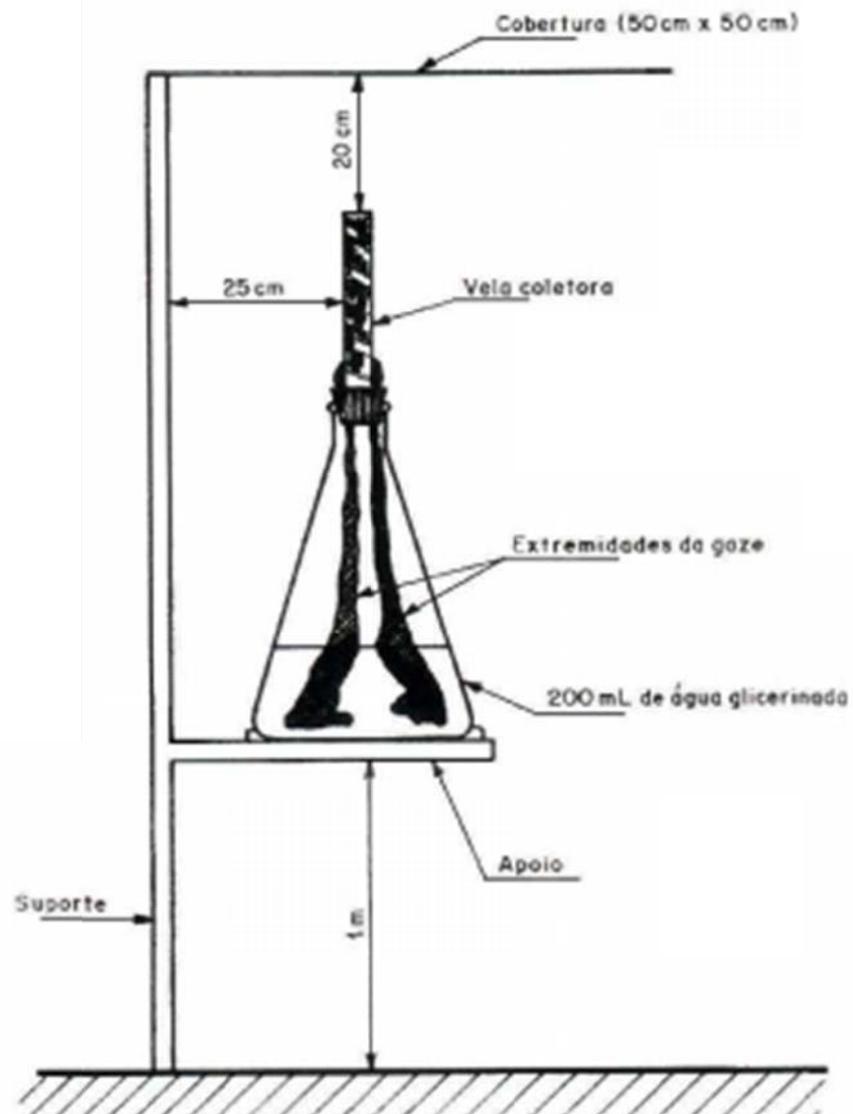


Figura 3. 30 - Detalhamento da vela úmida – Fonte: ABNT NBR 06211.2001

Após a colocação da vela úmida em cada localidade, transcorridos trinta dias, foi realizada a coleta da primeira amostra, sendo, nesta ocasião, substituída a vela úmida. Este processo foi repetido a cada trinta dias corridos até completar um total de seis amostras, depois de transcorridos cento e oitenta dias.

A instalação dos suportes para a colocação da vela úmida foi realizada nos cinco pontos considerados na pesquisa. A seguir acham-se descritos os detalhes da instalação da vela úmida nas áreas selecionadas.

- Raso da Catarina
  - Por tratar-se de um antigo lixão, hoje estação de tratamento de resíduos, área explorada pela iniciativa privada, local que dispõem de

campo aberto com segurança privada, sendo favorável para instalação da vela úmida. Diante das condições adequadas encontradas neste local, foi instalada a vela úmida em um poste de concreto situado dentro da área do aterro sanitário (Raso da Catarina), local onde foi instalado o poço de monitoramento número 01 (figura 3.31).



**Figura 3. 31 - Vela úmida instalada no Raso da Catarina – Fonte: O autor em 22/08/2012**

- Antônio Cassimiro
  - Nesta localidade não foi área com campo aberto com a devida segurança para garantir a permanência necessária para a análise da vela úmida, diante das circunstâncias encontradas, a vela úmida foi instalada com suporte fixado em uma parede de uma edificação particular próxima ao local onde foi instalado o poço de monitoramento número02. A base do suporte ficou numa altura superior ao telhado da edificação existente para que não houvesse possibilidade interferência nos resultados das análises (Figura 3.32).



Figura 3. 32 - Vela úmida instalada Bairro Antônio Cassimiro - Fonte: O autor em 22/08/2012

- Jardim Amazonas
  - Nesta localidade as áreas com campo aberto não oferecem a garantia necessária para manter-se a vela úmida instalada durante o período necessário para a pesquisa. Sendo assim contou-se com a disponibilidade de um muro particular onde funciona uma oficina mecânica, onde foi instalada a vela úmida sendo a base para suporte fixada em uma parede do referido muro, situado próximo ao poço de monitoramento numero 03. A base do suporte ficou numa altura superior ao telhado da edificação existente, assegurando a não interferência nos resultados das análises (Figura 3.33).



Figura 3. 33 - Vela úmida instalada Bairro Jardim Amazonas – Fonte: O autor em 22/08/2012

- Dom Malan
  - A área dispõe de prédios públicos que poderiam ser utilizado para a instalação da vela úmida, no entanto não oferecem as condições mínimas necessárias para realização da pesquisa. Diante das condições encontradas, optou-se por fixar o suporte em um pilar de madeira com altura o suficiente para não haver interferência nos resultados das análises, local este onde funciona uma marcenaria próxima ao poço de monitoramento número 04 (Figura 3.34).



**Figura 3.34 - Vela úmida instalada no Bairro Dom Malan – Fonte: O autor em 22/08/2012**

- Vila Eduardo
  - O local oferece como local mais conveniente para instalação da vela úmida, o muro de um escritório particular da empresa Limpadora Pacheco, sendo o suporte foi fixado no referido muro, próximo ao local onde foi instalado o poço de monitoramento numero 05. Após a instalação a base do suporte vela úmida ficou a uma altura suficiente e sem a existência de fatores que venham interferir nos resultados das análises (Figura 3.35).



Figura 3. 35 - Vela úmida instalada Vila Eduardo– Fonte: O autor em 22/08/2012

De acordo com as determinações da NBR 6211-2001, foi realizada a análise da quantidade de cloreto na atmosfera. Foram realizadas coletas de amostras nos pontos PM1 a PM5 durante cento e oitenta dias consecutivos. Estas amostras foram analisadas no Laboratório de Química da Universidade Católica de Pernambuco, sendo calculados os resultados do teor de cloretos pela Equação 1 a seguir.

onde:

$A$ = volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrio com alíquota, em mililitros;

$B$ = volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrio com o branco, em mililitros;

$M$ = concentrado de solução-padrão de nitrato mercúrio em molaridade;

$V_t$ = volume total da amostra após a diluição, em mililitros;

$V_a$ =volume da alíquota, em mililitros;

$S$ = área da gaze exposta, em metros quadrados;

$T$ = tempo de exposição em dias.

## Capítulo 04

### **4. Resultados e Discussões**

#### **4.1 Avaliação da ação de sais minerais solúveis em alvenarias de tijolos cerâmicos**

##### **4.1.1 Introdução**

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados dos ensaios realizados no solo, água do lençol freático, tijolos utilizados nas edificações e cloretos na atmosfera.

Os resultados obtidos são apresentados em tabelas e gráficos e, quando aplicável, promoveu-se uma correlação entre resultados buscando identificar tendências de comportamento. Também são apresentadas as medidas de dispersão dos valores obtidos.

Para maior compreensão da influência dos resultados em relação ao objeto estudado, foram feitos comparativos entre os resultados obtidos e referências de outros trabalhos literários já realizados e publicados.

##### **4.1.2 Resultados da análise do solo, água, tijolos e determinação de cloretos na atmosfera.**

###### **4.1.2.1 Características físicas do solo**

Após coleta do solo as amostras foram encaminhadas ao laboratório de solos do Instituto Federal do Sertão, onde foi realizada a caracterização do solo de acordo com as normas da ABNT: Análise Granulométrica (NBR 7181/1984), Limite de Liquidez (NBR 6459/1984) e Limite de plasticidade (NBR 7180/1984). A Tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 4.1 Caracterização do solo**

| Amostra do Solo/Local         | Classificação do solo                              | Peso específico dos grãos | Limite de Liquidez % | Limite de Plasticidade | Índice de Plasticidade |
|-------------------------------|--|---------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Raso da Catarina              | SM - Areia Siltosa                                 | 2.640 g/cm                | -                    |                        |                        |
| Raso da Catarina/Vila Eulália | SM - Areia Siltosa                                 | 2.610 g/cm                | -                    |                        |                        |
| Antônio Cassimiro             | SM - Areia Siltosa                                 | 2.670 g/cm                | -                    |                        |                        |
| Jardim Amazonas               | SC - Areia Argilosa                                | 2.510 g/cm                | 28,65                | 19,71                  | 8,94                   |
| Dom Malan                     | SC - Areia Argilosa                                | 2.560 g/cm                | 19,43                | 15,30                  | 4,13                   |
| Vila Eduardo                  | GM - Pedregulho argiloso siltoso/ SM areia siltosa | 2.700 g/cm e 2.640 g/cm   | 18,25 e 0,00         | 15,30 e 0,00           | 3,21 e 0,00            |

A partir do exame da Tabela 4.1, os solos apresentam características arenosas em todas as localidades estudadas, sendo do tipo siltosa sem plasticidade no Raso da Catarina, Antônio Cassimiro e na Vila Eduardo, sendo o ultimo após 40 cm da superfície. Nas demais localidades (Jardim Amazonas e Dom Malan) o solo apresentou características do tipo areia argilosa. Na Vila Eduardo o solo apresentou na sua superfície até 40 cm uma camada do tipo pedregulho argiloso siltoso, provavelmente proveniente de aterro de jazida.

Dentre os locais estudados o solo é de fácil escoamento subterrâneo devido conter suas características arenosas, baseado nos resultados os locais Dom Malan e Jardim Amazonas se apresentam com maior tendência de reter umidade por caracterizar-se como areia argilosa com plasticidade.

#### **4.1.2.2 Análise química do solo**

A Tabela 4.2 sumariza os resultados das diversas análises realizadas nas amostras de solo coletadas. Dentre as determinações realizadas, ressaltam-se a seguir as de maior relevância para o processo de ação de sais minerais solúveis em alvenarias de tijolos cerâmicos.

**Tabela 4. 2 - - Resultados das análises amostras de solo do município de Petrolina-PE**

| Nº de ordem | Determinação   | unidade                             | PM1              | PM2               | PM3             | PM4       | PM5 Vila |
|-------------|--|-------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------|----------|
|             |  |                                     | Raso da Catarina | Antônio Cassimiro | Jardim Amazonas | Dom Malan | Eduardo  |
| 01          | Terra fina (tf)  | %                                   | 89,62            | 99,58             | 74,99           | 89,85     | 94,83    |
| 02          | pH em água   | -                                   | 7,75             | 7,38              | 7,84            | 8,30      | 6,22     |
| 03          | pH em KCl  | -                                   | 7,55             | 6,84              | 6,84            | 7,48      | 5,73     |
| 04          | pH em CaCl <sub>2</sub>  | -                                   | 7,63             | 7,01              | 7,63            | 7,84      | 5,61     |
| 05          | Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> trocável                         | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 26,66            | 3,03              | 27,93           | 15,54     | 2,86     |
| 06          | Ca <sup>++</sup> trocável  | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 23,86            | 0,05              | 13,30           | 7,55      | 0,53     |
| 07          | Mg <sup>++</sup> trocável  | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 2,80             | 2,98              | 14,63           | 7,99      | 2,33     |
| 08          | Na <sup>+</sup> trocável   | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 39,75            | 36,74             | 250,25          | 33,74     | 1,16     |
| 09          | K <sup>+</sup> trocável  | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 27,6             | 6,3               | 12,10           | 17,70     | 4,50     |
| 10          | Valor de S (soma de cátions)   | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 94,01            | 46,07             | 290,28          | 66,98     | 8,52     |
| 11          | Valor de T (Cap. Troca Cátions)                                      | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 99,05            | 50,82             | 296,27          | 72,31     | 12,83    |
| 12          | Cond. Elétrica no ext. sat.  | mS/cm/25°C                          | 4.230,00         | 1.690,00          | 5.670,00        | 1.610,00  | 281,00   |
| 13          | CTC Cap. Troca Cátions   | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 30,24            | 28,28             | 50,54           | 35,52     | 36,04    |
| 14          | Cloreto no extrato de saturação                                      | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 68,00            | 26,00             | 86,00           | 23,00     | 3,00     |
| 15          | Ca ++ no extrato de saturação  | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 128,30           | 12,00             | 16,00           | 8,00      | 1,60     |
| 16          | Mg <sup>++</sup> no extrato de saturação                             | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 12,16            | 2,92              | 9,72            | 7,78      | 3,89     |
| 17          | Na+ no extrato de saturação  | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 247,10           | 54,80             | 277,20          | 49,80     | 5,70     |
| 18          | K + no extrato de saturação  | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 60,00            | 10,10             | 0,00            | 2,30      | 4,30     |
| 19          | SO <sub>4</sub> no extrato de saturação                              | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 276,06           | 12,14             | 2,98            | 9,22      | 14,47    |
| 20          | Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> trocável no extrato de saturação | Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup> | 370,00           | 42,00             | 80,00           | 52,00     | 20,00    |
| 21          | % de saturação de sódio  | %                                   | 40,13            | 72,29             | 84,46           | 46,66     | 9,04     |

Os cátions solúveis cálcio trocável (Ca<sup>++</sup>) e magnésio trocável (Mg<sup>++</sup>) observa-se que os resultados aparecem com valores entre 0,05 a 23,86 Cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> considerados não elevados em relação aos demais elementos analisados, fato este que se justifica após comparar os respectivos resultados com os constantes na Tabela 2.4 (MOTTA e FERREIRA, 2011), onde mostra que esses elementos não elevam seus valores quando inundados com esgoto bruto, elemento encontrado em todos os pontos adotados para a pesquisa e o chorume, elemento predominante na localidade Raso da Catarina (ponto PM1 adotado para a pesquisa).

O cátion trocável potássio (K<sup>+</sup>) aparece com seu valor mais elevado no Raso da Catarina (27.6 Cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>), sendo seus valores menores nas demais localidades, fato este que justificar-se pela influência do chorume existente no Raso da Catarina e inexistente nos demais pontos adotados para a pesquisa, considerando os dados da Tabela 2.4 (MOTTA e FERREIRA, 2011), onde mostra uma elevação no valor de potássio no solo natural após inundado com o chorume. De posse da Tabela 2.4 (MOTTA e FERREIRA, 2011), pode-se também afirmar que os esgotos brutos presentes nos locais pesquisados, não influenciam para o aumento do potássio no solo. No entanto Feitosa (2009) mostra que o solo misturado ao lodo de esgoto na proporção 15% aumenta o teor de potássio de forma considerável.

O sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ) no bairro Jardim Amazonas apresentou um valor mais elevado ( $250,25 \text{ cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ), em relação aos demais locais pesquisados. Baseado em (MOTTA e FERREIRA, 2011), que mostra o significativo aumento desse elemento no solo quando inundado com por esgoto bruto, passando o solo natural que inicialmente apresentou  $0,02 \text{ cmol}_e/\text{kg}^{-1}$  para  $0,7 \text{ cmol}_e/\text{kg}^{-1}$  de sódio trocável após inundado com esgoto bruto, pode-se afirmar que tal fato deve-se a grande influência de esgoto bruto que esse bairro recebe dos circunvizinhos situados a montante dele, sendo inferior nos demais devido receberem menor contribuição de esgoto bruto a céu aberto nas ruas.

A condutividade elétrica (CE) se apresentou valores (variando de 281 a  $4.230 \mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ ), sendo mais elevados seus valores no Jardim Amazonas ( $5.670 \mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ ) e Raso da Catarina ( $4.230 \mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ ).

Quando comparados com dados da Tabela 2.4 (MOTTA e FERREIRA, 2011), que mostra a grande influência do esgoto bruto e chorume no aumento da CE no solo quando inundado por esses dois elementos, pode-se afirmar que no Raso da Catarina e Jardim Amazonas, sua elevada condutividade elétrica (CE), apresenta uma tendência de receber influência de esgoto bruto a céu aberto, oriundos dos bairros circos vizinhos através do escoamento subterrâneo e do próprio bairro, podendo também receber alguma influencia de chorume na localidade Raso da Catarina.

O bairro Antônio Cassimiro conforme Tabela 4.1 registra um valor  $1.690 \mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ , sendo esse valor inferior aos já citados para os bairros Jardim Amazonas e a localidade Raso da Catarina. Comparado a Tabela 2.4 (MOTTA e FERREIRA, 2011), justifica ser inferior por este bairro apresentar uma contribuição de esgoto bruto a céu aberto um pouco menor em relação aos já citados, sendo o principal contribuinte o próprio bairro Antônio Cassimiro que além de contribuir para o aumento da condutividade elétrica de si próprio contribui também para os bairros situados a jusante, fato este comprovado já relatado anteriormente quando observado esgoto bruto desse bairro sendo jogado em um canal não impermeabilizado que segue em direção ao bairro Jardim Amazonas.

Vale salientar que o referido bairro poderá também está recebendo influência do chorume proveniente do Raso da Catarina para elevação da condutividade elétrica (CE) do solo nesta localidade por este bairro situar-se a jusante do referido local, não sendo diferente do bairro Jardim Amazonas para esta afirmação faz-se necessário um estudo aprofundado sobre análise do sentido de fluxo do escoamento subterrâneo.

O bairro Dom Malan registra-se um valor de condutividade elétrica (1.610  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ ) muito próximo ao já citado no bairro Antônio Cassimiro, tendo o esgoto bruto como provável contribuinte para o aumento da CE, comparado ao Antônio Cassimiro se apresenta com características semelhantes entre si, tendo com diferencial este bairro o não recebimento da contribuição de chorume por localiza-se em local adverso em relação ao Raso da Catarina e não haver nenhuma outra fonte que contenha o chorume e ofereça condições possíveis para envia-los para esta localidade.

Os valores de CE (condutividade elétrica) são considerados elevados em todos os pontos, quando comparados com a com Prado (2005), que determina valor 7dS/m/25°C ou 7 $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$  como limite para caracterizar o solo como salino. Sendo assim o solo em todas as localidades são considerados de caráter salino por apresentarem CE superior ao limite determinado por Prado (2005). Por caracterizar-se salino o solo pode contribuir para o aumento de depósitos salinos nas alvenarias, que ao cristalizar-se podem afetar as edificações localizadas próximas as áreas onde foram retiradas as amostras.

O percentual de saturação por sódio (%) aparece com valores equilibrados nos pontos nos pontos PM1 a PM4 (variando entre 40,13 a 72,29%), valores esses elevados em relação ao encontrado no ponto PM5 (9,04%).

Nos pontos PM1 a PM4, quando comparados com a tabela 2.4 (MOTTA e FERREIRA, 2011), que mostra a influência do esgoto bruto e chorume para elevação desse elemento onde antes da inundação o solo natural registra 0,36%, passando a valor 14,74% após inundado com esgoto bruto e 14% após inundado com chorume, elementos esses que predominam a sua existência nos referidos locais pesquisados.

Observa-se que na maioria das ruas nestes locais não existem pavimentação fato este que facilita a infiltração da água no solo, contribuindo diretamente para o aumento da umidade, havendo uma exceção no ponto PM3 (Jardim Amazonas) aparecendo várias ruas pavimentadas, no entanto a infiltração da água recebe contribuição direta de outros bairros situados a montante conforme já citado anteriormente.

O ponto PM5 (Vila Eduardo) registrar-se valor menor em relação aos demais pontos (9,04%), fato este que dever-se a uma contribuição de esgoto muito menor em relação aos PM1 a PM4 considerados na pesquisa, em decorrência da existência de pavimento na maioria das ruas dessa localidade, impedindo assim a infiltração da água no solo e direcionando-as para um canal a céu aberto sendo drenada para o rio São Francisco diminuindo cada vez mais a possibilidades de infiltrações no solo em níveis elevados. Em

destaque o ponto PM5 não recebe contribuição de esgoto bruto proveniente de outros bairros, devido a sua localização apresenta-se com cotas desfavoráveis ao escoamento da água nesta direção.

Os percentuais de saturação de sódio constantes na Tabela 4.1 quando comparados com a referência de Prado (2005), nos pontos PM1 a PM4 o solo têm caráter sódico por apresentarem  $\text{Na}^+/\text{CTC} \geq 15\%$ . No ponto PM5 o solo tem caráter solódico por apresentar valor  $\text{Na}^+/\text{CTC}$  entre 6 a 15%.

Considerando a necessidade das construções se apresentarem isentas de sais minerais solúveis e umidade, registrar-se que nos locais pesquisados o solo não atende a essas características e tem papel significativo para evolução das manifestações patológicas oriundas da ação desses elementos salinos.

O sulfato no Raso da Catarina, apresenta valor elevado 276,06 mg/100g solo, fato este que segundo METHA e MONTEIRO, (1994) caracteriza o solo quanto ao grau de serevidade como ataque muito severo. Nas demais localidades o solo se apresenta com o grau de sereridade moderado e negligenciável por apresentar valores inferiores a 0,2 % de sulfatos na sua composição.

Outras determinações analisadas constantes na tabela 4.1 não foram aqui citadas por não representarem influência na ação de sais minerais solúveis em alvenarias de tijolos cerâmicos.

## 2.2 Análise da Água do Subsolo

Dentre as determinações realizadas são ressaltadas a seguir as de maior relevância no processo de ação de sais minerais solúveis em alvenarias de tijolos cerâmicos acompanhadas de uma indicação preliminar dos resultados obtidos.

**Tabela 4.3 - Resultados das análises das amostras da água subterrânea em Petrolina – Fonte: O autor**

| Determinação           | Unidade                                  | Raso da Catarina |          | Antônio Cassimiro |          | Jardim Amazonas |           | Dom Malan |          | Vila Eduardo |          |
|------------------------|--|------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|-----------|-----------|----------|--------------|----------|
|                        |  | 13/ago           | 09/out   | 13/ago            | 09/out   | 13/ago          | 09/out    | 13/ago    | 09/out   | 13/ago       | 09/out   |
| pH                     |  | 8,21             | 7,43     | 7,74              | 6,81     | 7,79            | 7,38      | 7,59      | 7,70     | 6,74         | 5,13     |
| Cor Aparente           | mg/L PtCo                                | 150,00           | 125,00   | 5.000,00          | 50,00    | 3.500,00        | 80,00     | 700,00    | 90,00    | 700,00       | 90,00    |
| Cor Real               | mg/L PtCo                                | 100,00           | 175,00   | 75,00             | 70,00    | 15,00           | 70,00     | 25,00     | 85,00    | 15,00        | 12,50    |
| Condutividade elétrica | $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ | 7.730,00         | 6.390,00 | 8.250,00          | 3.890,00 | 16.900,00       | 15.300,00 | 6.920,00  | 5.900,00 | 963,00       | 740,00   |
| Turbidez               | NTU                                      | 79,89            | 25,77    | 911,57            | 714,95   | 792,72          | 742,39    | 910,21    | 752,09   | 688,11       | 281,82   |
| SD                     | mg/L                                     | 5.032,00         | 4.652,00 | 5.600,00          | 3.032,00 | 10.330,00       | 12.724,00 | 4.498,00  | 4.954,00 | 404,00       | 590,00   |
| ST                     | mg/L                                     | 5.054,00         | 4.950,00 | 7.782,00          | 4.138,00 | 13.640,00       | 17.364,00 | 9.430,00  | 7.586,00 | 1.772,00     | 1.626,00 |
| SS                     | mg/L                                     | 22,00            | 298,00   | 2182,00           | 1.106,00 | 3.310,00        | 4.640,00  | 4.932,00  | 2.632,00 | 1.368,00     | 1.036,00 |
| SV                     | mg/L                                     | 606,00           | 4.724,00 | 1.512,00          | 2.746,00 | 2.762,00        | 13.354,00 | 1.618,00  | 5.456,00 | 386,00       | 1.224,00 |
| SF                     | mg/L                                     | 4.448,00         | 4.950,00 | 6.270,00          | 4.138,00 | 10.978,00       | 17.364,00 | 7.812,00  | 7.478,00 | 1.386,00     | 1.626,00 |
| Sódio                  | mg/L Na <sup>+</sup>                     | 527,80           | 837,83   | 708,20            | 532,10   | 988,90          | 2.525,73  | 477,70    | 657,37   | 16,60        | 62,89    |
| Potássio               | mg/L K <sup>+</sup>                      | 460,60           | 620,44   | 43,14             | 30,46    | 4,50            | 17,10     | 27,00     | 24,73    | 14,00        | 7,55     |
| Cloreto                | mg/L Cl <sup>-</sup>                     | 814,98           | 1426,57  | 1.489,96          | 1.431,57 | 2.964,92        | 6.507,15  | 1.019,97  | 2.152,37 | 80,00        | 150,17   |
| Sulfato                | mg/L SO <sub>4</sub> <sup>++</sup>       | 927,60           | 954,18   | 154,00            | 4,64     | 75,50           | 120,00    | 120,75    | 4,14     | 25,10        | 54,08    |
| Cálcio                 | mg/L Ca <sup>2+</sup>                    | 300,60           | 320,64   | 280,56            | 200,40   | 621,24          | 761,52    | 360,72    | 380,76   | 60,12        | 32,06    |
| Magnésio               | mg/L Mg <sup>2+</sup>                    | 133,71           | 145,80   | 243,10            | 170,17   | 454,60          | 544,54    | 230,94    | 279,57   | 48,62        | 24,31    |
| Dureza Total           | mg/L CaCO <sub>3</sub>                   | 1.300,00         | 1.400,00 | 1.700,00          | 1.200,00 | 3.420,00        | 4.140,00  | 1.850,00  | 2.100,00 | 350,00       | 180,00   |

SD - sólidos dissolvidos, ST - sólidos totais, SS – soma das bases, SV – grau de saturação por bases, SF – sólidos finos.

A partir do exame da Tabela 4.3, é possível observar como se apresentam os elementos salinos na água subterrânea em todos os locais de estudo, e identifica-los de forma precisa a sua influencia na ação de sais solúveis em edificações localizadas em Petrolina-PE. Diante dos resultados obtidos podem-se relatar as seguintes considerações:

Há elevada condutividade elétrica na água subterrânea em todos os pontos adotados para a pesquisa. O bairro de Jardim Amazonas foi à localidade que exibiu o maior valor da condutividade elétrica – 16.900,00  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ , sendo exibidos também valores elevados no bairro Antônio Cassimiro – 8.250  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ , Raso da Catarina – 7.730  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$  e Dom Malan – 6.920  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ , ao passo em que o bairro de Vila Eduardo foi o que apresentou o menor valor – 963  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ . Não obstante o valor observado no bairro de Vila Eduardo ter sido o menor de todos, estes valores ainda se constitui numa referência elevada já que na construção civil a água utilizada necessita ser potável contendo o mínimo de impurezas. Importante observar que estas águas podem se infiltrar por capilaridade e ao evaporar, cristalizam os sais dissolvidos na água danificando as edificações.

