

Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva

**Estudo da Qualidade das Águas Subterrâneas no
Estado da Paraíba e Desenvolvimento de
Aplicação para Análise Crítica de Dados**

Campina Grande, Paraíba, Brasil

22 de Maio de 2024

Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva

Estudo da Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado da Paraíba e Desenvolvimento de Aplicação para Análise Crítica de Dados

Análise comparativa entre bancos de dados georreferenciados acerca de dados de vazão e sólidos totais dissolvidos e desenvolvimento de uma ferramenta utilizando linguagens *Javascript*, *PHP* e *MySQL* para leitura e exposição dos dados em *UI* desenvolvida para aplicações *online*;

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Unidade Acadêmica de Engenharia Química

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

Orientador: Professor Kepler Borges França (PhD)

Campina Grande, Paraíba, Brasil

22 de Maio de 2024

S586e

Silva, Bernardo José Gomes de Matos da Costa e.

Estudo da qualidade das águas subterrâneas no Estado da Paraíba e desenvolvimento de aplicação para análise crítica dos dados / Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva. – Campina Grande, 2024.

152 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Kepler Borges França."

Referências.

1. Águas subterrâneas. 2. Gestão de recursos hídricos. 3. Gestão de dados. 4. Análises físico-químicas. I. França, Kepler Borges. II. Título.

CDU 626.811(043)

Estudo da Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado da Paraíba e Desenvolvimento de Aplicação para Análise Crítica de Dados

Análise comparativa entre bancos de dados georreferenciados acerca de dados de vazão e sólidos totais dissolvidos e desenvolvimento de uma ferramenta utilizando linguagens *Javascript*, *PHP* e *MySQL* para leitura e exposição dos dados em *UI* desenvolvida para aplicações *online*;

Trabalho aprovado. Campina Grande, Paraíba, Brasil, 22 de Maio de 2024:

KEPLER BORGES
FRANÇA

Assinado de forma digital por
KEPLER BORGES FRANÇA
Dados: 2024.10.14 15:11:13 -03'00'

Professor Kepler
Borges França (PhD)
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO TAVERNARD PEREIRA NETO
Data: 18/09/2024 08:14:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Antonio Tavernard
Pereira Neto (PhD)
Avaliador Interno 1
Documento assinado digitalmente

gov.br ANTONIO CARLOS SALES VASCONCELOS
Data: 19/09/2024 14:23:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Antônio Carlos
Sales Vasconcelos (PhD)
Avaliador Externo 1

Professor Severino Rodrigues
de Farias Neto (PhD)
Avaliador Interno 2

Professor Dr. Milton
Pombo da Paz
Avaliador Externo 2

Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva
Campina Grande, Paraíba, Brasil
22 de Maio de 2024



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA QUIMICA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900
Telefone: (83) 2101-1100
Site: <http://cct.ufcg.edu.br>

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO **GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA**,
REALIZADA EM 22 DE MAIO DE 2024

(Nº 531)

CANDIDATO(A): **Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva**. COMISSÃO EXAMINADORA: Kepler Borges França, Prof. Dr., UFCG, **Orientadora**, Antônio Tavernard Pereira Neto, Prof. Dr., UFCG/ Examinador Interno, Severino Rodrigues de Farias Neto, Prof. Dr., UFCG / Examinador Externo, Antônio Carlos Sales Vasconcelos, Prof. Dr., IFMA (Examinador Externo), Milton Pombo da Paz, Prof. Dr., UCB (Examinador Externo). TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Estudo da Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado da Paraíba e Desenvolvimento de Aplicação Web para Análise Crítica de Dados". ÁREA DE CONCENTRAÇÃO Desenvolvimento de Processos Químicos. HORA DE INÍCIO: **09:00 Horas** – LOCAL: por videoconferência. Em sessão pública, após exposição de cerca de 50 minutos, o(a) candidato(a) **Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva** foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização, no tema de sua dissertação, obtendo conceito **APROVADO**. Face à aprovação, declara o(a) orientador, achar-se a examinada, legalmente habilitado(a) a receber o **Grau de Mestre Engenharia Química**, cabendo a Universidade Federal de Campina Grande, como de direito, providenciar a expedição do Diploma, a que o(a) mesmo(a) faz jus. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada por mim, Maricé Pereira de Araújo – Secretária do PPGEQ, os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a). Campina Grande, 22 de maio de 2024.

Maricé Pereira de Araújo

Secretária

Kepler Borges França, Prof. Dr., UFCG

Orientador

Antônio Tavernard Pereira Neto, Prof. Dr., UFCG

Examinador Interno

Severino Rodrigues de Farias Neto, Prof. Dr., UFCG
Examinador Externo

Antônio Carlos Sales Vasconcelos, Prof. Dr., IFMA

Examinador Externo

Milton Pombo da Paz, Prof. Dr., UCB

Examinador Externo

Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva

Candidato



Documento assinado eletronicamente por **KEPLER BORGES FRANCA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/05/2024, às 13:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Carlos Sales Vasconcelos, Usuário Externo**, em 23/05/2024, às 14:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Bernardo José Gomes de Matos da Costa e Silva, Usuário Externo**, em 24/05/2024, às 09:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **MARICE PEREIRA DA SILVA, SECRETÁRIA**, em 24/05/2024, às 09:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO TAVERNARD PEREIRA NETO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 11/06/2024, às 10:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **SEVERINO RODRIGUES DE FARIAS NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/06/2024, às 10:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4446388** e o código CRC **7B8CCC1F**.

*Este trabalho é dedicado a quem apoiou essa longa
e árdua jornada com obstinação e fé.
De aonde quer que estejam.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha família, que me apoia já há muitos anos nessa empreitada em busca do sucesso profissional. Agradeço em especial pelos anos difíceis que ocorreram desde fim do processo de graduação e início da pós graduação em que vivemos durante as restrições da pandemia. Em especial minha mãe Geórgia e meu pai Egídio e meus irmãos e irmãs padrasto Felipe e madrasta Daniela. Sua fé e seu apoio incessável tornaram possível o sucesso nesta etapa da minha vida.

Agradeço à minha família paraibana, que me acolheu e tornou a Paraíba minha segunda casa. Meus primos e tios, em especial minha tia Daniela que batalhou arduamente pelo sucesso enquanto viva, tenho certeza que continua nos acompanhando à distância e espero que as etapas concluídas e as que estão por vir possam honrar a fé que foi confiada em mim.

Agradeço aos professores da UFCG, que foram parte da minha formação profissional, e foram apoio indispensável da minha evolução tanto pessoal como profissional.

Por fim agradeço à equipe do LABDES, em especial ao professor Kepler, que aceitaram o desafio de realizar um trabalho novo e diferente do usual. Hoje podemos chegar à conclusão de um longo e gratificante processo com a satisfação de realizar um bom trabalho graças ao constante apoio de todos os envolvidos.

*'Que haja justiça para todos. Que haja paz para todos.
Que haja trabalho, pão, água e sal para todos.
Que cada um saiba que para todos, o corpo, a mente
e a alma foram libertados para se realizarem plenamente.'*
Nelson Mandela

RESUMO

O semiárido brasileiro enfrenta, desde o período de Brasil colônia, graves situações de crise hídrica, limitando o potencial evolução socioeconômica da população na região. O interior o estado da Paraíba está localizado primordialmente nessa região, sofrendo dos mesmos problemas. A falta de grandes rios para abastecimento e consistente falta de chuvas agrava a situação, desta maneira, a perfuração de poços, seja por iniciativa privada ou por implementação de programas governamentais vem sendo utilizada como mitigante dos problemas de abastecimento hídrico. Entretanto, a qualidade e quantidade das águas subterrâneas pode é um entrave aos investimentos, visto que a maior parte da região se encontra sob reservatórios salobros e de baixa vazão, tornando o investimento em perfuração de poços um investimento alto e de retorno duvidoso. Múltiplas fontes de informações acerca dos solos e poços da região são disponibilizados por órgãos de fomento e instituições governamentais responsáveis, entretanto, as mesmas encontram-se desconexas e espalhadas, atrofiando a produção acadêmica e conhecimento geral acerca dos aquíferos da região. O trabalho produzido visou realizar um estudo acerca da qualidade dos poços no estado da Paraíba, reunindo informações públicas acerca de 19.363 poços locais, sendo 6.933 poços contendo dados de vazão e 1.014 poços contendo dados de sólidos totais dissolvidos(STD). As informações foram organizadas utilizando linguagem de banco de dados e armazenamento de informações em nuvem, além da criação de uma interface de usuário(UI) para a manipulação dos dados utilizando linguagem *Javascript* e sistema de mapeamento utilizando sistema de informações geográficas (GIS) fornecido pelo sistema *ArcGIS*. Em conjunto com os dados dos poços foi realizado um levantamento dos dados de solos, fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), domínios hidrogeológicos, fornecido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB, antiga CPRM), e pluviometria, fornecido pela

Agência Nacional de Águas (ANA), das regiões, juntamente com um levantamento das divisões regionais do estado, fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Os dados obtidos pelas instituições foram anexados à *UI* utilizando camadas por sobreposição no sistema GIS, permitindo a visualização das características locais e anexação dos dados de solos e geografia ao banco de dados.

Palavras-chave: águas subterrâneas, aquíferos, banco de dados

ABSTRACT

The Brazilian semiarid region has faced severe water crisis situations since the colonial period, limiting the potential socioeconomic evolution of the population in the area. The interior of the state of Paraíba is primarily located in this region, suffering from the same problems. The lack of major rivers for water supply and consistent rainfall exacerbates the situation. Thus, the drilling of wells, whether by private initiative or through government programs, has been used as a mitigating measure for water supply problems. However, the quality and quantity of groundwater can be a hindrance to investments, as most of the region is underlain by brackish and low-flow reservoirs, making drilling a high-cost investment with dubious returns. Multiple sources of information about the soils and wells in the region are provided by funding agencies and responsible government institutions. However, these sources are disjointed and scattered, hindering academic production and general knowledge about the region's aquifers. The produced work aimed to conduct a study on the quality of wells in the state of Paraíba, gathering public information about 19,363 local wells, with 6,933 wells containing flow rate data and 1,014 wells containing total dissolved solids (TDS) data. The information was organized using database language and stored in cloud-based storage, along with the creation of a user interface (UI) for data manipulation using Javascript language and mapping system using Geographic Information System (GIS) provided by the ArcGIS system. In conjunction with well data, a survey of soil data was conducted, provided by the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA), hydrogeological domains provided by the Geological Survey of Brazil (SGB, former CPRM), and rainfall data provided by the National Water Agency (ANA) of the regions, along with a survey of the state's regional divisions provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). The data obtained from the institutions were attached to the UI using overlay

layers in the GIS system, allowing visualization of local characteristics and attachment of soil and geographic data to the database.

