Ministério da Educação

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologia e Geociências

Programa de Pos-Graduação em Engenharia Mineral

PPGEMinas - UFPE

“DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA POLUIÇÃO SULFÁTICA NO MUNICÍPIO DE ARARIPINA, ATRAVÉS DA HIDROQUÍMICA DE ÁGUAS DE SUPERFÍCIE”

Gerlânia Brasiliana de Arruda

Trabalho realizado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas, UFPE

Recife, 2012

Catalogação na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

A779d Arruda, Gerlânia Brasiliana de.
Diagnóstico ambiental da poluição sulfática no Município de Araripina, através da Hidroquímica de águas de superfície / Gerlânia Brasiliana de Arruda. – Recife: O Autor, 2012.
xiii, 58f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Kênia Valença Correia.
Co-Orientador: Prof. Dr. Eldemar de Albuquerque Menor.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEMinas, 2012.
Inclui Referências.

1. Engenharia Mineral. 2. Hidrogeoquímica. *3.* Contaminações Sulfatos/Cloretos. 4. Águas Represadas . 5. Araripina. 6. Nordeste do Brasil. I. Correia, Kênia Valença (Orientadora). II. Menor, Eldemar Albuquerque (Co-Orientador). III. Título.

622.35 CDD (22.ed) UFPE/BCTG-2012/233

GERLANIA BRASILANA DE ARRUDA

Submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas, como parte dos requisitos para obtenção de Título de Mestre

Área de concentração: Minerais Industriais

Linha de pesquisa: CONTROLE E GESTÃO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO

Orientadores:

Prof. Drª Kênia Valença

Departamento de Ciências Biológicas, UFPE

Prof. Dr. Eldemar Menor

Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

Recife, 2012

Dedicado á

Minha mãe Irene e ao meu namorado José Eustáquio.

Agradecimentos

Agradecer é reconhecimento, posto que todos nós sabemos que a produção de uma dissertação significa a realização de um dos sonhos na vida de profissionais dedicados à ciência.

Nomear as pessoas é uma tarefa difícil, visto que de muitos pode nos ocorrer de nem lembrar os nomes. Agradeço em primeira instância aos meus não só amigos, mas ídolos e orientadores: Dr. Kênia Correa Valença e Dr. Eldemar Albuquerque Menor, por suas condutas de generosidade aprendizagem e humildade. Aos professores e funcionários UFPE, em especial aos do PPGMinas; CAPES e CPRM que me apoiaram neste projeto, contribuindo para a grandeza de nosso país.

Agradeço com todo orgulho e gratidão à minha mãe Irene Brasiliana de Sales, e com toda a saudade a meu pai Severino Jose de Arruda (*in memorian*) que colocaram em minhas mãos as ferramentas com as quais abrimos o caminho para novos horizontes. Aos meus irmãos, que são meus tesouros; cunhados que me apoiaram e sobrinhos, em especial: Tiago e Alan Anderson, pois vivenciaram comigo parte da rotina desta instituição. Ao meu namorado José Eustáquio Brainer Neto, que acompanha minha trajetória desde antes da graduação, apoiando-me e proporcionando toda força necessária para vencer os obstáculos.

Agradecimentos também para Albertina Maria da Silva, José Nicolau da Silva, Tânia Pereira .e todos que me proporcionaram tranquilidade e confiança.

Aos membros da banca de qualificação pelo aporte de novas observações e sugestões, oportunas e válidas para finalização deste trabalho e, finalmente, aos amigos do Pós-graduação em Engenharia Mineral pela amizade e agradável convívio.

RESUMO

Propriedades físico-químicas de águas superficiais represadas (profundidade: 30 cm) da região de Araripina, envolvendo pH, condutividade, OD, STD, temperatura, sulfatos, cloretos e bicarbonatos, são apresentadas neste trabalho. Este estudo foi motivado por pesquisas médicas que indicaram a poeira de gesso como responsável por 38% das internações hospitalares locais. A amostragem, no final da estação chuvosa, pressupôs um máximo de lixiviação da poeira de gesso sedimentada em solos e vegetação. A partir de focos produtores, os resultados permitiram configurar halos hidroquímicos de contaminação originados pela lixiviação da poeira de gesso e por efluentes da produção de placas de gesso. Estes halos envolvem centenas de metros de extensão, orientados segundo a direção predominante dos ventos, determinando áreas de influência onde águas represadas e de subsuperfície estão contaminadas em SO_4^{--} (>250 mg/L até 813,9 mg/L) e em cloretos (>250 mg/L até 540 mg/L). Esta associação hidroquímica é atribuída à lixiviação de particulados de gesso e à provável presença de halita residual neste produto. A drenagem a jusante de Araripina revela contaminações por efluentes da produção de placas de gesso no domínio urbano, com contribuição adicional de efluentes domésticos sódicos e/ou clorados. No interior dos halos de dispersão de poeira/efluentes de gesso, águas represadas com concentrações elevadas em STD (>500 mg/L), cloretos (> 200 mg/L) e sulfatos (> 250 mg/L), estão inviáveis para consumo humano. Elevadas taxas de dissolução e de residência de sulfatos e cloretos, em meios líquidos, sugerem aumento de contaminações em sulfatos e cloretos nos corpos d'água estudados, ano após ano.

Palavras-chave: hidrogeoquímica, contaminações SO_4^{--}/cloretos, águas represadas, Araripina, Nordeste Brasil.

ABSTRACT

Physical and chemical properties of surface water impoundment (depth: 30 cm) in the region of Araripina involving pH, conductivity, DO, TDS, temperature, sulfates, chlorides and bicarbonates, are reported in this work. This study was motivated by medical research that indicated the plaster dust as responsible for 38% of the local hospital admissions. Sampling at the end of the rainy season, assumed a maximum leaching of plaster dust sedimented in soils and vegetation. Beginning in industrial points, the results indicated set of contaminated hydrochemical halos originated by plaster dust leaching and effluent from production of plaster boards. These halos extend for hundreds of meters long, oriented in the direction of prevailing winds, and determine which areas of influence and subsurface water reservoirs are contaminated in SO_4^{--} (>250 mg/L to 813.9 mg/L) and chlorides (>250 mg/L to 540 mg/L). This hydrochemical association is attributed to the leaching of sedimented plaster dust including a probable residual presence of halite in this product. Drainage downstream from Araripina reveals contamination attributable to the handmade production of plaster boards in the urban area, and possible additional contribution of sodium/chlorinated household products. Water reservoirs within the halos of plaster dust/waste dispersion that show high concentrations in STD (> 500 mg/L), chlorides (> 200 mg/L) and sulfates (> 250 mg/L), are infeasible for human consumption. High dissolution rates and residence time of sulfates and chlorides, in aqueous media, suggest increasing sulfates and chlorides contaminations in the water bodies studied, year after year.

Keywords: hydrogeochemistry, SO_4^{--} and chlorides contaminations, water reservoirs, Araripina, Northeastern Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Cronoestratigrafia da seqüência sedimentar da Bacia do Araripe (Assine, 1992)..... 6

Figura 02. Granulados e poeira de gipsita em unidade de cominuição, denominados genericamente como “gesso agrícola”. 10

Figura 03. Halo de dispersão mecânica de poeira de gesso a partir de unidade de calcinação. Fonte: Google Earth, 2010. 11

Figura 04. Emissão de poluentes sólidos e gasosos a partir de calcinadora da região de Araripina. Fonte: CPRH (2000). 12

Figura 05. Localização da área de estudo. Mapa-base: DNPM (1966), adaptado. 18

Figura 06. Equipamento OAKTON, modelo WP 600, Série Meters..... 24

Figura 07. Histograma do pH de amostras de águas de superfície e de subsuperfície de uma área de estudo na região de Araripina..... 27

Figura 08. Trecho do riacho Morais; curso contaminado por efluentes domésticos não tratados..... 28

Figura 09. Histograma dos valores de oxigênio dissolvido (OD) de águas de superfície/subsuperfície em uma área de estudo na região de Araripina, PE..... 30

Figura 10. Açude de pequena dimensão (amostragem G-14), raso, com significativo desenvolvimento algálico e indícios de eutrofização (OD = 2,42). Notar as margens secas do corpo hídrico. 30

Figura 11. Açude com pequena dimensão (OD= 3,11) raso, com indícios de eutrofização (amostragem G-27). 31

Figura 12. Histograma dos valores de STD de águas de superfície e de subsuperfície em uma área de estudo, da região de Araripina, Pernambuco. 33

Figura 13. Águas represadas no interior da Mina Supergesso, provenientes de ressurgência local... 33

Figura 14. Correlação linear entre a condutividade elétrica e STD de águas de superfície e de subsuperfície, em área de estudo, região de Araripina – PE. 35

Figura 15. Trecho do riacho Morais (atualmente perene) a jusante de Araripina. Notar o forte florescimento vegetativo e sua tonalidade característica em águas com presença acentuada de nutrientes..... 36

Figura 16. Histograma das concentrações em sulfatos (mg/L) em águas de superfície e de subsuperfície em área de estudo, na região de Araripina-PE..... 40

Figura 17. Barragem do Estado, margem norte, vizinhança da zona urbana de Araripina e de pequenos focos de produção de placas de gesso. Local receptor de efluentes da produção de placas de gesso e seus resíduos (↓). Teor de sulfato nas águas da estação de amostragem (ϴ) G-1B (SO_4^{--} =: 813,8 mg/L). 40

Figura 18. Barragem da Indústria Têxtil Artesa, no curso de afluente do riacho Novais, com cabeceiras na zona urbana de Araripina. Concentração de sulfatos nas águas da estação de amostragem (G-15) = 413,8 mg/L. 41

Figura 19. Zoneamento de áreas de influência dos halos de dispersão atmosférica de poeira/efluentes de gesso, resultando em anomalias de SO4-- em águas de superfície/subsuperfície na área de estudo, região de Araripina-PE..... 43

Figura 20. Histograma das concentrações em cloretos (mg/L) de águas de superfície e de subsuperfície em área de estudo da região de Araripina-PE. .....**Erro! Indicador não definido.**45

Figura 21. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em cloretos (mg/L), na área de estudo, região de Araripina-PE. 46

Figura 22. Histograma das concentrações em bicarbonatos (mg/L) de águas de superfície e de subsuperfície, em área de estudo na região de Araripina-PE. 48

Figura 23. Matriz de correlação de parâmetros físico-químicos de águas de superfície e de sub-superfície de área de estudo, na região de Araripina – PE. 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Composição química média de gipsitas da Formação Santana, Bacia do Araripe. ..7

Tabela 02. Sumário das estações de amostragem hídrica e suas categorias.....22

Tabela 03. Sumário e coordenadas UTM da amostragem coletada 23

Tabela 04. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais e de 26

Tabela 05. Sumário dos resultados analíticos de amostras de águas de superfície e de subsuperfície da região de Araripina, Pernambuco. 38

Tabela 06. Composição química de sedimento (total) de fundo de corpos d'água represados da área de estudo, e de áreas circunvizinhas.....42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BPF – Óleo combustível, da British Petroleum Fuel

$CaSO_4$ – sulfato de cálcio

$CaSO_4$. 0,5 H_2O – sulfato de cálcio hemidratado: bassanita (gesso)

$CaSO_4$. 2 H_2O – sulfato de cálcio dihidratado: gipsita

Cl^- – Íon Cloro

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CNTP – Condições normais de temperatura e pressão

CO – Monóxido de carbono

CO_2 – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONAMA resolução n° 357/05 (classe 2) -

CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Estado de Pernambuco;

H_2O – Água

HNO_3 – ácido nítrico

HNO_3 – ácido nítrico

HPA's - hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa

MA – Média aritmética

MO - Matéria Orgânica

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério das Minas e Energia

MS - Ministério da Saúde

NE - Nordeste

NOx – Óxido de nitrogênio

NW – Noroeste

OD – Oxigênio dissolvido

ONG - Organização Não-Governamental

pH – Potencial hidrogenionico

SECTMA -- Secretaria Estadual de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente

SINDUSGESSO – Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento da

SO – Monóxido de enxofre

SO_2 – Dióxido de enxofre

SO_4^{--} - Íon sulfato

STD – Sólidos totais dissolvidos

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TQe – Técio-quartenário eluvionar

RT –Rocha total

Sumário

INTRODUÇÃO 1
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 4
1.1. BREVE HISTÓRICO 4
1.1.1. Meio Ambiente e Mineração 4
1.1.2. Geologia da Bacia Sedimentar do Araripe 5
1.2. PRODUÇAO DO GESSO E MEIO AMBIENTE 7
1.2.1. Gipsita 7
1.2.2. Calcinação e Meio Ambiente 8
1.2.3. Material particulado proveniente da gipsita e de gessos 9
1.2.4. Impactos ambientais no Polo Gesseiro de Pernambuco 12
1.3. RECURSOS HIDRICOS 13
1.3.1. Recursos Hídricos do Araripe 13
1.3.2. Bacia do Rio da Brígida 14
1.3.4. A água: importância e qualificação 14
1.4. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARARIPINA 17
1.4.1. Descrição da área de estudo 17
1.4.2. Aspectos fisiográficos 17
1.4.3. Vegetação 18
1.4.4. Clima 19
1.4.5. Solos 19
1.4.6. Geologia 20
2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS 21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 25
3.1. pH 25
3.2. TEMPERATURA E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) 28
3.3. SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD) 32
3.4. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA 34
3.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DE SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE 36
3.5.1. Sulfatos (SO_4^{--}) 37
3.5.2. Cloretos 44
3.5.3. Bicarbonatos 47
3.6. CORRELAÇÕES ESTATÍSTICAS 48

4. CONCLUSÕES 50
REFERENCIAS 52

INTRODUÇÃO

Desde muitas décadas (anos 50 do século XX) o eixo Ipubi-Trindade-Araripina, situado nas faldas meridionais da Chapada do Araripe, tornou-se a principal região produtora de gipsita em âmbito nacional. Na atualidade, 95% da produção brasileira de gipsita provêm de domínios vicinais da Chapada do Araripe (Lyra Sobrinho *et al.,* 1990). Inicialmente, o minério era exclusivamente destinado a assegurar o tempo de pega do clínquer em cimentos e, portanto, exportado desta região para o resto do território brasileiro no estado de minério bruto britado.

Nas últimas décadas, o "distrito mineiro" se consolidou, atingindo 28 minas ativas em Pernambuco (Lyra Sobrinho *et al.,* 1990), assim como seu polo industrial, em razão da produção de gessos α e β e produtos derivados, dentre eles: placas e pré-moldados, além de produtos para consumo odontológico e cerâmico. A capacidade de produção instalada é de 2,3 x 10^6 T/ano (Santos e Sardou, 1996). A do ano de 2000 foi de 1,5 x 10^6 T, o que coloca em evidência a existência de uma capacidade ociosa de aproximadamente 35% (Lyra Sobrinho *et al.,* 1990). Nenhuma dúvida persiste que tal nível produtivo não justifique a designação da região como "Distrito gipsífero do Araripe". Todavia, desde muitos anos que estas matérias-primas vêm sendo largamente destinadas à industrialização de gessos e seus derivados com maior valor agregado, principalmente placas de revestimento. Como não poderia ser diferente, a expansão deste mercado de verticalização, gerou o que atualmente se chama de "Polo Gesseiro do Araripe", o principal gerador de renda, de empregos e de sustentação da economia regional.

A gipsita ($CaSO_4.2H_2O$), ou minério de gesso, tem como composição estequiométrica: 32,5% de CaO, 46,6% de SO_3 e 20,9% de perda ao fogo, que é equivalente à sua água molecular (Parfenoff *et al.,* 1970). No sistema $CaSO_4$ – H_2O, gipsita é a fase mais aquosa e, além da anhidrita II, fase estável em condições atmosféricas ambientais (Raju & Atkinson, 1990). Entretanto, em sistemas aquosos, mesmo em CNTP, vários autores têm demonstrado que a gipsita perde moléculas de água a partir de temperaturas como 42 ^oC (Braitsch, 1971; Deer *et al.,* 1992), ou a partir de 60 ^oC (Mirwald, 2008), conforme experimentos diferentes, tendendo a se transformar em bassanita ($CaSO_4$. ½

H_2O), que é a forma mineralizada comercialmente denominada como gesso. O processo de produção de gesso envolve a calcinação da gipsita na faixa de 160 a 185 ^oC, conforme padrões operacionais de fornada, no tempo de 40 a 60 minutos.