Baseado na Tabela 2.3 (PONTES.2006), que aponta a condutividade elétrica da água do mar, pode-se afirmar que o valor mais elevado obtido no ponto PM3 (16.900  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ ) representa 39% em relação ao menor encontrado na água do mar (43.100  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ ). Entre os pontos PM1, PM2 e PM4 a menor representatividade quando comparados com a Tabela 2.3, registra 16%. Enquanto que o menor valor obtido (963  $\mu\text{S}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$ ) no ponto PM5 representa 2,2% em relação a Tabela 2.3.

Diante dos valores obtidos a condutividade elétrica quando comparada com a água do mar, aponta a água das amostras como incompatível com a água potável apropriada para uso nas construções. A umidade frequente oriunda da água subterrânea que apresentou condutividade elétrica elevada, tem influência significativa para proporcionar a ação de sais solúveis nas alvenarias e outras partes das edificações.

Os metais alcalinos (sódio e potássio) e os metais alcalino-terrosos (cálcio e magnésio) contidos nas águas podem influenciar no aparecimento de eflorescência em paredes de alvenaria de blocos cerâmicos.

O exame destas (Tabela 4.3) permite observar que, a menos do bairro de Vila Eduardo, as demais localidades apresentaram a presença de íons sódio, potássio, cálcio e magnésio em quantidades relativamente elevadas. Com efeito, no caso particular dos íons de sódio (Tabela 4.3) as águas subterrâneas coletadas no bairro do Jardim Amazonas exibiram um conteúdo deste íon na amostra 2 de 2.525,73 mg/L que é 40 vezes superior ao conteúdo observado nas águas subterrâneas coletadas no bairro da Vila Eduardo – 62.89 mg/L na amostra 2. Este fato confirma os valores da condutividade elétrica encontradas nas águas subterrâneas destas localidades.

No que diz respeito ao conteúdo de cálcio e magnésio (Tabela 4.3), as quantidades observadas nas águas subterrâneas das localidades estudadas também se mostraram significativas, sendo os maiores valores observados sempre no bairro do Jardim Amazonas – 761,52 mg/L e 554,60 mg/L, respectivamente. Com relação aos íons de cálcio e magnésio, o bairro da Vila Eduardo foi a localidade que apresentou os menores valores das cinco áreas estudadas – 60,12 mg/L e 48,62 mg/L, respectivamente. No caso dos íons de sulfato, o bairro do Raso da Catarina foi o que exibiu maior valor – 954,18 mg/L, apresentando-se também um pouco elevado no bairro Antônio Cassimiro com valor 154,00 mg/L – enquanto as demais localidades exibiram valores inferiores a 120 mg/L (vide Tabela 4.3).

Os valores mencionados quando comparados com os obtidos na água do mar (Tabela 2.3) PONTES, (2006) o valor mais elevado de sódio no ponto PM3 (988,90 mg/l), representa 10,4% em relação ao menor valor encontrado na água do mar. O potássio no ponto PM1 (620,44 mg/l) supera o menor valor constante na Tabela 2.3 (PONTES, 2006), chegando a representar 116,2% em relação a água do mar.

O cálcio o valor mais elevado obtido das amostras (761,52) no ponto PM3, superando o menor valor encontrado (440 mg/l) na água do mar, representando 173% quando comparado Tabela 2.3 (PONTES, 2006). Nos pontos PM1, PM2, e PM4 os valores obtidos observa-se elevados em relação a água do mar. No entanto no ponto PM5 o valor obtido é relativamente baixo em relação aos demais pontos.

O magnésio os valores obtidos nos pontos PM1 a PM4 têm um comportamento semelhante ao ocorrido com o cálcio, apresentando maior relevância no ponto PM3, representando 46,7% quando comparado ao menor valor Tabela 2.3, (PONTES, 2006). No ponto PM5 os valores obtidos foram relativamente baixos em relação aos demais pontos. Os resultados das amostras revelam que da mesma forma que foi já apontado a influencia da contaminação do esgoto bruto e chorume no solo os resultados se repetem em relação aos teores de sódio e potássio na água, nas mesmas localidades pesquisadas, ficando comprovada a sua origem apontada a presença de esgoto e chorume.

No que se refere a sulfato, cálcio e magnésio, a existência de esgoto e chorume no local não aponta como fonte de contaminação que influencia a elevação dos teores desses elementos no solo, porém no que se refere a água quando comparados com a água do mar apresentam na sua composição teores elevados de cálcio, magnésio e sulfato, indicando desta forma que a existência desses elementos podem contribuir para a formação de sais solúveis devido esses teores elevados.

O exame da tabela 4.3 anteriores permite concluir que os principais íons causadores de cristalizações apresentaram valores muito acima do que usualmente se encontram em águas subterrâneas principalmente o sódio, o potássio, o cálcio e magnésio em todos os pontos de coleta, exceto no bairro da Vila Eduardo onde as quantidades se situam em valores próximos aos aceitáveis.

No que respeita à quantidade de íons cloreto, a Tabela 4.2 apresenta os resultados observados em cada uma das localidades onde foram coletadas águas subterrâneas. No bairro de Jardim Amazonas foi observada maior concentração deste íon – 6.507,15 mg/L.

Importante registrar que sais como cloreto de cálcio e cloreto de magnésio são muito solúveis e a presença deste íon em grande quantidade favorecendo o surgimento do fenômeno da eflorescência nas paredes de alvenaria das edificações das localidades.

No que diz respeito à dureza total, as águas subterrâneas das localidades estudadas exibiram valores considerados elevados – Tabela 4.3 – que as caracterizam como águas duras no Raso da Catarina, Antônio Casimiro, Jardim Amazonas e Don Malan, apresentando-se com valores menores na Vila Eduardo.

Aqui é importante ressaltar que em função destes resultados, pode-se concluir que as águas subterrâneas coletadas na localidade de Vila Eduardo apresentam uma baixa salinidade, quando comparada com as outras localidades, aspecto que se caracteriza como um fator positivo uma vez que o pH das águas desta área se mostrou com característica ácida. Se a quantidade de sais fosse elevada poderia esta localidade apresentaria condições favoráveis para a uma forte ocorrência de florescência nas alvenarias das edificações do local, aspecto não observado nas inspeções de campo. Complementarmente, pode-se concluir, a partir dos resultados das análises realizadas, que a localidade na qual a água subterrânea apresentou a maior salinidade foi o Jardim Amazonas.

Os valores do pH constantes na tabela 4.1, permite concluir que das cinco localidades investigadas, quatro exibiram as águas subterrâneas com característica compatível a um meio levemente alcalino –  $\text{pH} > 7,0$ . A única localidade que apresentou águas subterrâneas com característica ácida foi o bairro de Vila Eduardo –  $\text{pH} < 7,0$ . Uma vez que a acidez de um meio aumenta a solubilização de sais alcalinos, as águas subterrâneas coletadas no bairro de Vila Eduardo se mostra um fator que deve contribuir de maneira importante para a ocorrência de eflorescência nas paredes de alvenaria de blocos cerâmicos em edificações nesta localidade.

Na tabela 2.1 (PONTES, 2006) apresenta os valores obtidos em amostra de origem da água do mar na Praia de Boa Viagem, que ao comparar com os constantes na Tabela 4.3 se apresentam da seguinte forma:

- Os  $\text{SO}_4^{++}$  no Raso da Catarina (PM1) o valor de 954,18 mg/L representa 34,2% em relação aos dados da água do mar, nos demais pontos chega ao valor máximo que representa apenas 5,5%.

O sulfato no Raso da Catarina, apresenta valor elevado 954,18 mg/L, 154,00 mg/L no bairro Antônio Cassimiro e valores inferiores a esses nas demais localidades, fato este que segundo METHA e MONTEIRO, (1994) caracteriza a água subterrânea no Raso da Catarina e Antônio Cassimiro quanto ao grau de serevidade como ataque severo. Nas Demais localidades o solo se apresenta com o grau de sereridade moderado e negligenciável por apresentar valores inferiores a 150 mg/L de sulfatos na sua composição.

Considerando a Tabela 2.12 (BAUER, 2007), na localidade Raso da Catarina a água subterrânea apresenta grau de agressividade forte ao concreto, por superar 600 mg/L.

- O  $\text{Mg}^{++}$  no Jardim Amazonas o valor mais representativo (544,54 mg/L), atingindo 41,88% em relação a água do mar, nos demais pontos atinge valor máximo de 279,57 mg/L no Dom Malan (21,5%) e menor valor (48,62 mg/L) na Vila Eduardo representado apenas 1,7% em relação a água do mar.

Considerando a Tabela 2.12 (BAUER 2007), a localidade Jardim Amazonas a água subterrânea se apresenta com grau forte de agressividade ao concreto por superar o limite de 300 mg/L.

- O  $\text{Ca}^{++}$  no Jardim Amazonas supera o valor encontrado na água do mar registrando 761,52 mg/L representando 190% em relação a esta referencia da água do mar, nos pontos PM1, PM2 e PM4 com variação entre 300 mg/L a 381mg/L representando percentuais compatíveis com a água do mar.

- O  $\text{Cl}^-$  no PM3 atinge maior valor (6.507,15 mg/L) representado 32,7% comparado com a água do mar, nos pontos PM1, PM2 e PM4 os percentuais varia de 4,09% a 10,8% e no PM5 atinge apenas 0,75%.Aplicando esses percentuais a referencia de Nappi.2010 que aponta 500 mg/L o limite para caracterizar a água como salina, pode-se afirmar que a água subterrânea das amostra é salina nos pontos PM1 a PM4 e salobra no ponto PM5, por apresenta valor inferior a esse limite.

• O  $\text{Na}^+$  nos pontos PM1 a PM4 apresenta percentuais variando de 5,97% a 22,96% comparados com a água do mar e apenas 0,6% no ponto PM5.

• O  $\text{K}^+$  no ponto PM1 supera a referência da água do mar atingindo 620,44 mg/L representando 155,11% comparados com esta referência e nos pontos PM2 a PM5 seus percentuais variam entre 3,5% a 10,8%.

O pH os valores encontrados são muito próximos de 8 nos pontos PM2 a PM4, chegando acima de 8 no PM1 e sendo menor no PM5. Considerando a Tabela 2.3 todos os valores ficam compatíveis aos encontrados na água do mar na Praia de Boa Viagem o que vem caracterizar água salina.

De posse dos valores apresentados todas as características encontradas nas amostras da água subterrânea apontam o lençol freático como o principal fator contribuinte para transferir elementos salinos as edificações, que com a evaporação da água passam a cristalizar-se e afetarem diretamente as edificações que receberem esses sais.

#### 4.1.2.3- Análise dos Tijolos

Considerando que os tijolos são materiais de construção porosos que facilitam a penetração da água, optou-se em fazer a retirada de amostras dos tijolos danificados e não danificados em edificações localizadas próximas aos pontos PM1 a PM5 em estudo.

Os tijolos foram triturados, deixando imersos em água destilada por 24 horas, após estes procedimentos utilizando a metodologia da EMBRAPA que consta no Manual de Método de Análise de Solos os tijolos foram analisados e constatados que na sua massa havia sais minerais solúveis com valores muito elevados nas amostras dos tijolos danificados e relativamente baixo nas amostras dos tijolos não danificados. Nas análises foram avaliados seis tipos de substâncias químicas solúveis em água.

**Tabela 4. 4 - Resultados das amostras dos tijolos - Fonte: O autor**

| Determinação | Unidade               | Raso da Catarina (PM1) |         | Antônio Cassimiro (PM2) |        | Jardim Amazonas (PM3) |         | Dom Malan (PM4) |         | Vila Eduardo (PM5) |        |
|--------------|-----------------------|------------------------|---------|-------------------------|--------|-----------------------|---------|-----------------|---------|--------------------|--------|
|              |                       | N.D.                   | D       | N.D.                    | D      | N.D.                  | D       | N.D.            | D       | N.D.               | D      |
| Sulfato      | Cmol/kg <sup>-1</sup> | 29,39                  | 182,66  | 20,89                   | 255,80 | 27,36                 | 10,93   | 40,10           | 151,45  | 92,92              | 136,13 |
| Cloreto      | Cmol/kg <sup>-1</sup> | 25,00                  | 4749,87 | 20,00                   | 439,99 | 20,00                 | 1969,94 | 15,00           | 2019,94 | 115,00             | 639,98 |
| Cálcio       | Cmol/kg <sup>-1</sup> | 20,04                  | 1507,01 | 38,08                   | 144,29 | 22,04                 | 448,90  | 24,05           | 605,21  | 46,09              | 138,28 |
| Magnésio     | Cmol/kg <sup>-1</sup> | 34,03                  | 211,50  | 12,16                   | 44,97  | 8,51                  | 127,63  | 17,02           | 122,77  | 25,53              | 38,90  |
| Potássio     | Cmol/kg <sup>-1</sup> | 13,81                  | 527,47  | 0,00                    | 0,00   | 19,22                 | 40,85   | 8,41            | 203,05  | 5,70               | 94,92  |
| Sódio        | Cmol/kg <sup>-1</sup> | 2,39                   | 1632,38 | 2,39                    | 496,83 | 0,00                  | 1159,23 | 0,00            | 922,66  | 56,80              | 828,03 |

N.D – Tijolos Não danificados e D – Tijolos Danificados

A partir da tabela 4.4 são relatados os resultados que representam maior influência para o entendimento ao objeto pesquisado:

O sulfato apresentou valores considerados altos em quatro amostras dos tijolos danificados, sendo mais elevado ( $255,8 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ) no ponto PM2 (Antônio Cassimiro), nos demais pontos registra-se no ponto PM1 ( $182,66 \text{ mg}/100 \text{ g}$  tijolo), PM4 ( $151,45 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ) e no PM5 ( $136,13 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ) e apresentou valor baixo em relação aos demais no PM3 (Jardim Amazonas). Nos tijolos não danificados, os valores foram considerados baixos variando de 20,89 a  $92,92 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ . Quando comparados com os relatados nos tijolos danificados. Os valores mais elevados de sulfato nos tijolos danificados podem ter sua origem vinculada a contribuição de fertilizantes agrícolas usado em grande escala nos projetos de irrigação, sendo arrastado para o local das edificações onde foram coletadas as amostras através do escoamento subterrâneo, ficando depositados no solo e posteriormente levados para as paredes das edificações vindo a atingi-las. Os valores de sulfato encontrados nos tijolos danificados foram relativamente baixos nos tijolos não danificados. A Tabela 2.8 (SILVA, 2011), aponta o sulfato como muito solúvel, fato este que contribui diretamente para fácil acesso aos tijolos e conseqüente formação de sais cristalizados, vindo a danificar os materiais de construção.

O cloreto nos tijolos danificados apresentou resultados mais elevados nos pontos PM1 ( $4.749 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ), Pm3 ( $1.969,94 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ) e PM4 ( $2.019,94 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ). Os menores valores encontrados nos tijolos danificados foram registrados no PM2 (Antônio Cassimiro), registrando  $439,99 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$  e PM5 (Vila Eduardo) registrando  $639,98 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ . Os tijolos não danificados obtiveram valores muito inferiores aos danificados, sendo encontrados valores entre 15 a  $115 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ . Considerando a Tabela 2.8 SILVA (2011), o cloreto a caracterizado muito solúvel, sendo facilitado o seu acesso às edificações, os valores elevados obtidos nas amostras dos tijolos danificados provam que esse elemento contribui diretamente para o surgimento de manifestações patológicas nas alvenarias.

O cálcio nos tijolos danificados apresentou maior valor  $1.507 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$  no PM1, seguido de  $605,2 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$  no PM4,  $448,81 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$  no PM3 e valores menores apareceram nos pontos PM2 ( $144,28 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ) e PM5 ( $138,27 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ ). Entre os tijolos não danificados os valores foram muito inferiores aos obtidos nos tijolos danificados variando entre 20,04 a  $46,09 \text{ Cmol}_e/\text{kg}^{-1}$ . A divergência da quantidade de cálcio entre os valores dos tijolos danificados em relação aos não danificados mostra que os tijolos danificados mostra que o cálcio por ser

um elemento solúvel (tabela 2.8) também contribuiu diretamente para o surgimento das manifestações patológicas existentes nas alvenarias,

O magnésio nos tijolos danificados, os valores obtidos apareceram com maior intensidade nos pontos PM1 (211,49  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ ), PM3 (127,62  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ ) e PM4 (122,76  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ ). Nos demais pontos os valores foram menores, registrando 44,97  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$  no PM2 e 38,89  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$  no PM5. Entre os tijolos não danificados todos os resultados obtidos nas análises apresentaram valores inferiores aos danificados, sendo entre 8,50 a 34,03  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ . Considerando os valores baixos apresentados nas análises do solo fica comprovado que o solo contribui como fonte de contaminação dos tijolos com magnésio, não descartando também uma possível contribuição da água subterrânea. No ponto PM5 (Vila Eduardo) tanto a água como o solo não apresentam valores que justifique a contaminação dos tijolos com magnésio, ficando a fonte desconhecida, podendo apontar a hipótese de ter ligação com a matéria prima utilizada para a fabricação dos tijolos, necessitando de um estudo direcionado para este fim.

O íons potássio nos tijolos danificados apresentou valor mais alto no ponto PM1 (Raso da Catarina) registrando 527,47  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ , seguido do PM4 que registrou 203,05  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$  e PM5 aparecendo com valor 94,92  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ . Os valores menores aparecem nos pontos PM2 registrando 0,00  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$  e PM3 registrando 40,85  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ . Em se tratando dos tijolos não danificados utilizados para as amostras, os pontos PM1, PM3, PM4 e PM5 apresentaram valores inferiores aos apresentados nos tijolos danificados, variando de 5,70  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$  a 19,22  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ . O ponto PM2 a amostra do tijolo não danificado apresentou valor 0,00  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ , sendo igual ao valor apresentado no tijolo danificado extraído na mesma localidade. O valor elevado no ponto PM1, conclui que a amostra poderá ter recebido influência da água subterrânea que também obteve valor elevado na sua amostra neste ponto devido a influencia do chorume. Nos demais pontos, provar-se que a água subterrânea e o solo que suas amostras obtiveram valores baixos, não contribuíram para o surgimento potássio no tijolo danificado que também apresentou valores considerados baixos.

Os valores de sódio encontrados nas amostras dos tijolos dos pontos PM1 a PM4, são equilibrados entre si, fato este semelhante ao que acontece com a água subterrânea nos pontos PM1 a PM4, dando conotação da influência da água para a contaminação dos tijolos com sódio. Há uma exceção em relação ao ponto PM5 (Vila Eduardo) que apresenta valor expressivo de sódio na amostra do tijolo danificado (828,03  $\text{Cmol}/\text{kg}^{-1}$ ), não aparecendo valor expressivo de sódio nas amostras da água subterrânea e solo desse local, sendo assim o aparecimento de sódio no tijolo danificado é de origem desconhecida, podendo ser atribuída a

matéria prima do material, necessitando de um estudo direcionado para este fim. As amostras dos tijolos não danificados todos apresentaram valores baixos quando comparados com os tijolos danificados.

Considerando os dados obtidos os sais solúveis em geral aparecem nos tijolos danificados com intensidade em todas as amostras avaliadas, sendo muito representativos em relação aos tijolos não danificados avaliados.

As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram um comparativo entre os valores de sulfato encontrados nas amostras dos tijolos danificados em relação a água subterrânea, solo e os tijolos não danificados.

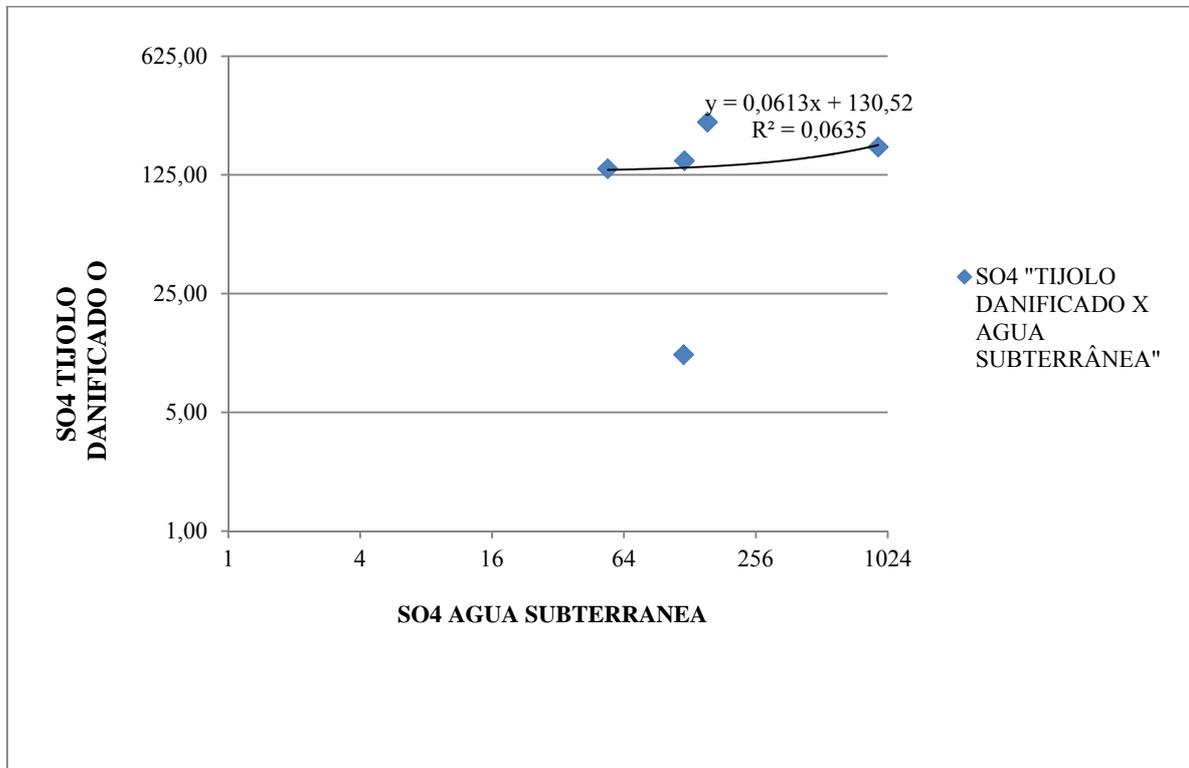


Figura 4. 1 - Comparativo do sulfato encontrado no tijolo danificado e a água subterrânea Fonte: O autor.

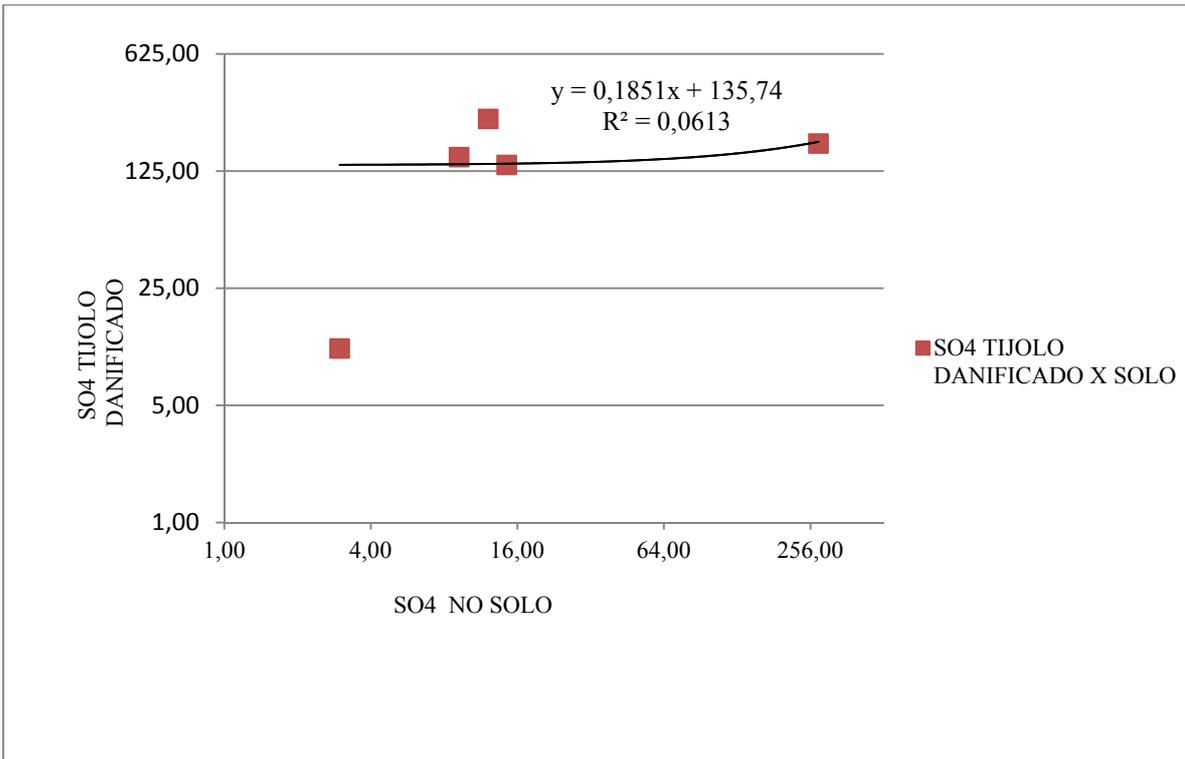


Figura 4. 2 - Comparativo do sulfato encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte: O autor.