Keywords: groundwater, aquifer, database

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Temperatura do mar sob efeito do fenômeno <i>El Niño</i> . Fonte: CP-TEC/INPE	1
Figura 2.1 – Fluxograma dos dados incluídos	6
Figura 2.2 – Sistema de Pesquisa do SIAGAS. Fonte: SIAGAS/SGB	7
Figura 2.3 – <i>Display</i> de dados de um poços na plataforma do SIAGAS Fonte: SIAGAS/SGB	8
Figura 2.4 – Busca de malha geográfica na API de malhas geográficas Fonte: (IBGE, 2020)	9
Figura 2.5 – Variável de texto tipo <i>.json</i> contendo pontos da malha geográfica do estado da Paraíba Fonte: IBGE	10
Figura 2.6 – Delimitação do semiárido brasileiro Fonte: (IBGE, 2022)	10
Figura 2.7 – Delimitação do semiárido paraibano. Fonte: (NUNES, 2022)	11
Figura 2.8 – Mapeamento dos solos da Paraíba. Fonte: Produzido pelo autor	11
Figura 2.9 – Mapeamento dos solos do Brasil. Fonte: Produzido pelo autor	12
Figura 2.10–Domínios hidrogeológicos no Brasil. Fonte:	16
Figura 2.11–Domínios hidrogeológicos no estado da Paraíba. Fonte: Produzido pelo autor	18
Figura 2.12–Isoietas pluviométricas do Brasil (A) e do estado da Paraíba (B) Fonte: Produzido pelo autor	19
Figura 2.13–Legenda do mapa da Figura 2.12A e Figura 2.12B Fonte: Produzido pelo autor	19
Figura 2.14–Fluxograma das aplicações da <i>UI</i>	20
Figura 2.15–Interações do programa Fonte: Produzido pelo autor	21
Figura 2.16–Página desenvolvida para utilização, Divisor do mapa marcado em verde e de interações em vermelho. Fonte: Produzido pelo autor	21

Figura 2.17–Banco de dados em nuvem utilizando MySQL Fonte: Produzido pelo autor	29
Figura 2.18–Popup criado para a exposição de informações no programa Fonte: Criado pelo autor	32
Figura 3.1 – UI para utilização do programa	34
Figura 3.2 – Mapas para o estado da Paraíba (A), região intermediária de Campina Grande (B), região imediata de Campina Grande (C) e município de Campina Grande (D)	34
Figura 3.3 – Abas em cascata e botões para troca de tipo de região de interesse (A) e opções de troca de camada e visibilidade de legenda(B)	35
Figura 3.4 – Legendas utilizadas para taxonomia de solos (A), domínios hidrogeológicos (B) e isoietas pluviométricas (C)	35
Figura 3.5 – Opções para troca de escolha de poços e botão de busca	35
Figura 3.6 – Buscas no estado da Paraíba para poços de águas doces (A), salobros tipo 1 (B), salobros tipo 2 (C) e salgados (D)	36
Figura 3.7 – Exemplo de <i>popup</i> contendo dados de poço	36
Figura 3.8 – Buscas no estado da Paraíba para poços de altas vazões (A), médias vazões (B), baixas vazões (C) e secos (D)	37
Figura 3.9 – Classificação dos poços por vazão e STD no estado Fonte: Criado pelo autor	38
Figura 3.10–Poços perfurados no estado	39
Figura 3.11–Caracterização dos poços por tipo de aquífero no semiárido de acordo com vazão, A), e STD, B)	44
Figura 3.12–Caracterização dos poços por domínio hidrogeológico no semiárido de acordo com vazão, (A), e STD, (B)	45
Figura 3.13–Gráficos de poços por classificação de vazão e salinidade nas regiões intermediárias	46
Figura 3.14–Municípios (A) e Isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de João Pessoa	47
Figura 3.15–Mapa de solos da região intermediária de João Pessoa	48
Figura 3.16–Domínios hidrogeológicos da região intermediária de João Pessoa	48
Figura 3.17–Municípios (A) e Isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de Campina Grande	50
Figura 3.18–Mapa de solos da região intermediária de Campina Grande	51
Figura 3.19–Domínios hidrogeológicos da região intermediária de Campina Grande	52
Figura 3.20–Municípios (A) e isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de Patos	54
Figura 3.21–Mapa de solos da região intermediária de Patos	54
Figura 3.22–Domínios hidrogeológicos da região intermediária de Patos	55

Figura 3.23–Municípios (A) e isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de Sousa - Cajazeiras	57
Figura 3.24–Mapa de solos da região intermediária de Sousa - Cajazeiras	58
Figura 3.25–Domínios hidrogeológicos da região intermediária de Sousa - Cajazeiras	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Divisões do IBGE em regiões intermediárias e imediatas	9
Quadro 2.2 – Grupos hidrológicos de solos. Fonte: Criado pelo autor, utilizando Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005)	12
Quadro 2.3 – Tipos de solos encontrados no estado da Paraíba Legenda: - Componente não possui cor pois não aparece como primeiro componente em nenhum tipo de solo	13
Quadro 2.4 – Tipos de aquíferos e domínios hidrogeológicos encontrados no Brasil continental.	17
Quadro A.1 – Municípios paraibanos do semiárido	66
Quadro A.2 – Municípios paraibanos do semiárido: continuação	67
Quadro A.3 – Municípios e Regiões Imediatas de João Pessoa	68
Quadro A.4 – Municípios e Regiões Imediatas de João Pessoa - Continuação	69
Quadro A.5 – Municípios e Regiões Imediatas de Campina Grande	70
Quadro A.6 – Municípios e Regiões Imediatas de Campina Grande - Continuação	71
Quadro A.7 – Municípios e Regiões Imediatas de Patos	72
Quadro A.8 – Municípios e Regiões Imediatas de Sousa - Cajazeiras	73
Quadro B.1 – Tipos de solos encontrados como primeiro componente e cores no mapa	76
Quadro B.2 – Tipos de solos encontrados como primeiro componente e cores no mapa - Continuação	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros de salinidade da água.	7
Tabela 2.2 – Parâmetros para classificação por vazão.	8
Tabela 3.1 – Distribuição de dados por ordem de solos	40
Tabela 3.2 – Distribuição de dados por tipos de aquíferos	41
Tabela 3.3 – Distribuição de dados por domínios hidrogeológicos	42
Tabela 3.4 – Distribuição de dados no semiárido por ordem de solos	43
Tabela 3.5 – Distribuição de dados no semiárido por tipos de aquíferos	43
Tabela 3.6 – Distribuição de dados no semiárido por domínios hidrogeológicos	44
Tabela 3.7 – Distribuição de dados na região de João Pessoa por ordem de solos	47
Tabela 3.8 – Distribuição de dados na região de João Pessoa por tipos de aquíferos	49
Tabela 3.9 – Distribuição de dados na região de João Pessoa por domínios hidrogeológicos	49
Tabela 3.10–Distribuição de dados na região de Campina Grande por ordem de solos	51
Tabela 3.11–Distribuição de dados na região de Campina Grande por tipos de aquíferos	53
Tabela 3.12–Distribuição de dados na região de Campina Grande por domínios hidrogeológicos	53
Tabela 3.13–Distribuição de dados na região de Patos por ordem de solos	55
Tabela 3.14–Distribuição de dados na região de Patos por tipos de aquíferos	56
Tabela 3.15–Distribuição de dados na região de Patos por domínios hidrogeológicos	56
Tabela 3.16–Distribuição de dados na região de Sousa - Cajazeiras por ordem de solos	59
Tabela 3.17–Distribuição de dados na região de Sousa - Cajazeiras por tipos de aquíferos	59

Tabela 3.18–Distribuição de dados na região de Sousa - Cajazeiras por domínios hidrogeológicos	60
Tabela C.1 – Distribuição dos poços nas regiões intermediárias e o total do estado da Paraíba	80
Tabela C.2 – Distribuição dos poços nas regiões imediatas: tabela 1	81
Tabela C.3 – Distribuição dos poços nas regiões imediatas: tabela 2	82
Tabela C.4 – Distribuição dos poços por tipos de aquíferos	83
Tabela C.5 – Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos	84
Tabela C.6 – Distribuição dos poços por ordem dos solos: tabela 1	85
Tabela C.7 – Distribuição dos poços por ordem dos solos: tabela 2	86
Tabela C.8 – Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 1	87
Tabela C.9 – Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 2	88
Tabela C.10–Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 3	89
Tabela C.11–Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 4	90
Tabela C.12–Distribuição dos poços por tipos de aquíferos no semiárido	91
Tabela C.13–Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos no semiárido .	92
Tabela C.14–Distribuição dos poços por ordem dos solos no semiárido	93
Tabela C.15–Distribuição dos poços por composição dos solos no semiárido: tabela 1	94
Tabela C.16–Distribuição dos poços por composição dos solos no semiárido: tabela 2	95
Tabela C.17–Distribuição dos poços por composição dos solos no semiárido: tabela 3	96
Tabela C.18–Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na região de João Pessoa	97
Tabela C.19–Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de João Pessoa	98
Tabela C.20–Distribuição dos poços por ordem dos solos na região de João Pessoa	99
Tabela C.21–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de João Pessoa: tabela 1	100
Tabela C.22–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de João Pessoa: tabela 2	101
Tabela C.23–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de João Pessoa: tabela 3	102
Tabela C.24–Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na Região de Campina Grande	103
Tabela C.25–Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de Campina Grande	104
Tabela C.26–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Campina Grande	105
Tabela C.27–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Campina Grande: tabela 1	106

Tabela C.28–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Campina Grande: tabela 2	107
Tabela C.29–Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na região de Patos . . .	108
Tabela C.30–Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de Patos	109
Tabela C.31–Distribuição dos poços por ordem dos solos na região de Patos	110
Tabela C.32–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Patos	111
Tabela C.33–Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na região de Sousa - Cajazeiras	112
Tabela C.34–Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de Sousa - Cajazeiras	113
Tabela C.35–Distribuição dos poços por ordem dos solos na região de Sousa - Cajazeiras	114
Tabela C.36–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Sousa - Cajazeiras: tabela 1	115
Tabela C.37–Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Sousa - Cajazeiras: tabela 2	116

TRECHOS DE CÓDIGOS

Trecho de Código 2.1 – Código <i>HTML</i> para <i>head</i> do programa	22
Trecho de Código 2.2 – <i>Div's</i> responsáveis pela divisão da página	22
Trecho de Código 2.3 – <i>CSS</i> para ajuste de visualização das divisórias.	23
Trecho de Código 2.4 – Itens selecionáveis em <i>HTML</i>	24
Trecho de Código 2.5 – Utilização das funções <i>FeatureLayer</i> e <i>GeoJSONLayer</i> da API do ArcGIS para implementação de camadas no mapa	26
Trecho de Código 2.6 – Código de inicialização do mapa	26
Trecho de Código 2.7 – Apontador de interação -> função correspondente	26
Trecho de Código 2.8 – Função para troca de arquivos <i>GeoJSON</i>	28
Trecho de Código 2.9 – Código para alterar localização e zoom do mapa	28
Trecho de Código 2.10–Função assíncrona para a formação da aba em cascata contendo as regiões.	29
Trecho de Código 2.11–Arquivo <i>PHP</i> para leitura de informações do banco de dados	30
Trecho de Código 2.12–Algoritmo para separação de busca para a variável 'vazão'	31
Trecho de Código 2.13–Função <i>fetch</i> em <i>Javascript</i> para conexão com <i>CRUD</i> em <i>PHP</i>	31
Trecho de Código 2.14–Elemento da construção e implementação recursiva dos pontos da camada gráfica	32

SUMÁRIO

	1 INTRODUÇÃO	1
	2 DESENVOLVIMENTO	5
2.1	Levantamento de Dados	6
2.2	Produção da <i>UI</i>	20
	3 CONCLUSÕES	33
3.1	Aplicação Computacional Produzida para Visualização dos Dados . .	34
3.2	Análise dos Dados e Resultados	38
3.3	Conclusões	62
	A DIVISÃO DE MUNICÍPIOS E REGIÕES IMEDIATAS	65
	B LEGENDA DE CORES NO MAPA POR SUBORDEM DE PRIMEIRO COMPONENTE DE SOLO	75
	C TABELAS DE DADOS DE POÇOS	79
	REFERÊNCIAS	117

CAPÍTULO

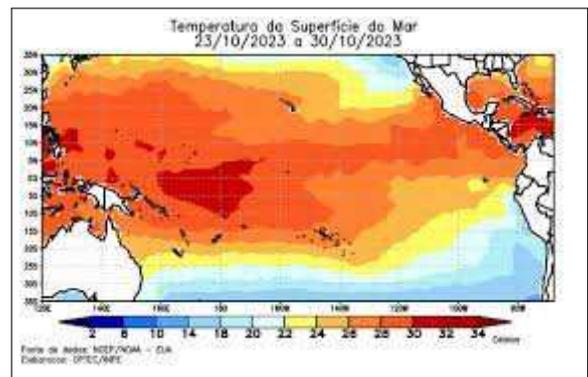
1

INTRODUÇÃO

Crises hídricas são um evento comum na região semiárida do nordeste brasileiro. Causadas majoritariamente pela falta de fontes de águas superficiais e baixo índice pluviométrico, entre 400 mm/ano e 700 mm/ano (ANA; CPRM, 2016), as crises hídricas acometem a região periodicamente e atrasam seriamente o desenvolvimento socioeconômico da região. As mudanças climáticas devem intensificar a escassez hídrica na região, devido principalmente à redução na quantidades de chuvas e aumento localizado na temperatura, aumentando as taxas de evaporação dos reservatórios superficiais e subterrâneos e fenômenos como o El Niño, retratado na [Figura 1.1](#), devem se tornar mais intensos (Mesquita et al., 2020). A perfuração de poços se mostrou um mecanismo útil para atenuar a escassez hídrica em comunidades na região, reduzindo a necessidade de importação de água de outras regiões para consumo próprio e permitindo a aplicação em atividades rurais gerando retornos econômicos (de Oliveira; Silveira; Vasconcelos, 2020).