O minério de gipsita se origina em bacias sedimentares, por evaporação da fase líquida até que, alcançada a concentração crítica para o sulfato em solução, inicia-se sua precipitação. Conceitualmente, trata-se de um evaporito, que forma depósitos em forma de camadas, lentes e bolsões, intercalados em sequencias sedimentares cujas idades geológicas podem variar do Paleozoico ao Cenozoico (Lyra Sobrinho, 2001*).*

A gipsita é consumida sob as formas bruta e beneficiada. Sob a forma bruta é utilizada pelos setores cimenteiro e agrícola. Sob a forma beneficiada (gesso) é utilizada na construção civil, principalmente como pré-moldados para revestimento de paredes, forros, ou como elemento de decoração arquitetônica e, subordinadamente, pelos setores ceramista, odontológico, médico e de adereços (Peres et al., 2001).

Desde o minério bruto até a produção de gessos, ocorrem pelo menos 3 formas de dispersão mecânica de particulados finos no espaço atmosférico regional:

- Subproduto da cominuição do minério;
- Emissão de particulados, nos trabalhos de mineração;
- Emissão sólida resultante da queima de combustíveis diversos: BPF, lenha, etc. (fuligem e cinzas), e poeira de gesso, todos produzidos pela calcinação do minério.

Problemas de saúde pública relativos ao desenvolvimento de atividades mineiras e de beneficiamento dos minérios têm sido registrados com alta frequência em países em desenvolvimento. No caso da região de Araripina, 30% das internações hospitalares estão relacionadas com problemas respiratórios afetando, sobretudo, crianças com idades abaixo dos 9 anos, sendo ainda este problema, adicionalmente, a sexta maior causa de óbitos (Medeiros, 2003). Com relação à população vicinal das unidades industriais gesseiras, 43% apresentaram queixas de irritação nas mucosas conjuntivas oculares, e 37% na

mucosa nasal (Medeiros, 2003). Os reflexos destas circunstâncias em relação à poluição das águas de superfície estão associados às alterações provocadas na atmosfera, e também nos solos.

O transporte de poluentes sedimentados nos solos e a precipitação de impurezas do ar nos espelhos d'água constituem os mecanismos de poluição das águas. A água é reconhecida como solvente universal e suas propriedades hidrodinâmicas lhe condicionam capacidade de transportar particulados em suspensão. Este tipo de transporte e o de produtos em solução incorporam diversas impurezas que demarcam a influência dos fenômenos naturais, assim como a interferência antrópica nos meios naturais. O estudo dos particulados em suspensão e das características dos solutos nas águas é fundamental para a detecção de atividades poluentes, assim como para se estabelecer meios de preservação do corpo hídrico, conforme parâmetros de qualidade desejados.

Em instância definitiva, este trabalho objetivou indicar as rotas geoquímicas da poeira de gesso, razão do elevado nível de doenças do trato respiratório superior na região de Araripina, no âmbito do perímetro de investigação. Esta abordagem foi feita através de identificação da qualidade das águas dos principais corpos hídricos, de uma forma genérica, mas sobretudo com relação a sulfatos e cloretos, considerando-se padrões recomendados pelo CONAMA (2005).

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. BREVE HISTÓRICO

1.1.1. Meio Ambiente e Mineração

A mineração no Brasil vem desde a época colonial, ou seja, meados do século XVII. A demora de descobrir jazidas leva a crer que os interesses portugueses estavam inicialmente voltados para outros recursos, como o pau-brasil, tabaco, açúcar e mão de obra escrava. No século XVIII, ocorreu as primeiras grandes minerações, ocasionado pela descoberta do ouro, dando início ao surgimento das bases para a constituição do setor mineral brasileiro e colocando o Brasil como o grande produtor mundial de ouro (Araújo, 2004).

Segundo Lyra Sobrinho (2001), depois de quase um século, começou o declínio do nosso primeiro ciclo do ouro. Acreditava-se que as jazidas superficiais tinham-se esgotado e os esforços foram então redirecionados para a criação de condições para a instalação das grandes empresas estrangeiras que, na época, eram as inglesas. Assim, sem muito sucesso foi iniciado durante o século XIX, um novo ciclo com a procura de jazidas de ouro. Constatou-se, posteriormente, que o ciclo esperado na verdade não iria ocorrer, tendo ficado como resquícios dessa fase as minas da Passagem e de Morro Velho, ainda hoje em funcionamento.

O segundo ciclo mineral começou no século XX, após o fim da Segunda Guerra Mundial, concretizando-se efetivamente no final da década de 1960.

O setor mineral brasileiro foi construído sob uma visão estratégica de desenvolvimento nacional, tendo por base uma política e uma legislação fomentadoras. Neste contexto, a explotação efetiva da gipsita, em escala industrial, ocorreu nas décadas de 60 e 70, juntamente com o período do “milagre econômico” brasileiro. Estes eventos, incentivados por programas estaduais e da SUDENE, esta última empreendendo na época uma política de desenvolvimento do Nordeste, na tentativa de reduzir a distância socioeconômica desta região em relação ao Centro-Sul.

Em 1970 e 1980, a contribuição da produção pernambucana de gipsita na faixa dos 90% da produção nacional, cabendo aos municípios de Araripina e Ipubi a participação de aproximadamente 50 % da produção brasileira. Essa posição foi

conseguida por fatores naturais, como facilidade de extração a céu aberto, e de transporte com melhores condições em relação às outras áreas produtoras (Araújo, 2004).

Nos anos 80 surgem as preocupações com o meio ambiente, embora algumas empresas tenham começado a incorporá-las já na década de 70. Neste sentido, identifica-se uma evolução no equacionamento deste problema, considerado em sua dimensão nacional, que se refletiu no setor mineral e que se pode identificar em três grandes fases (Barreto, 2001):

A primeira, alcança os anos 60, é caracterizada por uma visão fragmentada. Nesta época, a proteção ambiental incidia apenas em alguns recursos minerais, particularmente aqueles relacionados mais estreitamente aos seres humanos, como o controle da água potável, a preocupação por algumas espécies da flora e fauna, e as questões relativas à salubridade no ambiente de trabalho.

Dos anos 70 aos 80 vem à segunda, que é caracterizada pelo enfrentamento de questões mais amplas, como a poluição ambiental e o crescimento das cidades, culminando com a visão holística do meio ambiente como um ecossistema global.

A partir dos anos 90 a terceira que posicionou o desenvolvimento sustentável como o grande desafio, ou seja, desenvolvimento econômico e social com preservação do ecossistema do planeta.

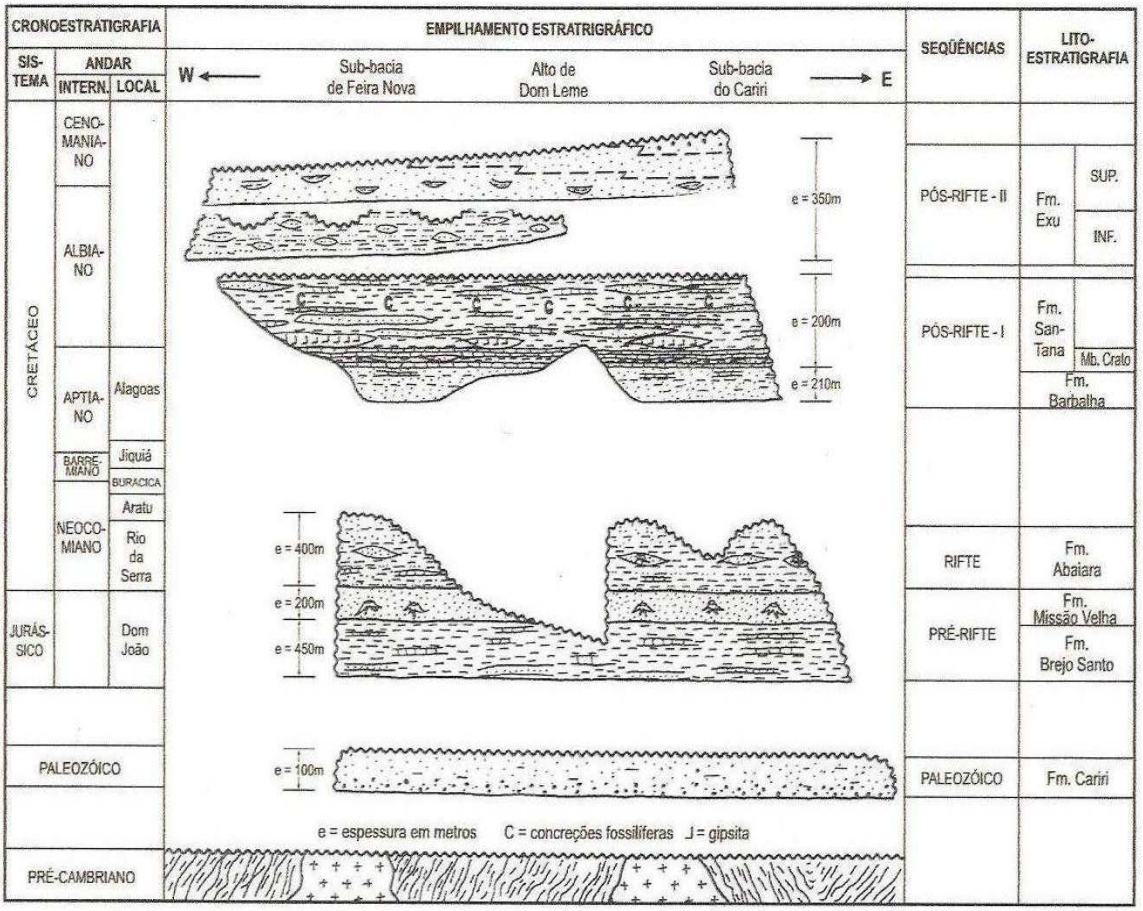
1.1.2. Geologia da Bacia Sedimentar do Araripe

Segundo Araújo, (2004) a Bacia Sedimentar do Araripe, Resultante do relevo de Chapada do Araripe, começou a formar suas escarpas e encostas, no Paleozoico, quando foram depositados os sedimentos da Formação Mauriti, provavelmente durante o Siluriano. Porém, foi nos períodos Jurássico e Cretáceo que se deram os eventos geológicos de maior importância para a formação da bacia.

A Bacia do Araripe é constituída de uma sequência de formações sedimentares depositadas em períodos de pré-rift, rift, e pós-rift (Assine, 1992). As sequências pós-rift, do topo para a base, incluem as formações Exu e Santana. No interior da Formação Santana distingue-se o Membro Crato, sobre o

qual estão sedimentados os depósitos de gipsita - antigo Membro Ipubi da Formação Santana. Sobre estes evaporitos, e abaixo dos arenitos Exu, ocorre uma sequência pelítica, dantes considerada como membro Romualdo da Formação Santana. Neumann e Cabrera (1999) consideram um Supergrupo Santana que integra cinco formações: Arajara, Romualdo, Ipubi, Crato e Rio da Batateira, todas do Cretáceo (as três intermediárias formavam os antigos membros da Formação Santana).

Figura 01. Cronoestratigrafia da seqüência sedimentar da Bacia do Araripe



Fonte:(Assine, 1992)

O período de ingressão marinha é representado pela parte superior da Formação Santana, seguindo-se sequências de ambiente transicional (Formação Exu inferior) e continental (Formação Exu). Na base da Formação Exu ocorrem arenitos avermelhados friáveis com granulometria média a grosseira, mal selecionados e níveis conglomeráticos. Na parte superior desta formação

predominam os arenitos argilosos finos, caulínicos, com siltitos amarelos e roxos finamente estratificados.

A base da Formação Santana (Membro Crato) compõe-se de sequencias sedimentares de fácies calcíferos, carbonáticos, incluindo folhelhos betuminosos, calcários laminados, siltitos e arenitos calcíferos. No território pernambucano a Formação Santana é habitualmente recoberto por capeamentos correlativos da formação Exu, fruto da erosão regressiva da chapada, em épocas mais recentes (TQe), o que dificulta a prospecção da gipsita.

1.2. PRODUÇAO DO GESSO E MEIO AMBIENTE

1.2.1. Gipsita

A gipsita é um sulfato de cálcio hidratado: $CaSO_4.2H_2O$, habitualmente associado à anidrita (sulfato de cálcio anidro - $CaSO_4$), este último com pouca expressão econômica (Lyra Sobrinho, 2001). A gipsita tem dureza 2 na escala de Mohs, densidade 2,35, índice de refração 1,53, e é bastante solúvel. Sua cor é variável entre incolor, branca, cinza, amarronzada, a depender das impurezas contidas nos cristais. Trata-se de um mineral muito pouco resistente que, sob a ação do calor (em torno de 160 ^oC), desidrata-se parcialmente, originando um hemi-hidrato conhecido comercialmente como gesso ($CaSO_4.½H_2O$).

A composição química média das gipsitas do Araripe (Tabela 01) permite inferir, estequiometricamente, que os minérios desta província mineral são de boa qualidade, comportando pelo menos 95% em sulfatos em rocha total (RT).

Tabela 01. Composição química média de gipsitas da Bacia do Araripe.

DETERMINAÇÕES	VALORES (%)
Umidade (a 60°C)	0,08
Água combinada (a 200°C)	19,58
Perda ao Fogo (1000°C)	1,62
Resíduos Solúveis	0,28
Sílica em (SiO_2)	0,32
Ferro e Alumínio (em R_20_3)	0,20
Cálcio (em CaO)	32,43
Magnésio (em MgO)	0,31
Cloretos (em NaCl)	0,15
Teor de Gipsita	93,65

Fonte: PERES *et al*. (2001)

Considerando-se estes dados analíticos, chama atenção a presença de halita (0,15%), e de silicatos (argilominerais) residuais (estimativamente <0,2 %), estequiometricamente calculáveis, cujo somatório não alcança 2% da RT. Considerando-se que a gipsita da Formação Santana possui habitualmente cerca de 5 % em anidrita (Menor, 1995), pode-se deduzir que os sulfatos totais podem atingir 97% da composição dos minérios explotados na região.

1.2.2. Calcinação e Meio Ambiente

A calcinação é o processo de aquecer uma substância a altas temperaturas sem, contudo, atingir seu ponto de fusão, de forma a conseguir sua decomposição química e consequente eliminação de produtos voláteis (Tomasi, 1994). Ela é utilizada na eliminação da água de cristalização, operação conhecida como queima, e na oxidação de substâncias poluidoras presentes em resíduos, buscando-se a eliminação de sua toxidez. Na região de Araripina, as calcinadoras de gesso são as principais consumidoras de recursos energéticos florestais (56% da produção regional). A maior parte destas não dispõe de um sistema eficiente que retenha os gases e poeiras provenientes da calcinação (Araújo, 2004), havendo reações da água (H_2O) com o óxido de enxofre (SO_x), resultando em gás sulfídrico (H_2S) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), diluídos nas águas de chuva.

A degradação ambiental regional está associada à industrialização da gipsita. Em consequência, na medida em que esta atividade evoluiu, o consumo de lenha para a calcinação conduziu à devastação do estoque madeireiro regional (Albuquerque, 2002). Entre 1989 e 2004, a biomassa da caatinga foi reduzida em 17%, para atender necessidades industriais. Foram desmatados 168.752ha de caatinga, perfazendo uma média de 11.200 ha/ano. Este consumo desregrado ocorreu porque as tecnologias alternativas para geração de energia apresentam custo marginal superior ao da lenha. Além disso, na maior parte dos casos, ela é explotada de forma ilegal, com o agravante de não se adotar medidas necessárias à manutenção da qualidade ambiental e a sustentabilidade do Bioma Caatinga (Albuquerque, 2002).