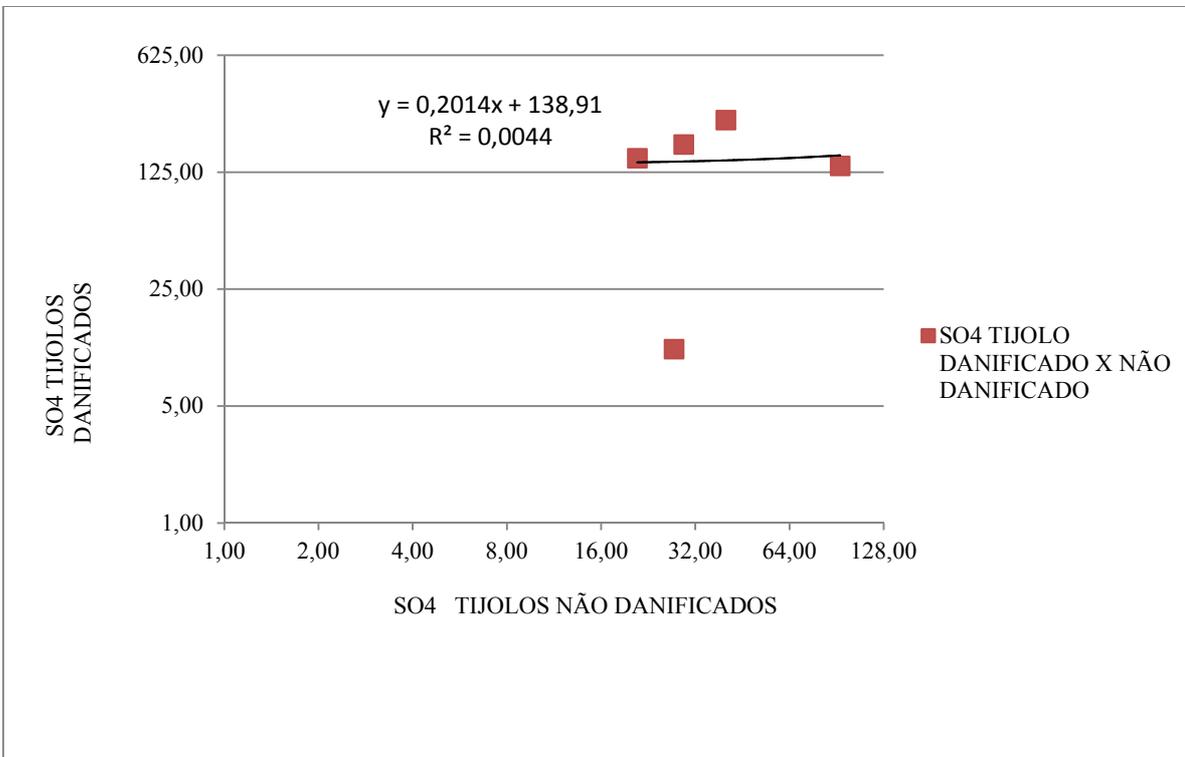


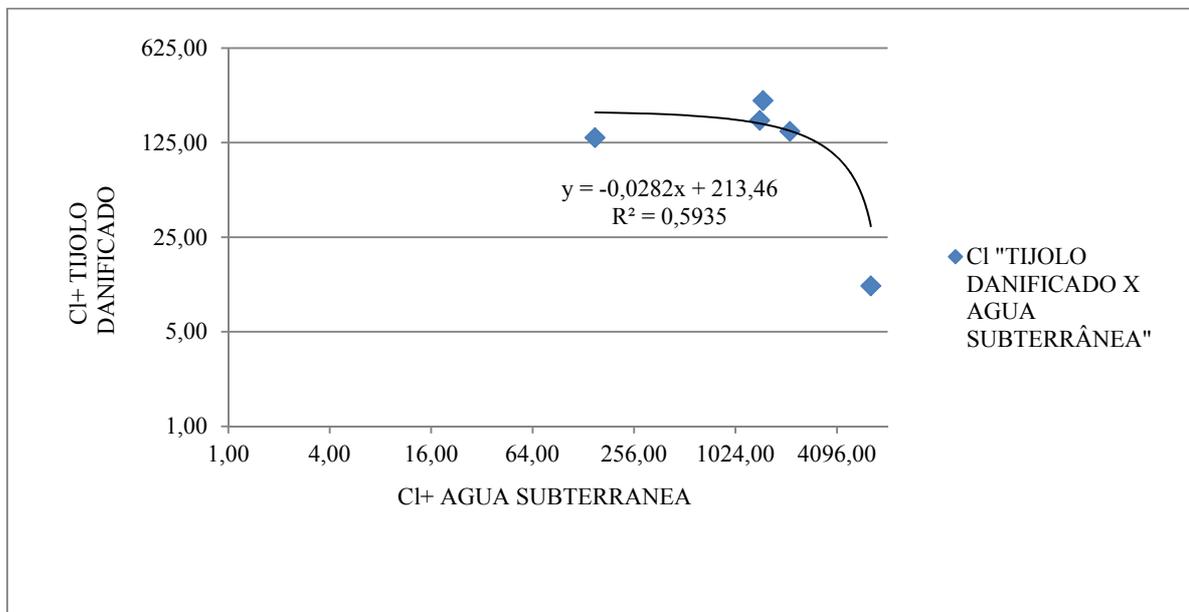
Figura 4. 3 - Comparativo do sulfato encontrado nos tijolos danificados e os tijolos não danificados - Fonte: O autor.

A partir das Figuras 4.1, 4.2 e 4.3, pode-se considerar que o sulfato na água subterrânea aparece com valor elevado ultrapassando 900 ml/L, valor esse que segundo METHA e MONTEIRO (1994), caracteriza o solo quanto ao grau de serevidade como ataque

moderado, por apresentar valor maior que 150 mg/L. O mesmo acontece com os resultados obtidos das amostras dos tijolos danificados, fato este que mostra uma tendência do sulfato existente na água subterrânea e no solo ter contaminado o tijolo usado na edificação, uma vez que a linha de tendência se apresenta de forma equilibrada entre os tijolos danificados, solo e água subterrânea.

Os tijolos não danificados no que se refere sulfato, apresentam valores pouco representativos para a degradação dos mesmos. O que significa dizer que os tijolos quando vieram do fornecedor não estavam contaminados com sulfato.

As figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram um comparativo dos resultados do cloreto encontrados nas amostras dos tijolos danificados em relação a água subterrânea, solo e os tijolos não danificados.



**Figura 4. 4 - Comparativo do cloreto encontrado nas amostras dos tijolos danificados e da água subterrânea - Fonte: O autor**

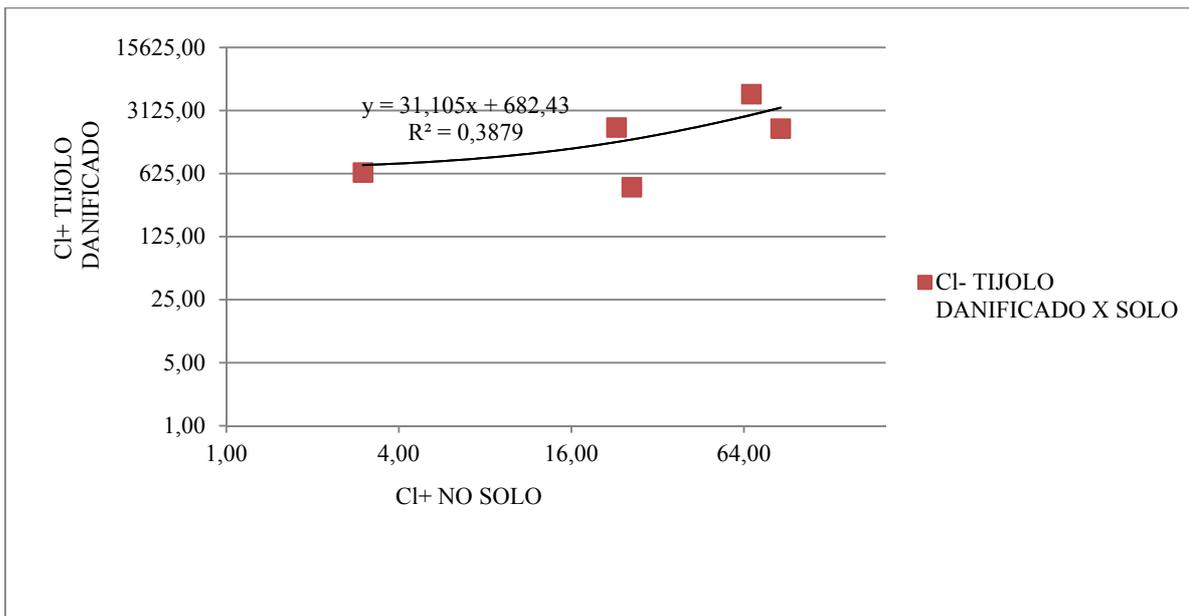


Figura 4.5 - Comparativo do cloreto encontrado nas amostras dos tijolos danificados e o solo - Fonte: O autor

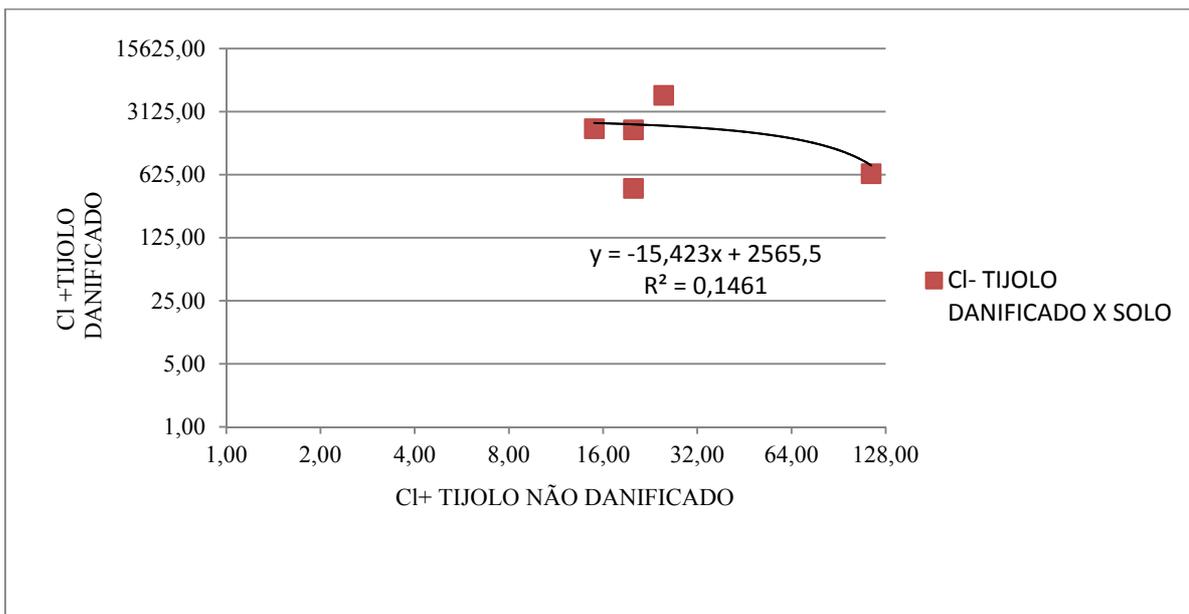
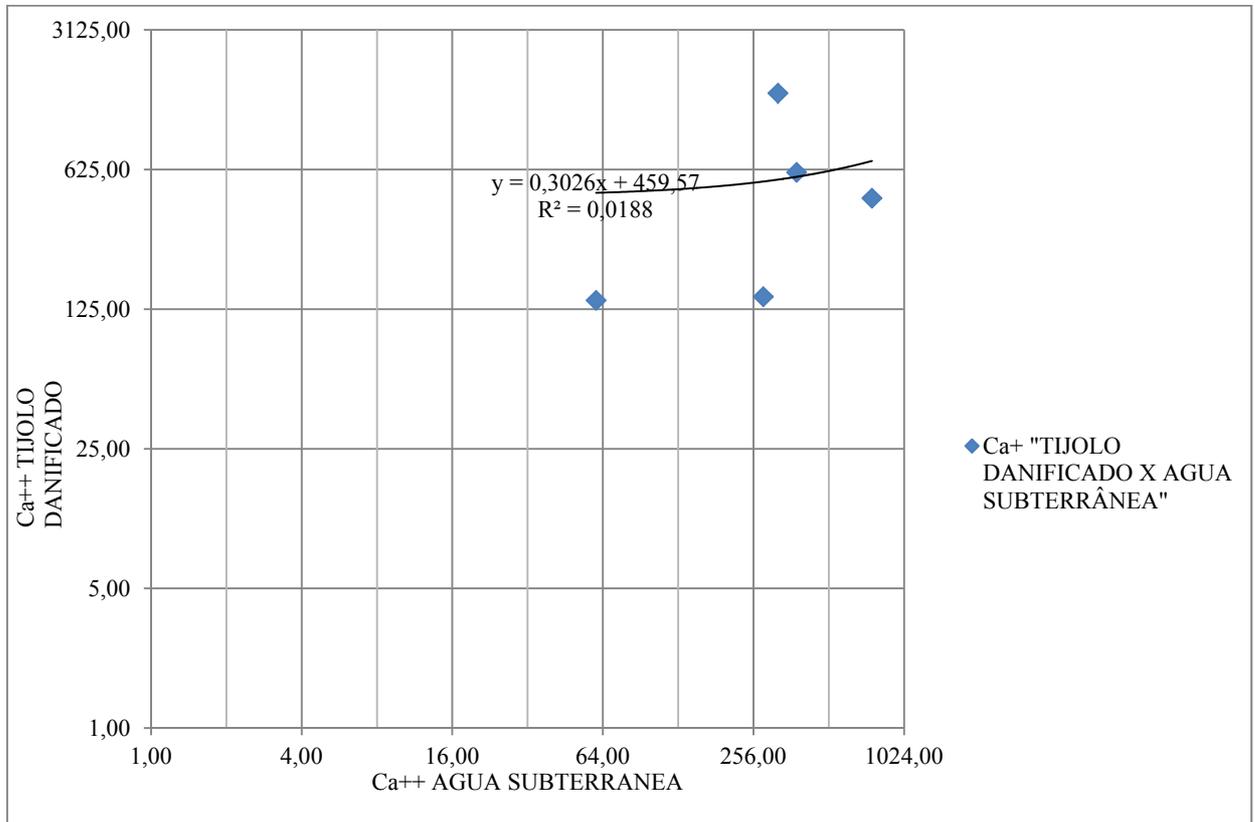


Figura 4.6 - Comparativo do cloreto encontrado nas amostras dos tijolos danificados em relação aos tijolos não danificados - Fonte: O autor

De posse das Figuras 4.4, 4.5 e 4.6, o cloreto aparece com valores representativos nas amostras da água subterrânea e dos tijolos danificados, havendo uma tendência das curvas se aproximarem. Diante dos fatos conclui-se que os cloretos que chegam aos tijolos das edificações, recebem maiores influencias da água do lençol freático.

O solo neste processo não apresenta valores representativos quando comparados com os encontrados na água subterrânea. O mesmo acontece com as amostras dos tijolos não danificados, fato este que deduz uma isenção de cloretos nos tijolos quando enviados para uso nas edificações.

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, mostram um comparativo dos resultados encontrados do cálcio existente entre os tijolos danificados das edificações, na água subterrânea, no solo e nos tijolos não danificados.



**Figura 4. 7 – Comparativo do cálcio encontrado nos tijolos danificados e na água subterrânea - Fonte: O autor**

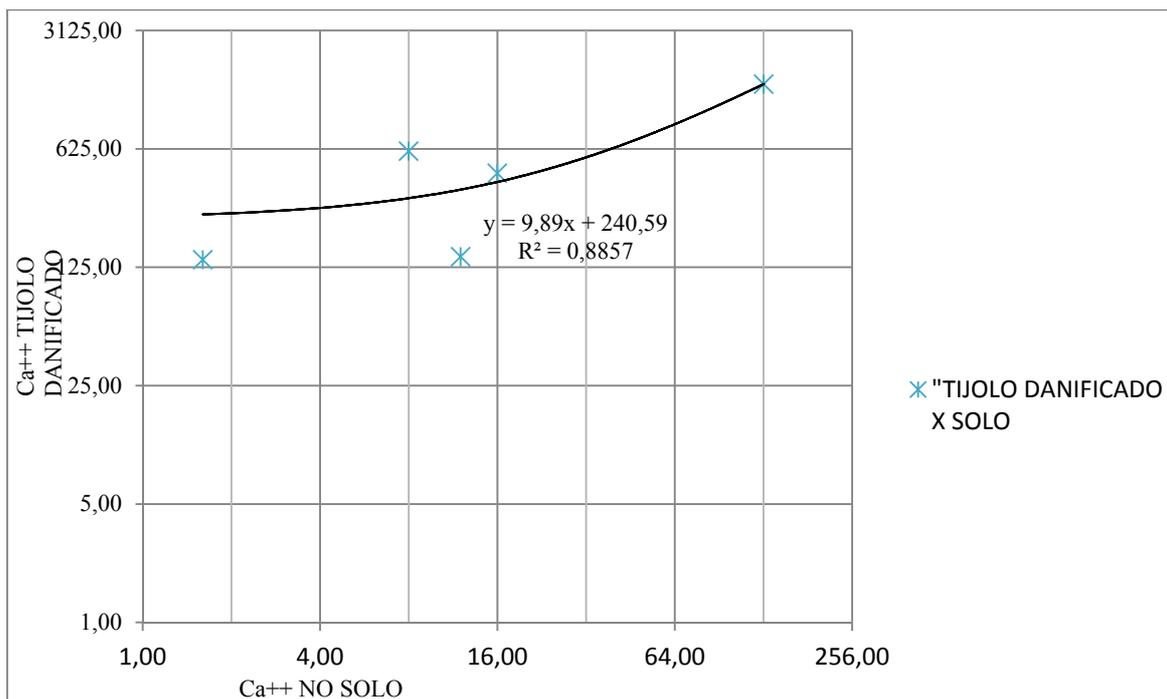


Figura 4. 8 – Comparativo do cálcio encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte: O autor

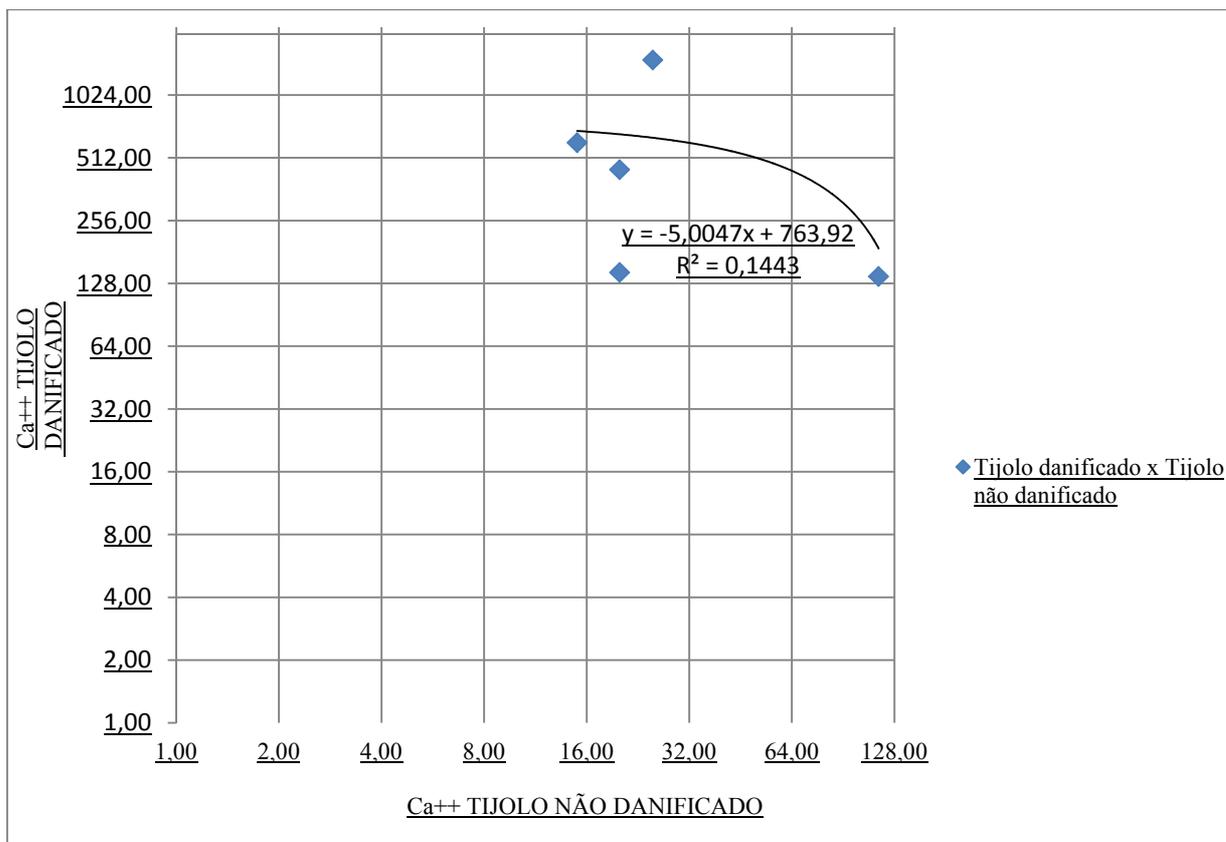


Figura 4. 9 – Comparativo do cálcio encontrado nos tijolos danificados e nos tijolos não danificados Fonte: O autor

Considerando as Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, pode-se afirmar que o cálcio aparece com valores mais expressivos nas águas subterrâneas, no solo e tijolos danificados, caracterizando que recebem contribuição para contaminação com cálcio tanto da água subterrânea como do solo. Os tijolos não danificados, seus valores se aproximam da linha de tendência em relação a água subterrânea, fato este que mostra a necessidade de analisar os percentuais de cálcio trazidos das jazidas pelos tijolos fornecidos para as edificações.

As figuras 4.10, 4.11 e 4.12, mostram um comparativo dos resultados do magnésio no tijolo danificados, água subterrânea, solo e os tijolos não danificados.

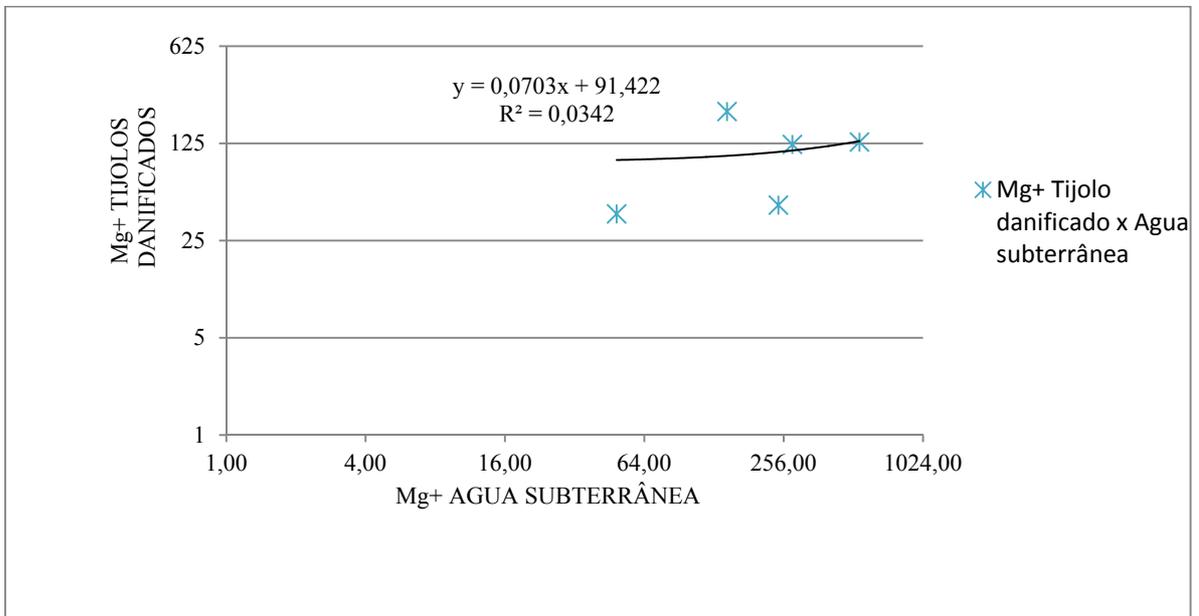


Figura 4. 10 - Comparativo do magnésio encontrado nos tijolos danificados e na água subterrânea - Fonte: O autor

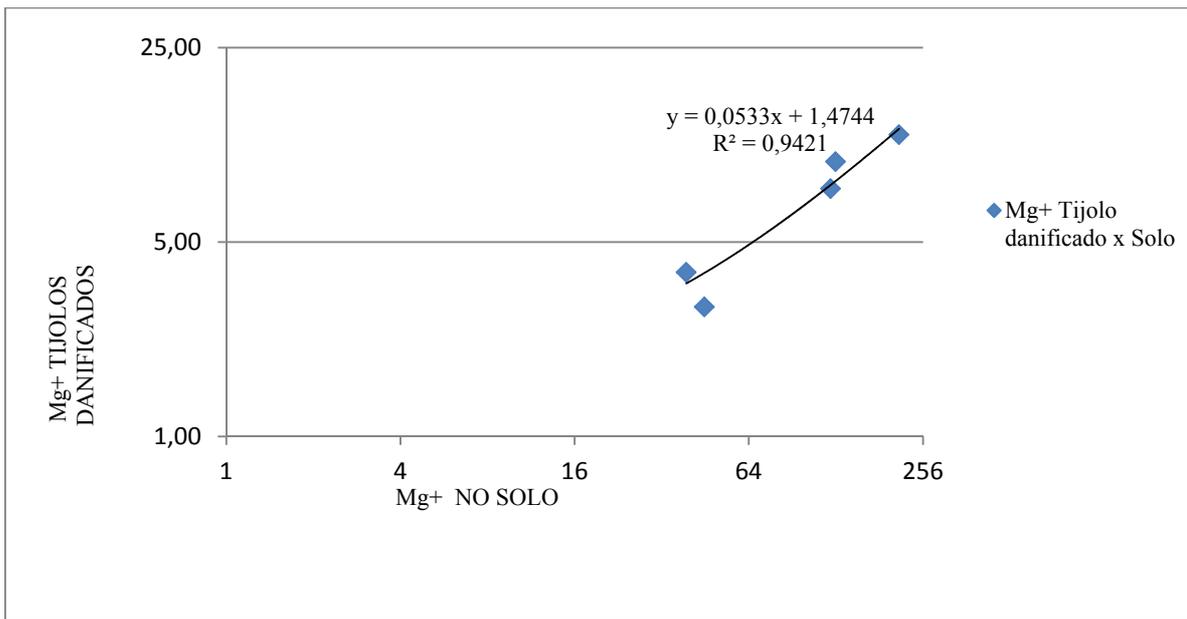


Figura 4. 11 - Comparativo do magnésio encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte: O autor

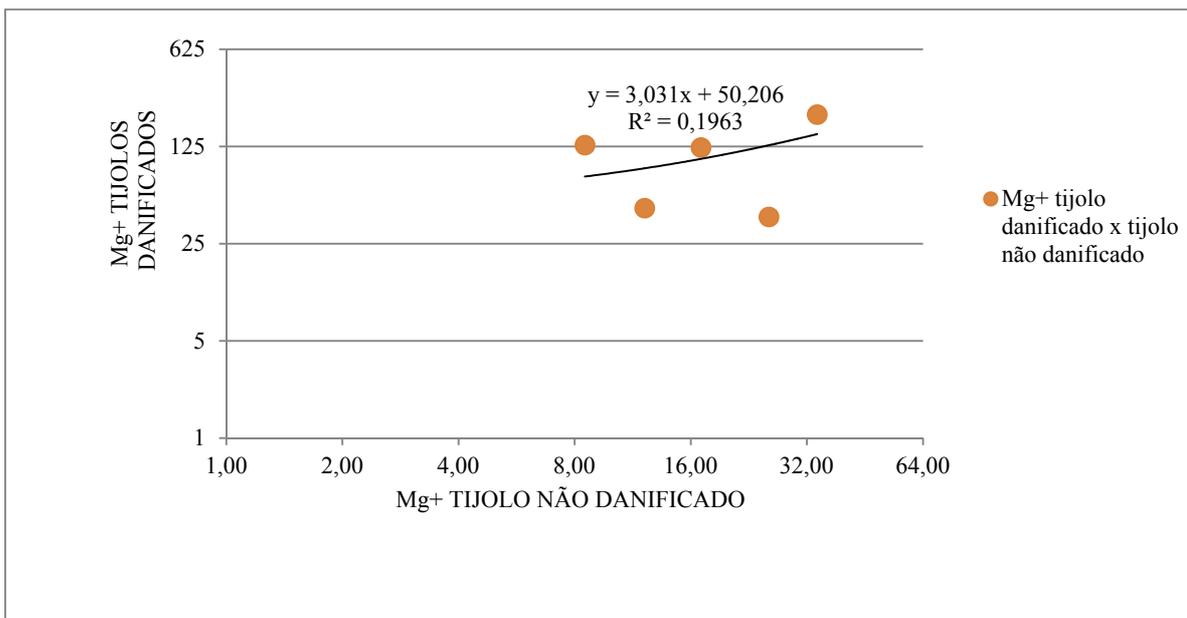


Figura 4. 12 - Comparativo do magnésio encontrado nos tijolos danificados e nos tijolos não danificados Fonte: O autor

O magnésio existente no solo se apresenta os valores próximos da linha de tendência em relação aos tijolos danificados, sendo assim fica claro a influencia do solo para o surgimento de magnésio nos tijolos das edificações, uma vez que todas as áreas são detentoras da humidade e condições climáticas favoráveis ao processo. A água apesar da linha de tendência apresentar-se com maior dispersão, não fica descartada certa influência do lençol freático. Os tijolos não danificados a tendência mostra que necessita de análise quanto ao teor de magnésio trazido das jazidas utilizadas pelos fabricantes que abastecem o mercado local.