Figura 1.1 – Temperatura do mar sob efeito do fenômeno *El Niño*.

Fonte: CPTEC/INPE



Programas governamentais na região mostraram impacto positivo na resistência

à seca de comunidades, aumentando a independência de recursos externos, a capacidade de produção sustentável de alimentos e melhorias na qualidade de vida da população (Mesquita et al., 2020). Apesar de demonstrar avanço na atividade econômica nas últimas décadas, o investimento feito na região foi principalmente utilizado em regiões com maior dotação natural de recursos e água, deixando que áreas com menor acesso permanecessem em situação de vulnerabilidade (Araújo; Lima, 2009). Programas que foram bem sucedidos neste aspecto, como o Programa Um Milhão de Cisternas e o Programa Água Doce impactaram positivamente na distribuição de água para a população de comunidades afastadas, entretanto ainda falham em produzir volume suficiente para abastecer as populações e atender as necessidades socioeconômicas da sociedade, sendo muitas vezes insuficiente ou resolvendo o problema da "água de beber", mas não permite o uso para atividades econômicas (Azevêdo, 2015). Com esta situação, em diversos casos, a água para uso em atividades econômicas advém de perfuração de poços de maneira privada.

Águas para consumo humano são incomuns nos poços da região, com valores em torno de 20% e 30% dos poços tendo águas doces segundo o CONAMA (2008) de sais dissolvidos (Feitosa; Diniz, 2011), considerando os atuais valores para águas para consumo humano determinados pelo MS (2021) o percentual de poços com águas de qualidade para abastecimento da população na região será inferior aos valores estimados originalmente. A dessalinização de águas é portanto uma atividade essencial para a obtenção do potencial máximo da extração da águas subterrâneas da região. Dessalinização por membranas nas comunidades difusas da região se mostrou uma operação custo-efetiva, produzindo água potável utilizando águas salobras dos poços locais mantendo os custos de produção acessíveis à população rural de baixa renda (Alves et al., 2015). Comunidades na região demonstram apoio à implantação de dessalinizadores para o tratamento de águas e, em comunidades em que já há a dessalinização de águas subterrâneas, a satisfação da população com o abastecimento hídrico é alta, superior a 90% bom e ótimo, mesmo em comunidades em que ainda há a necessidade de investimento em infraestrutura de abastecimento hídrico (Amaral; Machado; Navoni, 2020).

As águas subterrâneas no estado da Paraíba estão localizados sobre duas principais províncias hidrogeológicas, poroso e fraturado (de Lima et al., 2008). Dentro da porção semiárida do estado, onde a escassez hídrica é um grande complicante, a província fraturada compreende em torno de 95% do solo da região. Devido à vulnerabilidade a efeitos climáticos do solo local, a disponibilidade hídrica do solo é limitada e localizada em pontos específicos, geralmente sendo muito baixa (Albuquerque, 1984). Nesta região, também há o problema da alta salinidade das águas subterrâneas, sendo parte do polígono com maior salinidade de águas subterrâneas da região do semiárido, em média entre 2000 mg/L e 8000 mg/L (de Lima et al., 2008). As formações

geológicas são um fator de extrema influência no processo de salinização das águas, visto que o principal efeito causador da salinização das águas é a evaporação, que é amplificado pela área de contatos das rochas cristalinas que formam os aquíferos. Áreas com fissuras maiores porém, tem concentrações médias de sais menores e maiores vazões de poços, aumentando a importância da realização de estudos para a perfuração de poços (de Lima et al., 2010).

O trabalho desenvolvido visou determinar as características dos aquíferos na região, a partir de estudo de conjuntos de dados acerca de poços perfurados. Com um conjunto robusto de dados, foi possível determinar o impacto das características pluviométricas e geológicas sobre a qualidade e quantidade das águas subterrâneas da região. Em conjunto com o estudo, foi desenvolvido um aplicativo em *javascript* para a visualização das informações do banco de dados em um mapa completo da região, além da visualização das características pluviométricas e geológicas locais.

Objetivos

Objetivo Principal

Desenvolver um estudo compreensivo acerca das águas subterrâneas do estado da Paraíba, com o intuito de determinar características favoráveis à perfuração de poços de menor salinidade e maior vazão na região.

Objetivos Secundários

- Construir um banco de dados contendo as informações dos poços perfurados na região conectadas à informações acerca das formações geológicas locais.
- Desenvolver uma aplicação computacional para a observação e análise de dados das águas subterrâneas.
- Conectar informações geológicas e hidrologicas na região de forma a detectar padrões recorrentes para o favorecimento à perfuração de poços.
- Produzir um produto que pode ser utilizado pelo poder público, ou outras entidades, para a compreensão das águas subterrâneas na região e utilização das mesmas para a mitigação das secas e para utilização em atividades econômicas.

CAPÍTULO

2

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho foi realizado em duas etapas bastante distintas, o levantamento e análise de dados e a produção da interface de utilização(*UI*) da aplicação. Ambas as etapas são discutidas abaixo de maneira separada, sendo observadas a fundamentação teórica e metodologia de cada etapa determinada individualmente.

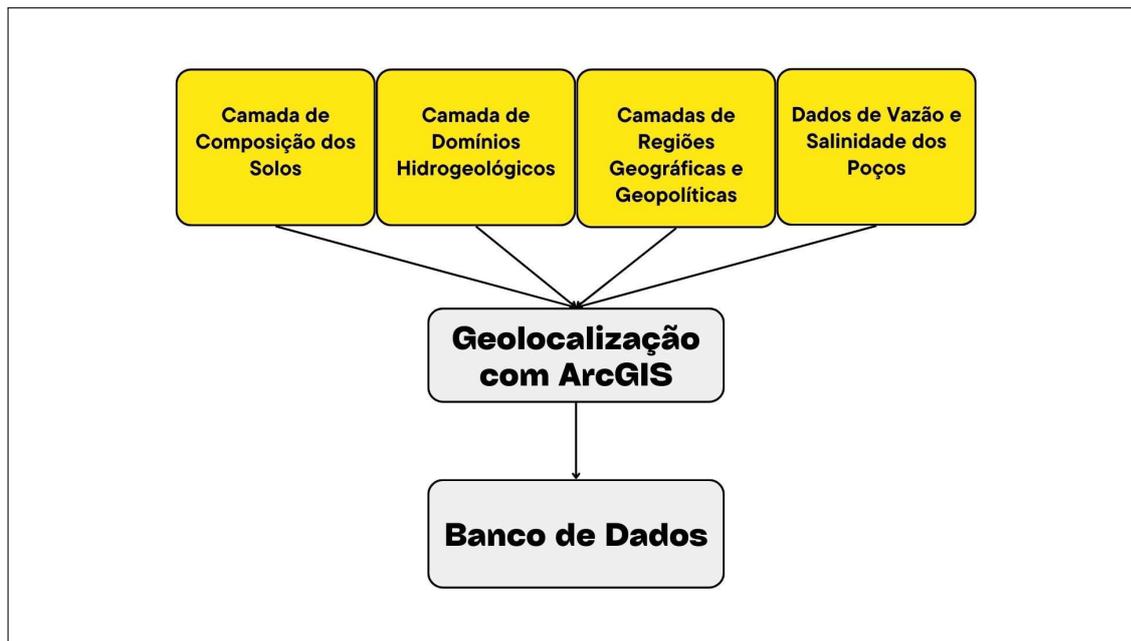
A etapa de levantamento de dados foi realizada visando levantar as informações das águas subterrâneas, dos solos e da pluviometria da região. Juntamente com as informações do estado, foi realizada a pesquisa de características dos solos e influência da geologia e da pluviometria em literatura adequada. Em posse das informações advindas da literatura, foi realizada a busca e caracterização dos solos e das águas subterrâneas do estado.

A etapa de produção da (*UI*) foi caracterizada pela produção computacional. As interações e as aparências da aplicação produzida foram realizadas utilizando a metodologia determinada nesta etapa. Devido à etapa ser prática, sua divisão foi apenas metodológica. Dentro desta etapa foram produzidos o *frontend* e o *backend* da aplicação final.

2.1 Levantamento de Dados

Foram levantados dados acerca das características geológicas, pluviométricas e geográficas da região, para análise estatística dos da qualidade e vazão das águas subterrâneas do estado. Os dados obtidos foram incluídos em um sistema de banco de dados de SQL, utilizando código em Javascript e a plataforma ArcGIS, conforme a [Figura 2.1](#).

Figura 2.1 – Fluxograma dos dados incluídos



2.1.1 Levantamento de dados de poços

Os dados de poços perfurados no estado da Paraíba foram obtidos a partir do sistema SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas), apresentado na [Figura 2.2](#), gerido pela SGB. Os poços foram buscados em todo o estado da Paraíba e as informações físico-químicas e geográficas possíveis foram recuperadas.

Foram recuperados durante esta busca 19.363 poços georreferenciados, sendo um total de 19.343 localizados na Paraíba utilizando as fronteiras fornecidas pelo IBGE (2020). Deste total, 6.933, ou 35,84% do total, possuíam dados informados de vazão de operação no sistema SIAGAS e 1.014, ou 5,24% do total, possuíam dados informados de STD. Considerando poços com ambas as informações divulgadas, apenas 887, ou 4,59% dos poços. Devido à natureza de submissão voluntária do programa, diversos poços tiveram dados incompletos, total ou parcialmente, devido ao desinteresse dos envolvidos em realizar, ou submeter, informações acerca dos poços. Poços secos, que não possuem vazão para a realização de análise também podem ser inclusos no viés de falta de dados. Portanto, as informações utilizadas para as estatísticas desenvolvidas no

trabalho são apenas as fornecidas para os dados analisados, não houve presunção acerca dos valores dos dados incompletos, entretanto, ao longo da pesquisa foram realizadas observações considerando o viés dos dados.