1.2.3. Material particulado proveniente da gipsita e de gessos

Poeira é toda partícula sólida em qualquer dimensão, natureza ou origem, formada por cominuição ou outro tipo de ruptura mecânica de um material original sólido, que se mantém suspensa ou é capaz de ser mantida suspensa no ar. O nome partícula refere-se a uma unidade simples da matéria tendo, geralmente, densidade próxima à densidade intrínseca do material original. Tais partículas geralmente apresentam formas irregulares e são maiores que 0,5 μm (Santos, 2001).

Não se tem certeza de quantos fatores climáticos são afetados pelo aumento crescente da quantidade de poeira na atmosfera (Fellenberg, 1997). Algumas consequências são certas, tais como: a diminuição da intensidade de radiação do sol, estimada em 0,4% por ano, e perdas de energia que não se refletem somente em diminuição geral da temperatura mas, eventualmente, também na velocidade e direção dos ventos (Fellenberg, *op. cit.*). Nos casos de exposição a um poluente interessa o conhecimento de suas características: toxicológicas (capacidade de transformação, persistência ambiental e vias de penetração no organismo) e aspectos socioambientais do local da exposição (magnitude, duração e frequência, etc.).

A poeira de gesso provoca irritações nas mucosas do trato respiratório e dos olhos, desencadeando infecções tais como: conjuntivite, rinites crônicas, laringites, faringites, perda da sensação do olfato e do paladar, hemorragias de nariz e reações das membranas da traqueia e brônquicas. As características físicas dos particulados minerais (diâmetros < 10 μm) determinam a amplitude da dispersão das partículas, mas é a composição química destes que determina sua capacidade de produzir doenças (Fellenberg, 1997). O processo de dispersão das partículas de poeira depende da intensidade e sentido das correntes aéreas. Há casos em que pode atingir altitudes de 4 a 8 km, podendo formar nuvens de pó. Desde o minério bruto até a produção de gessos, ocorrem pelo menos 3 formas de dispersão mecânica de finos, na atmosfera:

- Subproduto da cominuição de gipsita para alimentação de fornos de calcinação, produzido em “lumps”, com “rejeito” milimétrico a sub-milimétrico, podendo incluir significativa fração coloidal. Sua composição inclui essencialmente gipsita/anidrita

(Menor, 1995). O produto é comercializado com designação de “gesso agrícola”. Seus halos de dispersão de poeira são geralmente restritos ao entorno da unidade de britagem (Figura 02).

Figura 02. Granulados e poeira de gipsita em unidade de cominuição, denominados genericamente como “gesso agrícola”.

- Emissão sólida de material muito fino (poeira) resultante da calcinação do minério para a produção de gesso. A distribuição granulométrica deste produto também não é controlada, sendo constituída essencialmente por particulados coloidais. Sua emissão, através de chaminés que podem alcançar 15 metros de altura, permite a formação de halos de dispersão extensos, perfeitamente visíveis em imagens-satélite (Figura 03). Sua composição é essencialmente formada por bassanita, com quantidades acessórias de impurezas habituais do minério (principalmente argilominerais) e inclui, naturalmente, alguma fração de anhidrita, uma vez que este mineral não é modificado durante o processo de calcinação. Perceptivelmente, os halos de dispersão mecânica atmosférica ultrapassam 250 metros no sentido NW na estação seca, mas o alcance real dos particulados coloidais não é conhecido.

Figura 03. Halo de dispersão mecânica de poeira de gesso a partir de unidade de calcinação.

Fonte: Google Earth, 2010.

- Emissão sólida e gasosa resultante da combustão do agente calcinante (usualmente lenha), principalmente cTomposta por: CO_2, CO, SO_2, SO, H_2O (vapor d'água), NOx, HPA's, e particulados de origens diversas (Figura 04), presumivelmente contendo metais pesados (MP). Do ponto de vista geoquímico a reatividade destes produtos resulta na geração de chuva ácida (Baird, 2002). Na área de pesquisa, sua emissão através de chaminés que podem alcançar 15 metros de altura pode propiciar uma dispersão de longo alcance e, dependendo da intensidade desta emissão e dos ventos, alcançar vários quilômetros.

Figura 04. Emissão de poluentes sólidos e gasosos a partir de calcinadora da região de Araripina.

Fonte: CPRH (2000).

1.2.4. Impactos ambientais no Polo Gesseiro de Pernambuco

O termo impacto vem do latim *impactu* que significa choque ou colisão. Na terminologia do direito ambiental a palavra aparece também com o sentido de choque ou colisão de substâncias (sólidas, líquidas ou gasosas), de radiações ou de formas diversas de energia, decorrentes de realização de obras ou atividades no ambiente natural, artificial, cultural ou social (Milaré, 2001). Portanto, o termo impacto é entendido como efeitos nocivos. Desta forma, o impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 2005).

Segundo Sobral (1997) a região do Araripe já não é mais auto-suficiente na produção de lenha destinada às operações de calcinação, constatando-se uma importação desta fonte energética a partir de estados vizinhos, o que sinaliza claramente uma expansão geográfica dos impactos sobre a vegetação da

caatinga. Este estudo ainda critica a atuação dos órgãos públicos federais (IBAMA) e estaduais (CPRH), na fiscalização e controle do desmatamento.

Sobre a degradação dos solos, o Plano Estadual de Controle da Desertificação de Pernambuco estabelece os níveis de ocorrência de degradação ambiental em muito graves, graves e áreas susceptíveis. Este plano, oficialmente, classifica a região do Araripe como “área com problemas ambientais”.

A poeira de gesso exerce uma ação irritante para as membranas da mucosa do trato respiratório e dos olhos, desencadeando afecções tais como: conjuntivite, rinites crônicas, laringites, faringites, perda da sensação do olfato e do paladar, hemorragias de nariz e reações das membranas da traqueia e brônquicas de pessoas rotineiramente sob sua exposição. Outros experimentos, feitos com animais expostos à poeira do gesso, evidenciaram o desenvolvimento de pneumonia e pneumoconiose intersticial, produzindo alterações na circulação sanguínea e linfática a nível pulmonar (Porto, 1991 *apud* Medeiros, 2003).

1.3. RECURSOS HIDRICOS

1.3.1. Recursos Hídricos do Araripe

A Região do Araripe é drenada pela bacia do Rio São Francisco, através de um sistema de tributários intermitentes e irregulares, como habitualmente ocorre em domínios do semiárido nordestino. São cursos d’água dotados de fraquíssimo poderio energético, posto que suas cabeceiras nascem onde as precipitações são baixas, e seus vales atravessam regiões com precipitações anuais insuficientes para alimentá-los permanentemente (ANA, 2010).

A principal bacia tributária nestes domínios é a do rio Brígida, que é alimentada pelos riachos São Pedro e Santo Antonio. As barragens e poços têm a finalidade de garantir o abastecimento de água na estiagem e reduzir a dependência dos caminhões pipas pelas comunidades (Farias e Silva, 2007).

A falta de cobertura arbórea em grande parte da região faz com que não haja boa proteção para os solos. A irregularidade do regime pluvial é agravada por escoamentos torrenciais, e pelas elevadas temperaturas ambientais durante o longo período de estiagem (ANA, 2010).

1.3.2. Bacia do Rio da Brígida

A bacia do rio da Brígida é intermitente, tendo suas nascentes no município de Araripina (Araújo *et al.,* 1992), com escoamento apenas no período das chuvas (dezembro a março). Seu principal afluente é o riacho São Pedro, localizado à sua margem esquerda. Sua drenagem é densa e dendrítico-retangular em domínios do embasamento cristalino. Complementam esta drenagem riachos secundários subsequentes, com direção NE em virtude da direção geral das rochas do embasamento. Contudo, os maiores riachos têm cursos perpendiculares às estruturas adaptando-se, algumas vezes, às falhas e fraturas, descrevendo traçados em um zigue-zague. Toda a drenagem dos municípios do Polo Gesseiro ou da Microrregião de Araripina pertence a esta sub-bacia do São Francisco. Atualmente, a partir do município de Araripina a bacia do rio Brígida é perene, pois a área de drenagem neste município vem recebendo continuamente descarga de resíduos domésticos.

1.3.4. A água: importância e qualificação

A importância da água para os seres vivos reside no fato que todas as substâncias por eles absorvidas e todas as suas reações metabólicas são feitas por via aquosa. Isso acontece porque a água, além de ser quimicamente neutra, possui a capacidade de dissolver um número muito grande de substâncias químicas minerais e orgânicas, sólidas, líquidas ou gasosas, facilitando assim a sua penetração através das membranas celulares e o seu transporte por todo o organismo (Branco, 1999). O conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela sua fórmula molecular H_2O, isto porque devido às suas propriedades de solvente e a sua capacidade de transportar partículas, incorpora em si diversas impurezas, as quais definem sua qualidade. Esta qualificação vai resultar de fatores naturais e antrópicos onde, de maneira geral, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função do uso e da ocupação dos solos na bacia hidrográfica por onde permeia (Von Sperling, 1995). Também Rebouças (2002) opina que a qualidade das águas é dependente das características dos ambientes naturais e antrópicos onde se

originam, circulam, percolam ou ficam estocadas, além de que a qualidade total de uma água pode atingir elevados graus de complexidade. Adicionalmente, a composição das águas superficiais sofre grande influência das chuvas, pois estas podem dissolver e arrastar em suspensão materiais existentes na superfície dos solos. O aferimento da qualidade das águas é feito através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas (Von Sperling, 1996), tais como: pH, oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais em suspensão (STD), condutividade, sais em solução, etc.

As principais fontes que definem os parâmetros físico-químicos de águas doces e que também determinam os elementos nutrientes para os sistemas aquáticos são: o intemperismo das rochas, a lixiviação de solos, as ações antrópicas e as contribuições atmosféricas.

Segundo Mello, (2008) a presença de particulados em suspensão exerce grande efeito sobre a composição físico-química de sistemas aquáticos, uma vez que as partículas interagem com as substancias dissolvidas, principalmente através de interações superficiais. Tal circunstância, por sua vez, influencia os ciclos biogeoquímicos, os quais são responsáveis pela manutenção da composição físico-química dos sistemas aquáticos e envolvem interações entre as fases dissolvidas e a fração particulada. Ainda segundo o autor cabe ressaltar que os elementos se comportam de diferentes maneiras na hidrosfera. Alguns, como o sódio e o cloro, não são afetados de maneira significativa pelas interações químicas e biológicas típicas do meio aquático e, desta forma, passam bastante tempo sem mudarem de compartimento. Outros, como o nitrogênio e o fósforo, mudam constantemente entre a fração dissolvida e particulada.

Assim, cada elemento leva um tempo característico para completar o seu ciclo biogeoquímico. Todos estes comportamentos estão em interação com as condições físico-químicas circunstancialmente oferecidas pela Natureza, no transcurso da água pelo meio ambiente.

Para uma dada seção de curso d'água a qualidade da água depende de muitos fatores, incluindo: a proporção entre o escoamento superficial e aquele de águas subterrâneas, reações dentro dos limites do curso d'água governadas por processos internos, a mistura de águas de tributários com diferentes qualidades (no caso de bacias fluviais heterogêneas) e quantidades de poluentes (Meybeck *et al.*, 1992). Na ausência de qualquer impacto humano as concentrações,

proporções relativas e taxas de transporte de substâncias dissolvidas nos cursos d'água são altamente variáveis de um local para outro, dependendo das fontes, caminhos e interações com partículas.

Já as atividades antrópicas podem alterar os processos naturais. São consideradas como fontes naturais de elementos para os cursos d' água: o desgaste químico da superfície de rochas; precipitações vulcânicas; reciclagem de aerossóis oceânicos; erosão eólica continental; degradação da vegetação; lixiviação de solos orgânicos; e entradas atmosféricas (Meybeck *et al., op. cit.)*. Meybeck e Helmer (1992) descreve:

> Em qualquer região ainda não afetada por atividades antrópicas, a variabilidade na qualidade das águas naturais depende da combinação dos seguintes fatores ambientais
>
> - ocorrência de minerais altamente solúveis ou facilmente alteráveis;
> - distância da linha costeira;
> - razão precipitação/escoamento superficial; e
> - ocorrência de turfas, terras úmidas e brejos, os quais liberam grandes quantidades de matéria orgânica dissolvida.

Outros fatores incluem a temperatura ambiente, cobertura dos solos orgânicos, espessura das rochas intemperizadas, etc. As variações de qualidade da água fluvial dependem do regime do rio, isto é, da variabilidade da descarga, do número de inundações por ano e sua magnitude (Meybeck *et al.*, 1992). Durante os períodos de inundação, a qualidade da água geralmente apresenta variações marcantes devido às diferentes origens da água: escoamento superficial, escoamento subsuperficial (circulação de água dentro das camadas dos solos) e descarga da água subterrânea.

O escoamento superficial normalmente apresenta alta turbidez e carrega grandes quantidades de STD, incluindo carbono orgânico particulado (COP). O escoamento subsuperficial lixivia carbono orgânico dissolvido e nutrientes (C_{org}, N e P) dos solos, enquanto as águas subterrâneas produzem influxos da maioria dos elementos resultantes da alteração das rochas (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}).

1.4. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARARIPINA

1.4.1. Descrição da área de estudo

O município de Araripina está localizado na Microrregião Araripina e na mesorregião Sertão do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Estado do Ceará, a sul com Ouricuri, a leste com Ipubi e Trindade, e a oeste com Estado do Piauí (Figura 05) A área municipal ocupa 1906,3 km^2 e representa 1.93 % do Estado.

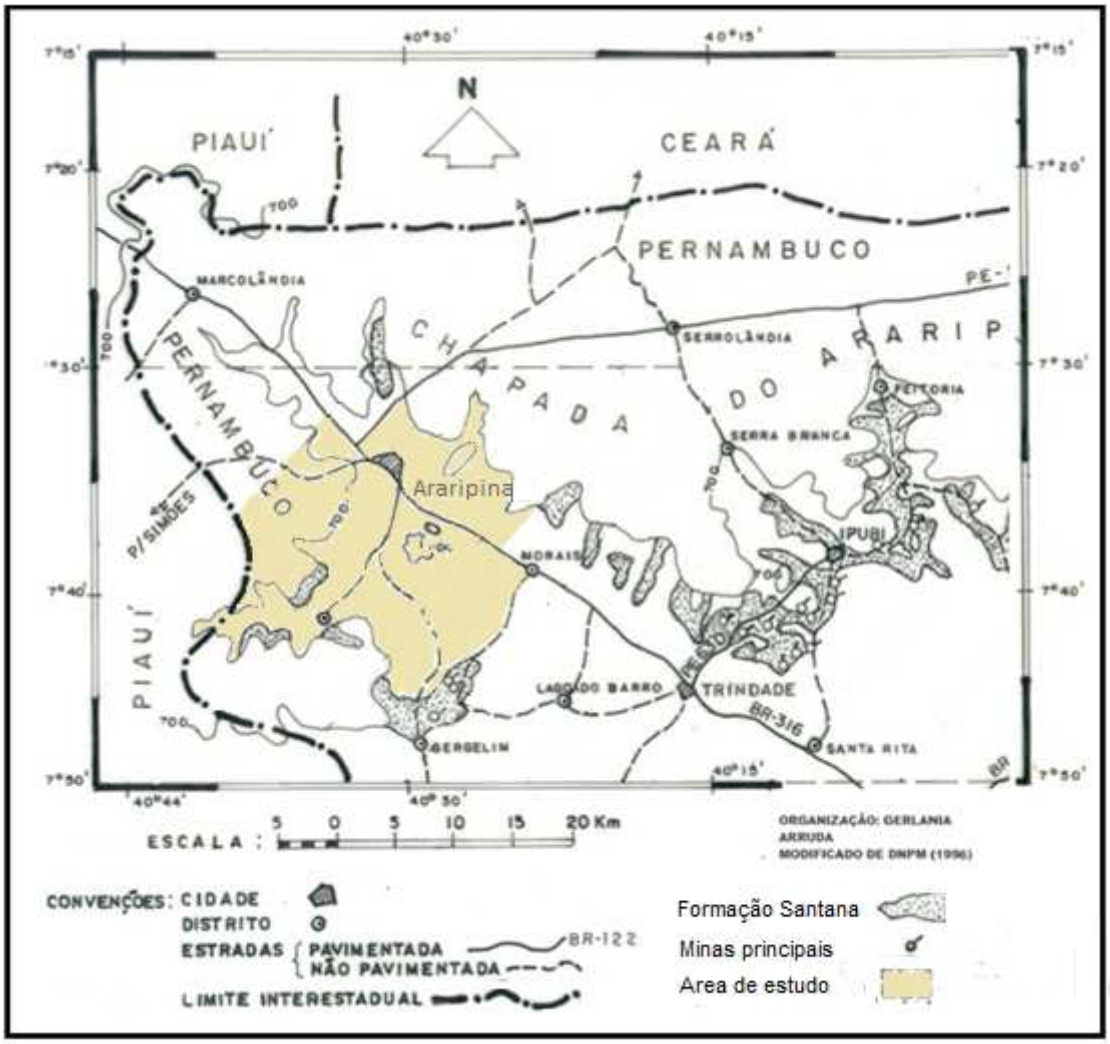
Está cartograficamente inserido nas Folhas SUDENE de Fronteira, Campos Sales, Ouricuri e Simões, na escala 1:100.000.