As Figuras 4.13, 4.14 e 4.15, mostram um comparativo da existência do potássio encontrado nos tijolos danificados das edificações em relação a água subterrânea, solo e os tijolos não danificados.

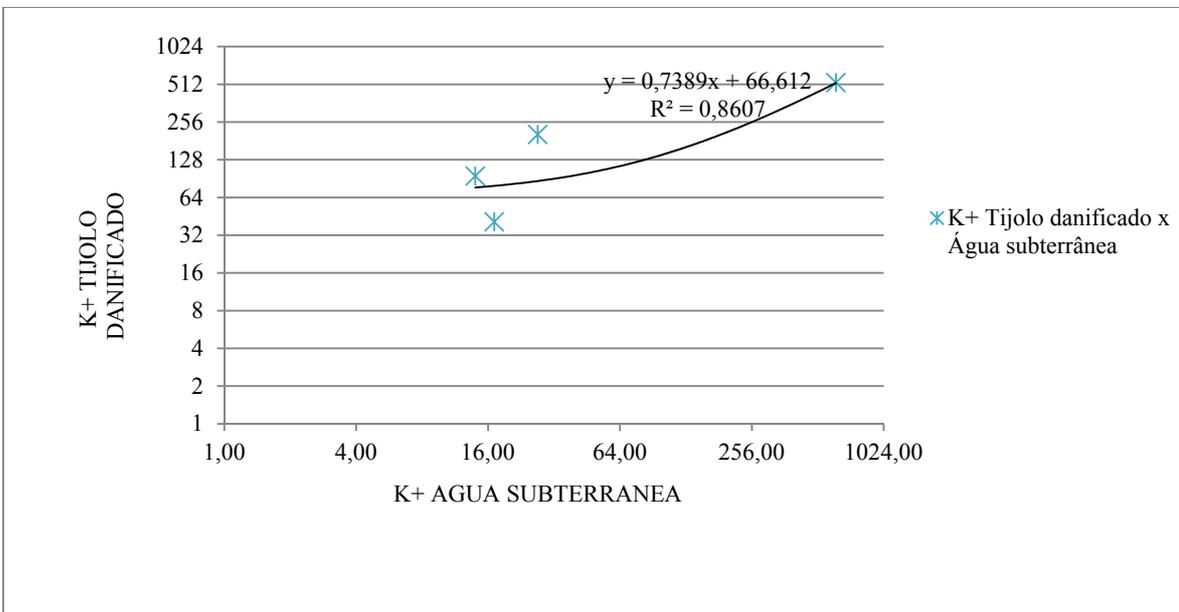


Figura 4. 13 - Comparativo do potássio encontrados nos tijolos danificados e na água subterrânea - Fonte: O autor

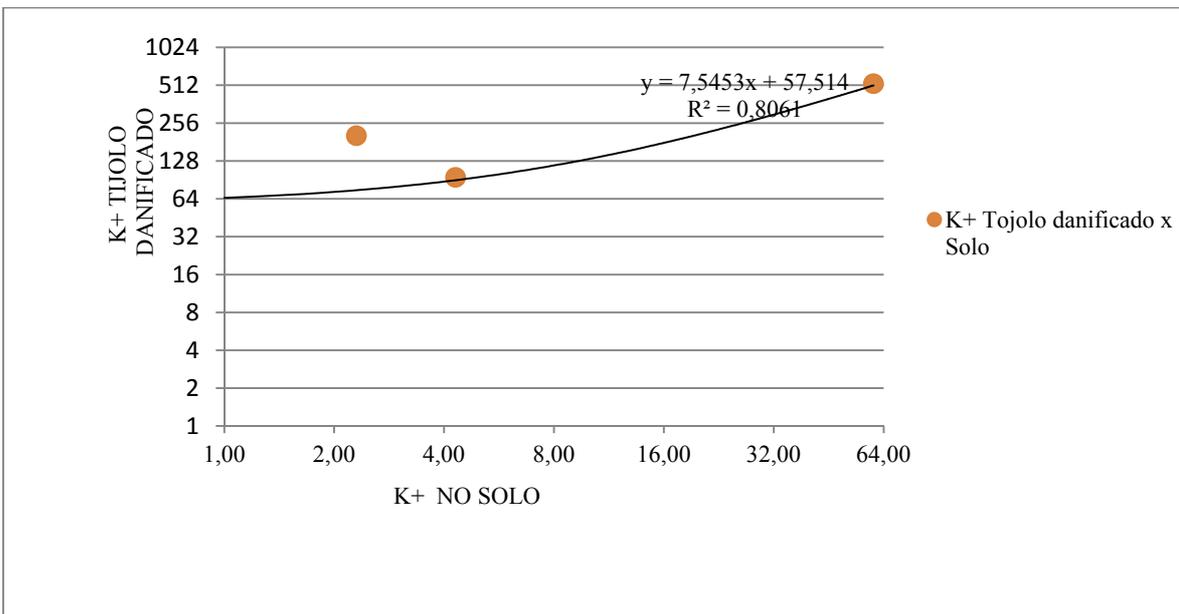


Figura 4. 14 - Comparativo do potássio encontrado nos tijolos danificados e no solo - Fonte: O autor

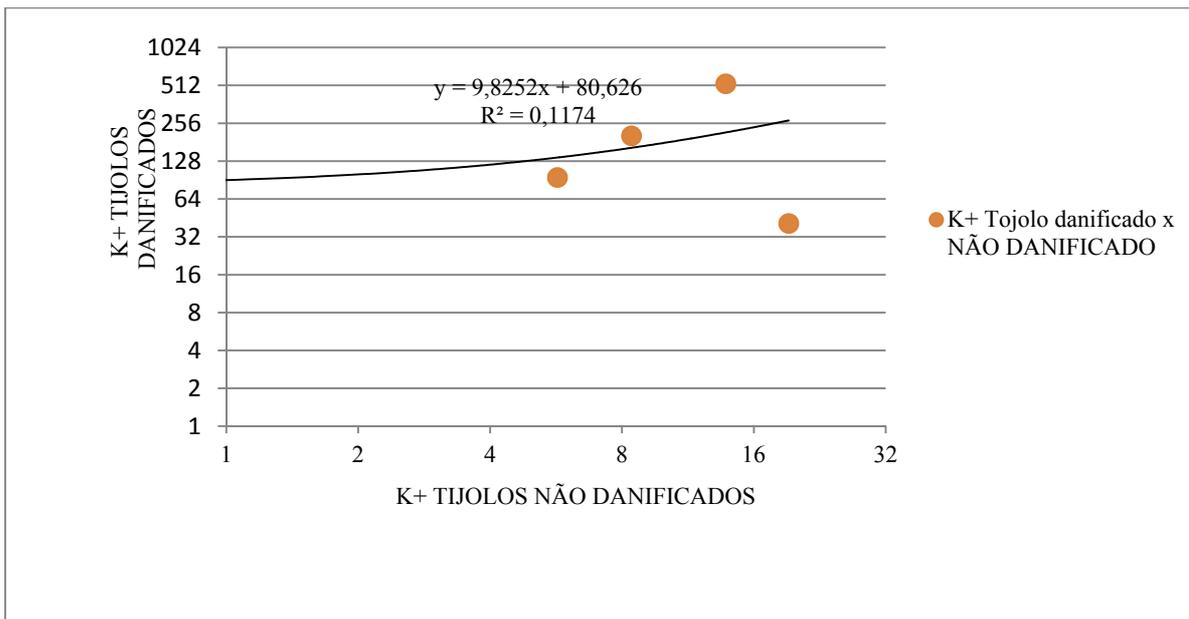


Figura 4. 15 - Comparativo do potássio encontrado nos tijolos danificados e no tijolos não danificados - Fonte: O autor

As determinações da existência de potássio nos tijolos danificados são aproximadas em relação aos dados encontrados na água subterrânea e no solo, mostrando assim uma ligação da influência tanto da água como do solo em relação ao surgimento de potássio nos tijolos das edificações. De forma clara é fácil compreender que os tijolos não danificados a linha de tendência apresenta valores pouco representativos, descartando a necessidade de análise das jazidas utilizadas pelos fabricantes que abastecem o mercado local.

A Figura 4.16, 4.17 e 4.18, mostram um comparativo da existência do sódio nos tijolos danificados das edificações, na água subterrânea, no solo e nos tijolos não danificados.

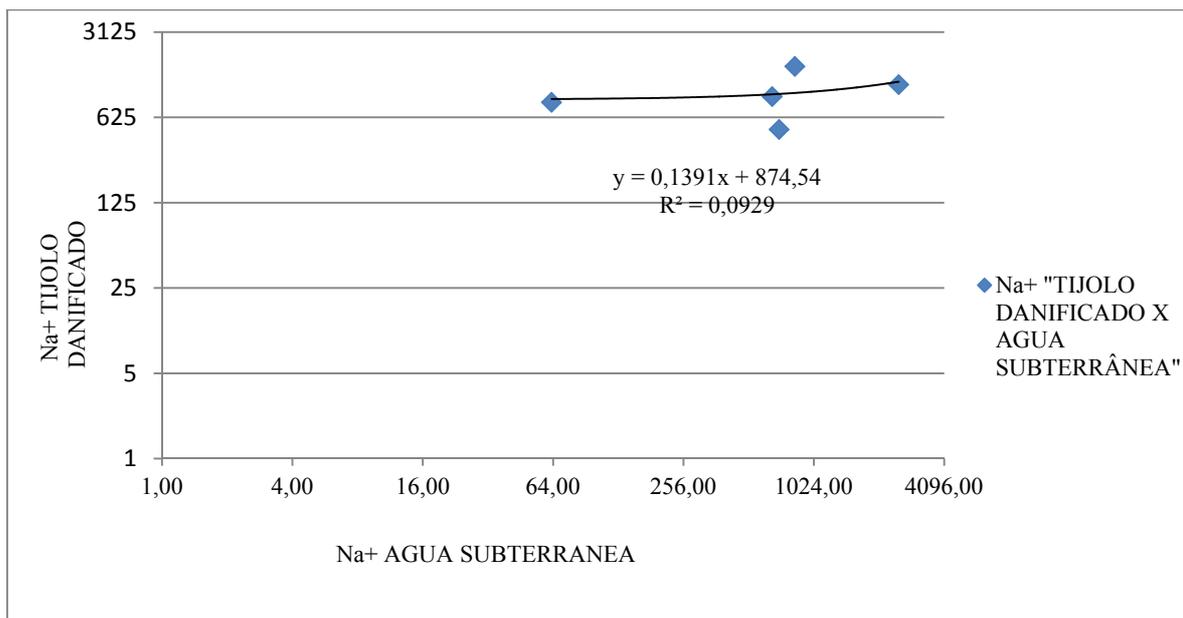


Figura 4. 16 - Comparativo do sódio encontrado no tijolo danificado e água água subterrânea - Fonte: O autor

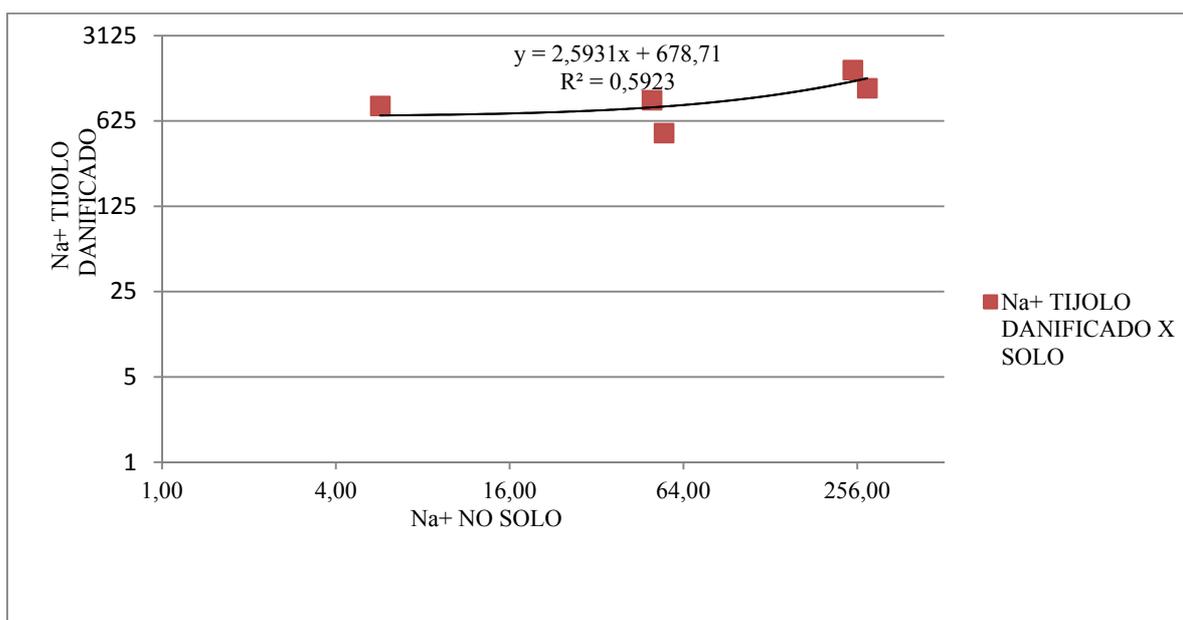


Figura 4. 17 Comparativo do sódio encontrado no tijolo danificado e solo - Fonte: O autor

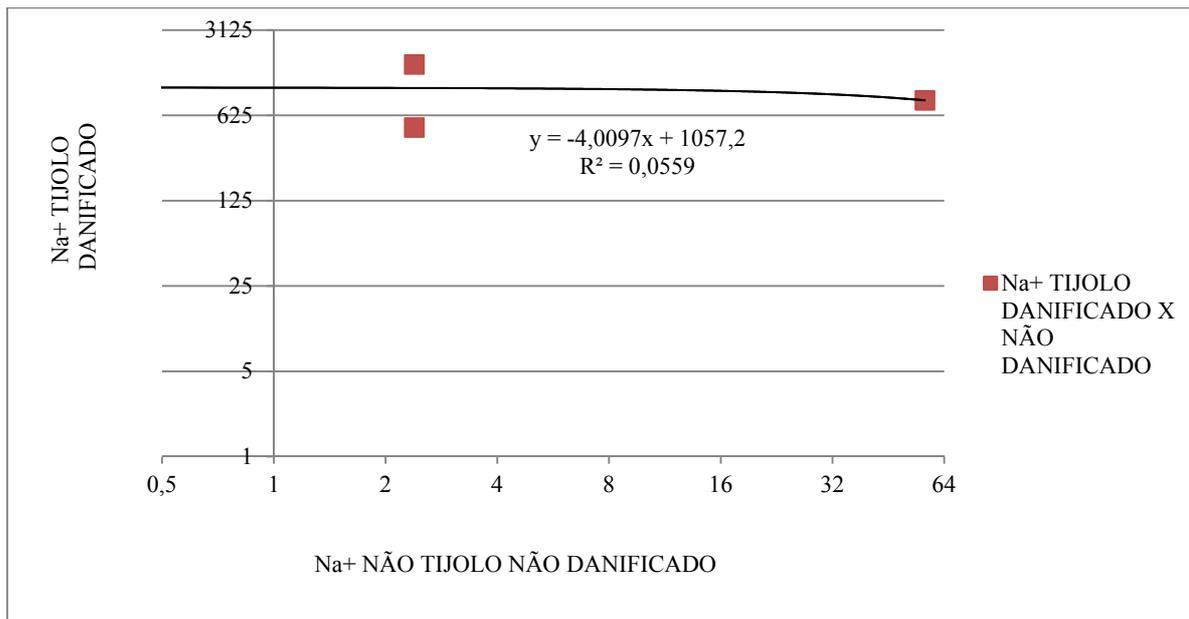


Figura 4. 18 - Comparativo do sódio encontrado no tijolo danificado e não danificado - Fonte: O autor

A curva de tendência mostra uma correlação mais próxima entre os resultados obtidos das análises dos tijolos danificados e o solo, sendo assim fica provado que o solo contribui com maior relevância para a contaminação por sódio dos tijolos utilizados nas edificações localizadas próximas a área pesquisada. A água subterrânea apesar da maior dispersão dos resultados não fica descartado sua parcela de contribuição para contaminação dos tijolos por sódio. Comprova-se também que os tijolos não danificados chegaram dos seus fornecedores sem alto teor de sódio na sua composição, no entanto faz-se necessário analisar os teores de sódio trazidos das jazidas utilizadas pelos fabricantes, uma vez que se percebe a existência desse tipo de elemento nos tijolos não danificados.

#### 4.1.2.4- Determinação de Cloretos na Atmosfera

Os valores constantes na Tabela 4.4 resultantes das amostras nos cinco pontos adotados para a pesquisa, representam o teor de cloretos na atmosfera durante um período de 180 dias.

**Tabela 4. 5 - Resultados análise de cloretos na atmosfera - Fonte: O autor**

| Local das Amostras    | Cloreto- Cl-(mg/(m <sup>2</sup> .d)) |                           |                           |                           |                           |                           |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                       | 1ª Coleta<br>(22/08/2012)            | 2ª Coleta<br>(21/09/2012) | 3ª Coleta<br>(22/10/2012) | 4ª Coleta<br>(21/11/2012) | 5ª Coleta<br>(22/12/2012) | 6ª Coleta<br>(21/01/2013) |
| E1-Raso da Catarina   | 11,01                                | 12,88                     | 27,18                     | 33,31                     | 29,59                     | 41,29                     |
| E2- Antônio Cassimiro | 31,84                                | 28,06                     | 49,14                     | 42,25                     | 34,70                     | 41,74                     |
| E3- Jardim Amazonas   | 20,25                                | 29,36                     | 48,45                     | 37,55                     | 35,43                     | 66,20                     |
| E4-Dom Malan          | 21,01                                | 30,49                     | 27,00                     | 37,65                     | 36,77                     | 53,24                     |
| E5-Vila Eduardo       | 6,97                                 | 10,65                     | 9,65                      | 21,31                     | 26,73                     | 28,33                     |

A partir da Tabela 4.5 pode-se perceber que em Petrolina–PE, o teor de cloreto na atmosfera durante seis meses (período de retirada das amostras) nas localidades adotadas para realização deste trabalho apresentou-se da seguinte forma:

- Raso da Catarina: Nas amostras coletadas os valores obtidos variam entre 11,01 a 41,29 mg/m<sup>2</sup>.d.
- Antônio Cassimiro: Entre os valores constantes na Tabela 4.4 observa-se que os respectivos valores foram mais elevados em relação aos demais pontos, variando entre 28,06 a 42,14 mg/m<sup>2</sup>.d.
- jardim Amazonas: Os valores das amostras analisadas apresentaram-se com valores variando entre 20,25 a 66,20 mg/m<sup>2</sup>.d, atingindo o valor considerado mais elevado em relação aos demais pontos.
- Dom Malan: os resultados obtidos foram muito próximos dos já relatados para o bairro jardim Amazonas, variando entre 21,01 a 53,24 mg/m<sup>2</sup>.d.
- Vila Eduardo: Entre as amostras analisadas registra-se o menor valor obtido (6,97 mg/m<sup>2</sup>.d), chegando o mais elevado a registrar apenas 28,33 mg/m<sup>2</sup>.d.

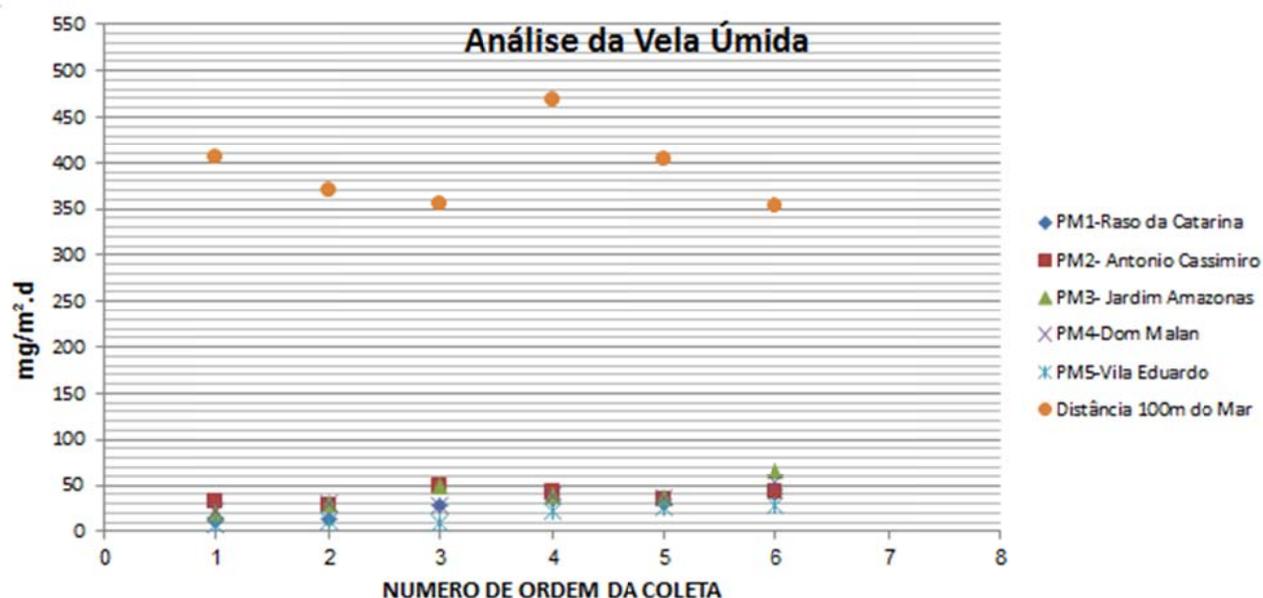


Figura 4.19 - Resultados das amostras da vela úmida em Petrolina e a 100 m de Distancia do mar – Fonte: O autor

A Figura 4.7 mostra os resultados obtidos referente a quantidade de cloretos existentes na atmosfera em cinco pontos adotados para a pesquisa em Petrolina-PE, e a ordem de grandeza desses resultados quando comparados com outros resultados pesquisados e divulgados por Pontes (2006), na praia de Boa Viagem em Recife-PE. De posse dos resultados obtidos pode-se concluir:

° Na primeira amostra coletada em Petrolina-PE o maior valor obtido entre os cinco pontos pesquisados registra-se 31,84 mg/m<sup>2</sup>.d. A primeira amostra coletada em Boa Viagem – Recife-PE a distancia de 100 metros do mar registra-se 406,14 mg/m<sup>2</sup>.d, sendo este valor doze vezes maior que o valor mais expressivo encontrado em Petrolina-PE.

° Na segunda amostra coletada em Petrolina-PE trinta dias após a primeira coleta, o maior valor obtido entre os cinco pontos pesquisados registra-se 30,49 mg/m<sup>2</sup>.d. A segunda amostra coletada em Boa Viagem – Recife-PE (PONTES, 2006) a distancia de 100 metros do mar registra-se 370,10 mg/m<sup>2</sup>.d, sendo este valor doze vezes maior que o valor mais expressivo encontrado em Petrolina-PE.

° Na terceira amostra coletada em Petrolina-PE trinta dias após a segunda coleta, o maior valor obtido entre os cinco pontos pesquisados registra-se 49,14 mg/m<sup>2</sup>.d. A terceira amostra coletada em Boa Viagem – Recife-PE a distancia de 100 metros do mar registra-se 355,81 mg/m<sup>2</sup>.d, sendo este valor sete vezes maior que o valor mais expressivo encontrado em Petrolina-PE.

° Na quarta amostra coletada em Petrolina-PE trinta dias após a terceira coleta, o maior valor obtido entre os cinco pontos pesquisados registra-se 42,25 mg/m<sup>2</sup>.d. A quarta amostra coletada em Boa Viagem – Recife-PE (PONTES, 2006) a distancia de 100 metros do mar registra-se 469,41 mg/m<sup>2</sup>.d, sendo este valor onze vezes maior que o valor mais expressivo encontrado em Petrolina-PE.

° Na quinta amostra coletada em Petrolina-PE trinta dias após a quarta coleta, o maior valor obtido entre os cinco pontos pesquisados registra-se 36,77 mg/m<sup>2</sup>.d. A quinta amostra coletada em Boa Viagem – Recife-PE (PONTES, 2006) a distancia de 100 metros do mar registra-se 403,15 mg/m<sup>2</sup>.d, sendo este valor onze vezes maior que o valor mais expressivo encontrado em Petrolina-PE.

° Na sexta amostra coletada em Petrolina-PE trinta dias após a quinta coleta, o maior valor obtido entre os cinco pontos pesquisados registra-se 66,20 mg/m<sup>2</sup>.d. A sexta amostra coletada em Boa Viagem – Recife-PE (PONTES, 2006) a distancia de 100 metros do mar registra-se 353,50 mg/m<sup>2</sup>.d, sendo este valor cinco vezes maior que o valor mais expressivo encontrado em Petrolina-PE.

Considerando todos os valores obtidos durante a pesquisa em seis meses no município de Petrolina-PE, aponta-se o bairro Jardim Amazonas com maior valor representativo de cloreto na atmosfera, registrando-se 66,20 mg/m<sup>2</sup>.d. O menor valor encontrado neste período registra-se no Bairro Vila Eduardo (6,97 mg/m<sup>2</sup>.d).

No bairro Vila Eduardo em todas as amostras coletadas, os valores obtidos foram inferiores aos demais pontos pesquisados, aparecendo os valores mais expressivos no bairro jardim Amazonas. Percebe-se que tal fato ocorre em decorrência do local ter apresentado durante a pesquisa menor valor referente a existência de sais solúveis no solo e lençol freático, comprovando assim que o cloreto na atmosfera varia seu valor em função do teor de sais solúveis existentes na água subterrânea.

Em Petrolina-PE o cloreto na atmosfera apresenta valores que representam cinco a doze vezes menores quando comparados aos dados obtidos em Boa Viagem, dados esses que não chegam a atingir as edificações causando danos significativos, sendo assim descartada a sua influencia no processo de decomposição das alvenarias de tijolos cerâmicos.

## Capítulo 05

### 5. Conclusões e Recomendações para outros trabalhos

#### 5.1 Conclusões

Com esta pesquisa foi comprovado que nos pontos baixos da área urbana do município de Petrolina-PE, é predominante a existência de sais minerais solúveis principalmente no solo e na água subterrânea, e registra-se que há baixos teores de cloretos na atmosfera em relação a valores na divulgados por PONTES (2006), obtidos na praia de Boa Viagem em Recife-PE.

Baseado nos perfis de sondagens a trado e poços de monitoramento das cinco áreas adotadas para a pesquisa, já apresentados o nível da água subterrânea nas áreas baixas da zona urbana de Petrolina-PE, que se apresenta de forma superficial com profundidade média de 1m. Conforme mostrou a pesquisa pode-se afirmar também que nas mediações muito próximas a algumas áreas pesquisadas apesar de serem áreas baixas não existe lençol freático superficial, sendo mantida a umidade frequente oriunda de outras fontes de contribuição.