Figura 2.2 – Sistema de Pesquisa do SIAGAS.
Fonte: SIAGAS/SGB

As informações extraídas de maneira automática utilizando linguagem *Python* e a biblioteca *Selenium*. A obtenção foi realizada diretamente da página dos poços, mostrada na Figura 2.3. Depois de obtidos, os dados foram armazenados em um banco de dados em nuvem utilizando *MySQL* e *Python*. Os dados utilizados neste trabalho e provenientes do sistema SIAGAS foram:

- Latitude
 - Longitude
 - Vazão
 - Sólidos Totais Dissolvidos
- Classificação dos Poços

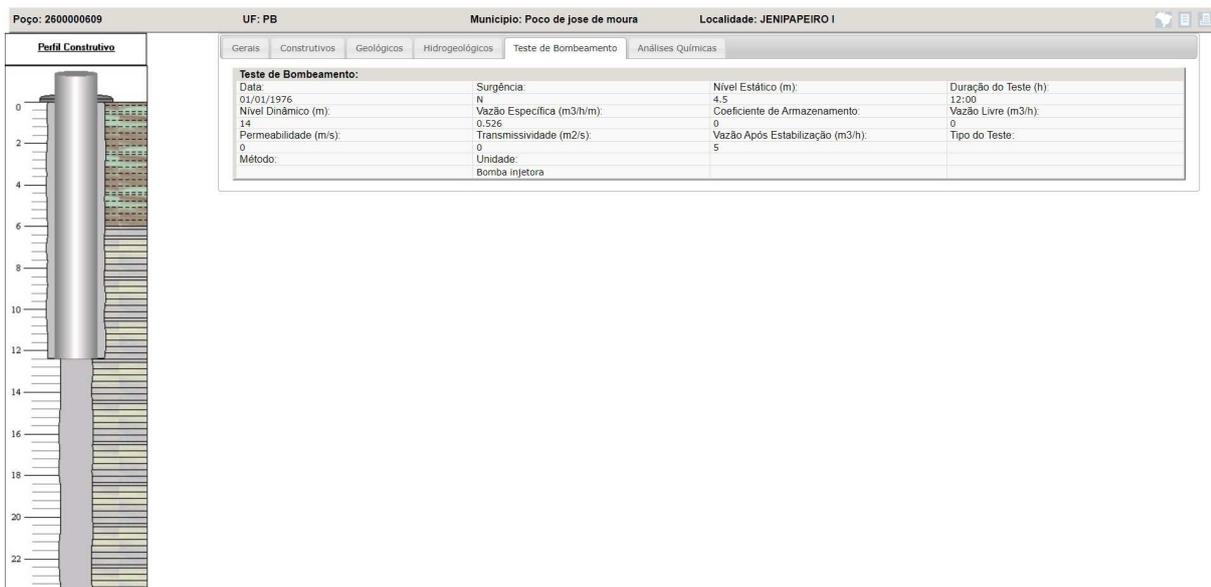
Os poços contidos no banco de dados foram classificados com relação à vazão e aos STD da água produzida.

Tabela 2.1 – Parâmetros de salinidade da água.

Classificação	Portaria	Limite Inferior	Limite Superior
		mg/L	mg/L
Doce	MS (2021)	-	<500
Salobra 1	CONAMA (2008)	>=500	<1.000
Salobra 2	CONAMA (2005)	>=1.000	<10.000
Salina	CONAMA (2005)	>=10.000	<100.000
Salmoura	CONAMA (2005)	>=100.000	-

A qualidade das águas para consumo humano ou uso em atividade agropecuária foi determinada utilizando os parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde (MS) na portaria 888/21 e portarias do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 396/08 e 357/05 (CONAMA, 2005) (CONAMA, 2008) (MS, 2021). Os valores estabelecidos pelos órgãos reguladores, apresentados na Tabela 2.1, determinam a possibilidade utilização dos recursos hídricos para consumo humano, dessedentação animal, irrigação e piscicultura.

Figura 2.3 – Display de dados de um poços na plataforma do SIAGAS
Fonte: SIAGAS/SGB



Para águas doces o valor é considerado é determinado pela portaria 888/21 do MS (2021), devido ao limite de salinidade determinado para consumo humano de 500 mg/L. Outras atividades, como irrigação ou dessedentação animal podem ser utilizadas a depender das características da água salobra, a definição da água salobra tipo 1 vem da classificação da portaria 396/08 do CONAMA (2008) que define águas subterrâneas com sólidos totais dissolvidos acima de 1.000 mg/L como água classe 2, que indica a necessidade de tratamento adequado para utilização. Águas salina e salobras tipo 2 vem da definição da portaria 357/05 do CONAMA (2005) que define o limite de águas salobras em 10.000 mg/L e águas salinas sendo superiores a este valor até 100.000 mg/L.

A utilização da água também depende da vazão da água dos poços, que foram diferenciadas em alta, média

Tabela 2.2 – Parâmetros para classificação por vazão.

Classificação	Limite Inferior	Limite Superior
	L/h	L/h
Poço Seco	-	<300
Baixa Vazão	>=300	<1.000
Média Vazão	>=1.000	<2.000
Alta Vazão	>=2.000	-

e baixa vazão e poços secos segundo a organização da [Tabela 2.2](#). A determinação e localização de poços de alta e média vazões são de extrema importância para o abastecimento de comunidades e são determinantes para a implementação de equipamentos de dessalinização, caso necessário, visto que estes equipamentos requerem um volume de água mínimo para validar o investimento.

2.1.2 Dados e Fronteiras Geopolíticas

Quadro 2.1 – Divisões do IBGE em regiões intermediárias e imediatas

Região Intermediária	Região Imediata	Número de Municípios
Sousa - Cajazeiras		25
	Sousa	13
	Cajazeiras	12
Patos		63
	Patos	26
	Itaporanga	15
	Catolé do Rocha - São Bento	10
	Pombal	7
	Princesa Isabel	5
Campina Grande		72
	Campina Grande	47
	Cuité - Nova Floresta	10
	Monteiro	7
	Sumé	8
João Pessoa		63
	João Pessoa	22
	Guarabira	26
	Mamanguape - Rio Tinto	10
	Itabaiana	5

Os dados de fronteiras foram obtidos utilizando as fronteiras e divisões do [IBGE \(2017\)](#). O estado foi dividido em três maneiras, regiões intermediárias, regiões imediatas e municípios. As fronteiras das regiões foram obtidas utilizando a API de Malhas Geográficas do [IBGE \(2020\)](#), e extraídas em formato *.json* para geração em camadas no mapa. As divisões no estado da Paraíba ficaram conforme o [Quadro 2.1](#).

Figura 2.4 – Busca de malha geográfica na API de malhas geográficas
Fonte: (IBGE, 2020)

`servicodados.ibge.gov.br/api/v3/malhas/estados/PB?formato=application/vnd.geo+json`

As informações completas dos municípios estão localizados no Apêndice A. Os dados foram extraídos manualmente, porém de forma automatizada utilizando o software *Matlab R2021a* e armazenados em nuvem. Os arquivos em *.json* foram obtidos contendo as coordenadas geográficas das fronteiras conforme mostrado na [Figura 2.5](#).

As variáveis *.json* foram extraídas utilizando a função *webread* do *Matlab R2021a* e armazenadas em arquivos do mesmo tipo. As buscas na API do *ibge* foram realizadas utilizando leitura *online* na conforme a [Figura 2.4](#).

Figura 2.5 – Variável de texto tipo *.json* contendo pontos da malha geográfica do estado da Paraíba
Fonte: IBGE

```
{
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "MultiPolygon",
        "coordinates": [
          [
            [
              [-37.5718, -7.4891],
              [-37.5569, -7.4798],
              [-37.5426, -7.4783],
              [-37.5331, -7.473],
              [-37.528, -7.4653],
              [-37.5274, -7.4484],
              [-37.5217, -7.4395],
              [-37.5142, -7.433],
              [-37.5156, -7.4276],
              [-37.5057, -7.4192],
              [-37.4947, -7.399],
              [-37.487, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951],
              [-37.4876, -7.3951]
            ]
          ]
        ]
      }
    }
  ]
}
```

2.1.2.1 Região do Semiárido Paraibano

A delimitação do semiárido brasileiro foi realizada pelo [IBGE \(2022\)](#), caracterizando as regiões de clima tradicional do semiárido no nordeste brasileiro. Esta área, apresentada na figura [Figura 2.6](#) é caracterizada pelos baixos índices pluviométricos, menores que 800 mm/ano. Além da baixa pluviometria, os períodos de chuvas são restritos, entre 3 e 4 meses ao ano, tornando a região propícia à aridez ([SILVA et al., 2010](#)). Dentro deste contexto de escassez hídrica na região, soma-se a tendência natural da região de ser afetada gravemente pelo fenômeno natural *El-Niño*, que intensifica a escassez na região ([PBMIC, 2016](#)).

O estado da Paraíba possui grande parte do território localizado nesta região, intensificando o problema de escassez hídrica no estado. Cerca de 90,9% do estado, ou 51.339 km², estão classificados como parte da região do semiárido. A divisão de municípios realizada pelo IBGE mostra a extensão da região semiárida no estado, apresentada na [Figura 2.7](#)

Figura 2.6 – Delimitação do semiárido brasileiro
Fonte: (IBGE, 2022)

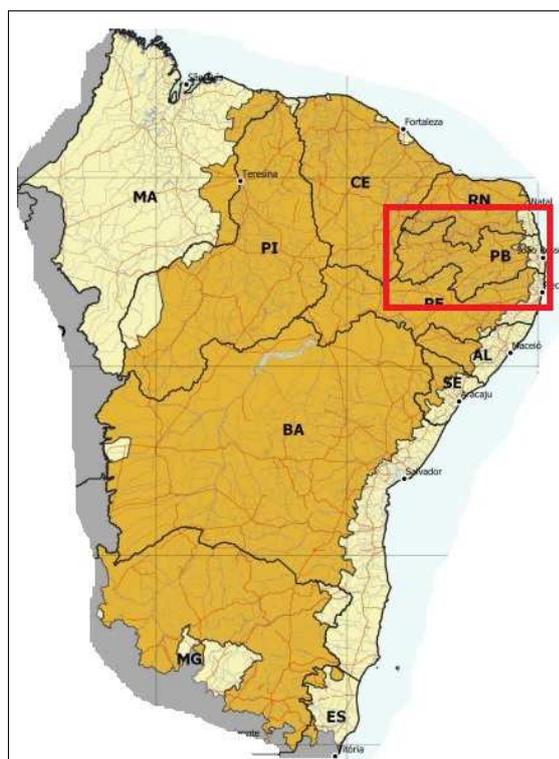
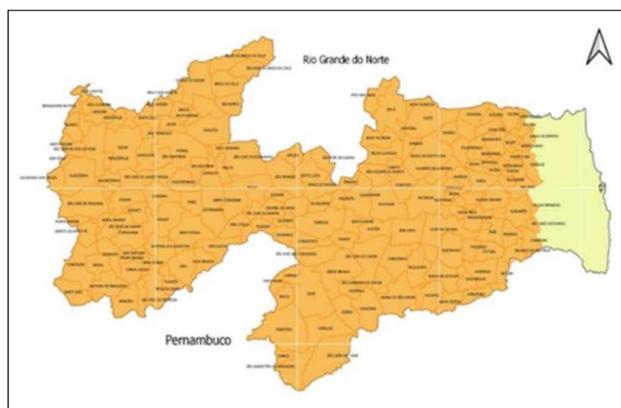


Figura 2.7 – Delimitação do semiárido paraibano.
Fonte: (NUNES, 2022)