A sede do município tem uma altitude aproximada de 622 metros distando 683,2 km da capital estadual, de onde o acesso é feito pelas BR-232/316. Seu ponto médio da sede possui as seguintes coordenadas geográficas: 7º34'34" de latitude sul e 40º29'54" de longitude oeste de Greenwich. Araripina insere-se totalmente na bacia hidrográfica do rio Brígida.

1.4.2. Aspectos fisiográficos

O município de Araripina está inserido na Depressão Sertaneja, que representa o semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanização monótona e relevo na maioria suave-ondulado, cortado por vales estreitos com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos presenciam os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. Onde parte deste domínio, a norte, está inserido nas Chapadas Altas (Albuquerque, 2002).

Figura 05. Localização da área de estudo



Mapa: Araújo (2004), adaptado.

1.4.3. Vegetação

A vegetação regional típica é a da Caatinga, que é um bioma exclusivo brasileiro, com grande variedade de paisagens, amplo riqueza biológica e enorme registro de endemismos. A Caatinga é, provavelmente, o ecossistema mais ameaçado e transformado pela ação antrópica no Brasil (Silva, 2004). Ainda segundo o autor a vegetação é basicamente composta por *Caatinga* hiperxerófila, que corresponde a uma vegetação arbustiva, densa e seca, apresentando algumas árvores. Em locais onde se apresenta bastante densa, predomina um

estrato arbustivo com galhos retorcidos e “morte” vegetal aparente na maior parte do ano, com trechos de *Floresta Caducifólia.*

A umidade dos solos nas caatingas é condicionada ao período chuvoso e, logo após esse período, pouca umidade resta neste suporte físico. O restante do tempo é marcado por reduzida ou nula umidade nos solos, o que leva os vegetais adaptados a se protegerem da seca através da perda das suas folhas, a possuírem espinhos e a exibirem uma “morte” vegetal aparente. Caso especial acontece com o juazeiro (*Ziziphus juazeiro*), que se apresenta sempre verde e frondoso, mesmo no período seco (Albuquerque, 2002).

1.4.4. Clima

O clima regional é quente com seca prolongada e regime intermitente de chuvas, cuja sazonalidade influencia diretamente a vida vegetal e animal. Classificado como semiárido, com duas estações distintas: uma estação chuvosa (dezembro a março) com índices pluviométricos considerados baixos, em torno de 650-900 mm, integrando cerca de 90% das chuvas anuais; e uma estação seca (entre março e novembro), com considerável redução nas taxas pluviométricas, podendo se restringir a menos de 300 mm nos anos secos, interferindo diretamente sobre a hidrologia regional (Araújo, 2004).
A temperatura média anual nesta região, elevada, é de 26 º C, com pouca amplitude de variações. Além destas condições climáticas, são registrados ventos predominantes de SE para NW, que contribuem para caracterizá-la como de clima semiárido (Carrarine, 2007).

1.4.5. Solos

Os solos da Caatinga são considerados muito fracos, incapazes de reestruturar naturalmente qualquer mudança em larga escala, como no caso de utilização de máquinas; seu nível de degradação é considerado irreversível (IBAMA, 2010). Os solos regionais são rasos e pobres em matéria orgânica. Em patamares alongados e baixas vertentes dos relevos mais suaves, ocorrem planossolos mal drenados, de fertilidade natural média, porém com problemas de salinização. Em relevos de topo e em altas vertentes, são constatados solos

brunos não cálcicos, rasos, entretanto com fertilidade natural alta. Em topos e altas vertentes dos relevos ondulados ocorrem solos podzólicos, drenados, com fertilidade natural média. Em elevações residuais, são verificados solos litólicos, rasos, pedregosos, com fertilidade natural média (Araújo, 2004).

1.4.6. Geologia

Geologicamente o município de Araripina esta inserido na Província da Borborema, sendo integrado por litotipos dos complexos Granjeiro e Itaizinho, da Suíte Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga, e dos granitoides de quimismo indiscriminado (Araújo, 2004). Os principais registros sedimentares incluem rochas pelíticas da Formação Santana (Cretáceo inferior), onde se inserem níveis de gipsita, rochas arenosas da Formação Exu (Cretáceo inferior), além dos depósitos incoerentes, coluvionares e eluvionares (TQe), resultantes da exumação Tércio quaternária da Bacia do Araripe.

2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

Os corpos d'água e os focos de produção de gesso da região de Araripina foram cartografados com base em mapas SUDENE 1:100.000 e em imagens Google Earth. Uma vez plotados os corpos hídricos de interesse, foi feito o enquadramento da área específica de pesquisa, envolvendo a vicinalidade dos focos de emissão de poeira de gesso. Corpos d'água distais também foram incluídos, para servir de referência regional e determinação de valores de *background* de áreas não afetadas por contaminações sulfáticas.

Os corpos hídricos escolhidos foram os de acumulação de águas de escoamento superficial, ou seja: barragens, açudes e pequenos barreiros, cobrindo a regionalidade do caso em estudo, na área de pesquisa.

O riacho Moraes, hoje de curso permanente por receber efluentes residuais urbanos, também foi objeto de amostragem, por constituir um dos principais tributários da barragem de Lagoa do Barro, situada no município de Trindade (extra-área), ainda hoje utilizada para abastecimento público no eixo Ipubi-Trindade-Araripina. Adicionalmente, foram feitas amostras de águas subterrâneas, a partir de poços ativos, no interior do espaço urbano de Araripina, na adjacência de uma indústria de gesso e, finalmente, em domínios do arenito Exu (estação agrícola do IPA). Neste último caso, situado extra-área, o objetivo foi o de sinalizar um reconhecido padrão de qualidade de água potável da Chapada do Araripe.

A campanha de amostragem envolveu águas de superfície (30 cm de profundidade) de 24 corpos hídricos, alguns casos de águas subterrâneas, e águas do riacho Moraes (Tabela 02). Para a localização e plotagem das estações de amostragem foi utilizado um GPS marca Garmin Etrex, cujas leituras tiveram erros máximos indicados entre 7 e 15 metros (Tabela 03).

Tabela 02. Sumário das estações de amostragem hídrica e suas categorias.

Amostras	Açude	Barragem	Poço	Drenagem	COMPESA
G-1		x			
G-1B		x			
G-2	x				
G -4	x				
G-5	x				
G-13				x	
G-14	x				
G-15		x			
G-17	x				
G-18	x				
G -20	x				
G-21	x				
G-22	x				
G-23	x				
G-24			x		
G-27	x				
G-30			x		
G-31			x		
G-32	x				
G-33			x		
G-36				x	
G-37				x	

Fonte: autor, 2012

A amostragem foi realizada e concluída durante o período final da estação de chuvas, especificamente para se abordar os corpos hídricos com presumido máximo influxo acumulado de águas de superfície. Desta forma, a expectativa seria o registro de valores máximos em concentrações de sulfatos, como resultado de influxos da lixiviação da poeira de gesso sedimentada sobre vegetação e solos regionais, sobretudo aquela acumulada durante a estação seca.

Tabela 03. Sumário e coordenadas UTM da amostragem coletada.

AMOSTRA	HORÁRIO	UTM-MERID.	UTM-PARAL.
G-1	14:00	334731	9161012
G-1B	09:00	334075	9160964
G-2	15:40	335360	9159962
G-4	11:05	336722	9157606
G-5	12:10	334670	9160174
G-13	16:40	335441	9161690
G-14	09:10	333521	9158620
G-15	14:45	335587	9160616
G-17	17:30	333185	9158150
G-18	09:20	334059	9159400
G-20	08:30	331383	9163288
G-21	07:30	331433	9159202
G-22	06:40	332738	9156566
G-23	17:30	333790	9166074
G-24	17:00	343662	9175270
G-27	11:20	337670	9150712
G-30	09:30	334362	9161948
G-31	11:00	335674	9159465
G-32	14:00	337663	9143360
G-33	16:00	333169	9152842
G-36	11:30	339704	9157838
G-37	11:50	339791	9157590

Fonte: autor, 2012

A amostragem seguiu procedimentos recomendados pela A.P.H.A. (2001). As águas foram acondicionadas em recipientes de poliestireno, previamente lavados com solução de HNO_3 2%, procedendo-se a relavagem interna *in situ* com água do próprio ambiente aquático. Em cada estação foram preenchidos 2 (dois) recipientes com 200 ml de águas superficiais filtradas a 0,45 µm (filtros Schleicher & Schuel), coletadas além de 15 metros das margens. Estas amostras foram imediatamente resfriadas a cerca de 4 ^{o}C, e assim também preservadas em laboratório, ao abrigo de luminosidades, até o início dos procedimentos analíticos (15 dias) no LAMSA/UFPE. Neste, foram realizadas as determinações de sulfatos, cloretos totais e bicarbonatos, conforme rotinas recomendadas pela APHA (2001).

Nos mesmas estações de amostragem também se coletou aproximadamente 250g de sedimentos superficiais de fundo, utilizando-se um amostrador em PVC. Este produto foi acondicionado em sacos de poliestireno,

para análises químicas, especificamente nos casos de contaminações máximas em sulfatos em águas de superfície. Neste sentido, o objetivo foi o de cotejar eventuais repercussões desta contaminação nos sedimentos de fundo. As análises químicas sobre o material desidratado e pulverizado <100 mesh foram realizadas nos laboratórios Actlab's (Ontario, Canadá), envolvendo 9 óxidos fundamentais, perda ao fogo, e 44 elementos-traços.

Em paralelo, em águas de superfície de cada estação de amostragem, foram feitas determinações de pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura, condutividade (mS) e sólidos totais dissolvidos (STD), utilizando-se um equipamento OAKTON, modelo WP 600 (Figura 06), dotado de sensores ou extensões específicas para as variáveis acima mencionadas.

Figura 06. Equipamento OAKTON, modelo WP 600, Série Meters.

Os resultados obtidos foram planilhados e submetidos a tratamento estatístico, culminado com análise de regressão multivariável exposta em matriz de correlação. Foram definidos halos de sedimentação (ou influência) da poeira de gesso dispersada na atmosfera, através de suas repercussões sobre os corpos d'água estudados. Enfim, variações contaminantes de sulfatos e cloretos foram regionalizadas através de "isoteores de influência", para indicação do alcance dos halos de contaminação na área de pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. pH

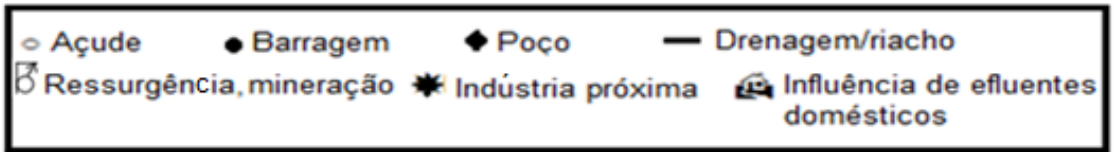
O pH é um importante parâmetro que, juntamente com outros, fornece indícios do grau de poluição, metabolismo de biotas, ou ainda impactos em ecossistemas aquáticos. Águas naturais exibem pH entre 4 e 9, sendo influenciado pela dissolução de CO_2, que interfere nos valores de pH através das reações de HCO_3^- e CO_3^{--} com a água, aumentando-o. Entretanto, aumentos de alcalinidade (no limiar de pH = 9) costumam ser compensados por aumento no *uptake* de CO_2 das águas por fotossíntese das algas. A espécie química dominante em um ambiente aquático depende do seu pH, que também é influenciado pela coexistência de outros ácidos e bases e suas respectivas constantes de equilíbrio de reações (Martins *et al.*, 2003).

Critérios de proteção de ecossistemas fixam o pH entre 6 e 9 (Chester, 2000), mas cada ambiente natural possui uma faixa restrita para suas “condições ótimas”, quando ocorre franco desenvolvimento e reprodução das espécies. Para além das margens destas “condições ótimas”, em qualquer sentido, a biota estará sendo submetida a stress, a dificuldades de crescimento e de reprodução e, inclusive, à extinção. Conforme dados contidos em Chester (*op. cit.),* águas continentais apresentam habitualmente pH = 6 a 7,5.

Na área estudada, independentemente do volume dos corpos hídricos represados, ou da natureza dos seus substratos líticos, os valores em pH (Tabela 04) apresentaram uma variação relativamente pequena (pH = 6,01 a 7,24). Estas águas (n = 22), portanto, se revelaram do tipo levemente ácido a levemente alcalino, com média aritmética (MA) = 6,66 e desvio médio (SD) = 0,33. Considerando-se arbitrariamente como valores anômalos aqueles de pH = ± 2 SD, as extrapolações corresponderam *grosso modo* a 14 % dos casos estudados. O histograma deste parâmetro (Figura 07) mostra que estas extrapolações apontam tendência de pH mais ácidos nos casos de águas subterrâneas, e leve alcalinidade para corpos d’água de maior porte (barragens) e para as águas do riacho Moraes. Corpos d’água com volumes menores (“açudes”), apresentam todos águas com pH levemente ácido.

Tabela 04. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais e de subsuperfície de uma área de estudo na região de Araripina, Pernambuco.