Durante a implantação dos poços de monitoramento PM1 a PM5, verificou-se que nas áreas com cotas baixas em relação às curvas de nível da área urbana de Petrolina-PE prevalece a umidade frequente com elevada evaporação. O terreno caracterizado arenoso a um nível muito próximo da superfície terrestre, seguido de uma camada com rocha alterada, pedregulho e outros materiais impenetrável ao trado, que impede a passagem da água para infiltração mais profunda tornando assim a superfície saturada de forma a favorecer a chegada da água nas alvenarias pelo processo de capilaridade.

Os sais minerais solúveis existentes na água subterrânea e no solo, podem atingir diretamente as alvenarias das edificações entre outras partes, não sendo as suas quantidades de sais nos tijolos das edificações diretamente proporcionais aos níveis encontrados no solo, água e atmosfera.

Os sais minerais solúveis existentes no solo e na água subterrânea mesmo apresentando valores baixos em alguns locais podem atingir as edificações através de processo acumulativo dos sais ao longo do tempo com a permanência de umidade seguida de elevada evaporação.

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir:

### **5.1.1 Resultado das amostras coletadas no solo**

O solo é caracterizado salino em todos os pontos adotados para a pesquisa por apresentarem CE superior a 7dS/m(25°C).

Os cátions de cálcio e magnésio encontrados nas amostras dos tijolos, apresentam tendência de sua origem receber influência direta a contribuição de esgoto bruto em todas as áreas pesquisadas, não descartando o chorume na localidade Raso da Catarina.

O esgoto bruto e chorume quando inunda o solo, não contribuem para elevação das quantidades de cálcio e magnésio trocável no solo.

O solo misturado com lodo de esgoto aumenta os teores de sódio e potássio no solo, assim como sua condutividade elétrica, sendo um dos fatores que contribui para os altos teores desses elementos encontrados nas áreas pesquisadas.

O potássio no solo seu valor mais elevado no Raso da Catarina, pode haver contribuição da existência de chorume no local, sendo também influenciado pelo esgoto bruto a céu aberto existente no local.

O sódio trocável existente no solo no Jardim Amazonas seu valor mais elevado em relação aos demais pontos pesquisados deve-se a grande contribuição de esgoto bruto recebida de outros bairros situados a montante dessa localidade.

A condutividade elétrica no solo aparece elevada em todos os locais pesquisados, fato este que pode receber influência da existência de esgoto a céu aberto em todas as localidades e chorume no Raso da Catarina.

Os valores elevados da condutividade elétrica no solo caracteriza o solo salino em todas as localidades pesquisadas.

O percentual de saturação por sódio aparece elevado nos pontos pesquisados, tendo como principal fonte de influência a presença de esgoto bruto a céu aberto nas ruas, a exceto do Raso da Catarina que recebe contribuição também de chorume. Os números

elevados desse elemento caracteriza o solo com caráter sódico nos pontos PM1 a PM4 e solódico no ponto PM5.

O sulfato existente no solo da localidade Raso da Catarina, caracteriza o solo do tipo ataque moderado por apresentar valor acima de 150mg/L nesta localidade.

### **5.1.2 Resultado das amostras coletadas na água subterrânea**

A contaminação do lençol freático nas áreas adotadas para a pesquisa recebe contribuição de esgotos a céu aberto existente nas ruas, podendo receber contribuição de outras fontes tais como defensivos agrícolas e lagoas de estabilização existentes a montantes das referidas localidades. O Raso da Catarina além de esgoto bruto recebe também influência do chorume existente no local.

A condutividade elétrica elevada na água aparece muito representativa quando comparada a água do mar, comprovando assim que a água subterrânea é imprópria para uso nas edificações e a sua permanência nesses locais pesquisados afetam diretamente as alvenarias e outras partes das edificações.

O sulfato, cálcio e magnésio existentes na água subterrânea alguns dos seus valores chegam a superar os de referência da água do mar, comprovando assim ser a água salina com pH próximo de oito.

O íon cloreto encontrado na água subterrânea apresenta resultados elevados, favorecendo o surgimento da eflorescência nas alvenarias das edificações.

A água subterrânea apresenta-se com maior salinidade no bairro Jardim Amazonas, sendo esse local a área mais crítica quanto à ação de sais minerais solúveis em alvenarias.

Com pH maior que sete nos pontos PM1 a PM4, a água subterrânea apresenta-se levemente alcalina e com pH menor que sete no ponto PM5 (Vila Eduardo) com característica ácida.

A água subterrânea coletada tem valores elevados de magnésio, cálcio, cloreto de sódio e potássio, quando comparada com a água do mar.

A água subterrânea se apresenta com grau de agressividade forte ao concreto, em partes das localidades pesquisadas, quando comparada com a Tabela 2.12 (BAUER, 2007).

### **5.1.3 Resultados das amostras coletadas dos tijolos**

O cloreto, sulfato, magnésio, potássio e sódio encontrados nas amostras dos tijolos danificados na maioria dos casos superam os valores encontrados nos tijolos não danificados, ficando comprovado serem esses elementos os responsáveis pela deterioração das alvenarias das edificações das áreas pesquisadas.

A fonte de contaminação principal dos tijolos danificados aponta ser a água subterrânea e o solo por apresentarem em sua composição diversos elementos encontrados nas amostras dos tijolos danificados.

Os tijolos não afetados retirados para amostras nos cinco pontos pesquisados, não apresentaram valores expressivos em relação às amostras dos tijolos danificados, mostrando que a contaminação acontece nas localidades onde foram aplicados na parte inferior das alvenarias após algum tempo de aplicados. Isentando assim o uso de tijolo contaminado por sais solúveis a ponto de causar danos às edificações.

Os tijolos não danificados mesmo não apresentando sinais de ataque de sais solúveis, existem na sua massa a presença de elementos solúveis em níveis significantes de cloreto, cálcio, sulfato e magnésio em relação aos resultados apresentados nos tijolos danificados, sendo menor a intensidade de potássio e sódio.

Os danos dos tijolos das amostras ocorreram através da cristalização dos sais solúveis depositados nas alvenarias, causando a desagregação das partículas dos tijolos.

### **5.1.4 Resultado da determinação de cloretos na atmosfera da área urbana de Petrolina-PE**

A quantidade de cloretos existentes na atmosfera nos locais adotados para a pesquisa em Petrolina-PE, não representam números expressivos para a ação de sais minerais solúveis em alvenarias, representando apenas uma variação de 1,9% a 14% quando comparados com dados obtidos na praia de Boa Viagem em Recife-PE.

Os valores mais expressivos registrar-se no bairro Jardim Amazonas, local onde também apresentou valores mais elevados na água subterrânea e solo, os valores menos representativos observa-se no bairro Vila Eduardo, local onde a água subterrânea e o solo também apresentaram valores menores.

## 5.2 Recomendações para trabalhos futuros

A seguir recomendação de trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a parti da pesquisa realizada.

- Realizar um estudo mais aprofundado das cerâmicas que fornecem tijolos à Petrolina no sentido de qualificar a matéria prima utilizada (água e argila);
- Discutir de maneira detalhada o processo de fabricação dos tijolos fornecidos por estas cerâmicas para verificar o atendimento das recomendações normativas associadas, antes e depois de fabricados os tijolos;
- Analisar a contribuição dos defensivos agrícolas que são usualmente utilizados na região na geração de sais minerais solúveis que possam agredir as edificações do município;
- Analisar o nível de contribuição dos efluentes das lagoas de estabilização, do esgoto a céu aberto e do chorume na geração de sais minerais solúveis que possam agredir as edificações do município.

## 6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6211/2001: Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida, Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 1: Projeto e construção, Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6459/1984: Determinação do limite de liquidez, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7180/1984: Solo – Determinação do limite de plasticidade, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181/1984: Solo – análise granulométrica, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13602/1996: Solo – Avaliação da dispersibilidade, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.553/2012: Solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo, Rio de Janeiro, 2012.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22st Ed. Publication Office, New York (2012).

BAUER, L. A. F. Materiais de construção. Rio de Janeiro: LTC, 2001.v1.

BAUER, L. A. F. Materiais de construção. Rio de Janeiro: LTC, 2001. v2.

BAUER, L. A. F. Materiais de construção, 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e Científicos, 1992.

BUERGO, Mónica Alvarez de e LIMON, Tereza Gonzales. Restoración de Edificios Monumentalis Madri: Laboratório Central de Estructuras y Materiales – Centro de Estudios y Experimentación de obras Públicas.1994.

BUILDING Code Requirements For Reinforced Concrete – ACI 318-83.

COLLEPARDI, M. Degradation and Restoration of Mansory Walls of Hisric Buildings. MaterialsandStrucres. RILEM.1990.

EMBRAPA. Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Qualidade de Água no Sub-médio do Rio São Francisco: índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da água (ISA\_AGUA). São Paulo. 2002.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2ed.Rio de janeiro: Embrapa-cnps, 1999.212p.:il

FEITOSA, Maria Célia Alves. Lodo de esgoto: Algumas aplicações em engenharia. Recife – PE.2009.120f.: il

GOUDIA A, VILES H (1997) Salt Weatherind Zanard, chichester, Jonh Wilei & Sons.

GUSTAFSSON, M. E. R.; FRANZEN, L. G. Dry deposition and concentration of marine aerosols in a coastal area, SW Sweden, Atmospheric Environment, n.30, 977-989, June 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010.

MENEZES R.R.; FERREIRA H.S.; NEVES G. de A.; FERREIRA H. C., Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e Outros materiais de construção. *Cerâmica* 52, 2006.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. *Concreto – Estrutura Propriedades e Materiais*. São Paulo: Pini.1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Gabinete do Ministro. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 dez. 2011

MOTTA Eduarda Queiroz, FERREIRA S.R. de Melo, Variações da compressibilidade e do potencial de colapso de um solo perante diferentes líquidos de inundação. *Revista de estudos ambientais (Online)* v.13, n.1, p.28-41, jan./jun.2011.

NAPPI Sérgio C. Branco, MARQUES L. Manuela, A Salinidade em edifícios antigos. *Patologia y recuperacion de estructuras* 2.3 2010.

PONTES, Ronaldo Bezerra, Disseminação de íons cloreto na orla marítima de Boa Viagem, Recife – PE. 2006. 68, 95, F, Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Católica de Pernambuco, 2006.

PRADO, Hélio do; *Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo*. 4ª ed. - - ver. eampl. –Piracicaba.2005.281p.:il.

PUIM, Pedro Garoupa Albuquerque de Chaves. *Controlo e reparação de anomalias devidas a presença de sais solúveis em edifícios antigos*. 2010.95f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa.

RANALLI G, MATTEINI M, TOSINI I, ZANARDINI E, SORLINI C (2000) Bioremediation of cultural heritage: removal of sulphates, nitrates and organic substances. In Ciferri O, Tiano P and Mastromei G (ed.) *Of Microbes and Art – The Role of Microbial communities in the degradation an Protection at Cultural Heritage*, Kluwer Academic – Pienun Publisher, 231-245.

RESOLUÇÃO 357.2005 – CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

SILVA, Izabelly Tatiane dos Santos. Identificação dos fatores que provocam efloração nas construções em Angicos/RN.2011, 50 f. Monografia (Graduação em ciências e tecnologia) – Universidade federal Rural do Semiárido.

TAVARES, Luiz Claudio Assis, A Questão da habitação social: desafios e perspectivas. Jus Naviganti, Terezina-PI . Ano 9, n 361, 2004.

# APÊNDICE

## APÊNDECE A - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO RASO DA CATARINA

|  |                          |                 |                                  |                                       |                         |                             |                          |                      |                    |
|--|--------------------------|-----------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|
| Local: PM1 Raso da Catarina  |                          |                 |                                  | Laboratorista: Maria Damiana          |                         |                             |                          |                      |                    |
| Furo n.º: PM1  |                          |                 |                                  | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |                         |                             | Amostra n.º: 01          |                      |                    |
| DENSÍMETRO   | AMOSTRA TOTAL SECA       |                 |                                  | UMIDADE HIGROSCÓPICA                  |                         |                             | RESUMO                   |                      |                    |
|  | AMOSTRA TOTAL ÚMIDA      | 1.000.00        |                                  | CÁPSULA N°                            | 6                       |                             | PEDREGULHO%              | 0.90                 |                    |
| N° 01  | RETIDO NA #N° 10         | 5.51            |                                  | SOLO ÚMIDO + TARA                     | 54.94                   |                             | AREIA GROSSA%            | 4.04                 |                    |
|  | PASS. NA # N° 10 - ÚMIDO | 994.49          |                                  | SOLO SECO + TARA                      | 54.85                   |                             | AREIA MÉDIA%             | 66.48                |                    |
| PROVETA  | PASS. NA # N° 10 - SECO  | 991.87          |                                  | TARA                                  | 20.84                   |                             | AREIA FINA%              | 16.58                |                    |
|  | PESO DA ÁGUA             | 2.62            |                                  | ÁGUA                                  | 0.09                    |                             | PASS. NA # N° 200%       | 12.00                |                    |
| N° 01  | AMOSTRA TOTAL SECA       | 997.38          |                                  | SOLO SECO                             | 34.01                   |                             | TOTAL%                   | 100.00               |                    |
|  | AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA    | 120.00          |                                  | UMIDADE                               | 0.26                    |                             | DEFLOCULANTE:            |                      |                    |
|  | AMOSTRA PARCIAL SECA     | 119.68          |                                  | FATOR DE CONVERSÃO                    | 0.997                   |                             | HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO |                      |                    |
| PENEIRA (mm)   | PENEIRA                  | MATERIAL RETIDO |                                  |                                       |                         |                             |                          |                      |                    |
|  |                          | PESO (g)        | % DA AMOSTRA MENOR QUE A # N° 10 | % DA AMOSTRA TOTAL                    | % ACUMULADA             | % QUE PASSADA AMOSTRA TOTAL |                          |                      |                    |
| 50.80  | 2 POLEG.                 | 0.00            | 0.00                             | 0.00                                  | 0.00                    | 100.00                      |                          |                      |                    |
| 38.10  | 1 <sup>1/2</sup> POLEG.  | 0.00            | 0.00                             | 0.00                                  | 0.00                    | 100.00                      |                          |                      |                    |
| 25.40  | 1 POLEG.                 | 0.00            | 0.00                             | 0.00                                  | 0.00                    | 100.00                      |                          |                      |                    |
| 19.10  | 3/4 POLEG.               | 0.00            | 0.00                             | 0.00                                  | 0.00                    | 100.00                      |                          |                      |                    |
| 12.70  | 1/2 POLEG.               | 0.00            | 0.00                             | 0.00                                  | 0.00                    | 100.00                      |                          |                      |                    |
| 9.52   | 3/8 POLEG.               | 1.93            | 1.61                             | 0.19                                  | 0.19                    | 99.81                       |                          |                      |                    |
| 4.76   | N° 4                     | 1.53            | 1.28                             | 0.15                                  | 0.35                    | 99.65                       |                          |                      |                    |
| 2.00   | N° 10                    | 5.51            | 4.60                             | 0.55                                  | 0.90                    | 99.10                       |                          |                      |                    |
| 1.19   | N° 16                    | 0.80            | 0.67                             | 0.66                                  | 1.56                    | 98.44                       |                          |                      |                    |
| 0.59   | N° 30                    | 4.08            | 3.41                             | 3.38                                  | 4.94                    | 95.06                       |                          |                      |                    |
| 0.42   | N° 40                    | 6.34            | 5.30                             | 5.25                                  | 10.19                   | 89.81                       |                          |                      |                    |
| 0.25   | N° 60                    | 37.09           | 30.99                            | 30.71                                 | 40.90                   | 59.10                       |                          |                      |                    |
| 0.15   | N° 100                   | 36.86           | 30.80                            | 30.52                                 | 71.42                   | 28.58                       |                          |                      |                    |
| 0.074  | N° 200                   | 19.73           | 16.49                            | 16.34                                 | 87.76                   | 12.24                       |                          |                      |                    |
| <b>SEDIMENTAÇÃO</b>  |                          |                 |                                  |                                       |                         |                             |                          |                      |                    |
| DATA   | HORA                     | TEMPO DECORRIDO | LEITURA NO DENSÍMETRO            | TEMPERATURA °C                        | CORREÇÃO DA TEMPERATURA | LEITURA CORRIGIDA           | DIÂMETRO DOS GRÃOS       | % DA AMOSTRA PARCIAL | % DA AMOSTRA TOTAL |
| 15-fev   | 9:29                     | 30 SEGUND.      | 10.00                            | 29.0                                  | -1.0                    | 9.00                        | 0.0549                   | 12.11                | 12.00              |
| 15-fev   | 9:30                     | 1 MINUTO        | 10.00                            | 29.0                                  | -1.0                    | 9.00                        | 0.0388                   | 12.11                | 12.00              |
| 15-fev   | 9:31                     | 2 MINUTOS       | 8.00                             | 29.0                                  | -1.0                    | 7.00                        | 0.0291                   | 9.42                 | 9.33               |
| 15-fev   | 9:33                     | 4 MINUTOS       | 8.00                             | 29.0                                  | -1.0                    | 7.00                        | 0.0206                   | 9.42                 | 9.33               |
| 15-fev   | 9:37                     | 8 MINUTOS       | 7.00                             | 30.0                                  | -1.0                    | 6.00                        | 0.0146                   | 8.07                 | 8.00               |
| 15-fev   | 9:44                     | 15 MINUTOS      | 7.00                             | 30.0                                  | -1.0                    | 6.00                        | 0.0106                   | 8.07                 | 8.00               |
| 15-fev   | 9:59                     | 30 MINUTOS      | 7.00                             | 30.0                                  | -1.0                    | 6.00                        | 0.0079                   | 8.07                 | 8.00               |
| 15-fev   | 10:29                    | 1 HORA          | 6.00                             | 30.0                                  | -1.0                    | 5.00                        | 0.0056                   | 6.73                 | 6.66               |
| 15-fev   | 11:29                    | 2 HORAS         | 5.00                             | 30.0                                  | -1.0                    | 4.00                        | 0.0040                   | 5.38                 | 5.33               |
| 15-fev   | 13:29                    | 4 HORAS         | 5.00                             | 30.0                                  | -1.0                    | 4.00                        | 0.0028                   | 5.38                 | 5.33               |
| 15-fev   | 17:29                    | 8 HORAS         | 5.00                             | 30.0                                  | -1.0                    | 4.00                        | 0.0020                   | 5.38                 | 5.33               |
| 16-fev   | 10:29                    | 25 HORAS        | 5.00                             | 29.0                                  | -1.0                    | 4.00                        | 0.0011                   | 5.38                 | 5.33               |
| CLAIFICAÇÃO: SM-Areia siltosa<br>PESOSS ESPECÍFICO DOS GRÃOS: 2.640 g/cm |                          |                 |                                  |                                       |                         |                             |                          |                      |                    |

### GRÁFICO DA SEDIMENTAÇÃO

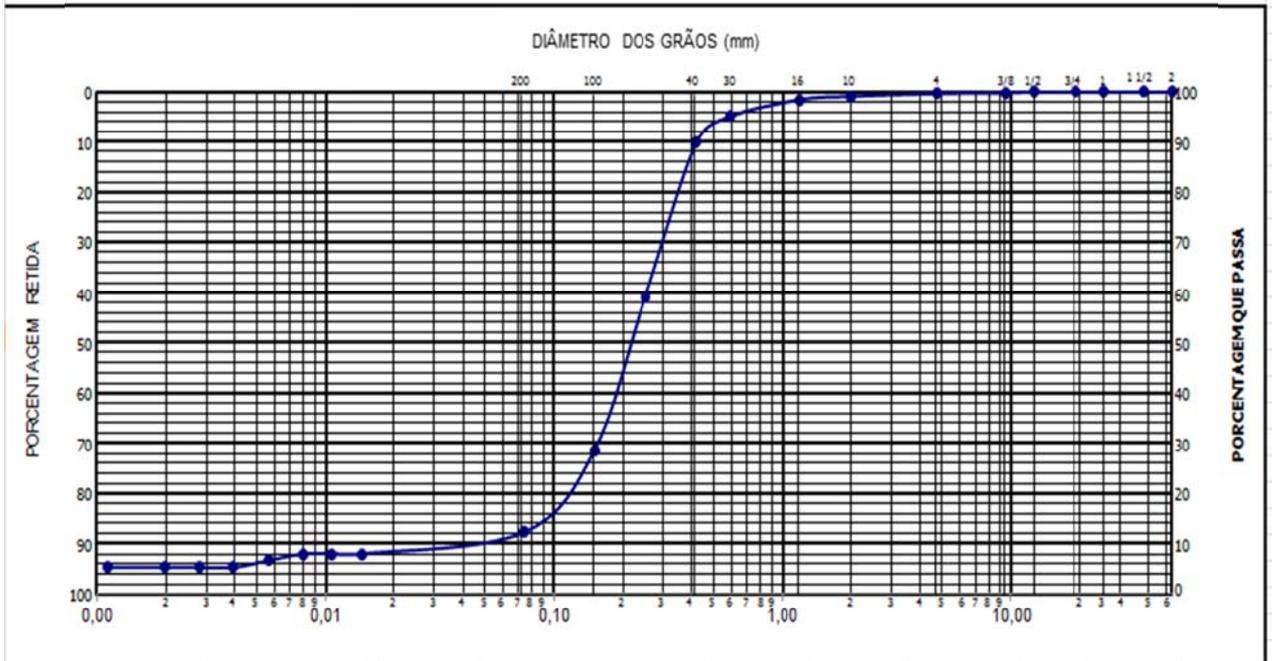
LOCAL: RASO DA CATARINA (PM1)

Visto:

Amostra n.º : 01

Operador: Maria Damiana

Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro



|               |             |              |              |              |               |                |              |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
|               |             |              |              |              |               |                |              |
| <b>ARGILA</b> | <b>5,2%</b> | <b>SILTE</b> | <b>6,80%</b> | <b>AREIA</b> | <b>87,10%</b> | <b>PEDREG.</b> | <b>0,90%</b> |

## APÊNDECE B - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO RASO DA CATARINA 1-A

|   |                                       |                              |
|---|---------------------------------------|------------------------------|
| Local: PM1-A Raso da Catarina (Vila Eulália Bairro adjacente) |                                       | Laboratorista: Maria Damiana |
| Furo n.º: PM1 - A   | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro | Amostra n.º: 01-A            |

| DENSÍMETRO | AMOSTRA TOTAL SECA       |          | UMIDADE HIGROSCÓPICA |       | RESUMO                   |        |
|------------|--------------------------|----------|----------------------|-------|--------------------------|--------|
|            | AMOSTRA TOTAL ÚMIDA      | 1.000.00 | CÁPSULA N°           | 4     | PEDREGULHO%              | 0.54   |
| N° 01      | RETIDO NA #N° 10         | 4.76     | SOLO ÚMIDO + TARA    | 63.80 | AREIA GROSSA%            | 5.57   |
|            | PASS. NA # N° 10 - ÚMIDO | 995.24   | SOLO SECO + TARA     | 63.56 | AREIA MÉDIA%             | 63.97  |
| PROVETA    | PASS. NA # N° 10 - SECO  | 989.75   | TARA                 | 20.32 | AREIA FINA%              | 17.76  |
|            | PESO DA ÁGUA             | 5.49     | ÁGUA                 | 0.24  | PASS. NA # N° 200%       | 12.16  |
| N° 01      | AMOSTRA TOTAL SECA       | 994.51   | SOLO SECO            | 43.24 | TOTAL%                   | 100.00 |
|            | AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA    | 120.00   | UMIDADE              | 0.56  | DEFLOCULANTE:            |        |
|            | AMOSTRA PARCIAL SECA     | 119.34   | FATOR DE CONVERSÃO   | 0.994 | HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO |        |

| PENEIRA (mm) | PENEIRA                 | MATERIAL RETIDO |                                  |                    |             | % QUE PASSADA AMOSTRA TOTAL |
|--------------|-------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|
|              |                         | PESO (g)        | % DA AMOSTRA MENOR QUE A # N° 10 | % DA AMOSTRA TOTAL | % ACUMULADA |                             |
| 50.80        | 2 POLEG.                | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 38.10        | 1 <sup>1/2</sup> POLEG. | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 25.40        | 1 POLEG.                | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 19.10        | 3/4 POLEG.              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 12.70        | 1/2 POLEG.              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 9.52         | 3/8 POLEG.              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 4.76         | N° 4                    | 0.63            | 0.53                             | 0.06               | 0.06        | 99.94                       |
| 2.00         | N° 10                   | 4.76            | 3.99                             | 0.48               | 0.54        | 99.46                       |
| 1.19         | N° 16                   | 1.61            | 1.35                             | 1.34               | 1.88        | 98.12                       |
| 0.59         | N° 30                   | 5.07            | 4.25                             | 4.23               | 6.11        | 93.89                       |
| 0.42         | N° 40                   | 6.16            | 5.16                             | 5.13               | 11.24       | 88.76                       |
| 0.25         | N° 60                   | 37.04           | 31.04                            | 30.87              | 42.11       | 57.89                       |
| 0.15         | N° 100                  | 33.56           | 28.12                            | 27.97              | 70.08       | 29.92                       |
| 0.074        | N° 200                  | 18.35           | 15.38                            | 15.29              | 85.38       | 14.62                       |

| SEDIMENTAÇÃO |       |                 |                       |                |                         |                   |                    |                      |                    |
|--------------|-------|-----------------|-----------------------|----------------|-------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| DATA         | HORA  | TEMPO DECORRIDO | LEITURA NO DENSÍMETRO | TEMPERATURA °C | CORREÇÃO DA TEMPERATURA | LEITURA CORRIGIDA | DIÂMETRO DOS GRÃOS | % DA AMOSTRA PARCIAL | % DA AMOSTRA TOTAL |
| 13-fev       | 9:29  | 30 SEGUND.      | 10.00                 | 29.0           | -1.0                    | 9.00              | 0.0554             | 12.23                | 12.16              |
| 13-fev       | 9:30  | 1 MINUTO        | 10.00                 | 29.0           | -1.0                    | 9.00              | 0.0392             | 12.23                | 12.16              |
| 13-fev       | 9:31  | 2 MINUTOS       | 10.00                 | 29.0           | -1.0                    | 9.00              | 0.0294             | 12.23                | 12.16              |
| 13-fev       | 9:33  | 4 MINUTOS       | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0208             | 10.87                | 10.81              |
| 13-fev       | 9:37  | 8 MINUTOS       | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0147             | 10.87                | 10.81              |
| 13-fev       | 9:44  | 15 MINUTOS      | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0107             | 10.87                | 10.81              |
| 13-fev       | 9:59  | 30 MINUTOS      | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0080             | 10.87                | 10.81              |
| 13-fev       | 10:29 | 1 HORA          | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0057             | 10.87                | 10.81              |
| 13-fev       | 11:29 | 2 HORAS         | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0040             | 10.87                | 10.81              |
| 13-fev       | 13:29 | 4 HORAS         | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0028             | 10.87                | 10.81              |
| 13-fev       | 17:29 | 8 HORAS         | 8.00                  | 29.0           | -1.0                    | 7.00              | 0.0020             | 9.51                 | 9.46               |
| 14-fev       | 10:29 | 25 HORAS        | 8.00                  | 29.0           | -1.0                    | 7.00              | 0.0011             | 9.51                 | 9.46               |

CLASSIFICAÇÃO: SM-Areia siltosa  
 PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS: 2.610vg/cm