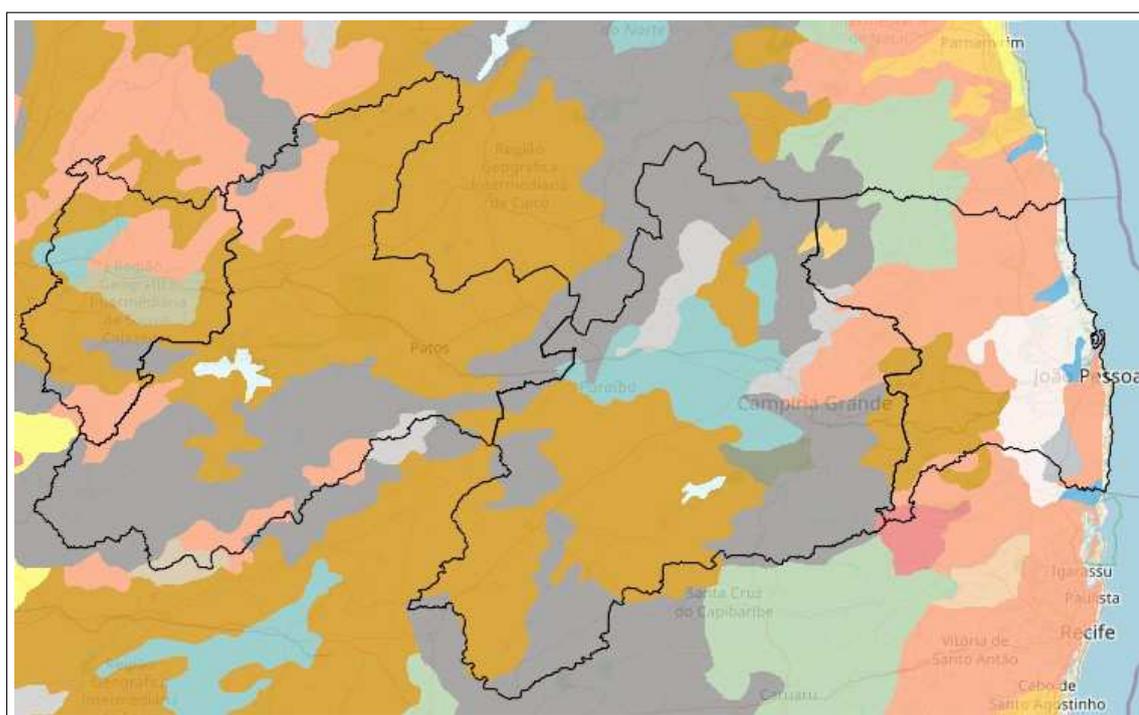
2.1.3 Dados Geológicos e Pluviométricos

Os dados fenômenos de impacto na qualidade hídrica subterrânea utilizados neste estudo foram três, a taxonomia dos solos, os domínios hidrogeológicos e os índices pluviométricos.

2.1.3.1 Taxonomia dos Solos

A implementação dos dados de taxonomia dos solos foi baseada no modelo da nova taxonomia de solos (Dart; EMBRAPA, 2020). Os solos brasileiros foram divididos em diversas categorias, sendo que, foram considerados para este estudo em especial as Ordens e Subordens de solos.

Figura 2.8 – Mapeamento dos solos da Paraíba.
Fonte: Produzido pelo autor



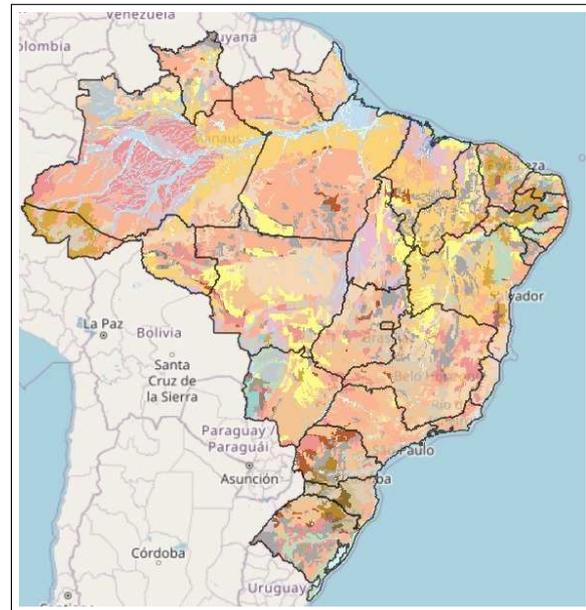
Dentro das divisões de solos, existem as combinações de misturas de solos, o mapeamento, determinado pela pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2021), e utilizando as camadas de dados georreferenciados produzidos por Dart e EMBRAPA (2020) determinam a divisão em até três componentes da composição do solo. As projeções no mapa são determinadas pelo primeiro componente do solo, produzindo as cores do mapa da Figura 2.9. As classificações de solos analisadas neste trabalho foram:

1. Ordem
2. Subordem
3. Grande Grupo

A divisão de solos no Brasil possui 13 ordens diferentes de solos e centenas de composições distintas, mais o acréscimo de áreas de água, dunas e afloramento de rochas, que não utilizam a classificação tradicional. No estado da Paraíba a variedade observada é mais limitada, contendo apenas 9 ordens e 20 classificações distintas, considerando até a classificação por grandes grupos. As divisões dentro do estado estão representadas no quadro Quadro 2.3. Todos os solos mapeados na composição de solo como primárias são mostrados no mapa e organizados segundo o quadro no Apêndice B. O mapeamento dos solos encontrados na Paraíba pode ser observado na Figura 2.8.

Os tipos de solos interferem na percolação, infiltração e escoamento das águas, alterando diretamente a capacidade de armazenamento das águas e a taxa de dissolução de sais. A classificação, portanto leva em conta os grupos hidrológicos dos solos, apresentados no Quadro 2.2 e levam em consideração a capacidade de infiltração dos solos, consequentemente oposto à capacidade de escoamento (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005).

Figura 2.9 – Mapeamento dos solos do Brasil.
Fonte: Produzido pelo autor



Quadro 2.2 – Grupos hidrológicos de solos.

Fonte: Criado pelo autor, utilizando Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005)

Grupos	Escoamento	Infiltração
Grupo A	Muito Baixo	Muito Alto
Grupo B	Baixo	Alto
Grupo C	Alto	Baixo
Grupo D	Muito Alto	Muito Baixo

(Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005).

Quadro 2.3 – Tipos de solos encontrados no estado da Paraíba
 Legenda: - Componente não possui cor pois não aparece como primeiro componente em nenhum tipo de solo

Ordem	Subordem	Grande Grupo	Cor no Mapa
Argissolos	Acinzentados	Distrocesos	
	Vermelho-Amarelos	Eutróficos	
	Vermelho-Amarelos	Distróficos	
	Vermelhos	Eutróficos	
Cambissolos	Háplicos	Tb Eutróficos	
Espodossolos	Humilúvicos	Hidromórficos	-
	Ferrilúvicos	Hidromórficos	-
	Ferrihumilúvicos	Hidromórficos	
Gleissolos	Sálicos	Sódicos	
Latosolos	Amarelos	Distróficos	
	Vermelho-Amarelos	Eutróficos	
Luvissolos	Crômicos	Órticos	
	Crômicos	Pálicos	
Neossolos	Litólicos	Distróficos	
	Litólicos	Eutróficos	
	Regolíticos	Eutróficos	
	Quartzarênicos	Órticos	
	Flúvicos	Ta Eutróficos	
Planossolos	Háplicos	Eutróficos	
	Nátricos	Órticos	
Vertissolos	Ebânicos	Órticos	
	Háplicos	Órticos	

• Argissolos

Os argissolos possuem uma maior composição de argila de baixa atividade, geralmente muito profundo e com escoamento moderado. Em geral faz parte do grupo hidrológico C, com exceção de algumas ocorrências de argissolos vermelhos que podem fazer parte do grupo B (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005). Em geral apresentam baixa tendência à infiltração, devido à maior concentração de argilas na composição (Cunha et al., 2021a).

- Cambissolos

Cambissolos são escassos na região porém também fazem parte da composição do solos local. Contém minerais não degradados em sua composição pouco intemperizados. Geralmente fazem parte dos conjuntos hidrológicos C e D, apresentando baixa infiltração e alto escoamento (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005). Também são caracterizados pelo maior percentual de argila na composição do solo interferindo na taxa de infiltração (Cunha et al., 2021b).

- Espodossolos

As composições de espodossolos possuem alta taxa de drenagem e pode formar lençóis freáticos elevados, conferindo, em algumas circunstâncias, condições hidromórficas ao solos, como ocorre nos espodossolos do estado. Devido à alta taxa de infiltração, compõe grupo hidrológico A (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005). Além disso, os espodossolos possuem textura arenosa e baixa atividade química, tendo troca de cátions limitada (Gomes et al., 2020). Espodossolos são formados por materiais arenoquartzosos e são comum em áreas de umidade elevada e tem, geralmente, características ácidas (Zaroni; dos Santos, 2021a).

- Gleissolos

Os gleissolos são solos que aparecem na zona costeira do estado e em pequenas quantidades. São parte do grupo hidrológico D, possuindo baixa infiltração e sendo solos tradicionalmente mal drenados (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005). A razão principal da baixa infiltração é a necessidade, pelo processo de formação do solo, de estar permanentemente ou periodicamente saturado por água, sendo neste caso, um solo de baixa infiltração mas de alta disponibilidade hídrica. Tem seu nome pela ocorrência do processo de gleização, ou redução e solubilização do ferro. Devido a esta razão se localizam apenas nas proximidades de grandes cursos de água (Zaroni; dos Santos, 2021b).

- Latossolos

Os latossolos são comumente formados por processos de latolização, ou seja, na remoção de sílica e bases de metais alcalinos e alcalinos terrosos, levando ao aumento da taxa de ferro e alumínio no solo. Em média são solos que possuem alta porosidade e são altamente permeáveis à água (Cunha et al., 2021c). Com relação ao escoamento, por serem solos, em média, de alta drenagem, são característicos de grupos hidrológicos A ou B. (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005).

- Luvisolos

Luvisolos possuem características ácidas e composição rica em argilas de alta atividade. Promovem também altas trocas de nutrientes por serem ricos em minerais primários e são ricos em bases trocáveis. As áreas onde estes solos ocorrem são geralmente deficientes em águas (Cunha et al., 2021d). Luvisolos são parte do grupo hidrológico D, com baixíssima taxa de infiltração de águas (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005).

- Neossolos

Neossolos são tipos de solos extremamente comuns na região do semiárido, possuem drenagem moderada e apresentam características muito distintas dentro do mesmo grupo. Neossolos flúvicos são derivados de sedimentos aluviais e se encontram na proximidade de cursos d'água. Neossolos litólicos são formados principalmente em regiões com afloramento de rochas, apresentando características pedregosas. Neossolos regolíticos e quartzarênicos são naturalmente arenosos, sendo que os regolíticos se caracterizam pela maior disponibilidade de minerais (Cunha et al., 2021e). Devido à alta variabilidade, as classificações dos neossolos nas classes hidrologia também é muito variável. Neossolos quartzarênicos possuem alta permeabilidade, compondo o grupo B, os solos flúvicos classificam-se como do grupo C e neossolos litólicos, pela alta presença de rochas, compõe o grupo D (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005). Neossolos regolíticos possuem alta variabilidade, podendo variar entre os grupos devido à variabilidades na granulometria e angulação, dentre outras características, do solo (Stürmer et al., 2009)

- Planossolos

Os planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados com características minerais. Encontrados na região do semiárido, tem a característica de apresentarem grandes quantidades de sais solúveis, devido à evaporação de águas na superfície do solo (Saraiva, 2016). Geralmente apresentam alta taxa de troca de cátions e elevada saturação por bases, favorecendo a troca iônica (Cunha et al., 2021f). São solos de textura argilosa e muito baixa taxa de infiltração e alta taxa de escoamento, caracterizando-se como grupo D (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005).