AMOSTRA	PH	CONDUTIVIDADE (mS/cm)	STD (ppm)	OD (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	TIPO/VOLUME RELATIVO
G-1	7.08	2.183	1288,0	5,94	*27,2*	● ✸
G-1B	6.88	2.201	1365,0	6,44	*26,5*	● ✸
G-2	6.87	1.972	1281,0	5,70	29,7	○
G-4	6.61	1.701	1088,0	5,87	29,3	○ ✸
G-5	6.74	0.451	303,0	4,67	30,6	○
G-13	7.04	2.112	1501,0	5,63	32,0	—
G-14	6.46	0.838	437,4	2,48	24,4	○ ✸
G-15	7.24	2.307	1603,0	4,24	31,5	● —
G- 17	6.91	0.378	264,9	5,86	28,1	○
G-18	6.65	0.562	344,4	6,40	28,1	○
G-20	6.34	0.222	136,0	4,12	27,7	○
G-21	6.50	0.162	98,1	4,74	27,6	○
G-22	6.60	0.434	267,9	4,69	28,3	○
G-23	6.75	0.303	202,7	4,29	30,2	○
G-24	6.01	0.084	53,3	1,15	28,9	♦
G-27	6.43	0.099	107,2	3,11	31,3	○
G-30	6.04	2.481	1559,0	4,15	28,4	♦
G-31	6.73	2.276	1282,0	3,84	26,0	♦ ✸
G-32	6.47	3.588	2359,0	4,27	29,0	♦
G-33	6.47	2.824	1765,0	1,51	29,0	♦ ✸
G-36	6.51	0.343	514,6	4,27	28,3	—
G-37	7.09	1.598	930,0	4,33	27,3	—

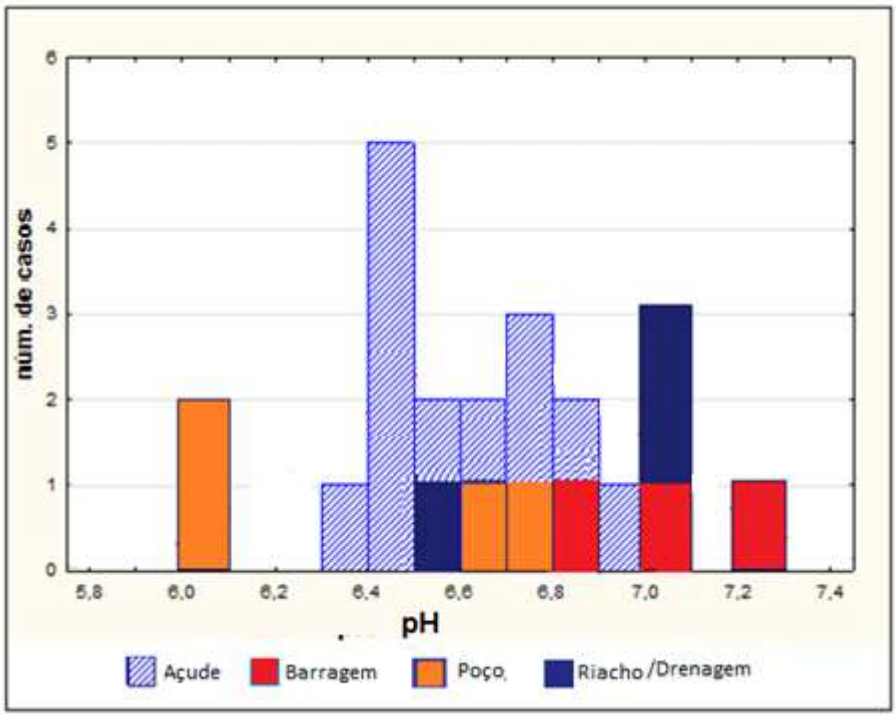


Fonte: autor, 2012

Aparentemente, o pH de águas confinadas da região, em estação de chuvas, não é dependente da natureza do substrato, e sim da composição e quantidade dos influxos de águas superficiais. Isto sugere que escoamentos pluviais em pequenas bacias de recepção não teriam fluxos suficientemente longos para uma maior salinização, ao contrário do que deve ocorrer em grandes bacias de recepção. Por outro lado, esta tendência também poderia ser explicada

pelo fato que a evaporação em maiores espelhos d'água (barragens) implica em maiores volumes transferidos para a atmosfera, em razão de suas maiores áreas de exposição, resultando, por sua vez, em maior alcalinização para os volumes confinados residuais. Esta circunstância aponta, também, para uma expectativa de maior alcalinização das águas no período seco, exigindo proporcionalmente maiores influxos de águas pluviométricas na estação das chuvas, para a possibilidade de retorno às condições de pH ácido.

Figura 07. Histograma do pH de amostras de águas de superfície e de subsuperfície de uma área de estudo na região de Araripina.



Fonte: autor, 2012

A alcalinidade das águas do riacho Moraes não é só resultante da influência da pluviometria (neste caso, pH = 6,6 considerando-se apenas ácido carbônico diluído - Andrews *et al.,* 1996), mas dos efluentes urbanos de Araripina nele descartados (Figura 08).

Figura 08. Trecho do riacho Moraes (G-13); curso contaminado por efluentes domésticos não tratados.

3.2. TEMPERATURA E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

A temperatura exerce profunda influência sobre a vida aquática e é preponderante para o desenvolvimento dos macro e microrganismos de uma biota. Igualmente, tem influência sobre o teor em OD (Tundisi & Tundisi, 2008) e, por consequência', sobre o ecossistema. Entre os gases dissolvidos em ambientes aquáticos, o oxigênio é o mais importante, sendo absolutamente indispensável à vida da maioria dos organismos (peixes, insetos, algas, plantas superiores, etc.). Ele provém, essencialmente, da atmosfera, e é também produzido por reações de fotossíntese das plantas.

Os conteúdos de OD em águas naturais variam com a temperatura, salinidade, turbulência, atividade fotossintética da vegetação aquática, e pressão atmosférica. Sua solubilidade decresce quando a temperatura e a salinidade aumentam. Em nível do mar, e à temperatura de 15 ^{o}C, águas doces apresentam valores entre 8 a 15 mg/L (Chapman & Kimstach, 1992). Concentrações < 5 mg/L podem, adversamente, afetar o funcionamento e sobrevivência de comunidades biológicas; e abaixo de 2 mg/L podem levar à morte a, maior parte das espécies de peixe. Na regulamentação brasileira (CONAMA, 2005), em águas enquadradas como de "classe 2", OD ≥ 5 mg/L.

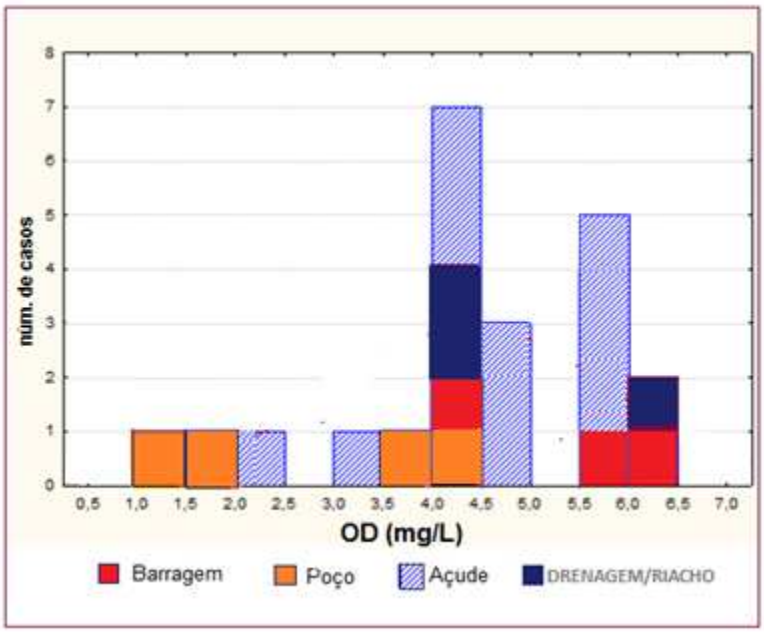
Valores de OD podem indicar o grau de poluição pela matéria orgânica (MO) e o nível de degradação de substâncias orgânicas (Chapman & Kimstach, 1992). Assim, padrões adequados de OD são vitais para a manutenção de condições oxidantes (aeróbias) necessárias à degradação da MO e para manter, por exemplo, o fósforo nos sedimentos de fundo.

Influxos de fosfatos e nitratos podem provocar eutrofização dos ambientes aquáticos. Tais influxos podem ter origem em efluentes domésticos, atividades mineiras, e efluentes de outras origens (industriais, por exemplo). Detergentes possuem fosfatos e/ou nitratos provocam uma desordenada proliferação de algas nos meios aquáticos, reduzindo drasticamente a oxigenação das águas. Além disto, alguns compostos minerais reduzem a disponibilidade do oxigênio livre nos corpos aquáticos, fenômeno conhecido como desoxigenação.

As variações de temperatura dos corpos d'água estudados mostraram a influência do efeito diurno acumulado da insolação. O menor registro foi de 24,4 ^{o}C, em condição matinal e o maior, de 32 ^{o}C, em horário vespertino (vide tabela 04). Na amostragem global (n = 24), cerca de 2/3 dos casos apresentaram temperaturas >28 ^{o}C, considerado limite das condições "ótimas" de sobrevivência para a maior parte dos organismos aquáticos do planeta. Amostragens vespertinas revelaram, quase invariavelmente, temperaturas >28,5 ^{o}C. Pode-se inferir que, no transcurso do dia, estas águas superficiais represadas sofrem aumentos de temperatura de pelo menos 2,5 a 3 ^{o}C, tornando-as muito restritivas para piscicultura, sobretudo se o corpo aquático for raso e não oferecer refúgio de águas frescas profundas para as espécies nele existentes. Ademais, pequenos açudes correm o risco de se tornarem reservatórios muito rasos, ou até mesmo secos, durante a estiagem.

As águas superficiais de barragens e açudes (n = 15) apresentaram-se relativamente bem oxigenadas (87,5% com OD = 4,12 a 6,44 mg/L) apesar de suas temperaturas frequentemente superiores a 28 ^{o}C (vide tabela 04). Considerando-se o padrão de MA = 4,8 mg/L, pode-se considerar boa a oxigenação destas águas, durante a época das chuvas (Figura 09). As únicas exceções (OD < 3,2 mg/L) corresponderam a corpos d'água rasos com profundidades menores que 1 m (Figuras 10 e 11), e aos casos já esperados das águas de subsuperfície (OD = 1,15 a 3,84).

Figura 09. Histograma dos valores de oxigênio dissolvido (OD) de águas de superfície/subsuperfície em uma área de estudo na região de Araripina, PE.



Fonte: autor, 2012

Figura 10. Açude de pequena dimensão (amostragem G-14), raso, com significativo desenvolvimento algálico e indícios de eutrofização (OD = 2,42). Notar as margens secas do corpo hídrico.

Figura 11. Açude com pequena dimensão (OD= 3,11) raso, com indícios de eutrofização (amostragem G-27).

O expressivo padrão médio de OD (4,8 mg/L) das águas represadas no período das chuvas, pode ser explicado por causas sazonais, ou seja: suas renovações parciais por influxos de origem pluvial ricos em OD, nestas épocas do ano. Também se pode considerar coadjuvante o baixo grau de comprometimento antrópico nas bacias de recepção, por onde circulam os influxos superficiais que alimentam os espelhos d'água. De fato, na área estudada, não existem cultivos agrícolas intensivos ou forte desenvolvimento pecuarista, e as ocupações urbana/industrial são de baixa densidade. Este contexto, certamente, permite que suas águas represadas mostrem níveis de OD >4. Diferentemente, Lima (2009) e Pontes (2009) não encontraram similares níveis de oxigenação em águas perenes de rios litorâneos de Pernambuco, senão em médio/alto cursos e a montante de concentrações urbanas. Outra explicação, de cunho bioquímico, foi apresentada por Silva (2004), indicando que na região do Araripe, durante a estação de chuvas, ocorre um aumento na taxa de fotossíntese das plantas, compensando assim a baixa taxa fotossintética no verão, quando a planta precisa resistir fortemente à sua perda d'água.

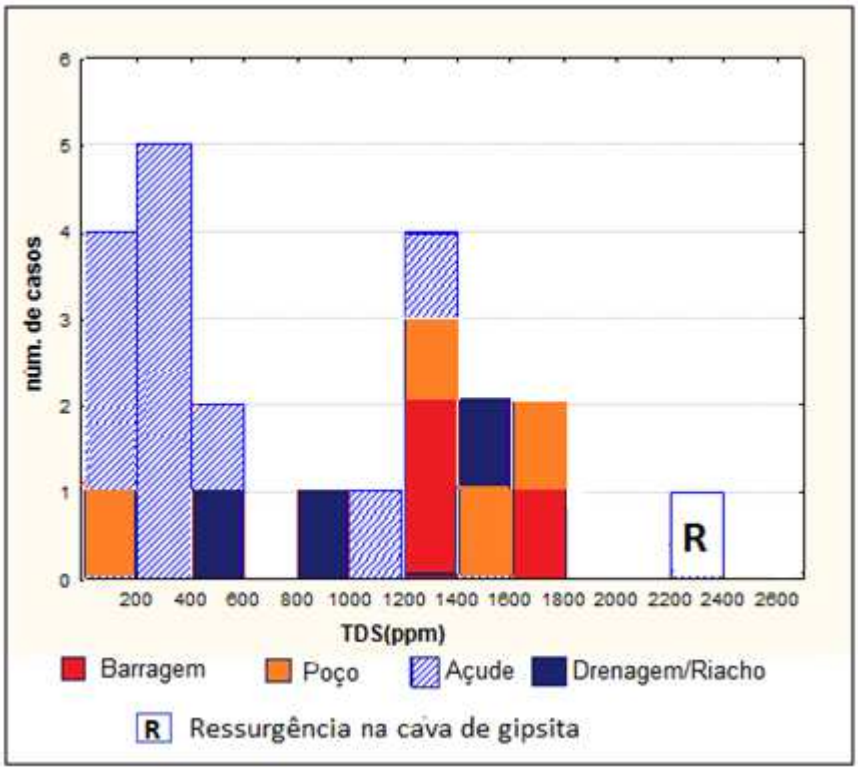
3.3. SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)

Todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos em suspensão na água. Na prática, a classificação é feita, separando-se os sólidos apenas em dois grupos: em suspensão ou dissolvidos. A separação é procedida através do comportamento sob filtragem de membrana com porosidade de 0,45 µm. Qualquer partícula passante é considerada como produto dissolvido, enquanto que a fração retida é considerada como de sólidos em suspensão (Porto *et al.,* 1991). São os sólidos em suspensão que conferem a turbidez das águas podendo, além de prejudicar os aspectos estéticos das águas, reduzir a produtividade do ecossistema pela sua função de obstruir a livre penetração de luz. Sólidos em suspensão, de natureza orgânica, tendem a ser decompostos, provocando redução de OD.

Do ponto de vista da legislação, o limite de sólidos totais dissolvidos (STD) foi determinado conforme o valor indesejado de turbidez que pode provocar. Assim, para o padrão de águas de classe 2 do CONAMA (2005), regulamentado pela resolução n° 357/05, ele é limitado em 500 mg/L.

Os resultados em STD das águas estudadas mostraram-se coerentes com os valores de condutividade elétrica e seu compartilhamento entre os diversos sais existentes nos meios aquáticos, analisados neste estudo, como adiante demonstrará o estudo estatístico. Reservatórios com volumes mais expressivos d'água (barragens) apresentaram *grosso modo* os maiores valores em relação àqueles apresentados pelos "açudes" (Figura 12). A maior parte dos casos de águas de açudes atende à resolução n° 357/05 do CONAMA (2005). O caso de concentração extrema (amostragem G-32, STD = 2.359 ppm; vide tabela 04) ficou por conta de águas de ressurgência em cava de mineração de gipsita (Figura 13), fluindo através da cobertura estéril do minério e formando uma fonte intermitente no próprio leito da gipsita.

Figura 12. Histograma dos valores de STD de águas de superfície e de subsuperfície em uma área de estudo, da região de Araripina, Pernambuco.



Fonte: autor, 2012

Figura 13. Águas represadas no interior da Mina Supergesso, provenientes de ressurgência local.

3.4. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica da água é uma medida de sua capacidade em conduzir corrente elétrica, sendo proporcional à concentração de íons dissociados no sistema aquoso. Esse parâmetro não discrimina quais são os íons presentes, mas é um indicador importante de possíveis fontes poluidoras. Na maioria das águas dulcícolas varia entre 10 e 1000 μS/cm. Águas poluídas costumam exceder 1000 μS/cm, sobretudo aquelas que recebem grandes quantidades de influxos superficiais dos solos (Von Sperling, 2000).