## APÊNDECE C - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO ANTÔNIO CASSIMIRO

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| Furo n.º:<br>PM 02 | Local: Antônio Cassimiro<br>Pesquisador: Ariosvaldo Gomes beiro | Laboratorista: Maria Damiana<br>Amostra n.º: 02 |
|--------------------|---|---|

| DENSÍMETRO | AMOSTRA TOTAL SECA       |                     | UMIDADE HIGROSCÓPICA |            | RESUMO                   |             |
|------------|--------------------------|---------------------|----------------------|------------|--------------------------|-------------|
|            |                          | AMOSTRA TOTAL ÚMIDA | 1.000.00             | CÁPSULA N° | 5                        | PEDREGULHO% |
| N° 01      | RETIDO NA #N° 10         | 5.22                | SOLO ÚMIDO + TARA    | 56.17      | AREIA GROSSA%            | 5.81        |
|            | PASS. NA # N° 10 - ÚMIDO | 994.78              | SOLO SECO + TARA     | 56.01      | AREIA MÉDIA%             | 63.80       |
| PROVETA    | PASS. NA # N° 10 - SECO  | 989.96              | TARA                 | 23.12      | AREIA FINA%              | 19.03       |
|            | PESO DA ÁGUA             | 4.82                | ÁGUA                 | 0.16       | PASS. NA # N° 200%       | 10.63       |
| N° 01      | AMOSTRA TOTAL SECA       | 995.18              | SOLO SECO            | 32.89      | TOTAL%                   | 100.00      |
|            | AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA    | 120.00              | UMIDADE              | 0.49       | DEFLOCULANTE:            |             |
|            | AMOSTRA PARCIAL SECA     | 119.42              | FATOR DE CONVERSÃO   | 0.995      | HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO |             |

| PENEIRA (mm) | PENEIRA                 | MATERIAL RETIDO |                                  |                    |             |                             |
|--------------|-------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|
|              |                         | PESO (g)        | % DA AMOSTRA MENOR QUE A # N° 10 | % DA AMOSTRA TOTAL | % ACUMULADA | % QUE PASSADA AMOSTRA TOTAL |
| 50.80        | 2 POLEG.                | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 38.10        | 1 <sup>1/2</sup> POLEG. | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 25.40        | 1 POLEG.                | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 19.10        | 3/4 POLEG.              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 12.70        | 1/2 POLEG.              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 9.52         | 3/8 POLEG.              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00        | 100.00                      |
| 4.76         | N° 4                    | 2.00            | 1.67                             | 0.20               | 0.20        | 99.80                       |
| 2.00         | N° 10                   | 5.22            | 4.37                             | 0.52               | 0.73        | 99.27                       |
| 1.19         | N° 16                   | 0.74            | 0.62                             | 0.62               | 1.34        | 98.66                       |
| 0.59         | N° 30                   | 6.25            | 5.23                             | 5.20               | 6.54        | 93.46                       |
| 0.42         | N° 40                   | 7.83            | 6.56                             | 6.51               | 13.05       | 86.95                       |
| 0.25         | N° 60                   | 36.02           | 30.16                            | 29.94              | 42.99       | 57.01                       |
| 0.15         | N° 100                  | 32.90           | 27.55                            | 27.35              | 70.34       | 29.66                       |
| 0.074        | N° 200                  | 17.47           | 14.63                            | 14.52              | 84.86       | 15.14                       |

| SEDIMENTAÇÃO |       |                 |                       |                |                         |                   |                    |                      |                    |
|--------------|-------|-----------------|-----------------------|----------------|-------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| DATA         | HORA  | TEMPO DECORRIDO | LEITURA NO DENSÍMETRO | TEMPERATURA °C | CORREÇÃO DA TEMPERATURA | LEITURA CORRIGIDA | DIÂMETRO DOS GRÃOS | % DA AMOSTRA PARCIAL | % DA AMOSTRA TOTAL |
| 15-fev       | 9:29  | 30 SEGUND.      | 9.00                  | 29.0           | -1.0                    | 8.00              | 0.0544             | 10.71                | 10.63              |
| 15-fev       | 9:30  | 1 MINUTO        | 8.00                  | 29.0           | -1.0                    | 7.00              | 0.0385             | 9.37                 | 9.30               |
| 15-fev       | 9:31  | 2 MINUTOS       | 7.00                  | 29.0           | -1.0                    | 6.00              | 0.0289             | 8.03                 | 7.97               |
| 15-fev       | 9:33  | 4 MINUTOS       | 7.00                  | 29.0           | -1.0                    | 6.00              | 0.0204             | 8.03                 | 7.97               |
| 15-fev       | 9:37  | 8 MINUTOS       | 6.00                  | 30.0           | -1.0                    | 5.00              | 0.0144             | 6.69                 | 6.65               |
| 15-fev       | 9:44  | 15 MINUTOS      | 6.00                  | 30.0           | -1.0                    | 5.00              | 0.0105             | 6.69                 | 6.65               |
| 15-fev       | 9:59  | 30 MINUTOS      | 6.00                  | 30.0           | -1.0                    | 5.00              | 0.0079             | 6.69                 | 6.65               |
| 15-fev       | 10:29 | 1 HORA          | 5.00                  | 30.0           | -1.0                    | 4.00              | 0.0056             | 5.36                 | 5.32               |
| 15-fev       | 11:29 | 2 HORAS         | 5.00                  | 30.0           | -1.0                    | 4.00              | 0.0039             | 5.36                 | 5.32               |
| 15-fev       | 13:29 | 4 HORAS         | 5.00                  | 30.0           | -1.0                    | 4.00              | 0.0028             | 5.36                 | 5.32               |
| 15-fev       | 17:29 | 8 HORAS         | 5.00                  | 30.0           | -1.0                    | 4.00              | 0.0020             | 5.36                 | 5.32               |
| 16-fev       | 10:29 | 25 HORAS        | 5.00                  | 29.0           | -1.0                    | 4.00              | 0.0011             | 5.36                 | 5.32               |

CLASSIFICAÇÃO : SM-Areia siltosa

PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS: 2.670 g/cm

## GRÁFICO DA SEDIMENTAÇÃO

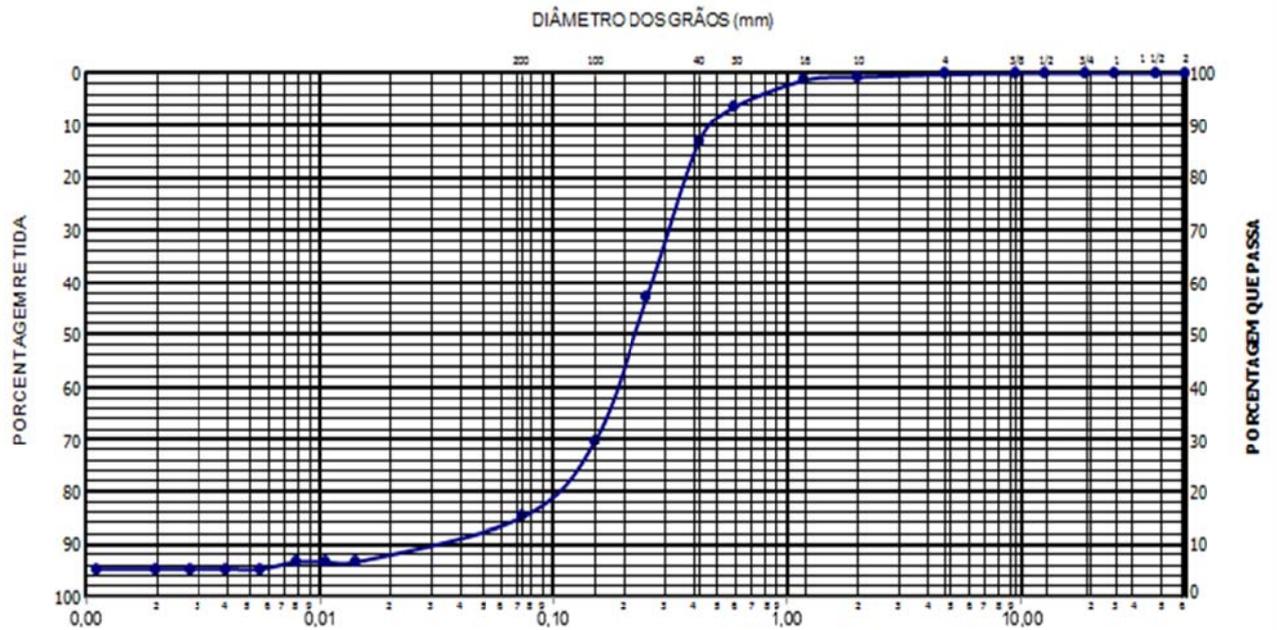
LOCAL: ANTONIO CASSIMIRO (PM2)

Amostra n.º : 02

Operador: Maria Damiana

Visto:

PESQUISADOR : Ariosvaldo Gomes Ribeiro



ARGILA 5,10%

SILTE 5,53%

AREIA 88,49%

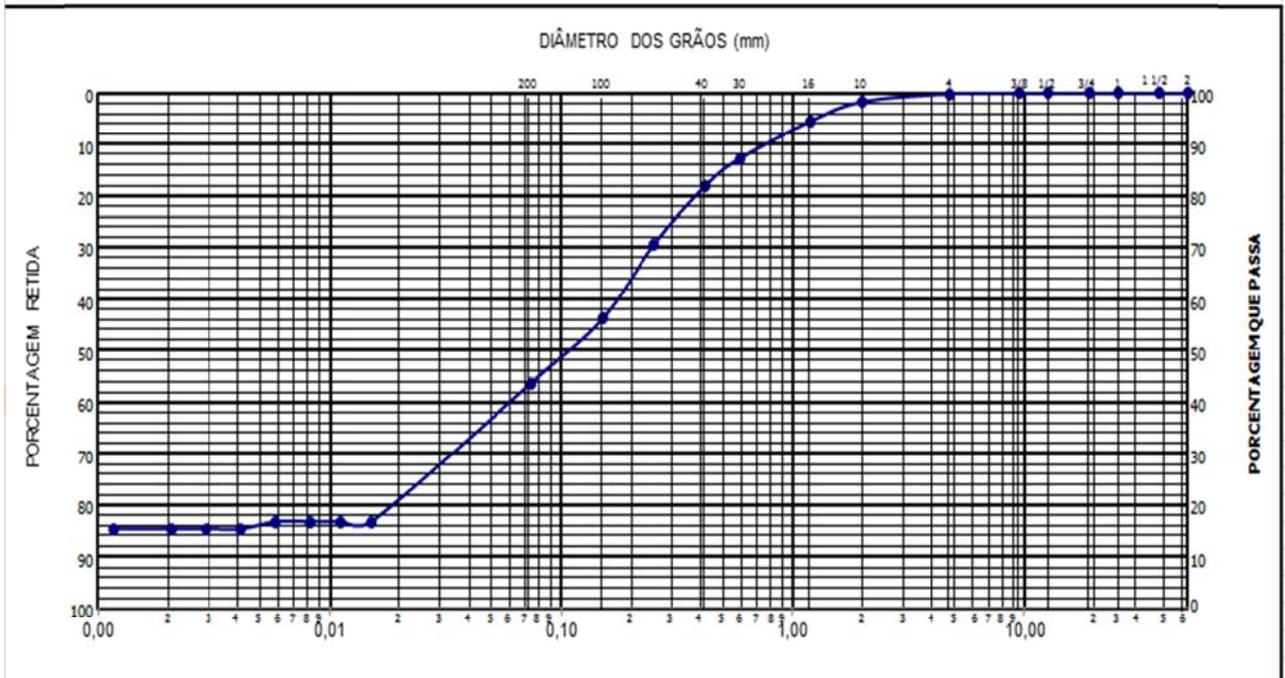
PEDREG. 0,73%

## APÊNDECE D - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO JARDIM AMAZONAS

| Furo n.º<br>PM3   |                          | Local: Jardim Amazonas                 |                                  |                      |                          | Laboratorista: Maria Damiana |                    |                      |                    |
|---|--------------------------|--|----------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
|   |                          | Pesquisador: Ariosavaldo Gomes Ribeiro |                                  |                      |                          | Amostra n.º: 03              |                    |                      |                    |
| DENSÍMETRO  | AMOSTRA TOTAL SECA       |  |                                  | UMIDADE HIGROSCÓPICA |                          |                              | RESUMO             |                      |                    |
|   | AMOSTRA TOTAL ÚMIDA      | 1.000.00                               | CÁPSULA N°                       | 7                    | PEDREGULHO%              | 1.68                         |                    |                      |                    |
| N° 01   | RETIDO NA #N° 10         | 15.22                                  | SOLO ÚMIDO + TARA                | 67.55                | AREIA GROSSA%            | 11.08                        |                    |                      |                    |
|   | PASS. NA # N° 10 - ÚMIDO | 984.78                                 | SOLO SECO + TARA                 | 66.44                | AREIA MÉDIA%             | 31.17                        |                    |                      |                    |
| PROVETA   | PASS. NA # N° 10 - SECO  | 960.56                                 | TARA                             | 22.42                | AREIA FINA%              | 36.52                        |                    |                      |                    |
|   | PESO DA ÁGUA             | 24.22                                  | ÁGUA                             | 1.11                 | PASS. NA # N° 200%       | 19.55                        |                    |                      |                    |
| N° 01   | AMOSTRA TOTAL SECA       | 975.78                                 | SOLO SECO                        | 44.02                | TOTAL%                   | 100.00                       |                    |                      |                    |
|   | AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA    | 120.00                                 | UMIDADE                          | 2.52                 | DEFLOCULANTE:            |                              |                    |                      |                    |
|   | AMOSTRA PARCIAL SECA     | 117.05                                 | FATOR DE CONVERSÃO               | 0.975                | HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO |                              |                    |                      |                    |
| PENEIRA (mm)  | PENEIRA                  | MATERIAL RETIDO                        |                                  |                      |                          |                              |                    |                      |                    |
|   |                          | PESO (g)                               | % DA AMOSTRA MENOR QUE A # N° 10 | % DA AMOSTRA TOTAL   | % ACUMULADA              | % QUE PASSADA AMOSTRA TOTAL  |                    |                      |                    |
| 50.80   | 2 POLEG.                 | 0.00                                   | 0.00                             | 0.00                 | 0.00                     | 100.00                       |                    |                      |                    |
| 38.10   | 1 <sup>1/2</sup> POLEG.  | 0.00                                   | 0.00                             | 0.00                 | 0.00                     | 100.00                       |                    |                      |                    |
| 25.40   | 1 POLEG.                 | 0.00                                   | 0.00                             | 0.00                 | 0.00                     | 100.00                       |                    |                      |                    |
| 19.10   | 3/4 POLEG.               | 0.00                                   | 0.00                             | 0.00                 | 0.00                     | 100.00                       |                    |                      |                    |
| 12.70   | 1/2 POLEG.               | 0.00                                   | 0.00                             | 0.00                 | 0.00                     | 100.00                       |                    |                      |                    |
| 9.52  | 3/8 POLEG.               | 0.00                                   | 0.00                             | 0.00                 | 0.00                     | 100.00                       |                    |                      |                    |
| 4.76  | N° 4                     | 1.20                                   | 1.03                             | 0.12                 | 0.12                     | 99.88                        |                    |                      |                    |
| 2.00  | N° 10                    | 15.22                                  | 13.00                            | 1.56                 | 1.68                     | 98.32                        |                    |                      |                    |
| 1.19  | N° 16                    | 4.59                                   | 3.92                             | 3.86                 | 5.54                     | 94.46                        |                    |                      |                    |
| 0.59  | N° 30                    | 8.60                                   | 7.35                             | 7.22                 | 12.76                    | 87.24                        |                    |                      |                    |
| 0.42  | N° 40                    | 6.25                                   | 5.34                             | 5.25                 | 18.01                    | 81.99                        |                    |                      |                    |
| 0.25  | N° 60                    | 13.67                                  | 11.68                            | 11.48                | 29.49                    | 70.51                        |                    |                      |                    |
| 0.15  | N° 100                   | 17.19                                  | 14.69                            | 14.44                | 43.93                    | 56.07                        |                    |                      |                    |
| 0.074   | N° 200                   | 14.76                                  | 12.61                            | 12.40                | 56.33                    | 43.67                        |                    |                      |                    |
| <b>SEDIMENTAÇÃO</b>   |                          |  |                                  |                      |                          |                              |                    |                      |                    |
| DATA  | HORA                     | TEMPO DECORRIDO                        | LEITURA NO DENSÍMETRO            | TEMPERATURA °C       | CORREÇÃO DA TEMPERATURA  | LEITURA CORRIGIDA            | DIÂMETRO DOS GRÃOS | % DA AMOSTRA PARCIAL | % DA AMOSTRA TOTAL |
| 15-fev  | 9:29                     | 30 SEGUND.                             | 15.00                            | 29.0                 | -1.0                     | 14.00                        | 0.0572             | 19.88                | 19.55              |
| 15-fev  | 9:30                     | 1 MINUTO                               | 14.00                            | 29.0                 | -1.0                     | 13.00                        | 0.0405             | 18.46                | 18.15              |
| 15-fev  | 9:31                     | 2 MINUTOS                              | 14.00                            | 29.0                 | -1.0                     | 13.00                        | 0.0303             | 18.46                | 18.15              |
| 15-fev  | 9:33                     | 4 MINUTOS                              | 14.00                            | 29.0                 | -1.0                     | 13.00                        | 0.0215             | 18.46                | 18.15              |
| 15-fev  | 9:37                     | 8 MINUTOS                              | 13.00                            | 30.0                 | -1.0                     | 12.00                        | 0.0152             | 17.04                | 16.75              |
| 15-fev  | 9:44                     | 15 MINUTOS                             | 13.00                            | 30.0                 | -1.0                     | 12.00                        | 0.0111             | 17.04                | 16.75              |
| 15-fev  | 9:59                     | 30 MINUTOS                             | 13.00                            | 30.0                 | -1.0                     | 12.00                        | 0.0083             | 17.04                | 16.75              |
| 15-fev  | 10:29                    | 1 HORA                                 | 13.00                            | 30.0                 | -1.0                     | 12.00                        | 0.0058             | 17.04                | 16.75              |
| 15-fev  | 11:29                    | 2 HORAS                                | 12.00                            | 30.0                 | -1.0                     | 11.00                        | 0.0041             | 15.62                | 15.36              |
| 15-fev  | 13:29                    | 4 HORAS                                | 12.00                            | 30.0                 | -1.0                     | 11.00                        | 0.0029             | 15.62                | 15.36              |
| 15-fev  | 17:29                    | 8 HORAS                                | 12.00                            | 30.0                 | -1.0                     | 11.00                        | 0.0021             | 15.62                | 15.36              |
| 16-fev  | 10:29                    | 25 HORAS                               | 12.00                            | 29.0                 | -1.0                     | 11.00                        | 0.0012             | 15.62                | 15.36              |
| CLASSIFICAÇÃO: SC-Areia argilosa<br>PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS: 2.510 g/cm |                          |  |                                  |                      |                          |                              |                    |                      |                    |

### GRÁFICO DA SEDIMENTAÇÃO

|                                       |                         |        |
|---------------------------------------|-------------------------|--------|
| Local: Jardim Amazonas                |                         | Visto: |
| Amostra n.º : 03                      | Operador: Maria Damiana |        |
| Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |                         |        |



|                      |                    |                     |                      |
|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| <b>ARGILA 15,00%</b> | <b>SILTE 4,55%</b> | <b>AREIA 79,25%</b> | <b>PEDREG. 1,68%</b> |
|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|

## APÊNDECE E - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO DOM MALAN

|  |                                       |                          |                                  |                    |                              |                             |                    |                      |                    |
|--|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Registro n.º:<br>04                    | Local: Dom Malan                      |                          |                                  |                    | Laboratorista: Maria Damiana |                             | Visto:             |                      |                    |
|  | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |                          |                                  |                    |                              |                             |                    |                      | Amostra n.º: 04    |
|  | DENSÍMETRO                            |                          | AMOSTRA TOTAL SECA               |                    | UMIDADE HIGROSCÓPICA         |                             | RESUMO             |                      |                    |
| Nº 01                                  |                                       | AMOSTRA TOTAL ÚMIDA      | 1.000.00                         | CÁPSULA Nº         | 1                            | PEDREGULHO%                 | 6.70               |                      |                    |
| PROVETA                                |                                       | RETIDO NA #Nº 10         | 38.83                            | SOLO ÚMIDO + TARA  | 63.98                        | AREIA GROSSA%               | 13.06              |                      |                    |
| Nº 01                                  |                                       | PASS. NA # Nº 10 - ÚMIDO | 961.17                           | SOLO SECO + TARA   | 63.44                        | AREIA MÉDIA%                | 37.11              |                      |                    |
| Nº 01                                  |                                       | PASS. NA # Nº 10 - SECO  | 949.02                           | TARA               | 21.27                        | AREIA FINA%                 | 27.62              |                      |                    |
| Nº 01                                  |                                       | PESO DA ÁGUA             | 12.15                            | ÁGUA               | 0.54                         | PASS. NA # Nº 200%          | 15.51              |                      |                    |
| Nº 01                                  |                                       | AMOSTRA TOTAL SECA       | 987.85                           | SOLO SECO          | 42.17                        | TOTAL%                      | 100.00             |                      |                    |
| Nº 01                                  |                                       | AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA    | 120.00                           | UMIDADE            | 1.28                         | DEFLOCULANTE:               |                    |                      |                    |
| Nº 01                                  |                                       | AMOSTRA PARCIAL SECA     | 118.48                           | FATOR DE CONVERSÃO | 0.987                        | HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO    |                    |                      |                    |
| PENEIRA (mm)                           | PENEIRA                               | MATERIAL RETIDO          |                                  |                    |                              |                             |                    |                      |                    |
|  |                                       | PESO (g)                 | % DA AMOSTRA MENOR QUE A # Nº 10 | % DA AMOSTRA TOTAL | % ACUMULADA                  | % QUE PASSADA AMOSTRA TOTAL |                    |                      |                    |
| 50.80                                  | 2 POLEG.                              | 0.00                     | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00                      |                    |                      |                    |
| 38.10                                  | 1 <sup>1/2</sup> POLEG.               | 0.00                     | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00                      |                    |                      |                    |
| 25.40                                  | 1 POLEG.                              | 0.00                     | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00                      |                    |                      |                    |
| 19.10                                  | 3/4 POLEG.                            | 0.00                     | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00                      |                    |                      |                    |
| 12.70                                  | 1/2 POLEG.                            | 0.00                     | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00                      |                    |                      |                    |
| 9.52                                   | 3/8 POLEG.                            | 13.66                    | 11.53                            | 1.38               | 1.38                         | 98.62                       |                    |                      |                    |
| 4.76                                   | Nº 4                                  | 13.69                    | 11.55                            | 1.39               | 2.77                         | 97.23                       |                    |                      |                    |
| 2.00                                   | Nº 10                                 | 38.83                    | 32.77                            | 3.93               | 6.70                         | 93.30                       |                    |                      |                    |
| 1.19                                   | Nº 16                                 | 5.40                     | 4.56                             | 4.25               | 10.95                        | 89.05                       |                    |                      |                    |
| 0.59                                   | Nº 30                                 | 11.19                    | 9.44                             | 8.81               | 19.76                        | 80.24                       |                    |                      |                    |
| 0.42                                   | Nº 40                                 | 6.90                     | 5.82                             | 5.43               | 25.20                        | 74.80                       |                    |                      |                    |
| 0.25                                   | Nº 60                                 | 19.12                    | 16.14                            | 15.06              | 40.25                        | 59.75                       |                    |                      |                    |
| 0.15                                   | Nº 100                                | 21.11                    | 17.82                            | 16.62              | 56.88                        | 43.12                       |                    |                      |                    |
| 0.074                                  | Nº 200                                | 15.07                    | 12.72                            | 11.87              | 68.74                        | 31.26                       |                    |                      |                    |
| <b>SEDIMENTAÇÃO</b>                    |                                       |                          |                                  |                    |                              |                             |                    |                      |                    |
| DATA                                   | HORA                                  | TEMPO DECORRIDO          | LEITURA NO DENSÍMETRO            | TEMPERATURA °C     | CORREÇÃO DA TEMPERATURA      | LEITURA CORRIGIDA           | DIÂMETRO DOS GRÃOS | % DA AMOSTRA PARCIAL | % DA AMOSTRA TOTAL |
| 19-fev                                 | 10:00                                 | 30 SEGUND.               | 13.00                            | 29.0               | -1.0                         | 12.00                       | 0.0563             | 16.62                | 15.51              |
| 19-fev                                 | 10:01                                 | 1 MINUTO                 | 12.00                            | 29.0               | -1.0                         | 11.00                       | 0.0398             | 15.24                | 14.21              |
| 19-fev                                 | 10:02                                 | 2 MINUTOS                | 12.00                            | 29.0               | -1.0                         | 11.00                       | 0.0299             | 15.24                | 14.21              |
| 19-fev                                 | 10:04                                 | 4 MINUTOS                | 11.00                            | 29.0               | -1.0                         | 10.00                       | 0.0211             | 13.85                | 12.92              |
| 19-fev                                 | 10:08                                 | 8 MINUTOS                | 11.00                            | 29.0               | -1.0                         | 10.00                       | 0.0149             | 13.85                | 12.92              |
| 19-fev                                 | 10:15                                 | 15 MINUTOS               | 11.00                            | 29.0               | -1.0                         | 10.00                       | 0.0109             | 13.85                | 12.92              |
| 19-fev                                 | 10:30                                 | 30 MINUTOS               | 10.00                            | 30.0               | -1.0                         | 9.00                        | 0.0081             | 12.47                | 11.63              |
| 19-fev                                 | 11:00                                 | 1 HORA                   | 10.00                            | 30.0               | -1.0                         | 9.00                        | 0.0057             | 12.47                | 11.63              |
| 19-fev                                 | 12:00                                 | 2 HORAS                  | 10.00                            | 30.0               | -1.0                         | 9.00                        | 0.0041             | 12.47                | 11.63              |
| 19-fev                                 | 14:00                                 | 4 HORAS                  | 10.00                            | 30.0               | -1.0                         | 9.00                        | 0.0029             | 12.47                | 11.63              |
| 19-fev                                 | 18:00                                 | 8 HORAS                  | 10.00                            | 30.0               | -1.0                         | 9.00                        | 0.0020             | 12.47                | 11.63              |
| 20-fev                                 | 10:00                                 | 24 HORAS                 | 9.00                             | 30.0               | -1.0                         | 8.00                        | 0.0011             | 11.08                | 10.34              |
| CLASSIFICAÇÃO: SC-Areia argilosa       |                                       |                          |                                  |                    |                              |                             |                    |                      |                    |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS : 2.560 g/cm |                                       |                          |                                  |                    |                              |                             |                    |                      |                    |