- Vertissolos

Vertissolos são solos característicos de pouca permeabilidade, caracterizados pelas altas concentrações de argila. É tradicionalmente duro quando seco e pegajoso quando molhado, demandando alta tração para movimentação antrópica do solo (Cunha et al., 2021g). É um solo de baixa permeabilidade e alta taxa de escoamento, caracterizando-se no grupo D (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005).

2.1.3.2 Domínios Hidrogeológicos

Os aquíferos formados no Brasil são baseados em 7 distintos domínios hidrogeológicos distintos, apresentados no [Quadro 2.4](#) e vistos na figura [Figura 2.10](#). Dentro do estado da Paraíba são encontrados aquíferos fraturados, porosos e cársticos, sendo que, em sua maioria, os aquíferos são porosos ou fraturados, conforme mostrados na figura [Figura 2.11](#). Formações de aquíferos cársticos são escassas e estatisticamente desprezíveis quanto observadas as formações ao longo do território estadual.

Os dados acerca dos domínios hidrogeológicos do Brasil foram obtidos utilizando a camada geográfica fornecida por [Fuckner e CPRM \(2021\)](#) e cujas informações foram extraídas utilizando a ferramentas GIS. As divisões de domínios encontradas na região são:

- Formações Cenozóicas
- Bacias Sedimentares
- Metassedimentos / Metavulcânica
- Cristalina

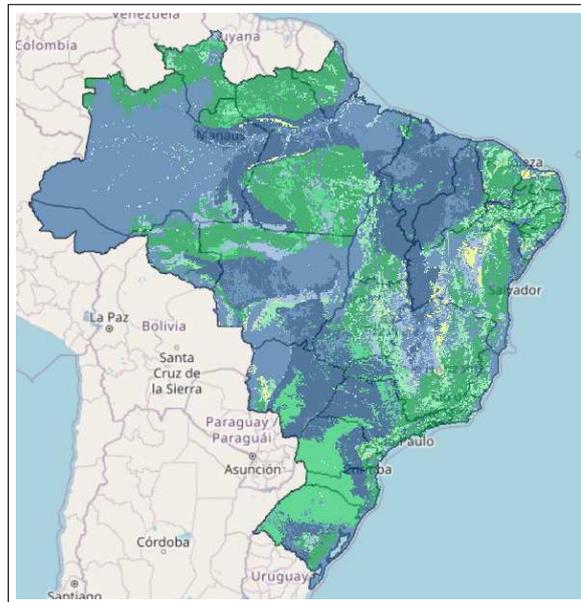
Sendo que, as formações de carbonatos / metacarbonatos e vulcânicas aparecem apenas em porções pequenas e estatisticamente desprezíveis da região, desta maneira não estão representados no estudo. Os poços perfurados na região aparecem, praticamente exclusivamente, nas regiões de formações cenozóicas, bacias sedimentares, metassedimentos / metavulcânicas e cristalinas.

• Aquíferos Porosos

Aquíferos porosos são formações que ocorrem em regiões de material não consolidado, ou seja, sedimentos de menor porte e alta porosidade que não formam rochas. Este tipo de aquífero possui maior porosidade natural devido à alta porosidade dos materiais que a compõe ([Freeze; Cherry, 1979](#)). São mais maleáveis para a perfuração

Figura 2.10 – Domínios hidrogeológicos no Brasil.

Fonte:



Quadro 2.4 – Tipos de aquíferos e domínios hidrogeológicos encontrados no Brasil continental.

Tipo de Aquífero	Domínio Hidrogeológico	Cor no Mapa
Poroso	Formações Cenozóicas	
	Bacias Sedimentares	
Misto (Poroso/-Fraturado)	Poroso / Fraturado	
Fraturado	Metassedimentos / Metavulcânicas	
	Vulcânicas	
	Cristalino	
Cárstico	Carbonatos / Metacarbonatos	

de poços, tornando-se mais vantajosa a exploração da água subterrânea, além de, em geral, formarem aquíferos de maior capacidade volumétrica (Feitosa et al., 2008).

- Formações Cenozóicas

Formações caracterizadas pela alta porosidade primária, compostas por altas porções de areia e altas vazões de poços. Ocorrem em terrenos arenosos de alta permeabilidade, permitindo o acúmulo de águas subterrâneas em larga escala. Suas potencialidades hidrogeológicas dependem da espessura e razão areia/argila, podendo produzir vazões significativas (Bomfim, 2010).

- Bacias Sedimentares

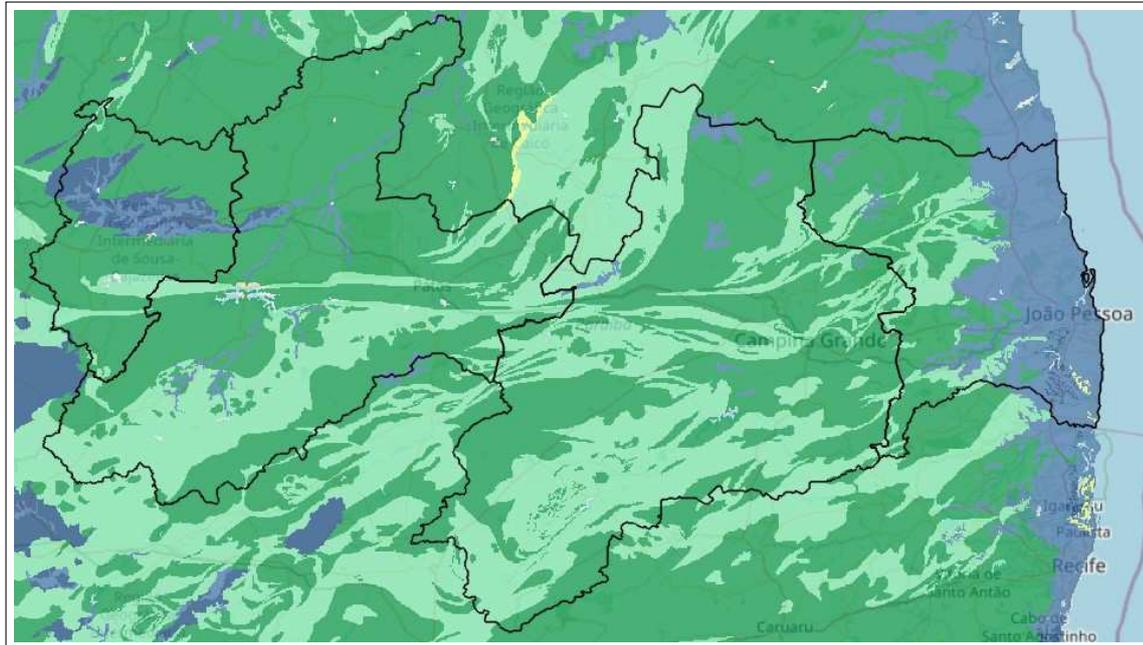
Bacias sedimentares são compostas por rochas sedimentares, principalmente bacias recentes no período de formação. Constituem os mais importantes reservatórios nacionais, devido à alta permeabilidade e porosidade da sua litologia, permitindo a perfuração de poços de altíssimas vazões (Bomfim, 2010). Os aquíferos produzidos em regiões de bacias sedimentares são dependentes da largura da formação sedimentar, sendo que poços perfurados em regiões de maiores larguras possuem maiores vazões (Fetter, 2014).

- Aquíferos Fraturados

A formação de aquíferos fraturados ocorre em regiões de predominância de rochas ígneas ou metamórficas. Tais rochas possuem baixa porosidade natural, resultando na baixa permeabilidade primária da formação. Nestas formações, a permeação e acúmulo de água ocorre nas fissuras, ou fraturas, das rochas, resultando na formação dos aquíferos (Freeze; Cherry, 1979). A prospecção de águas em aquíferos desta natureza é associada ao estudo das falhas, zonas de cisalhamento e contatos litológicos, permitindo

o mapeamento das reservas subterrâneas (Feitosa et al., 2008).

Figura 2.11 – Domínios hidrogeológicos no estado da Paraíba.
Fonte: Produzido pelo autor



- Metassedimentos / Metavulcânicas

Produzido por rochas semelhantes ao cristalino, com baixa porosidade primária, possuem geralmente baixa vazão e alta salinidade em poços perfurados neste domínio. Em comparação ao cristalino porém, tendem a apresentar maior potencialidade hidrogeológica, ainda que baixa em média. As formações geológicas remetem ao cristalino, entretanto, possuem comportamento reológico distinto, reagindo diferentemente aos esforços causadores de fendas e fraturas, desta maneira apresentando maior potencialidade hidrogeológica que o cristalino (Bomfim, 2010).

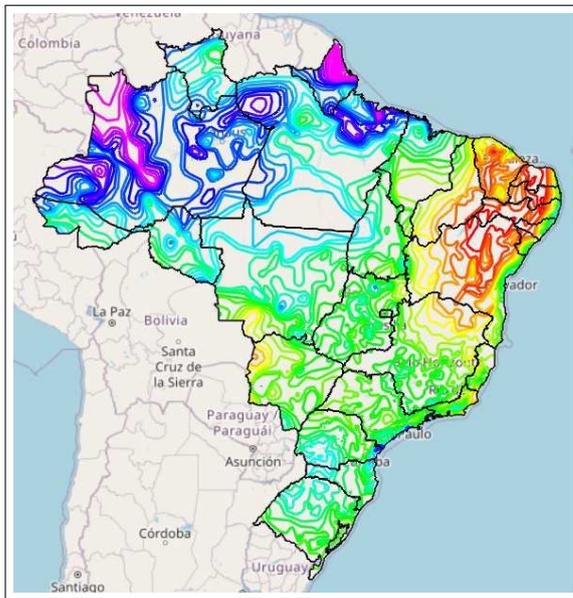
- Cristalino

O cristalino forma o domínio hidrogeológico presente no Brasil com menor potencialidade hidrogeológica. Por conta da formação de rochas cristalinas tem permeabilidade primária quase nula e forma aquíferos pequenos e descontínuos. Assim como o domínio de metassedimentos / metavulcânicas, tende a possuir alta salinidade e baixa vazão para poços perfurados sobre aquíferos deste domínio (Bomfim, 2010). A perfuração de poços nesta região tende a ser utilizada em virtude da escassez hídrica na região, entretanto a qualidade da água é muito inferior (Feitosa et al., 2008).

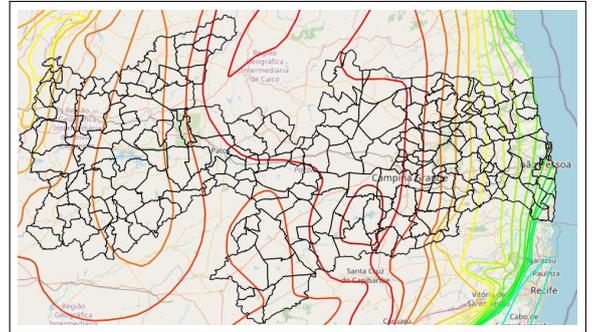
2.1.3.3 Dados de Pluviometria

As informações acerca do índice pluviométrico da região foram acessadas a partir do banco de informações da ANA e CPRM (2016). Os dados referentes à pluviometria

Figura 2.12 – Isoietas pluviométricas do Brasil (A) e do estado da Paraíba (B)
 Fonte: Produzido pelo autor



(A)



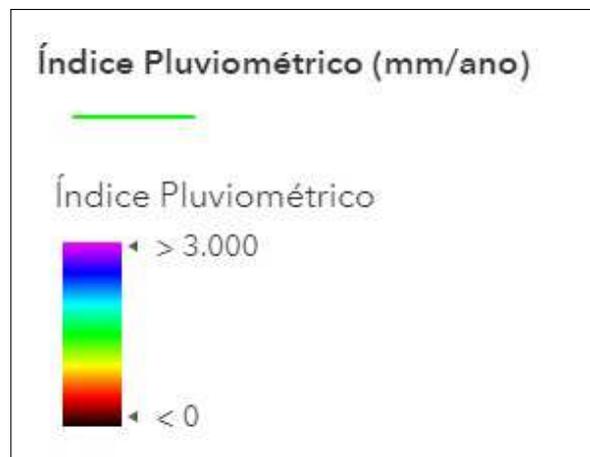
(B)

foram determinados utilizando isoietas de índice pluviométrico, conforme apresentado na [Figura 2.12A](#) e [Figura 2.12B](#), com legendas na [Figura 2.13](#). As isoietas são separadas em intervalos de 100 mm/ano, atingindo os menores valores na região central do estado, 400 mm/ano e os maiores na região costeira, 1.700 mm/ano.