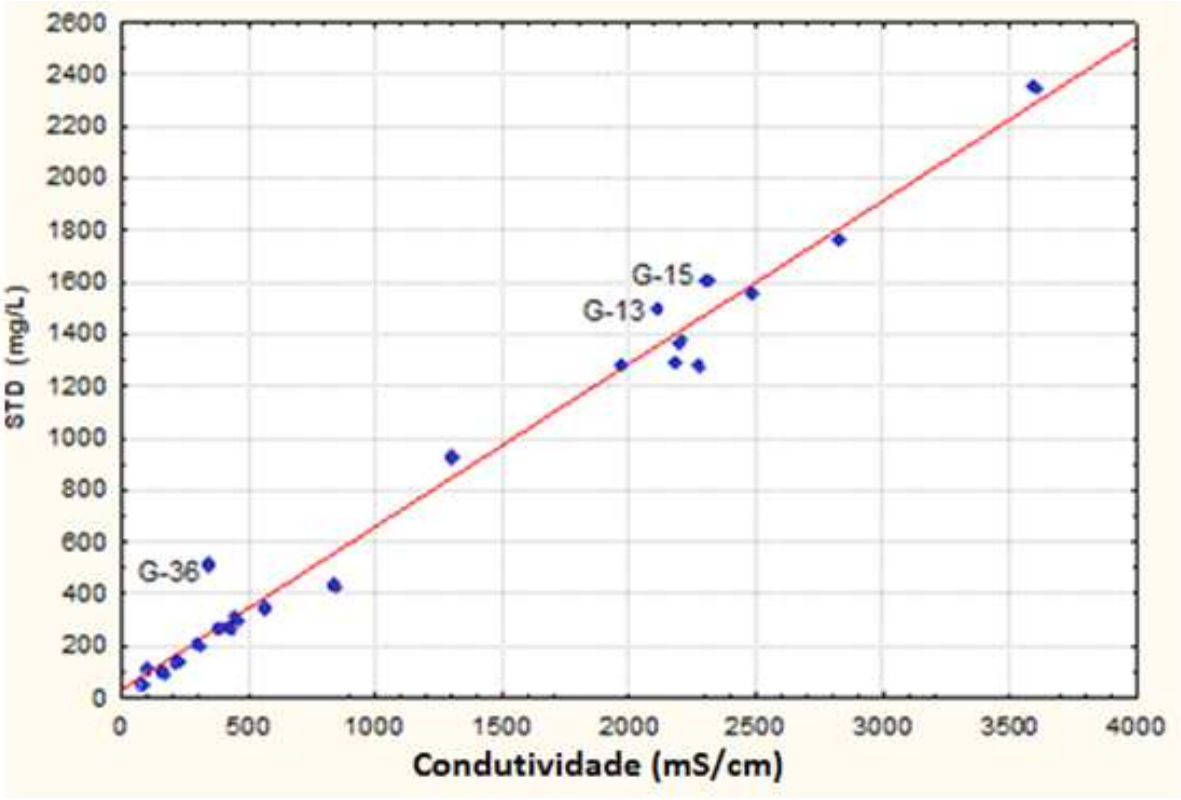
Em ambientes de águas continentais, a condutividade elétrica decresce em épocas de maior pluviometria (Hatch, 1976). Rios que drenam regiões com solos quimicamente heterogêneos tendem a possuir águas com condutividade igualmente heterogênea, dependentes do trecho de amostragem. Em condições de represamento, a composição química das águas pode apresentar sazonalmente diferenças marcantes. Em geral, esta composição representa uma resultante da combinação ponderada das composições químicas e dos volumes dos influxos advindos da bacia de recepção, com fortes influências na natureza ocupacional do terreno por onde escoaram.

Conforme expectativa, a condutividade elétrica apresenta boas correlações com os parâmetros relativos a sais dissolvidos no meio aquoso, porém evidentemente de forma compartilhada.

Em contrapartida, os resultados analíticos (vide tabelas 04 e 05) produzidos neste trabalho, mostram que os valores de STD e de condutividade elétrica se acompanham com proporcionalidade quase perfeita (Figura 14), de modo que além de um coeficiente de correlação muito forte (R = 0,99), as indicações são que sulfatos-bicarbonatos-cloretos são essencialmente os sais dissolvidos nas águas represadas estudadas. Em outras palavras, fosfatos-nitratos são apenas sais minoritários nestas águas. Somente os pontos correspondentes a amostras realizadas no riacho Moraes (G-13), ou em represamento deste (G-15), em condições proximais a Araripina, apresentaram STD em valor notoriamente maior que o esperado na regressão linear, uma vez que, mais próximos das fontes de poluição urbana, devem possuir presença mais significativa de nitratos.

De fato, é de conhecimento público que esta drenagem recebe influxos de efluentes domésticos da cidade de Araripina. A amostragem G-36, distal destes focos de poluição não apresenta o mesmo comportamento, uma vez que nitratos, sendo nutrientes, são sujeitos a forte *uptake* no transcurso fluvial, estimulando na sua passagem um florescimento significativo da flora aquática (Figura 14).

Figura 14. Correlação linear entre a condutividade elétrica e STD de águas de superfície e de subsuperfície, em área de estudo, região de Araripina – PE.



Fonte: autor, 2012

Figura 15. Trecho do riacho Moraes (atualmente perene) a jusante de Araripina. Notar o forte florescimento vegetativo e sua tonalidade característica em águas com presença acentuada de nutrientes.

3.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DE SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE

A composição química de águas reflete os compostos solúveis (sais e íons) nela contidos, cuja concentração total pode ser expressa como salinidade. Em águas continentais, ela é determinada por quatro cátions principais: Cálcio, Magnésio, Sódio e Potássio, e os anions carbonato, sulfato e cloreto. A principal fonte de íons para as águas de escoamento superficial é o intemperismo das rochas continentais que, por hidrólise, libera quantidades significativas de sódio, cálcio, magnésio, etc., e anions HCO_3^-, originários das águas pluviais. Bicarbonatos, sulfatos e cloretos, constituem importantes solutos contidos em águas naturais.

Apesar do intemperismo das rochas não liberar quantidades significativas de cloro, suas concentrações são elevadas nos oceanos, devido ao seu prolongado tempo de residência (milhões de anos) neste ambiente, possibilitando sua acumulação, assim como a do sódio (Mello, *op. cit.,* 2008). Em princípio, águas continentais e águas de subsuperfície possuem composição química mais simples que as oceânicas, mas não é possível definir uma "concentração típica"

para os vários tipos de água doce. Ambientes dulcícolas exibem grandes variações tanto na concentração como na composição de sais dissolvidos, uma vez que são muito influenciados por condições locais como litologia, cobertura vegetal, taxa de erosão, etc. A composição média dos sais dissolvidos é de 120 mg/L em águas fluviais, e de 35.000 mg/L em águas marinhas (Chester, 2000).

Apesar de uma ocupação urbana apenas adensada em Araripina, e de uma área rural com pecuária e agricultura praticamente inexistentes, a influência antrópica se mostra francamente agressiva nos corpos d'água estudados. Basicamente, os níveis principais de impacto ambiental se resumem aos efluentes urbanos de Araripina e aos focos de produção industrial de gesso e seus subprodutos. As influências antrópicas se refletem claramente nos resultados das análises químicas das águas de superfície represadas, nas de subsuperfície, e águas do riacho Moraes (Tabela 05).

3.5.1. Sulfatos (SO_4^{--})

Sulfatos compõem um dos mais abundantes agrupamentos de íons em águas naturais originando-se, sobretudo a partir da oxidação da MO, ou da alteração de sulfetos/sulfatos das rochas, em processos supergênicos (Krauskopf & Bird, 1995). Entretanto, desde o início da era industrial, importantes influxos de SO_2 vêm sendo antropicamente despejados na atmosfera, através da combustão de combustíveis fósseis (Andrews *et al.,* 1996).

Tabela 05. Sumário dos resultados analíticos de amostras de águas de superfície e de subsuperfície da região de Araripina, Pernambuco.

AMOSTRA	Cloretos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	TIPO/VOLUME RELATIVO
G- 1	462	339,1	485,1	● ✸
G-1B	464	813,8	85,8	● ✸
G-2	540	182,0	557,6	○
G- 4	95,0	813,9	178,7	○ ✸
G-5	18,5	118,7	165,6	○
G-13	449	196,1	849,6	—
G-14	9,0	267,1	160,2	○ ✸
G-15	478	413,8	709,9	● —
G-17	7,6	89,9	167,2	○
G-18	50,1	106,2	187,7	○
G-20	22,4	43,0	69,9	○
G-21	12,4	39,7	43,9	○
G-22	19,9	40,3	206,8	○
G-23	18,6	55,5	127,4	○
G-24	7,5	37,6	7,5	♦
G-27	5,0	69,7	31,1	○
G-30	701,9	9,0	844,7	♦
G-31	447,2	248,6	582,9	♦ ✸
G-32	434,8	517,9	1405,6	
G-33	341,8	690,0	730,2	♦ ✸
G-36	288,2	200,4	24.4	—
G-37	17,4	60,4	49,8	—

○ Açude ● Barragem ♦ Poço — Drenagem/riacho
Ressurgência, mineração ✸ Indústria próxima Influência de efluentes domésticos

Fonte: autor, 2012

Para abastecimento público as concentrações de sulfato em águas devem ser controladas porque podem provocar efeitos laxativos (Piveli, 2005), de modo que o padrão de potabilidade determinado pela Portaria 1.469 do MS/Brasil fixa seus limites em 250 mg/L. Acima deste padrão (como sulfato de sódio) já conferem sabor desagradável para águas e, em níveis superiores a 600 ppm (como sulfato de magnésio), constituem um purgativo vigoroso para seres humanos. As consequências fisiológicas resultantes da ingestão de grandes quantidades de sulfato incluem desidratação e irritação gastrointestinal.

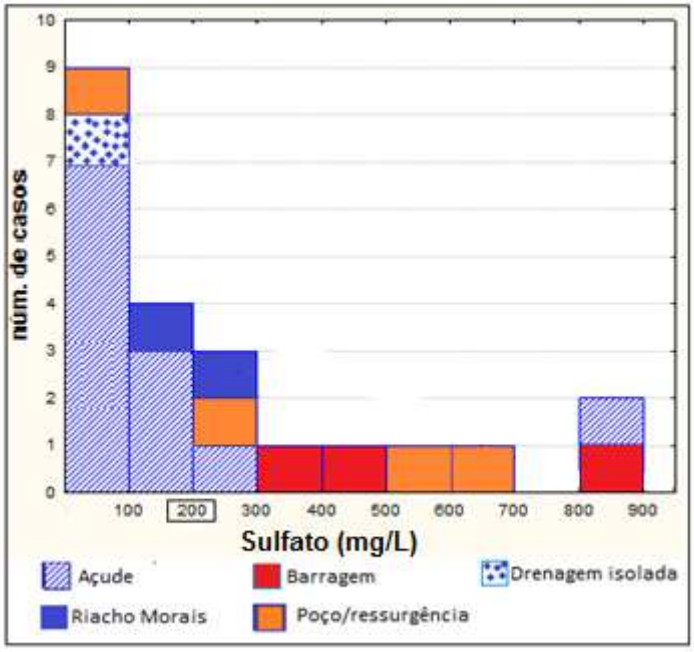
Em águas naturais, suas concentrações variam, em geral, entre 2 a 80 mg/L (Meybeck *et al.,* 1992). Ainda segundo o autor nas águas de abastecimento industrial, as concentrações dos sulfatos provocam incrustações em caldeiras e trocadores de calor, além de corrosões em coletores de esgoto produzidos em

concreto. Adicionalmente, ocorre geração de gás sulfídrico, que possui um específico odor desagradável e, inclusive, efeitos tóxicos para seres humanos. Em águas tratadas, pode ser residualmente proveniente do emprego de coagulantes como o sulfato de alumínio. Nas águas de superfícies, sulfatos podem ser originados a partir de descargas de esgotos domésticos, em função da degradação de proteínas, assim como a partir de efluentes industriais (indústrias de celulose e papel, química, farmacêutica, etc.).

Considerando-se os resultados químicos das águas analisadas (vide tabela 06), previsíveis impactos antrópicos ficaram evidenciados através das concentrações anômalas de sulfatos em águas de superfície ou de subsuperfície. O histograma das concentrações em sulfatos (n = 22) mostra uma repartição entre valores de SO_4^{--} >200 mg/L e SO_4^{--} <200 mg/L (Figura 16).

Águas de superfície, ou de subsuperfície, vicinais a unidades industriais produtoras de gesso e subprodutos (Figura 17), mostraram invariavelmente SO_4^{--} >100 mg/L. As águas do riacho Moraes, ou de seu sistema de drenagem, passantes na área urbana de Araripina (Figura 18), apresentaram SO_4^{--} com valores de 200 a 413 mg/L. Os poços subterrâneos, distanciados dos focos de produção de gesso e seus derivados, mostraram sistematicamente SO_4^{--} <100 mg/L.

Figura 16. Histograma das concentrações em sulfatos (mg/L) em águas de superfície e de subsuperfície em área de estudo, na região de Araripina-PE.



Fonte: autor, 2012

Figura 17. Barragem do Estado (G-1 e G-1B), margem norte, vizinhança da zona urbana de Araripina e de pequenos focos de produção de placas de gesso. Local receptor de efluentes da produção de placas de gesso e seus resíduos (↓). Teor de sulfato nas águas da estação de amostragem (**ϴ**) G-1B (SO_4^{--} =: 813,8 mg/L).

Figura 18. Barragem da Indústria Têxtil Artesa, no curso de afluente do riacho Moraes, com cabeceiras na zona urbana de Araripina. Concentração de sulfatos nas águas da estação de amostragem (G-15) = 413,8 mg/L.

Considerada a distribuição das concentrações em sulfatos, estabeleceu-se arbitrariamente um limiar de SO_4^{-2} ≤ 100 mg/L separando-se os valores regionais litogênicos (ou geogênicos) daqueles anômalos ou de influência antrópica (SO_4^{--} ≥200 mg/L). Finalmente, foi separado mais um limiar para determinar ambientes inquestionavelmente impactados por contaminações sulfáticas: SO_4^{--} ≥500 mg/L. A disposição espacial dos limites de influência, particularmente a partir do padrão de SO_4^{--} ≥100 mg/L, mostra uma conformação elipsoidal alongada SE-NW (Figura 19), em conformidade com a direção predominante dos ventos, e tendo suas origens sempre relacionadas a focos de produção de gesso ou de seus artefatos.

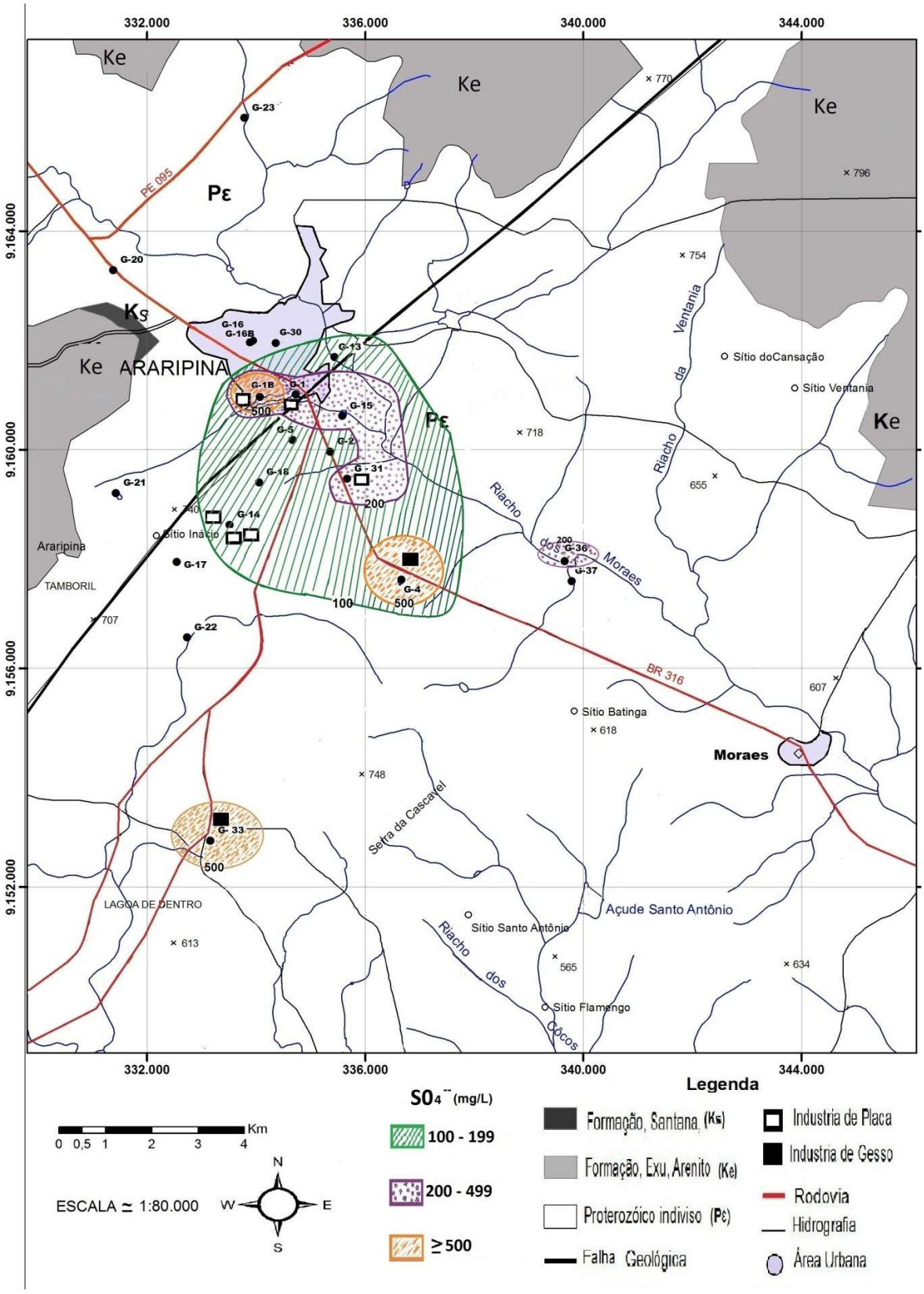
A repercussão de concentrações mais elevadas em SO_4^{--} em águas de superfície foi investigada a partir de amostragem de sedimentos superficiais de fundo. Os dados analíticos (Tabela 06) referem-se a sedimentos de corpos d'água da área de estudo e de outros, provenientes de áreas vicinais da mesma região de Araripina. Os resultados mostraram correlação expressiva (R = 0,69) entre concentrações de enxofre nos sedimentos (S) e de SO_4^{--} nas águas dos ambientes correspondentes. Efetivamente, e quase sem exceção, ambientes aquáticos fortemente contaminados em SO_4^{--} (>400 mg/L) apresentam teores mais altos em enxofre (S >0,1%).