### GRÁFICO DA SEDIMENTAÇÃO

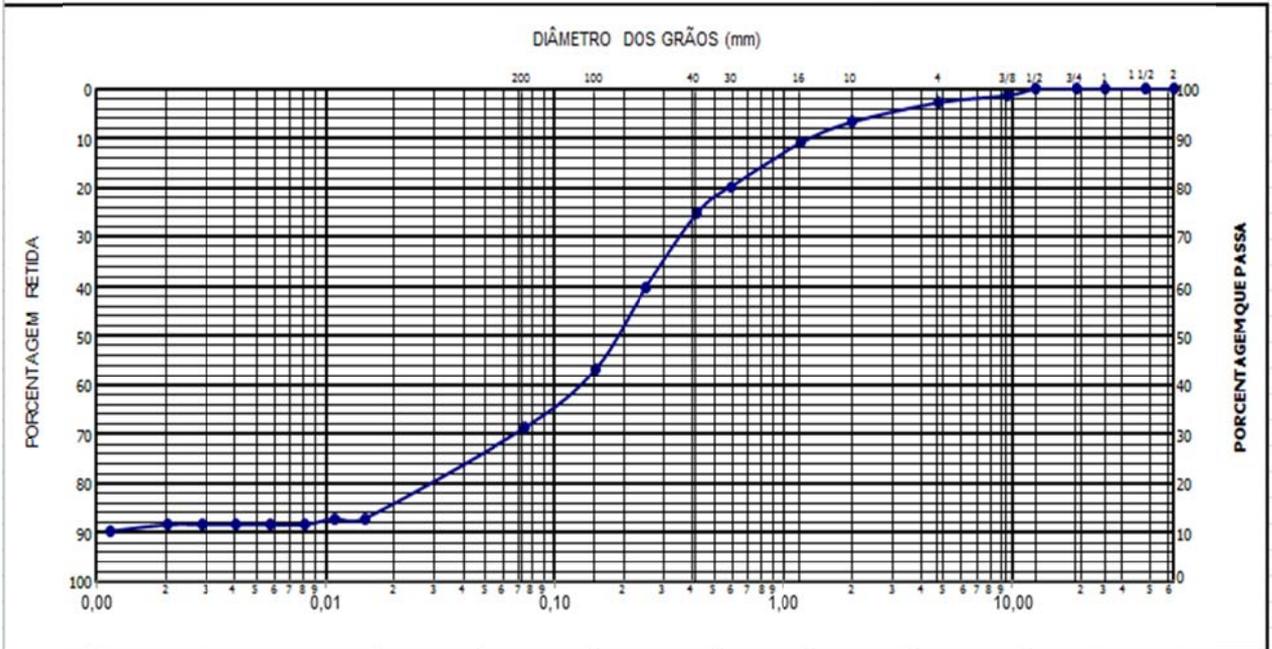
LOCAL: DOM MALAN (PM4)

Amostra n.º : 04

Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro

Visto:

Operador: Maria Damiana



|                      |                    |                     |                      |
|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| <b>ARGILA 10,00%</b> | <b>SILTE 5,51%</b> | <b>AREIA 77,79%</b> | <b>PEDREG. 6,70%</b> |
|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|

## APÊNDECE F - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO VILA EDUARDO 1

|   |                                      |                 |                                  |                              |                          |                   |                             |                      |                    |
|---|--------------------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| Registro n.º:<br>05                                 | Local: Vila Eduardo                  |                 |                                  | Laboratorista: Maria Damiana |                          |                   | Visto:                      |                      |                    |
|   | Pesquisador: Ariosvado Gomes Ribeiro |                 |                                  | Amostra n.º: 05              |                          |                   |                             |                      |                    |
| DENSÍMETRO  | AMOSTRA TOTAL SECA                   |                 |                                  | UMIDADE HIGROSCÓPICA         |                          |                   | RESUMO                      |                      |                    |
|   | AMOSTRA TOTAL ÚMIDA                  | 1.000.00        | CÁPSULA N°                       | 2                            | PEDREGULHO%              | 48.92             |                             |                      |                    |
| N° 01   | RETIDO NA #N° 10                     | 75.12           | SOLO ÚMIDO + TARA                | 69.86                        | AREIA GROSSA%            | 4.43              |                             |                      |                    |
|   | PASS. NA # N° 10 - ÚMIDO             | 924.88          | SOLO SECO + TARA                 | 69.44                        | AREIA MÉDIA%             | 20.80             |                             |                      |                    |
| PROVETA   | PASS. NA # N° 10 - SECO              | 916.45          | TARA                             | 23.76                        | AREIA FINA%              | 15.61             |                             |                      |                    |
|   | PESO DA ÁGUA                         | 8.43            | ÁGUA                             | 0.42                         | PASS. NA # N° 200%       | 10.23             |                             |                      |                    |
| N° 01   | AMOSTRA TOTAL SECA                   | 991.57          | SOLO SECO                        | 45.68                        | TOTAL%                   | 100.00            |                             |                      |                    |
|   | AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA                | 120.00          | UMIDADE                          | 0.92                         | DEFLOCULANTE:            |                   |                             |                      |                    |
|   | AMOSTRA PARCIAL SECA                 | 118.91          | FATOR DE CONVERSÃO               | 0.991                        | HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO |                   |                             |                      |                    |
| PENEIRA (mm)  | PENEIRA                              | MATERIAL RETIDO |                                  |                              |                          |                   | % QUE PASSADA AMOSTRA TOTAL |                      |                    |
|   |                                      | PESO (g)        | % DA AMOSTRA MENOR QUE A # N° 10 | % DA AMOSTRA TOTAL           | % ACUMULADA              |                   |                             |                      |                    |
| 50.80   | 2 POLEG.                             | 0.00            | 0.00                             | 0.00                         | 0.00                     | 100.00            |                             |                      |                    |
| 38.10   | 1 <sup>1/2</sup> POLEG.              | 0.00            | 0.00                             | 0.00                         | 0.00                     | 100.00            |                             |                      |                    |
| 25.40   | 1 POLEG.                             | 48.80           | 41.04                            | 4.92                         | 4.92                     | 95.08             |                             |                      |                    |
| 19.10   | 3/4 POLEG.                           | 111.06          | 93.40                            | 11.20                        | 16.12                    | 83.88             |                             |                      |                    |
| 9.52  | 3/8 POLEG.                           | 126.52          | 106.40                           | 12.76                        | 28.88                    | 71.12             |                             |                      |                    |
| 4.76  | N° 4                                 | 123.61          | 103.96                           | 12.47                        | 41.35                    | 58.65             |                             |                      |                    |
| 2.00  | N° 10                                | 75.12           | 63.18                            | 7.58                         | 48.92                    | 51.08             |                             |                      |                    |
| 1.19  | N° 16                                | 4.67            | 3.93                             | 2.01                         | 50.93                    | 49.07             |                             |                      |                    |
| 0.60  | N° 30                                | 5.64            | 4.74                             | 2.42                         | 53.35                    | 46.65             |                             |                      |                    |
| 0.42  | N° 40                                | 4.91            | 4.13                             | 2.11                         | 55.46                    | 44.54             |                             |                      |                    |
| 0.25  | N° 60                                | 18.32           | 15.41                            | 7.87                         | 63.33                    | 36.67             |                             |                      |                    |
| 0.15  | N° 100                               | 25.20           | 21.19                            | 10.82                        | 74.16                    | 25.84             |                             |                      |                    |
| 0.074   | N° 200                               | 20.11           | 16.91                            | 8.64                         | 82.79                    | 17.21             |                             |                      |                    |
| <b>SEDIMENTAÇÃO</b>                                 |                                      |                 |                                  |                              |                          |                   |                             |                      |                    |
| DATA  | HORA                                 | TEMPO DECORRIDO | LEITURA NO DENSÍMETRO            | TEMPERATURA °C               | CORREÇÃO DA TEMPERATURA  | LEITURA CORRIGIDA | DIÂMETRO DOS GRÃOS          | % DA AMOSTRA PARCIAL | % DA AMOSTRA TOTAL |
| 19-fev  | 9:45                                 | 30 SEGUND.      | 16.00                            | 29.0                         | -1.0                     | 15.00             | 0.0539                      | 20.04                | 10.23              |
| 19-fev  | 9:46                                 | 1 MINUTO        | 13.00                            | 29.0                         | -1.0                     | 12.00             | 0.0381                      | 16.03                | 8.19               |
| 19-fev  | 9:47                                 | 2 MINUTOS       | 12.00                            | 29.0                         | -1.0                     | 11.00             | 0.0286                      | 14.69                | 7.50               |
| 19-fev  | 9:49                                 | 4 MINUTOS       | 11.00                            | 29.0                         | -1.0                     | 10.00             | 0.0202                      | 13.36                | 6.82               |
| 19-fev  | 9:53                                 | 8 MINUTOS       | 11.00                            | 29.0                         | -1.0                     | 10.00             | 0.0143                      | 13.36                | 6.82               |
| 19-fev  | 10:00                                | 15 MINUTOS      | 11.00                            | 29.0                         | -1.0                     | 10.00             | 0.0104                      | 13.36                | 6.82               |
| 19-fev  | 10:15                                | 30 MINUTOS      | 11.00                            | 30.0                         | -1.0                     | 10.00             | 0.0078                      | 13.36                | 6.82               |
| 19-fev  | 10:45                                | 1 HORA          | 10.00                            | 30.0                         | -1.0                     | 9.00              | 0.0055                      | 12.02                | 6.14               |
| 19-fev  | 11:45                                | 2 HORAS         | 10.00                            | 30.0                         | -1.0                     | 9.00              | 0.0039                      | 12.02                | 6.14               |
| 19-fev  | 13:45                                | 4 HORAS         | 10.00                            | 30.0                         | -1.0                     | 9.00              | 0.0028                      | 12.02                | 6.14               |
| 19-fev  | 17:45                                | 8 HORAS         | 10.00                            | 30.0                         | -1.0                     | 9.00              | 0.0019                      | 12.02                | 6.14               |
| 20-fev  | 9:45                                 | 24 HORAS        | 9.00                             | 29.0                         | -1.0                     | 8.00              | 0.0011                      | 10.69                | 5.46               |
| CLASSIFICAÇÃO: GM e GC-Pedregulho argiloso e silto. |                                      |                 |                                  |                              |                          |                   |                             |                      |                    |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS: 2.700 gm/cm              |                                      |                 |                                  |                              |                          |                   |                             |                      |                    |



## APÊNDECE G - GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO VILA EDUARDO 2

|                                       |                                       |                 |                                  |                    |                              |                   |                             |                      |                          |        |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|--------|
| Registro n.º:<br>05-A                 | Local: Vila Eduardo                   |                 |                                  |                    | Laboratorista: Maria Damiana |                   | Visto:                      |                      |                          |        |
|                                       | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |                 |                                  |                    |                              |                   |                             |                      | Amostra n.º: 5-A         |        |
|                                       | DENSÍMETRO                            |                 | AMOSTRA TOTAL SECA               |                    | UMIDADE HIGROSCÓPICA         |                   | RESUMO                      |                      |                          |        |
| AMOSTRA TOTAL ÚMIDA                   |                                       | 1.000.00        |                                  | CÁPSULA N°         |                              | 3                 |                             | PEDREGULHO%          | 0.88                     |        |
| N° 01                                 | RETIDO NA #N° 10                      |                 | 4.80                             |                    | SOLO ÚMIDO + TARA            |                   | 67.49                       |                      | AREIA GROSSA%            | 2.27   |
|                                       | PASS. NA # N° 10 - ÚMIDO              |                 | 995.20                           |                    | SOLO SECO + TARA             |                   | 67.44                       |                      | AREIA MÉDIA%             | 66.68  |
| PROVETA                               | PASS. NA # N° 10 - SECO               |                 | 994.08                           |                    | TARA                         |                   | 22.98                       |                      | AREIA FINA%              | 22.18  |
|                                       | PESO DA ÁGUA                          |                 | 1.12                             |                    | ÁGUA                         |                   | 0.05                        |                      | PASS. NA # N° 200%       | 7.99   |
| N° 01                                 | AMOSTRA TOTAL SECA                    |                 | 998.88                           |                    | SOLO SECO                    |                   | 44.46                       |                      | TOTAL%                   | 100.00 |
|                                       | AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA                 |                 | 120.00                           |                    | UMIDADE                      |                   | 0.11                        |                      | DEFLOCULANTE:            |        |
|                                       | AMOSTRA PARCIAL SECA                  |                 | 119.87                           |                    | FATOR DE CONVERSÃO           |                   | 0.999                       |                      | HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO |        |
| PENEIRA (mm)                          | PENEIRA                               | MATERIAL RETIDO |                                  |                    |                              |                   | % QUE PASSADA AMOSTRA TOTAL |                      |                          |        |
|                                       |                                       | PESO (g)        | % DA AMOSTRA MENOR QUE A # N° 10 | % DA AMOSTRA TOTAL | % ACUMULADA                  |                   |                             |                      |                          |        |
| 50.80                                 | 2 POLEG.                              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00            |                             |                      |                          |        |
| 38.10                                 | 1 <sup>1/2</sup> POLEG.               | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00            |                             |                      |                          |        |
| 25.40                                 | 1 POLEG.                              | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00            |                             |                      |                          |        |
| 19.10                                 | 3/4 POLEG.                            | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00            |                             |                      |                          |        |
| 12.70                                 | 1/2 POLEG.                            | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00            |                             |                      |                          |        |
| 9.52                                  | 3/8 POLEG.                            | 0.00            | 0.00                             | 0.00               | 0.00                         | 100.00            |                             |                      |                          |        |
| 4.76                                  | N° 4                                  | 4.00            | 3.34                             | 0.40               | 0.40                         | 99.60             |                             |                      |                          |        |
| 2.00                                  | N° 10                                 | 4.80            | 4.00                             | 0.48               | 0.88                         | 99.12             |                             |                      |                          |        |
| 1.19                                  | N° 16                                 | 0.35            | 0.29                             | 0.29               | 1.17                         | 98.83             |                             |                      |                          |        |
| 0.59                                  | N° 30                                 | 2.39            | 1.99                             | 1.98               | 3.15                         | 96.85             |                             |                      |                          |        |
| 0.42                                  | N° 40                                 | 5.75            | 4.80                             | 4.75               | 7.90                         | 92.10             |                             |                      |                          |        |
| 0.25                                  | N° 60                                 | 38.06           | 31.75                            | 31.47              | 39.37                        | 60.63             |                             |                      |                          |        |
| 0.15                                  | N° 100                                | 36.83           | 30.73                            | 30.46              | 69.83                        | 30.17             |                             |                      |                          |        |
| 0.074                                 | N° 200                                | 21.29           | 17.76                            | 17.61              | 87.43                        | 12.57             |                             |                      |                          |        |
| <b>SEDIMENTAÇÃO</b>                   |                                       |                 |                                  |                    |                              |                   |                             |                      |                          |        |
| DATA                                  | HORA                                  | TEMPO DECORRIDO | LEITURA NO DENSÍMETRO            | TEMPERATURA °C     | CORREÇÃO DA TEMPERATURA      | LEITURA CORRIGIDA | DIÂMETRO DOS GRÃOS          | % DA AMOSTRA PARCIAL | % DA AMOSTRA TOTAL       |        |
| 15-fev                                | 9:29                                  | 30 SEGUND.      | 7.00                             | 29.0               | -1.0                         | 6.00              | 0.0549                      | 8.06                 | 7.99                     |        |
| 15-fev                                | 9:30                                  | 1 MINUTO        | 6.00                             | 29.0               | -1.0                         | 5.00              | 0.0388                      | 6.71                 | 6.66                     |        |
| 15-fev                                | 9:31                                  | 2 MINUTOS       | 5.00                             | 29.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0291                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 9:33                                  | 4 MINUTOS       | 5.00                             | 29.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0206                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 9:37                                  | 8 MINUTOS       | 5.00                             | 30.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0146                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 9:44                                  | 15 MINUTOS      | 5.00                             | 30.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0106                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 9:59                                  | 30 MINUTOS      | 5.00                             | 30.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0079                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 10:29                                 | 1 HORA          | 5.00                             | 30.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0056                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 11:29                                 | 2 HORAS         | 5.00                             | 30.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0040                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 13:29                                 | 4 HORAS         | 5.00                             | 30.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0028                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 15-fev                                | 17:29                                 | 8 HORAS         | 5.00                             | 30.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0020                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| 16-fev                                | 10:29                                 | 25 HORAS        | 5.00                             | 29.0               | -1.0                         | 4.00              | 0.0011                      | 5.37                 | 5.32                     |        |
| CLASSIFICAÇÃO: SM-Areia siltosa       |                                       |                 |                                  |                    |                              |                   |                             |                      |                          |        |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS: 2.640 g/cm |                                       |                 |                                  |                    |                              |                   |                             |                      |                          |        |

### GRÁFICO DA SEDIMENTAÇÃO

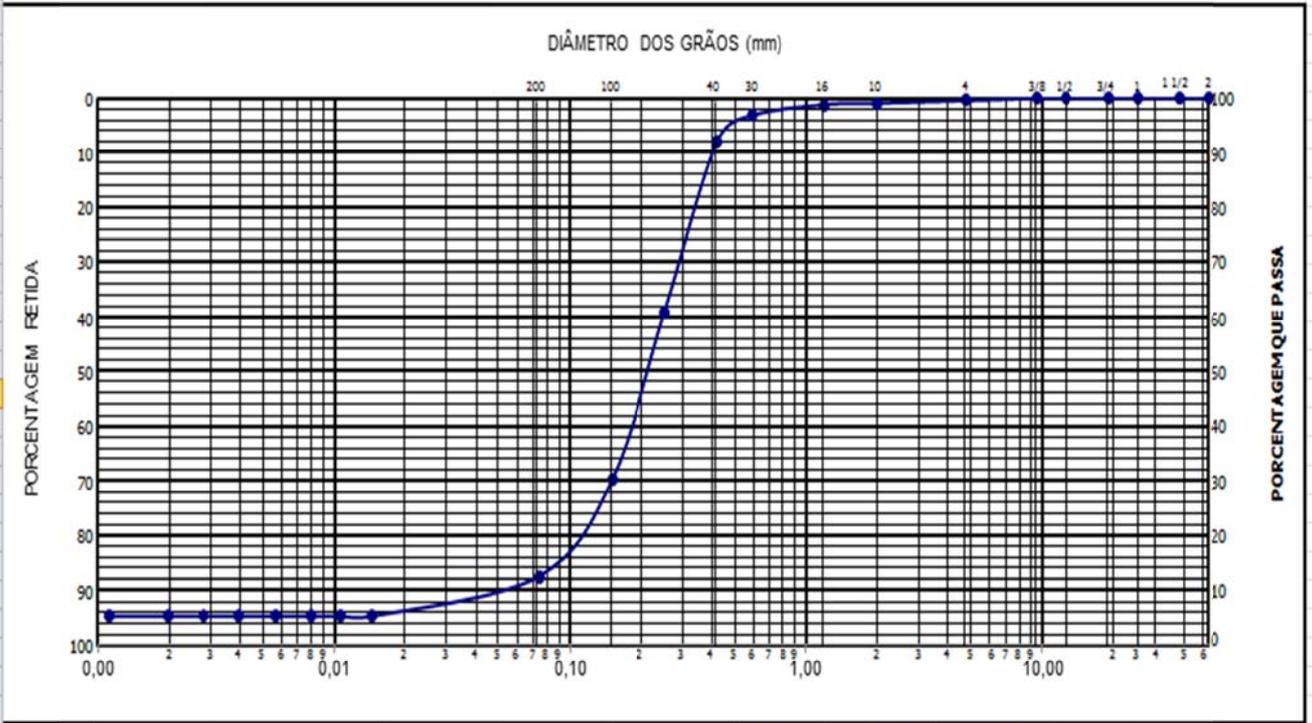
**LOCAL: VILA EDUARDO**

Amostra n.º : 05-A

PESQUISADI

Operador: Maria Damiana

Visto:



|               |   |              |   |              |       |        |        |                |       |
|---------------|---|--------------|---|--------------|-------|--------|--------|----------------|-------|
|               |   |              |   |              |       |        |        |                |       |
|               |   |              |   | FINA         | MÉDIA | GROSSA |        |                |       |
| <b>ARGILA</b> | % | <b>SILTE</b> | % | <b>AREIA</b> |       |        | 91,13% | <b>PEDREG.</b> | 0,88% |

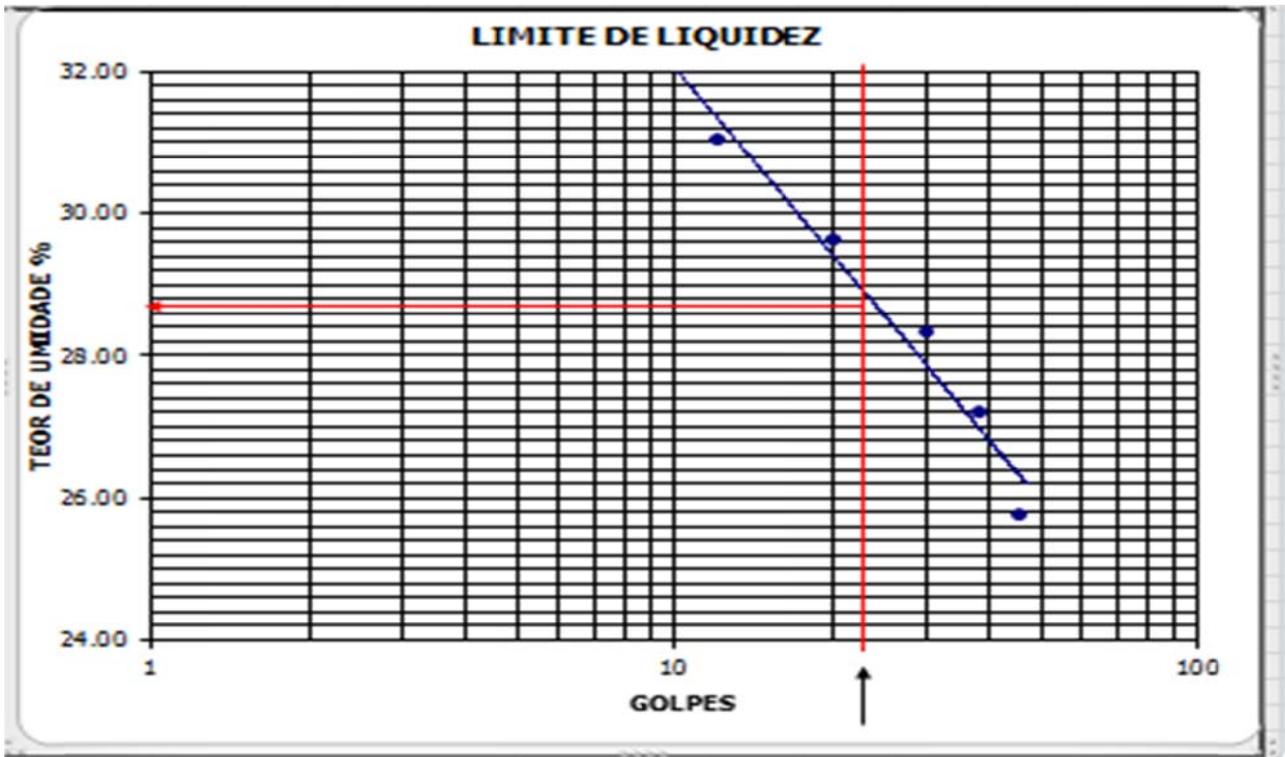
APÊNDECE H - LIMITES DE ATTERBERG JARDIM AMAZONAS

|                     |  |                              |        |
|---------------------|--|------------------------------|--------|
| Registro<br>n.º: 03 | Local: Jardim Amazonas                   | Laboratorista: Maria Damiana | Visto: |
|                     | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes<br>Ribeiro | Amostra n.º : 03             |        |

| AMOSTRA (g)       | LIMITE DE LIQUIDEZ |       |       |       |       | LIMITE DE PLASTICIDADE |       |       |       |       |
|-------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Cápsula n.º       | 01                 | 02    | 03    | 04    | 05    | 13                     | 14    | 15    | 16    | 17    |
| Peso bruto úmido  | 43.17              | 46.13 | 43.36 | 40.29 | 47.80 | 24.52                  | 25.30 | 27.09 | 21.99 | 25.73 |
| Peso bruto seco   | 37.64              | 40.93 | 38.86 | 36.58 | 42.83 | 24.18                  | 24.89 | 26.68 | 21.62 | 25.31 |
| Peso da cápsula   | 19.84              | 23.38 | 22.99 | 22.95 | 23.53 | 22.34                  | 22.88 | 24.62 | 19.74 | 23.22 |
| Peso da água      | 5.53               | 5.20  | 4.50  | 3.71  | 4.97  | 0.34                   | 0.41  | 0.41  | 0.37  | 0.42  |
| Peso do solo seco | 17.80              | 17.55 | 15.87 | 13.63 | 19.30 | 1.84                   | 2.01  | 2.06  | 1.88  | 2.09  |
| % de água         | 31.07              | 29.63 | 28.36 | 27.22 | 25.75 | 18.48                  | 20.40 | 19.90 | 19.68 | 20.10 |
| Golpes            | 12                 | 20    | 30    | 38    | 45    |                        |       |       |       |       |

RESUMO DOS ENSAIOS

|                         |       |                                    |
|-------------------------|-------|------------------------------------|
| LIMITE DE LIQUIDEZ %    | 28.65 | OBSERVAÇÕES:<br><br>Areia argilosa |
| LIMITE DE PLASTICIDADE% | 19.71 |                                    |
| ÍNDICE DE PLASTICIDADE% | 8.94  |                                    |
|                         |       |                                    |
|                         |       |                                    |



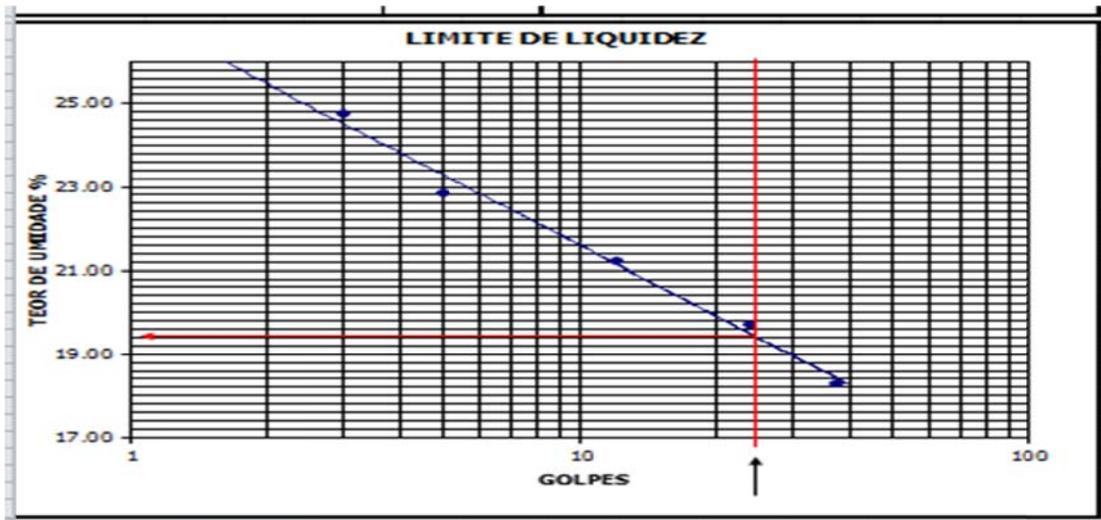
APÊNDECE I - LIMITES DE ATTERBERG DOM MALAN

|                     |                                       |                              |                 |
|---------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Registro<br>n.º: 04 | Local: Dom Malan                      | Laboratorista: Maria Damiana | Visto:          |
|                     | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |                              | Amostra n.º: 04 |
|                     |                                       |                              |                 |

| AMOSTRA (g)       | LIMITE DE LIQUIDEZ |       |       |       |       | LIMITE DE PLASTICIDADE |       |       |       |       |
|-------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                   | 5                  | 6     | 7     | 8     | 9     | 15                     | 16    | 17    | 18    | 19    |
| Cápsula n.º       |                    |       |       |       |       |                        |       |       |       |       |
| Peso bruto úmido  | 46.13              | 46.54 | 46.82 | 44.59 | 46.13 | 20.67                  | 23.42 | 23.73 | 25.74 | 25.31 |
| Peso bruto seco   | 41.10              | 42.42 | 42.05 | 40.61 | 41.94 | 20.36                  | 23.10 | 23.37 | 25.41 | 25.00 |
| Peso da cápsula   | 20.78              | 24.41 | 19.59 | 20.43 | 19.03 | 18.36                  | 20.97 | 21.09 | 23.16 | 23.00 |
| Peso da água      | 5.03               | 4.12  | 4.77  | 3.98  | 4.19  | 0.31                   | 0.32  | 0.36  | 0.33  | 0.31  |
| Peso do solo seco | 20.32              | 18.01 | 22.46 | 20.18 | 22.91 | 2.00                   | 2.13  | 2.28  | 2.25  | 2.00  |
| % de água         | 24.75              | 22.88 | 21.24 | 19.72 | 18.29 | 15.50                  | 15.02 | 15.79 | 14.67 | 15.50 |
| Golpes            | 3                  | 5     | 12    | 24    | 37    |                        |       |       |       |       |