Devido à natureza dos dados de pluviometria, não foi realizada a anexação dos dados ao banco de dados, portanto foi realizada a observação de médias locais em comparativos com as divisões geográficas.

As médias pluviométricas são primordiais para a exploração, devido à necessidade de recarga dos aquíferos. Desta maneira, a perfuração de poços de alta vazão é dependente da taxa de recarga dos poços perfurados ([Theis, 1940](#)).

Figura 2.13 – Legenda do mapa da [Figura 2.12A](#) e [Figura 2.12B](#)
 Fonte: Produzido pelo autor



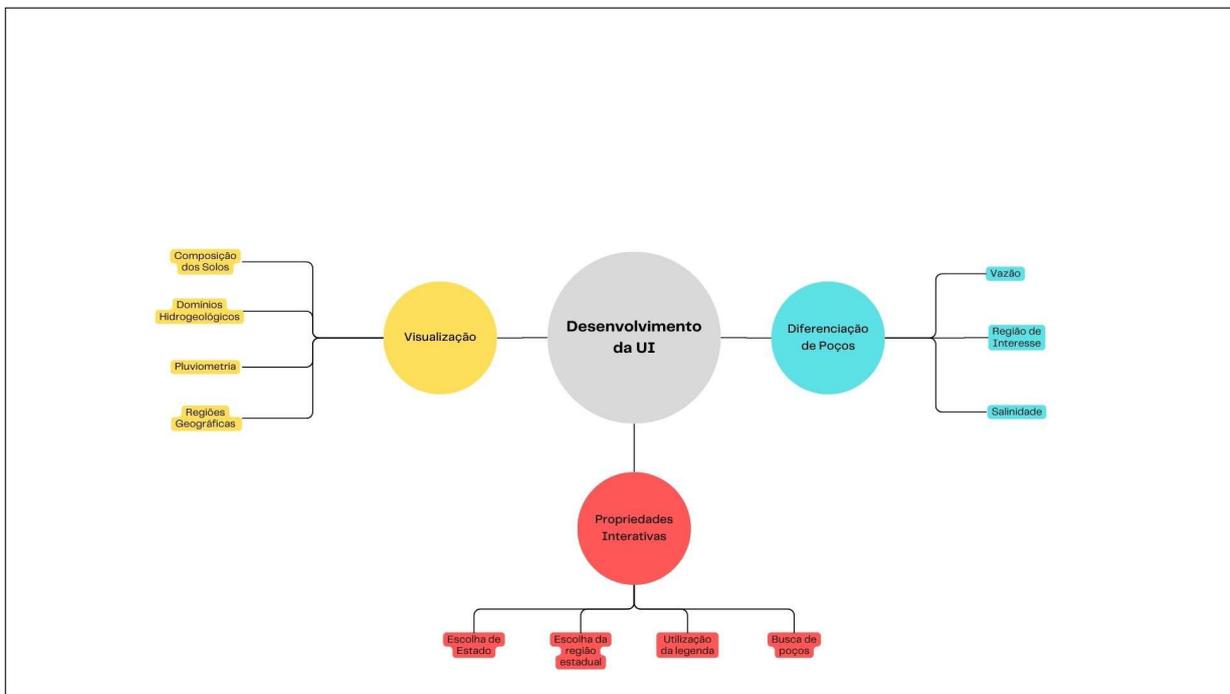
2.2 Produção da UI

A produção da UI para utilização do programa foi dividida em três etapas principais.

- A construção da interface visual utilizando *HTML* e *CSS*.
- As interações de *backend* contruídas em *Javascript* utilizando a *API* para *ArcGIS*.
- A conexão do programa com banco de dados em *MySQL* utilizando *Javascript* e *PHP*.

A divisão das aplicações da UI está apresentada na [Figura 2.14](#)

Figura 2.14 – Fluxograma das aplicações da UI



2.2.1 Interface Visual

A interface visual foi construída utilizando primeiramente *HTML* para a determinação de metadados do programa, apresentado no 2.1. Os metadados compõe as informações utilizadas para o design do corpo do programa.

No corpo do arquivo de *HTML* foram inseridas as divisões de mapa e interações de usuário para a manipulação do mapa com as interações em *backend*. As duas divisões são mostradas no 2.2. As divisões são ajustadas utilizando *CSS* para a ocupação dinâmica da página, sendo que o mapa ocupa 70% da largura da página e a divisão interativa 30%, conforme apresentado no 2.3.

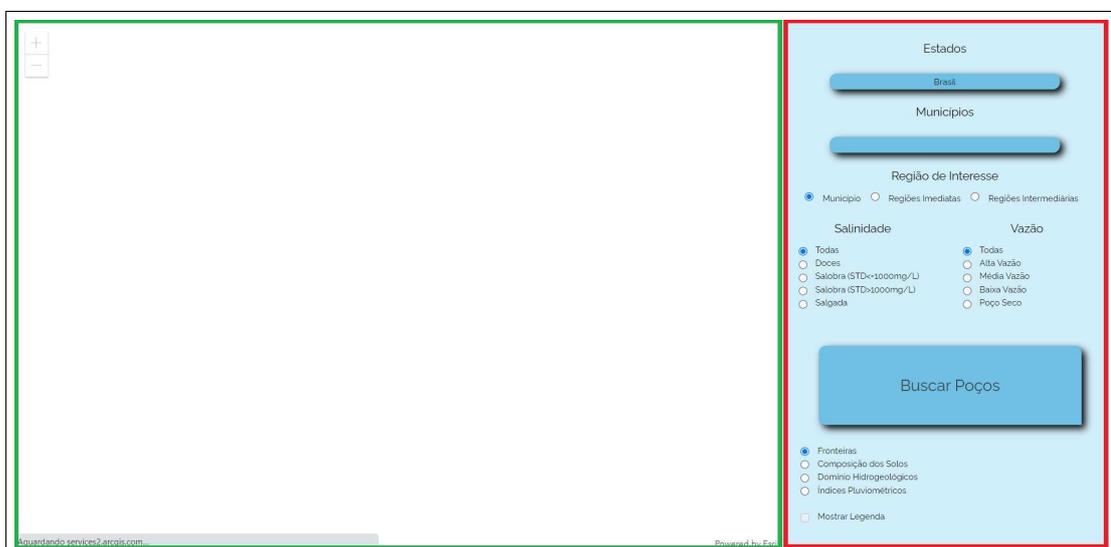
O código em CSS resulta na ocupação completa da página pelo corpo do programa. As divisórias contendo o mapa e as interações são posicionadas de forma absoluta e com margens definidas à direita da borda, utilizando 30% de margem para a divisória do mapa para a colocação precisa na página, conforme a Figura 2.16.

A divisão contendo as interações foi alimentada com elementos para seleção de dados para interação com o mapa. As escolhas foram realizadas utilizando abas em cascata, *radio buttons*, *checkboxes* e o botão de busca. Todos os elementos de seleção foram internalizados ao elemento pai, a divisão mostrada no 2.2, e acoplados à interface visual contidos nele.

Os elementos contidos realizam a conexão da UI com o *backend* do programa alterando a visualização no mapa ou as buscas geradas pelo usuário.

Figura 2.15 – Interações do programa
Fonte: Produzido pelo autor

Figura 2.16 – Página desenvolvida para utilização, Divisor do mapa marcado em verde e de interações em vermelho.
Fonte: Produzido pelo autor



A implementação destes elementos ocorre conforme o 2.4. A partir deste código são formados os elementos de interação com o *backend* do programa. O resultado final do desenvolvimento do código, com o design realizado em CSS, produz o divisor mostrado anteriormente na Figura 2.15. Toda a divisão foi realizada para a interação do usuário com a página utilizando o *mouse* para a seleção dos interesses para a pesquisa.

Trecho de Código 2.1 – Código HTML para *head* do programa

```
1 <html>
2 <head>
3 <meta charset="utf-8">
4 <meta name="viewport" content="initial-scale=1, maximum-scale=1,
  user-scalable=no">
5 <title>Georreferenciamento de Águas Subterrâneas</title>
6 <link rel="stylesheet" href="style.css">
7 <link rel="stylesheet" href="https://fonts.googleapis.com/css?
  family=Raleway&display=swap">
8 <link rel="stylesheet" href="
  https://js.arcgis.com/4.26/esri/themes/light/main.css">
9
10 <script src="https://js.arcgis.com/4.26/"></script>
11 <script>
12 var dojoConfig = {
13   has: {
14     "esri-featurelayer-webgl": 1
15   }
16 };
17 </script>
18 <script src="mapfuncs.js"></script>
19 <script src="funcs.js"></script>
20 <script src="fetchfuncs.js"></script>
21
22
23 </head>
24 ...
25 </html>
```

Trecho de Código 2.2 – *Div's* responsáveis pela divisão da página

```
1 <html>
2 ...
3 <body >
4 <div id="scene" ></div>
5 <div class="slct-box" id="slct-box">
6 ...
7 </div>
8 </body >
9 </html>
```

O botão na parte inferior do programa, mostrado circulado em vermelho na [Figura 2.15](#), é o gatilho para a integração do programa com o banco de dados em nuvem para busca de poços, enquanto os outros elementos são gatilhos para a interação do *Javascript* com a *API* do *ArcGIS*.

Trecho de Código 2.3 – CSS para ajuste de visualização das divisórias.

```
1  html , body {
2  padding: 0;
3  margin: 0;
4  height: 100 %;
5  width: 100 %;
6  }
7
8  #scene {
9  float: left;
10 padding: 0;
11 margin: 0;
12 height: 100 %;
13 width: 70 %;
14 position: absolute;
15 right: 30 %;
16 top: 0 %;
17 }
18
19 .slct-box {
20 width: 30 %;
21 height: 100 %;
22 border-radius: 0px 0px 0px 0px;
23 position: absolute;
24 right: 0 %;
25 top: 0 %;
26 box-shadow: 5px 5px 10px 0px #000;
27 background-color: #d1eefb;
28 }
```

Trecho de Código 2.4 – Itens selecionáveis em HTML

```
1 <body >
2   ...
3   <select class="estados" id="estados">
4     <option value=0>Brasil</option>
5     <option value=1>Acre</option>
6   ...
7 </select>
8   ...
9 <select class="munic" id="munic"></select>
10 <div class="regiao">
11   <input class = "municrad" id = "municrad" checked type="radio"
12     name="região" value="Município"> Município</input>
13 </div>
14 <div class="vazaobl">Vazão</div>
15 <div class="vazao">
16   <input class = "vazrad" id = "vazrad" checked type="radio" name=
17     "vazao" value="todas"></input>
18   <div class="vazradlbl">Todas</div>
19 </div>
20 <div class="salinidade">
21   ...
22 </div>
23 <div class="btn-busca">
24   <button class="Busca" id="busca" >Buscar Poços </button >
25 </div>
26 <div class="check">
27   <input id="frontrad" name="layer" class="front" type="Radio"
28     checked> </input>
29   <div class="frontlbl">Fronteiras</div>
30 </div>
```

2.2.2 Backend

O desenvolvimento do *backend* do programa passa pela implementação direta da API do ArcGIS para a produção do mapa e a criação de *pointers* das operações para as funções correspondentes.