Tabela 06. Composição química de sedimento (total) de fundo de corpos d'água represados da área de estudo, e de áreas circunvizinhas à região de Araripina – PE.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	S %	SO_4^{-} mg/L
G1B	65,81	13,66	4,04	0,04	0,85	2,32	0,84	3,49	0,433	0,13	0,525	813,8
G 4	60,43	21,59	2,94	0,02	0,27	0,58	0,31	1,66	0,685	0,09	0,119	813,9
G 14	51,21	22,97	4,4	0,03	0,7	0,51	0,53	1,79	0,714	0,19	0,047	267,1
G 15	70,01	13,01	2,64	0,02	0,41	0,63	0,65	2,67	0,571	0,09	0,173	413,8
G 17	75,94	12,06	1,4	0,04	0,25	0,54	1,51	5,17	0,272	0,04	0,034	89,9
G 18	49,65	23,73	7,07	0,1	0,98	0,52	0,1	1,09	0,686	0,24	0,028	106,2

Fonte: autor, 2012

Figura 19. Zoneamento de áreas de influência dos halos de dispersão atmosférica de poeira/efluentes de gesso, resultando em anomalias de SO4-- em águas de superfície/subsuperfície na área de estudo, região de Araripina-PE.



Fonte: autor, 2012

Considerando-se os dados de Kemper *et al.* (1975), Colombani & Bert (2007), e outros, o destino de particulados sulfáticos quando imersos em ambientes aquáticos habituais é o de serem submetidos a franca dissolução. Devido à alta reatividade do gesso, pode-se considerar que seus particulados sedimentados em solos e vegetação dificilmente chegarão aos ambientes de represamento d'água como sólidos em suspensão. Finalmente, dado ao comportamento conservativo do SO_4^{--} (e também dos cloretos), a expectativa é que os corpos d'água contaminados estejam acumulando suas concentrações ano após ano, sobretudo através de influxos de águas pluviais.

3.5.2. Cloretos

Com exceção de halogenetos em sequências evaporíticas a litologia crustal é muito pobre em cloro. Além disto, halogenetos formam rochas pouco abundantes na litosfera (Warren, 1989), e habitualmente só preservadas se confinadas em subsuperfície. Concentrações médias máximas de Cl^- são constatadas em sedimentos marinhos profundos: 2,1 % (Turekian & Wedepohl, 1961); as litologias comuns na litosfera apresentam concentrações médias ≤ 200 ppm (Turekian & Wedepohl, *op. cit.*). Concentrações de cloretos em águas doces são normalmente menores que 10 mg/L e, por vezes, menores que 2 mg/L (Meybeck *et al.*, 1992).

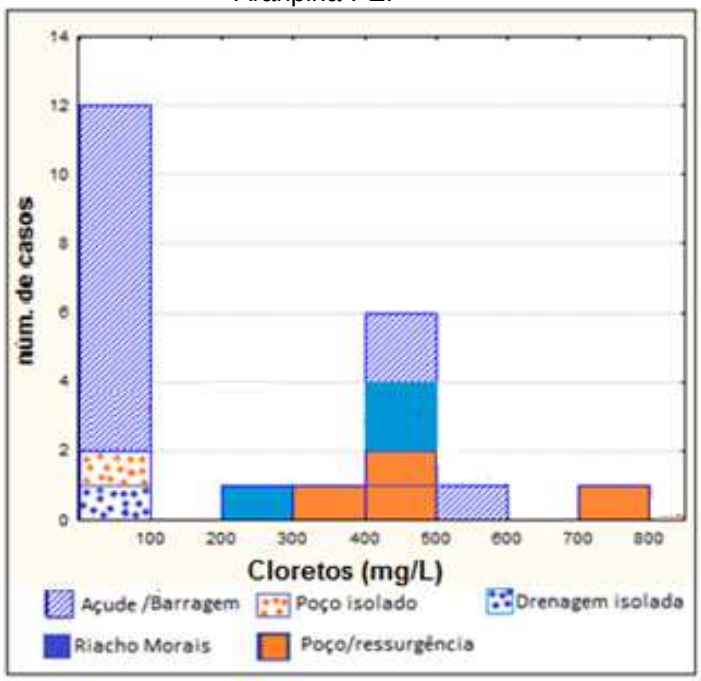
Em águas continentais, os cloretos geralmente provêm da dissolução de minerais, ou por avanços de marés marinhas (preamar, em estuários), ou de chuvas a partir da condensação do spray marinho (faixas litorâneas), ou por vadose de águas oceânicas em sedimentos costeiros. Antropicamente, podem também advir dos esgotos domésticos ou industriais, ou em drenos de irrigação, em altas concentrações (Chapman & Kimstach, 1992), conferindo sabor salgado à água ou propriedades laxativas.

Habitualmente, águas doces continentais apresentam concentrações em cloretos menores que 10 ppm e, por vezes, menores que 2 ppm (Meybeck *et al.,* 1992). Em áreas adjacentes ao oceano, as chuvas podem conter até algumas dezenas de mg/L em cloretos, mas tais concentrações decrescem rapidamente no sentido do interior do continente.

Algumas águas contendo cloretos >250 mg/L podem ter um gosto salgado detectável se o cátion for sódio. Por outro lado, o gosto salgado típico pode não ser percebido em águas contendo cloretos > 1000 mg/L quando os cátions predominantes são cálcio e magnésio. Em função de repercussões na circulação sanguínea dos seres humanos, a resolução CONAMA (2005) n° 357/05 estabelece o limite máximo 250 mg/L para cloretos em águas enquadradas como da classe 2.

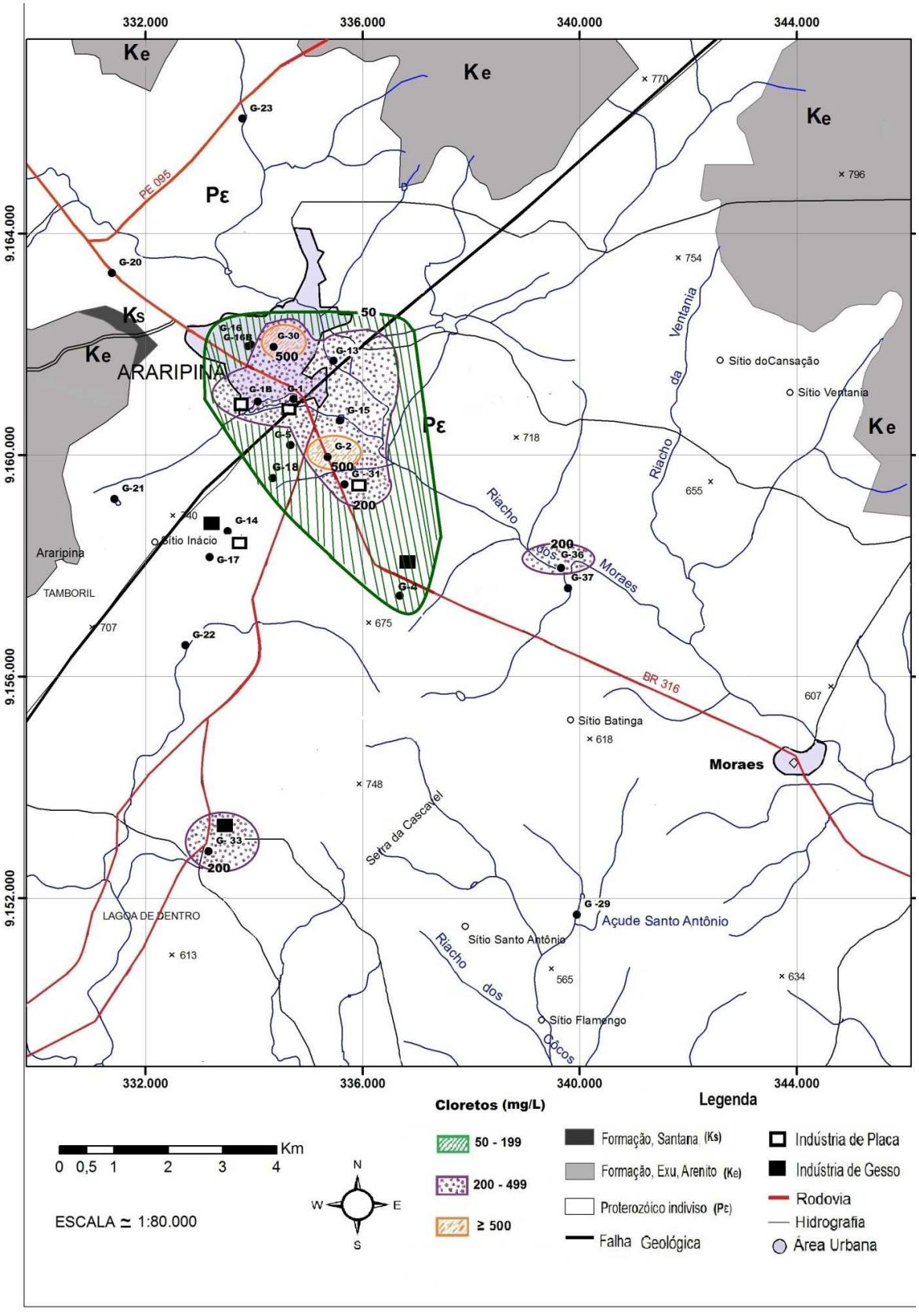
O histograma das concentrações de cloretos nas águas de superfície e de subsuperfície da região estudada (Figura 20) mostra uma distribuição em duas famílias: uma com valores abaixo de 100 mg/L, e uma outra com concentrações maiores que 200 mg/L. A primeira comporta unicamente águas de açudes, incluindo substancialmente resultados que estariam na expectativa de padrões habituais de *background* de águas continentais. A segunda reúne as condições em que a interferência antrópica resulta em contaminações dos sistemas hídricos: barragens e drenagem do riacho Moraes, comprometidos com influxos de efluentes urbanos (incluindo-se as barragens da amostragem G-1, G-1B e G-15); águas de subsuperfície em área urbana, proximidades de indústrias de produção de gesso, ou ainda o caso de ressurgência em cava de mineração de gipsita.

Figura 20. Histograma das concentrações em cloretos (mg/L) de águas de superfície e de subsuperfície em área de estudo da região de Araripina-PE.



Fonte: autor, 2012

Figura 21. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em cloretos (mg/L), na área de estudo, região de Araripina-PE.



Fonte: autor, 2012

A distribuição espacial dos casos de contaminação em cloretos (aqui considerados aqueles com concentrações >100 mg/L.), envolvendo corpos d'água represados, águas do riacho Moraes e águas de subsuperfície (Figura 21), revela uma configuração similar àquela que reúne os casos de contaminação em SO_4^{--}. Esta circunstância aponta para a presença residual de cloretos nas gipsitas que são calcinadas para produção de gessos.

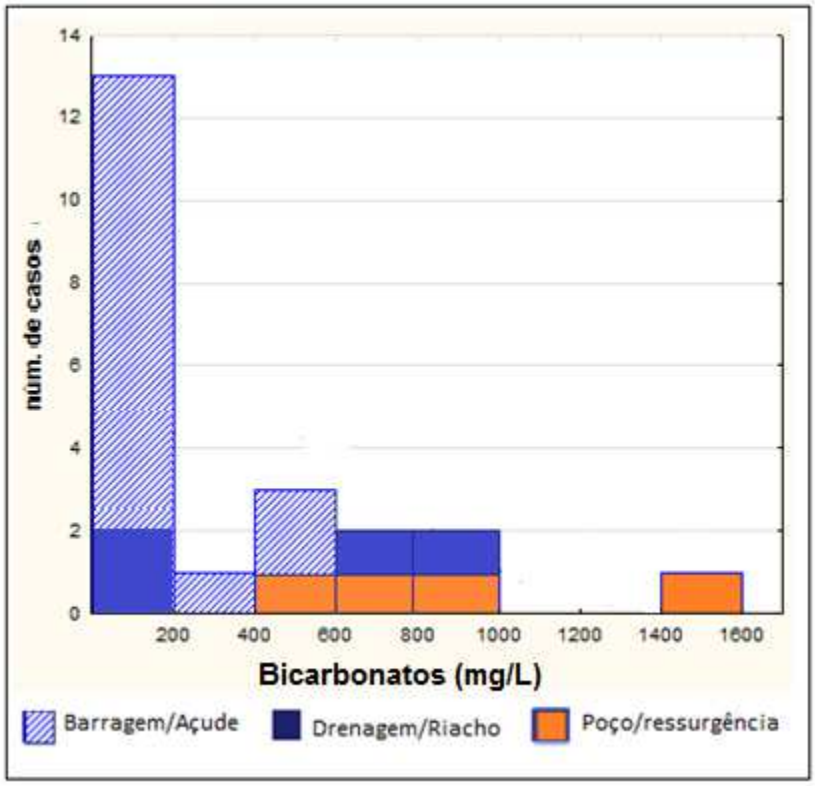
3.5.3. Bicarbonatos

Bicarbonatos são sais que contêm o ânion HCO_3^-, sendo resultantes de uma reação de salificação parcial. Como são derivados de um ácido fraco, os bicarbonatos têm caráter básico e, nos ambientes naturais, se encontram em equilíbrio com carbonatos, água e CO_2. Este equilíbrio intervém em muitos processos naturais e artificiais. Em meio aquoso, os bicarbonatos se hidrolisam, produzindo uma base mais forte.

Em águas naturais os bicarbonatos são formados principalmente a partir das águas pluviométricas, que contêm H_2CO_3 diluído, formado a partir do CO_2 existente na atmosfera. Em outras circunstâncias podem ser produzidos a partir da alteração de litologias carbonáticas, que são relativamente pouco frequentes em regiões emersas da crosta terrestre. Calcários cristalinos não ocorrem na área estudada.