RESUMO DOS ENSAIOS

|                         |       |                                   |
|-------------------------|-------|-----------------------------------|
| LIMITE DE LIQUIDEZ %    | 19.43 | OBSERVAÇÕES<br><br>Areia argilosa |
| LIMITE DE PLASTICIDADE% | 15.30 |                                   |
| ÍNDICE DE PLASTICIDADE% | 4.13  |                                   |
|                         |       |                                   |
|                         |       |                                   |



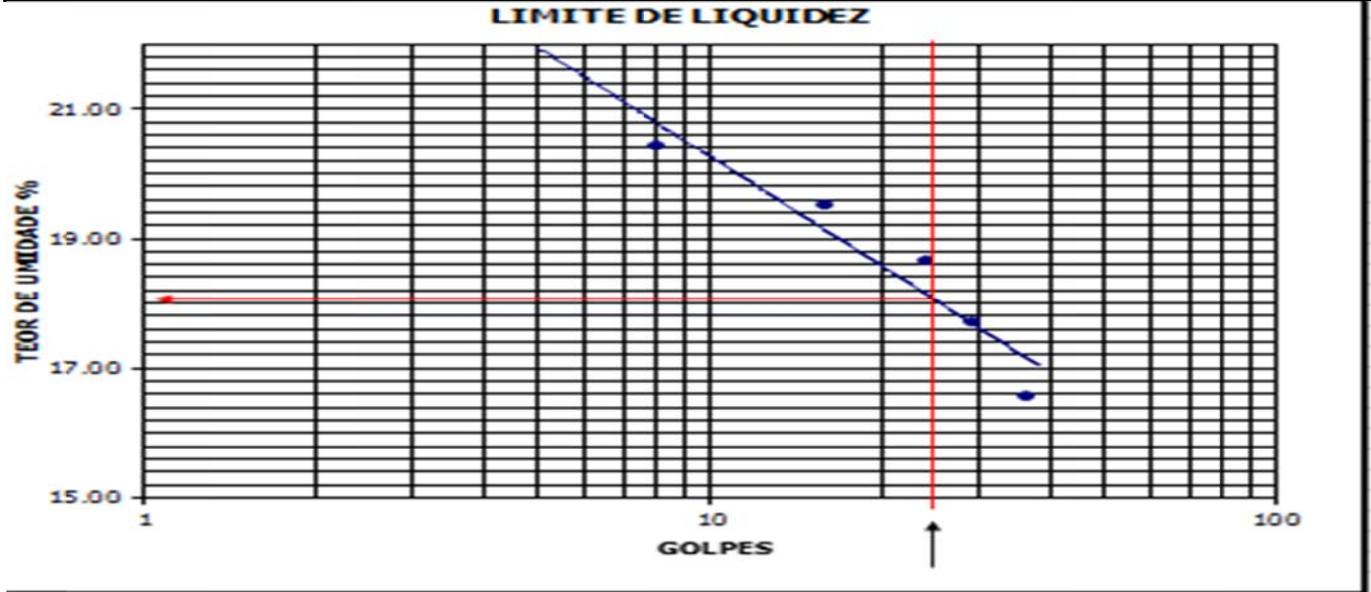
APÊNDECE J - LIMITES DE ATTERBERG VILA EDUARDO

|                  |                                       |                              |        |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------|
| Registro n.º: 05 | Local: Vila Eduardo                   | Laboratorista: Maria Damiana | Visto: |
|                  |                                       |                              |        |
|                  | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro | Amostra n.º: 05              |        |

| AMOSTRA (g)       | LIMITE DE LIQUIDEZ |       |       |       |       | LIMITE DE PLASTICIDADE |       |       |       |       |
|-------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                   | 01                 | 02    | 03    | 04    | 05    | 13                     | 14    | 15    | 16    | 17    |
| Cápsula n.º       |                    |       |       |       |       |                        |       |       |       |       |
| Peso bruto úmido  | 53.67              | 49.69 | 52.61 | 50.00 | 51.99 | 25.19                  | 26.36 | 27.87 | 23.53 | 26.57 |
| Peso bruto seco   | 47.92              | 45.39 | 47.95 | 45.93 | 47.94 | 24.82                  | 25.90 | 27.45 | 23.04 | 26.13 |
| Peso da cápsula   | 19.80              | 23.38 | 22.98 | 22.95 | 23.53 | 22.39                  | 22.88 | 24.61 | 19.74 | 23.22 |
| Peso da água      | 5.75               | 4.30  | 4.66  | 4.07  | 4.05  | 0.37                   | 0.46  | 0.42  | 0.49  | 0.44  |
| Peso do solo seco | 28.12              | 22.01 | 24.97 | 22.98 | 24.41 | 2.43                   | 3.02  | 2.84  | 3.30  | 2.91  |
| % de água         | 20.45              | 19.54 | 18.66 | 17.71 | 16.59 | 15.23                  | 15.23 | 14.79 | 14.85 | 15.12 |
| Golpes            | 8                  | 16    | 24    | 29    | 36    |                        |       |       |       |       |

RESUMO DOS ENSAIOS

|                         |       |  |
|-------------------------|-------|--|
| LIMITE DE LIQUIDEZ %    | 18.25 | OBSERVAÇÕES<br><br>Pedregulho argiloso e siltoso |
| LIMITE DE PLASTICIDADE% | 15.04 |  |
| ÍNDICE DE PLASTICIDADE% | 3.21  |  |
| CLASSIFICAÇÃO HRB       |       |  |
| ÍNDICE DE GRUPO         |       |  |
| CLASSIFICAÇÃO USC       |       |  |



## APÊNDECE K - ENSAIOS DE SOLO PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS

|          |                                       |           |               |
|----------|---------------------------------------|-----------|---------------|
| Local:   | Raso da Catarina (Vila Eulália)       |           |               |
| Reg. Nº: | 1-A                                   | Operador: | Maria Damiana |
|          |                                       | Visto:    |               |
|          | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |           | Amostra: 1-A  |

| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS                                     |                      |        |  |
|---|----------------------|--------|--|
| PICNÔMETRO  | ( N°)                | 1-A    |  |
| PESO DO PICNÔMETRO  | (g)                  |        |  |
| PESO DO SOLO (A)  | (g)                  | 60.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO                                     | (g)                  | 60.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)                           | (g)                  | 709.60 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA FERVIDA                      | (g)                  | 746.60 |  |
| TEMPERATURA DO ENSAIO   | (°C)                 | 29     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)-PESO DO PICNÔMETRO (B)    | (g)                  | 709.60 |  |
| PESO DO PICN. + SOLO + ÁGUA(FERV.) - PESO DO PICN. + SOLO (C) | (g)                  | 686.60 |  |
| ( B ) - ( C ) - (D)   | (g)                  | 23.00  |  |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS ( A )/( D )                         | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.61   |  |
| MÉDIA   | (g/cm <sup>3</sup> ) |        |  |

|          |                                       |           |               |
|----------|---------------------------------------|-----------|---------------|
| Local:   | Raso da Catarina                      |           |               |
| Reg. Nº: | 01                                    | Operador: | Maria Damiana |
|          |                                       | Visto:    |               |
|          | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |           | Amostra: 01   |

| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS                                     |                      |        |  |
|---|----------------------|--------|--|
| PICNÔMETRO  | ( N°)                | 01     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO  | (g)                  | 160.62 |  |
| PESO DO SOLO (A)  | (g)                  | 60.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO                                     | (g)                  | 220.62 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)                           | (g)                  | 700.60 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA (FERVIDA)                    | (g)                  | 737.90 |  |
| TEMPERATURA DO ENSAIO   | (°C)                 | 29     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)-PESO DO PICNÔMETRO (B)    | (g)                  | 539.98 |  |
| PESO DO PICN. + SOLO + ÁGUA(FERV.) - PESO DO PICN. + SOLO (C) | (g)                  | 517.28 |  |
| ( B ) - ( C ) - (D)   | (g)                  | 22.70  |  |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS ( A )/( D )                         | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.64   |  |
| MÉDIA   | (g/cm <sup>3</sup> ) |        |  |

|           |                                       |           |               |
|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------|
| Local:    | Antônio Cassimiro                     |           |               |
|           |                                       | Operador: | Maria Damiana |
|           |                                       | Visto:    |               |
| Furo : 02 | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro |           | Amostra: 02   |

| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS                                     |                      |        |  |
|---|----------------------|--------|--|
| PICNÔMETRO  | ( N°)                | 02     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO  | (g)                  | 143.02 |  |
| PESO DO SOLO (A)  | (g)                  | 60.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO                                     | (g)                  | 203.02 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)                           | (g)                  | 690.80 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA (FERVIDA)                    | (g)                  | 728.30 |  |
| TEMPERATURA DO ENSAIO   | (°C)                 | 29     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)-PESO DO PICNÔMETRO (B)    | (g)                  | 547.78 |  |
| PESO DO PICN. + SOLO + ÁGUA(FERV.) - PESO DO PICN. + SOLO (C) | (g)                  | 525.28 |  |
| ( B ) - ( C ) (D)   | (g)                  | 22.50  |  |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS ( A )/( D )                         | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.67   |  |
| MÉDIA   | (g/cm <sup>3</sup> ) |        |  |

|                        |                               |             |
|------------------------|-------------------------------|-------------|
| Local: Jardim Amazonas | Operador: Maia Damiana        | Visto:      |
| Furo: 03               | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes | Amostra: 03 |

| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS                                      |                      |        |  |
|--|----------------------|--------|--|
| PICNÔMETRO   | ( N°)                | 03     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO   | (g)                  | 148.22 |  |
| PESO DO SOLO (A)   | (g)                  | 50.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO                                      | (g)                  | 198.22 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)                            | (g)                  | 688.70 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA (FERVIDA)                     | (g)                  | 718.80 |  |
| TEMPERATURA DO ENSAIO  | (°C)                 | 29     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)-PESO DO PICNÔMETRO (B)     | (g)                  | 540.48 |  |
| PESO DO PICN. + SOLO + ÁGUA (FERV.) - PESO DO PICN. + SOLO (C) | (g)                  | 520.58 |  |
| ( B ) - ( C ) (D)  | (g)                  | 19.90  |  |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS ( A )/( D )                          | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.51   |  |
| MÉDIA  | (g/cm <sup>3</sup> ) |        |  |

|                  |                                       |             |
|------------------|---------------------------------------|-------------|
| Local: Dom Malan | Operador: Maria Damiana               | Visto:      |
| Furo: 04         | Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro | Amostra: 04 |

### PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS

|   |                      |        |  |
|---|----------------------|--------|--|
| PICNÔMETRO  | ( N°)                | 04     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO  | (g)                  | 146.31 |  |
| PESO DO SOLO (A)  | (g)                  | 50.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO                                     | (g)                  | 196.31 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)                           | (g)                  | 687.40 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA (FERVIDA)                    | (g)                  | 717.90 |  |
| TEMPERATURA DO ENSAIO   | (°C)                 | 29     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)-PESO DO PICNÔMETRO (B)    | (g)                  | 541.09 |  |
| PESO DO PICN. + SOLO + ÁGUA(FERV.) - PESO DO PICN. + SOLO (C) | (g)                  | 521.59 |  |
| ( B ) - ( C ) (D)   | (g)                  | 19.50  |  |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS ( A )/( D )                         | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.56   |  |
| MÉDIA   | (g/cm <sup>3</sup> ) |        |  |

Local: Vila Eduardo

Operador: Maria Damiana

Visto:

Furo : 05 -  
A

Pesquisador: Ariosvaldo Gomes Ribeiro

Amostra: 5-A

### PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS

|   |                      |        |  |
|---|----------------------|--------|--|
| PICNÔMETRO  | ( N°)                | 5-A    |  |
| PESO DO PICNÔMETRO  | (g)                  | 182.90 |  |
| PESO DO SOLO (A)  | (g)                  | 60.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO                                     | (g)                  | 242.90 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)                           | (g)                  | 713.50 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA FERVIDA                      | (g)                  | 750.80 |  |
| TEMPERATURA DO ENSAIO   | (°C)                 | 29     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)-PESO DO PICNÔMETRO (B)    | (g)                  | 530.60 |  |
| PESO DO PICN. + SOLO + ÁGUA(FERV.) - PESO DO PICN. + SOLO (C) | (g)                  | 507.90 |  |
| ( B ) - ( C ) (D)   | (g)                  | 22.70  |  |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS ( A )/( D )                         | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.64   |  |
| MÉDIA   | (g/cm <sup>3</sup> ) |        |  |

Local Vila Eduardo

Operador: Maria Damiana

Visto:

Furo: 05 Pesquisador: Ariosvaldo Gomes  
Ribeiro

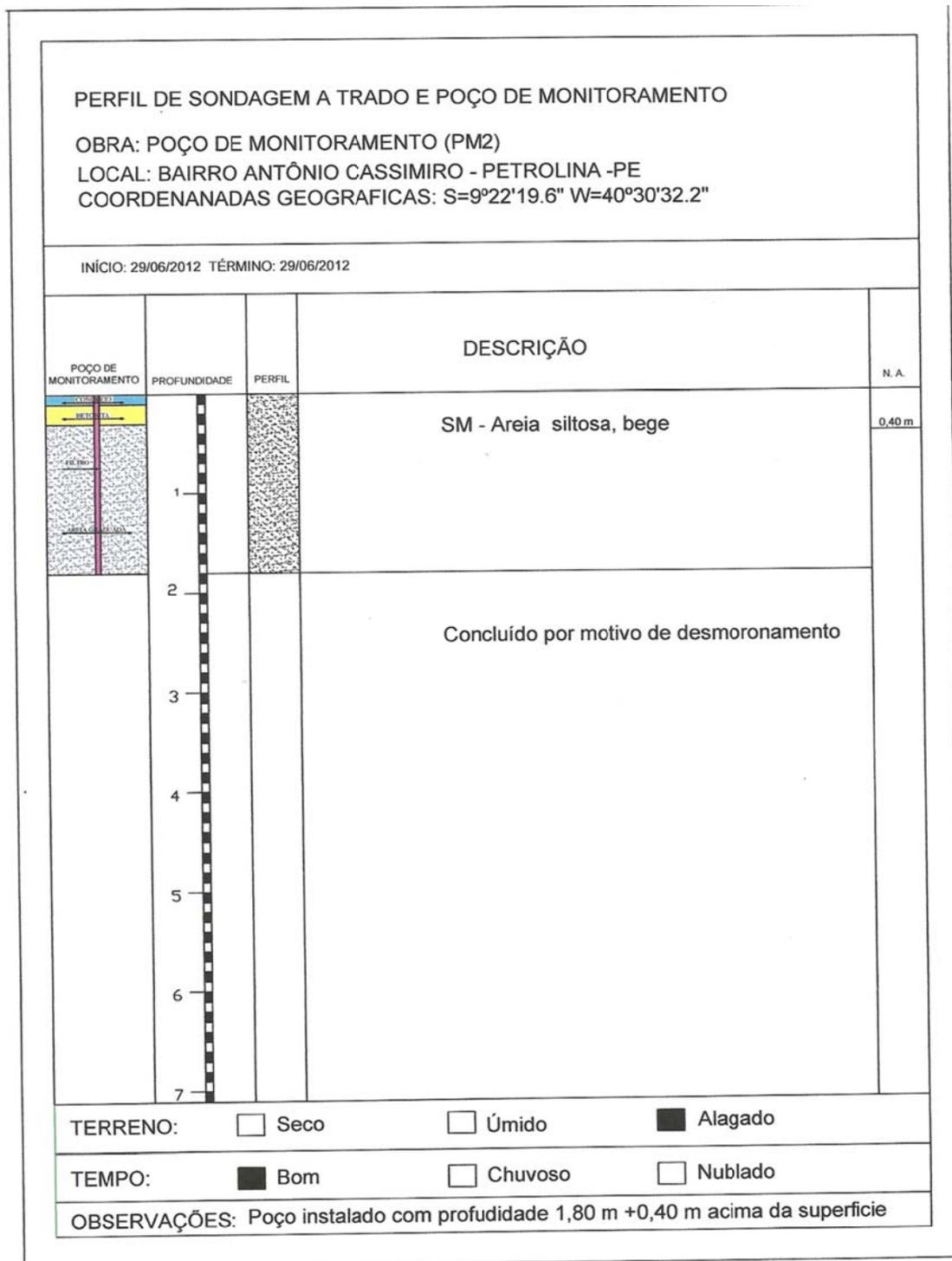
Amostra: 05

| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS                                     |                      |        |  |
|---|----------------------|--------|--|
| PICNÔMETRO  | ( N°)                | 05     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO  | (g)                  | 203.71 |  |
| PESO DO SOLO (A)  | (g)                  | 50.00  |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO                                     | (g)                  | 253.71 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)                           | (g)                  | 729.60 |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA FERVIDA                      | (g)                  | 761.10 |  |
| TEMPERATURA DO ENSAIO   | (°C)                 | 29     |  |
| PESO DO PICNÔMETRO + ÁGUA (INICIAL)-PESO DO PICNÔMETRO (B)    | (g)                  | 525.89 |  |
| PESO DO PICN. + SOLO + ÁGUA(FERV.) - PESO DO PICN. + SOLO (C) | (g)                  | 507.39 |  |
| ( B ) - ( C ) (D)   | (g)                  | 18.50  |  |
| PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS ( A )/( D )                         | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.70   |  |
| MÉDIA   | (g/cm <sup>3</sup> ) |        |  |

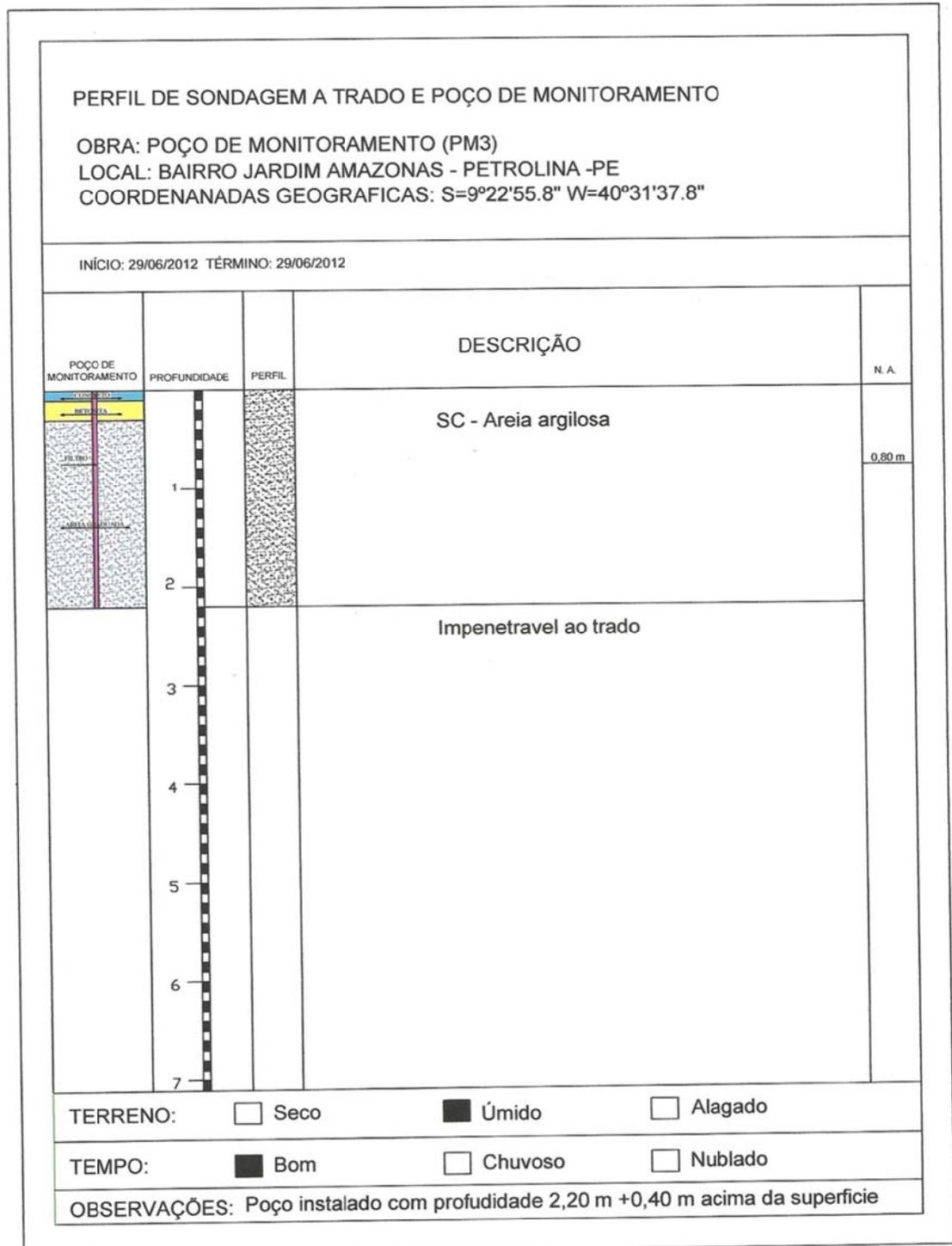
APÊNDECE L - PERFIL DE SONDAGEM RASO DA CATARINA

| PERFIL DE SONDAGEM A TRADO E POÇO DE MONITORAMENTO<br>OBRA: POÇO DE MONITORAMENTO (PM1)<br>LOCAL: RASO DA CATARINA - PETROLINA -PE<br>COORDENANADAS GEOGRAFICAS: S=09°22'08.7" W=40°30'11.4" |              |        |                                 |        |
|--|--------------|--------|---------------------------------|--------|
| INÍCIO: 28/06/2012 TÉRMINO: 28/06/2012   |              |        |                                 |        |
| POÇO DE MONITORAMENTO  | PROFUNDIDADE | PERFIL | DESCRIÇÃO                       | N. A.  |
|  |              |        | SM - Areia fina siltosa, marron | 1,40 m |
|  |              |        | Impenetravel ao trado           |        |
| TERRENO: <input type="checkbox"/> Seco <input checked="" type="checkbox"/> Úmido <input type="checkbox"/> Alagado  |              |        |                                 |        |
| TEMPO: <input checked="" type="checkbox"/> Bom <input type="checkbox"/> Chuvoso <input type="checkbox"/> Nublado   |              |        |                                 |        |
| OBSERVAÇÕES: Poço instalado com profundidade 2,00 m +0,40 m acima da superficie  |              |        |                                 |        |

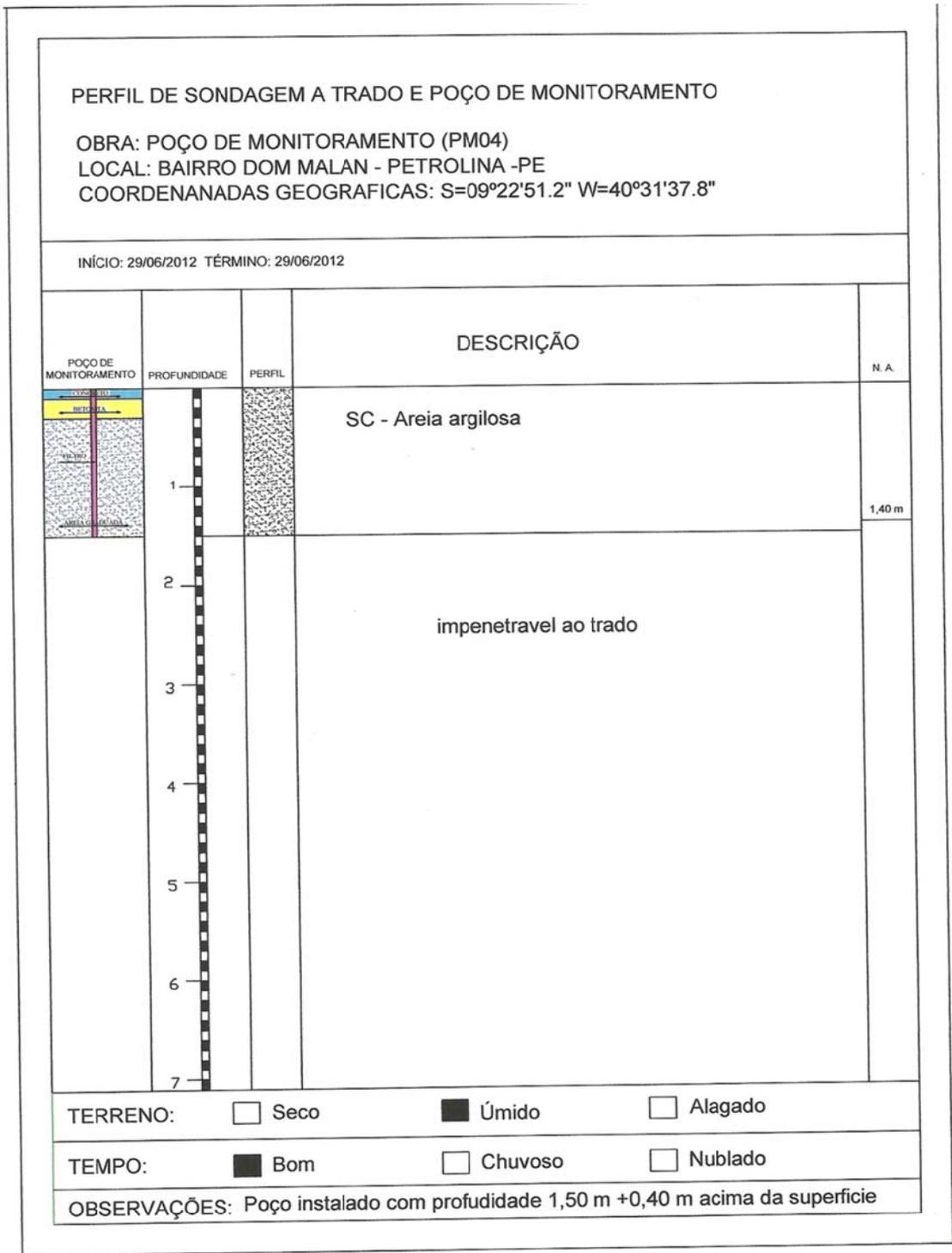
APÊNDECE M - PERFIL DE SONDAGEM ANTÔNIO CASSIMIRO



## APÊNDECE N- PERFIL DE SONDAGEM JARDIM AMAZONAS



APÊNDECE O - PERFIL DE SONDAGEM DOM MALAN



APÊNDECE P - PERFIL DE SONDAGEM VILA EDUARDO