A distribuição das concentrações em bicarbonatos nos casos de águas de superfície e de subsuperfície, na área de estudos, mostraram uma repartição que separa açudes/barragens das demais condições hídricas (Figura 22). Corpos d'água represados, não adjacentes de domínios de forte urbanização, apresentam em geral concentrações em bicarbonatos <400 mg/L. Em contrapartida, águas do riacho Moraes, ou de subsuperfície (poços), ou de ressurgência, apresentam concentrações em bicarbonatos >400 mg/L. Maiores concentrações em bicarbonatos em águas de subsuperfície apenas confirmam que a principal recarga destes aquíferos são efetivamente as águas pluviais, ainda que estas águas possam ser poluídas por SO_4^{--} e/ou cloretos (poeira ou efluentes de gesso), antes que infiltração atinja o nível freático.

Figura 22. Histograma das concentrações em bicarbonatos (mg/L) de águas de superfície e de subsuperfície, em área de estudo na região de Araripina-PE.



Fonte: autor, 2012

3.6. CORRELAÇÕES ESTATÍSTICAS

O tratamento estatístico envolvendo os parâmetros analisados indicou uma correlação muito forte entre condutividade e STD (R = 0,99) e, de uma forma geral, um único conjunto de fortes intercorrelações (R >0,7): condutividade–STD–cloretos–bicarbonatos (Figura 23). Sulfatos correlacionam-se razoavelmente com a condutividade e STD (R = 0,62), porém suas relações com bicarbonatos, cloretos e sulfetos, não são bem definidas (R = 0,30 a 0,34).

Porém, ficou evidenciado que pH, OD e temperatura, nas valores apresentados, não mostraram interferência significativa no comportamento hidroquímico dos sais dissolvidos dos meios aquáticos estudados

Figura 23. Matriz de correlação de parâmetros físico-químicos de águas de superfície e de sub-superfície de área de estudo, na região de Araripina – PE.

	pH	Condut.	STD	OD	Temp.	Cloretos	Sulfatos	Bicarb.
pH	1,00							
Condut.	0,25	1,00				n = 22		
STD	0,25	**0,99**	1,00					
OD	0,57	0,10	0,11	1,00				
Temp.	0,21	-0,13	-0,04	0,23	1,00			
Cloretos	0,17	**0,80**	**0,82**	0,20	0,03	1,00		
Sulfatos	0,21	0,62	0,62	0,13	-0,25	0,34	1,00	
Bicarb.	0,08	**0,85**	**0,87**	0,00	0,13	0,73	0,30	1,00

Fonte: autor, 2012

4. CONCLUSÕES

Estudos precedentes reconheceram que na região de Araripina existem problemas de saúde pública, envolvendo um número elevado de internações hospitalares em razão de problemas do trato respiratório superior. Efetivamente, estes problemas decorrem da aspiração de poeira de gesso, a partir de centros de calcinação do minério básico (gipsita), ou por exposição involuntária continuada, no interior de halos de dispersão atmosférica desta poeira. As evidências desta dispersão podem ser evidenciadas em imagens-satélite (Google), ou através da composição química de águas de ambientes represados (e também águas de subsuperfície), contaminados por concentrações abnormais em sulfatos e cloretos. Esta contaminação provém da poeira de gesso sedimentada sobre solos e vegetação que, solubilizada por águas pluviais, flui em águas de escoamento superficial ou se infiltra nos solos, contaminando águas de superfície e de subsuperfície no âmbito do alcance do seu halo de influência. Estes halos de influência podem alcançar centenas de metros, alongando-se segundo o sentido preferencial dos ventos (SE-NW).

Águas residuais da produção de placas e outros artefatos em gesso são também efluentes de forte poder poluente. Entretanto, como agentes regionais de contaminação devem ser descartadas as poeiras geradas pela cominuição de gipsita para fornos de calcinação, e as geradas em ambientes de mineração. Em ambos os casos, as dispersões pareceram circunscritas à vicinalidade dos focos de origem.

Nas águas superficiais dos corpos d'água estudados, as contaminações de SO_4^{--} e de cloretos evidenciaram superposição de áreas de influência, apesar da baixa correlação entre estas variáveis. Cloretos estão presentes não apenas nos minérios regionais de gipsitas (média de Na_2O = 0,15%) como, previsivelmente, em efluentes domésticos da cidade de Araripina. Estas diferentes origens, aparentemente, criaram interferências nas esperadas correlações entre sulfatos e cloretos.

Considerando-se os elevados tempos de residência e os altos coeficientes de dissolução de cloretos e sulfatos, cujos *uptakes* biogênicos são limitados em ambientes aquáticos, considera-se que os ambientes aquáticos contaminados, evidenciados neste estudo, mostrarão aumentos no processo de contaminação destes compostos, ano a ano.

REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, J.L., 2002. *Diagnóstico Ambiental e Questões Estratégicas: Uma Análise Considerando o Pólo Gesseiro do Sertão do Araripe – Estado de Pernambuco. Curitiba, Univ. Fed. Paraná,* Tese Dout., 185 p.

ANA, 2010. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Brasília, *Ag. Nac. Águas- ANA.* Disponível em <http//:www.hidroweb.ana.gov.br.> Acessado em: 20 de junho 2011.

ANDREWS J.E., Brimblecombe P., Jickells T.D, Liss P.S., 1996. An introduction to Environmental Chemistry. London, *Blackwell Sci.,* 198 p.

A.P.H.A., 2001. Standard methods for examination of water and wastewater. Washington, *Amer. Public Health Assoc*., Chap. 1, p. 34-38

ARAÚJO S.M.S., 2004. O Pólo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração**.** Campinas, UNICAMP, Tese Dout., 278 p.

ARAÚJO, S.M.S.; PAULA; M.V.S.; SILVA, M.P. Bacia do Rio da Brígida: Possibilidades e limitações de uso dos recursos naturais. Recife, *DCG/CFCH/UFPE*, Rel. discipl. Geomorf. Aplicada, 8 p. (inédito).

ASSINE M.L., 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Rev. brasil. Geoc.,* 22(3): 298-300.

BAIRD C., 2002. Química ambiental. Porto Alegre, *Ed. Bookman,* 650 p.

BARRETO M.R., 2001. Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil. Rio de Janeiro, *CETEM/MCT*, 215 p.

BOYER K & LEWIS M., 2002. Competitive priorities: Investigating the need for trade-offs in operations strategy. *Production and Operations Management*, 1 (11): 9-20.

BRAGA B., Hespanhol I., Conejo J.G.L., Barros M.L., Spencer M., Porto M., Nucci N., Eiger S., 2002. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo, *Prentice Hall*, 305 p.

BRANCO, Samuel M. .Ecossistêmica: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999. 141p.

BRAITSCH O., 1971. Salt deposits – Their origin and composition. Berlin, *Springer Verlag,* 297 p.

BRASIL, 1975. Decreto-Lei nº 1.413 de 14 de agosto de 1975. Brasília, Presidência da República, disponível em <http//:www.camara.gov.br>. Acessado em: 20 de junho 2011.

CHAPMAN D. & KIMSTACH V., 1992. Selection of water quality variables. *In*: An introduction to water quality: Water quality assessments; D. Chapman (Edit.). London, *Chapman & Hall*, p. 51-119.

CHESTER R., 2000. Marine Geochemistry. London, *Blackwell Sci.,* 491 p.

COLOMBANI J. & Bert J., 2007. Holographic interferometry study of the dissolution and diffusion of gypsum in water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71: 1913-1920.

CONAMA (2005). Resolução N^{o} 357 de 17/03/2005. Brasília, *Cons. Nac. Meio Ambiente – CONAMA*. Disponível em <http//:www.mma.gov.br/port/conama>. Acessado em 6 de Nov. 2010.

CORBETT C. & VAN WASSENHOVEL., 1993. Trade-offs? What´s trade-offs? Competence and competitiveness in manufacturing strategy. *California Management Review***,** p.107-122.

CPRH, 2000. Licenciamento e fiscalização no Estado de Pernambuco: Procedimentos. Recife, Comp. Pernambucana de Meio Ambiente - CPRH, 77 p. Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br/home>. Acessado em: 8 de nov. 2011.

DEER W.A., Howie R.A., Zussman J., 1992. An introduction to the rock forming minerals. London, *Longman Ed*., 696 p. (2nd ed.).

FARIAS L.C.E. e SILVA D.A., 2007. Apoio Técnico e Institucional para o Desenvolvimento do Programa Florestal da Chapada do Araripe em Pernambuco. Produto 2 - Diagnóstico. Curitiba/PR, *Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, publicação técnica, 181 p. (Inéd.).*

FELLENBERG G., 1997. Introdução aos problemas da poluição ambiental. São Paulo, *E.P.U./EDUSP*, p. 28 - 61.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis .Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 2010. 96 p.

INGERSOLL C.G., MacDonald D.D.,Wang N., Crane J.L., Field L.J., Haverland P.S., Kemble N.E., Lindskoog R.A., Severn C., Smorong D.E., 2001. Predictions of sediment toxicity using consensus based freshwater sediment quality guidelines. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.,* 41: 8-21.

JENNING N., 1999. .Al crecer la pequeña minería em los países em desorrolio. Aumentan los riesgos para la salud y la seguridad de mineros , mujeres y niños. In: Información Públic. Organización Internacional del Trabajo. *Comunicados de prensa OIT 99-10,* disponível em: <http://www.ilo.org/public/spanish/index.html> Acesso em: 17/10/2012.

KEMPER W.D., Olsen J., de Mooy C.J., 1975. Dissolution rate of gypsum in flowing water. *Soil Sci. Soc. America*, 39(3): 458-463.

KRAUSKOPF K.B. & BIRD D.K., 1995. Introduction to Geochemistry. New York, *McGraw-Hill*, 637 p. (3th ed.).

LIMA T.M.S., 2009. Contribuição ao estudo das condições hidroquímicas do rio São Domingos (rio Igarassu), Estado de Pernambuco, Brasil. Olinda, *FUNESO*, Monografia de Spec., 54 p.

LYRA SOBRINHO A.C.P., Amaral A.J.R., Dantas J.O.C., Dantas J.R.A., 1990. Perfil analítico da Gipsita. Recife, *DNPM-IV Distr*., 19 p. Disponível em: <http//:www.dnpm.gov.br/assets/ galeriadocumento/.../gipsita>. Acessado em 2010.

LYRA SOBRINHO, A.C.P.; Amaral, A.J.R. 2001; Dantas, J.O.C.; Dantas, J.R.A. Balanço Mineral Brasileiro**.** Brasília**:** *DNPM*,. p 22. Disponível em <http//:www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp>. Acesso em 06 de nov.2011.

MARTINS, L.K.P., 2001. Evidência de toxicidade em sedimentos associados à indústria petrolífera:uso de biomarcadores. Salvador, UFBA. Diss. Mestrado, 151p.

MARTINS C.R., Pereira P.A.P., Lopes W.A. e Andrade J.B., 2003. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. *Química Nova/Cad. Temát.: Química, Vida e Ambiente,* p. 4-28.

MEDEIROS M.S., 2003. Poluição Ambiental por Exposição à Poeira de Gesso: Impactos na Saúde da População. Recife, *Centro Pesquisas Ageu Magalhães,* Diss. Mestrado, 56 p.

MELO, M. L. 1988. Áreas de Exceção da Paraíba e dos Sertões de Pernambuco. Recife, *SUDENE*, Série Estudos Regionais, 19, 321 p.

MENOR E.A., 1995. Projeto Gipsita – Etapa I. Recife, *DNPM-IV Distr*., Rel. Técn. 214 59/C, 42 p. (inéd.).

MEYBECK M., Friedrich G., Thomas R., Chapman D., 1992. An introduction to water quality. *In:* Water quality assessments: A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring; D. Chapman (Ed.). London, *Chapman & Hall*, p. 241-320

MILARÉ É., 2001. Direito do Ambiente: doutrina, prática, jurisprudência**,** Glossário. São Paulo, *Revista dos Tribunais*, 783 p**.**

MIRWALD P.W., 2008. Experimental study of the dehydration reactions gypsum-bassanite and bassanite-anhydrite at high pressure: indication of anomalous behavior of H(2)O at high pressure in the temperature range of 50-300 degrees C. *Jour. Chem. Phys*., 128(7): 074502.

MMA, 1997. Diretrizes ambientais para o setor mineral**.** Brasília, *MMA*, 56 p. Disponível em <http//:www.mma.gov.br >. Acessado em 12 de nov. 2011.

NEUMANN, Virgínio H.; CABRERA, Luís .Una nueva propuesta estratigráfica para La tectonosecuencia pos-rifte de la cuenca de Araripe, _oreste de Brasil. In: Boletim do V Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e I Simpósio sobre o Cretáceo de América del Sur. Rio Claro-SP: UNESP- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1999. 712 p (p:279-285).

PARFENOFF A., Pomerol C., Tourenq J., 1970. Les minéraux en grains: methods d'étude, et determinations. Paris, *Masson & Cie*., 561 p.

PERES L.; Benachour, M.; Santos, V.A. dos - O Gesso. Produção e utilização na construção civil. Recife, *Ed. Bagaçu*, 156p.

PERNAMBUCO. Secretaria Estadual de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente.(SECTMA). Política Estadual de Controle da Desertificação, Recife, 1995. Disponível em <http//:www.desert.org.br>. Acesso em 12 nov. 2011.

PIVELI R.P. *e* KATO M.T., 2005. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo, *ABES*, v. 01, 285 p.

PONTES B.M.S., 2009. Elementos diagnósticos físico-químicos da bacia hidrográfica do rio Paratibe, litoral norte do Estado de Pernambuco. Olinda, *FUNESO*, Monogr. Espec., 43 p.

PORTO M. F. A., Branco S. M., Luca, S. J., 1991. Caracterização da qualidade de água. *In:* BRANCO, S. M. Hidrologia Ambiental. São Paulo, *Editora Universidade de São Paulo / ABRH*, cap. 2, p. 27-66.

RAJU K.U.G. & ATKINSON G., 1990. The thermodynamics of scale mineral solubilities 3. Calcium sulfate in aqueous NaCl. *Jour. Chem. Engineering*, 35**:** 361-367.

REBOUÇAS, A. da C., 2002. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. (orgs.). Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.. São Paulo, *Escrituras Editora*. p. 01-37, 2ª Ed.

.

SANTOS M.A.V. e SARDOU R., 1996. Diagnóstico das atividades econômicas do Pólo Gesseiro do Araripe. Recife, *SECTMA/SEBRAE*, Rel. técnico, 31 p. (Inéd.).

SANTOS, A. M. A. 2001.*O* tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho. São Paulo: *Fundacentro, Rel. técnico,* 96 p. (Inéd.)

SECTMA-PE e GEOPHOTO, 2005. Polo gesseiro de Pernambuco: diagnóstico e perspectivas de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe. Recife, *Gov. PE/SECTMA*, Disponível em: <htttp://www.sectma.pe.gov.br> acessado em 30 de Nov. 2011.

SILVA E.C., NOGUEIRA R.J.M.C., AZEVEDO Neto A. D., 2004. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil**.** Recife. *UFRPE*, IHERINGIA, 59(2): p. 201-205.

SOBRAL, Maria do Carmo M. .Impactos ambientais da exploração do gesso na Microrregião de Araripina. In: Gypsum Fair'97 . Olinda-PE: 1 a 5 de abril de 1997. p-66-70.Anais.

TOMMASI L.R., 1994. Estudo de Impacto Ambiental*.* São Paulo, *CETESB*, 354 p.

TUNDISI T.M. & TUNDISI J.G, 2008. Limnologia. São Paulo, *Oficina de Textos*, 632 p.

TUREKIAN K.K. & WEDEPOHL, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. America Bull*., 72*:* 175-192.

USEPA, 1997. National Recommended Water Quality Criteria. Washington, *United State Environmental Protection Agency*, 14 p.

VON SPERLING M.V., 1996. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. *In:* Vol 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte, *DESA/UFMG*, 243 p.

VON SPERLING, M.V., 2000. Proposição de modelos para a estimativa da remoção de coliformes em lagoas de estabilização com base em dados de 33 lagoas brasileiras. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 5(4):133-152.

WARREN J.K., 1980. Evaporite sedimentology. New Jersey, *Prentice Hall*, 250 p.