As opções oferecidas ao usuário do programa permitem alterar a seleção de camadas de mapas, visibilidade das legendas e a localidade selecionada para análise, juntamente com a seleção de opções de região, determinadas pelas divisões determinadas na Seção 2.1.2.

A integração das camadas utiliza dois tipos de camadas que interagem com o sistema fornecido pela API do ArcGIS, camadas integradas ao sistema e camadas provenientes de arquivos *.json* (ou camadas em formato GeoJSON, adaptadas a sistemas de georreferenciamento). Todas as camadas são carregadas na inicialização do programa, tendo sua visibilidade alterada para correção da visualização. As ferramentas de interação com camadas operam de duas maneiras para visualização, a alteração de camada visível e a alteração de centralização e *zoom* do mapa. Além disso, existe a alteração de visualização da legenda das camadas.

- Camadas visíveis

A alteração de camada visível é controlada pelos *radio button's* na parte inferior do divisor da Figura 2.15, oferecendo as seguintes opções:

- Fronteiras
- Composição dos Solos
- Domínios Hidrogeológicos
- Índices Pluviométricos

A visualização das camadas se dá com a transição dos botões dos *radiobutton's*, produzindo a imagem do mapa conforme mostrado nas figuras nas Seções 2.1.2 e 2.1.3. As camadas são implementadas no programa utilizando trechos de códigos iguais ao 2.5, gerando objetos de camada para implementação no programa.

A implementação dos mapas em *Javascript* na inicialização do programa ocorre utilizando um total de 7 camadas implementadas das maneiras mostradas no 2.5. As camadas utilizadas são:

- Camada do OpenStreetMaps - Camada principal, contendo o mapa
- Camada de regiões - Camada preenchida de fronteiras

Trecho de Código 2.5 – Utilização das funções *FeatureLayer* e *GeoJSONLayer* da API do ArcGIS para implementação de camadas no mapa

```

1 | var mapa1 = new FeatureLayer({
2 |   ...
3 | });
4 |
5 | var mapa2 = new GeoJSONLayer({
6 |   ...
7 | })

```

- Camada de fronteiras - Camada linear de fronteiras
- Camada de taxonomia de solos - Camada preenchida da taxonomia dos solos
- Camada de domínios hidrogeológicos - Camada preenchida de domínios hidrogeológicos
- Camada de índices pluviométricos - Camada linear de índices pluviométricos
- Camada de poços - Camada gráfica pré-inicializada para leitura dos poços

Trecho de Código 2.6 – Código de inicialização do mapa

```

1 | const map = new Map({
2 |   ...
3 | });
4 |
5 | const view = new MapView({
6 |   container: "scene",
7 |   map: map,
8 | });

```

A visibilidade das camadas na inicialização é predeterminada, sendo as camadas dos poços, das fronteiras e a principal visíveis permanentemente, a camada de regiões visível na inicialização e as outras camadas invisíveis na inicialização. Na inicialização do mapa as camadas são inseridas conforme o [2.6](#)

Os *radio button's* criados na interface visual são direcionados à função correspondente para troca de camadas, como reproduzido no [2.7](#).

Trecho de Código 2.7 – Apontador de interação -> função correspondente

```

1 | const solosrad = document.getElementById("solosrad");
2 | solosrad.addEventListener('click', changelayer);

```

A função de troca de camada ocorre realizando a leitura dos *radio button's*, observando qual está selecionado, para a determinação da camada visível. A legenda das camadas tem a visibilidade determinada pela variável *booleana*, 'variable' no *script* dependendo do estado da seleção do *checkbox* correspondente. A troca utiliza um sistema simples utilizando a condicional *if* e adaptando a característica *visibility* das variáveis de camada para determinar a camada a ser mostrada no mapa.

- Centralização e Zoom

A troca de zoom e centralização do mapa se dá utilizando a camada de regiões, na alteração do estado ou região de interesse utilizando as abas em cascata criadas no *HTML*. A alteração na aba de estados realiza a troca das camadas de fronteiras e região para abarcar o estado selecionado, da forma como mostrado no 2.8. Em conjunto com a troca da camada, são buscadas duas funções, uma para a alteração da centralização e zoom do mapa, utilizando funções internas da API e uma função para remoção e adição das regiões de interesse na abas em cascata de regiões (podendo ser regiões intermediárias, regiões imediatas ou municípios). A visibilidade da camada de região depende da seleção escolhida no *radio button's*, enquanto a camada de fronteiras é sempre visível.

A alteração do zoom da camada ocorre pela função *zoomToLayer*, mostrada no 2.8 que utiliza a extensão da variável interna da API para dimensionar o zoom e centralizar a imagem. A função desenvolvida é aplicada a cada mudança de seleção de região na interface do programa e permite a visualização sem necessidade de interferência externa pelo usuário. A transição da mapa é realizada pela função apresentada no 2.9.

A alteração na abas em cascata contendo informações acerca da região é resolvida utilizando uma função assíncrona para a busca interna no arquivo *.json* contendo as informações de fronteiras municipais ou regionais. Inicialmente os itens da aba em cascata são removidos individualmente utilizando função recursiva conforme mostrado no 2.8.

Após a remoção de todos os elementos, entra a função assíncrona '*FetchMunic*', mostrada no 2.10. A função faz a leitura do arquivo *.json* e transforma os valores de texto em objeto, permitindo que a leitura seja realizada de forma recursiva para o envio das informações com os nomes das regiões do estado sejam enviados à aba em cascata.

Outras interações, além da alteração do valor selecionado nas abas, realizam operações de alteração na centralização e *zoom* do mapa, entretanto, utilizando funções similares em termos de código, em particular, a troca dos *radio button's* de tipo de região que retornam o mapa à centralização na camada do estado, realizando a troca do arquivo da camada GeoJSON e recentralizando o programa.

Trecho de Código 2.8 – Função para troca de arquivos GeoJSON

```

1  function changeestado() {
2  map.remove(mapa2)
3  mapa2 = new GeoJSONLayer({
4  ...
5  })
6  map.add(mapa2)
7  ...
8  }
9
10 zoomToLayer(mapa2)
11
12 var i, L = munic.options.length - 1;
13
14 for(i = L; i >= 0; i--) {
15 munic.remove(i);
16 }
17
18 if (estados.selectedIndex != 0){
19 FetchMunic(estados, end);
20 }

```

Trecho de Código 2.9 – Código para alterar localização e zoom do mapa

```

1  function zoomToLayer(layer) {
2  return layer.queryExtent().then((response) => {
3
4  view.goTo(response.extent, {duration: 500}).catch((error) => {
5  console.error(error);
6  })
7  });
8  }

```

Devido ao uso das abas e botões para a alteração das camadas as funções tradicionais de movimentação de mapa com o *mouse* ou implementação de *zoom* com dois cliques, *mouse-wheel* e teclas '+' e '-' foram desabilitadas para evitar interações desnecessárias.

2.2.3 Integração com MySQL

O banco de dados, produzido com os dados obtidos na Seção 2.1.1, foi implementado em nuvem alimentado utilizando as informações obtidas pelo SIAGAS. A partir dos dados da plataforma, foi gerada a tabela do banco contendo os dados técnicos e georreferenciados dos poços. Todos os pontos foram armazenados no banco, produzindo o resultado mostrado na Figura 2.17.

Utilizando as informações georreferenciadas dentro do banco de dados, foram

Trecho de Código 2.10 – Função assíncrona para a formação da aba em cascata contendo as regiões.

```

1  async function FetchMunic(estado, tipo){
2
3  var munic = document.getElementById("munic");
4  var n = []
5
6  if (estados.selectedIndex != 0){
7
8  fetch("*****")
9  .then(response => response.json())
10 .then(res => {
11
12  ...
13  for (arr in res.features){
14  if (!n.includes(res.features[arr].properties.NOME)){
15  n.push(res.features[arr].properties.NOME)
16  }
17  }
18  ...
19  })
20  }
21  }

```

Figura 2.17 – Banco de dados em nuvem utilizando MySQL
Fonte: Produzido pelo autor

PK	Localizacao	Estado	Região	Intermediária	Região	Imediata	Município	Latitude	Longitude	Vazao	Sólidos_Totais	Ordem1	Subordem1	Grande_Grupo1	Ordem2	Subordem2	Grande_Grupo2	Orden
7	Sítio Lage D água	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5269	-37.6797	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
8	Sítio Palzinho Lage D água	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5272	-37.6756	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
9	Sítio França	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5211	-37.6714	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
10	Sítio Lage D água	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5242	-37.6844	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
11	Sítio Bela Vista	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5133	-37.6844	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
12	Sítio Bela Vista	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5083	-37.6764	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
13	Sítio Bela Vista	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5017	-37.6775	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
14	Sítio Querido	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4925	-37.6903	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
15	Sítio Gomes	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4956	-37.7019	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
16	Sítio Bela Vista	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4111	-37.6747	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
17	Sítio Merco	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5047	-37.6967	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
18	Sítio Catolá	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.57	-37.7219	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
19	Sítio Felipe	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5458	-37.6933	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
20	Sítio Muricoca	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.5244	-37.6319	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
21	Sítio Otis	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4953	-37.6625	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
22	Sítio Otis	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4981	-37.6553	NULL	NULL	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	livissolos	chromicos	orticos	neossos	
23	Sítio Manaçã	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4375	-37.6967	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
24	Sítio Mereco	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4172	-37.6831	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd
25	Sítio Bom Jesus	Paraíba	Patos	Patos	Água Branca	Água Branca	-7.4283	-37.7003	NULL	NULL	neossolos	litolicos	eutroficos	argissolos	vermelho-amarelos	eutroficos	aforan de rocd	aforan de rocd

resgatadas as informações das camadas do mapa e anexados ao banco. O formato do banco foi adaptado para que, juntamente com as informações técnicas de utilização dos poços, fossem anexadas as informações obtidas pela busca conjunta com os poços. Desta maneira, foram anexadas ao banco as informações de fronteiras geopolíticas, taxonomia dos solos e domínios hidrogeológicos juntamente às informações armazenadas de poços perfurados.

A implementação do programa em *Javascript*, uma linguagem que opera em *client-side*, faz com que não seja possível a conexão direta com o banco de dados. Desta maneira, optou-se por utilizar a linguagem *PHP* para a implementação do *CRUD*(*Create, Read, Update, Delete*) para manipulação das informações do banco.

A utilização do *PHP*, ocorre fazendo a varredura do banco, utilizando linguagem própria de banco de dados e retornando a busca em formato de array convertido em variável do tipo *.json* para transição de informação. O 2.11 foi utilizado para a realização da leitura dos dados na tabela no *MySQL*.

Trecho de Código 2.11 – Arquivo *PHP* para leitura de informações do banco de dados

```
1 <?php
2 $host = "*****";
3 $database = "*****";
4 $user = "*****";
5 $password = "*****";
6
7 $conn = new mysqli($host, $user, $password, $database);
8
9 $query = "SELECT_*_FROM_..." ;
10 $result = $conn->query($query);
11 $res = array();
12
13 while($row = $result->fetch_assoc()) {
14     array_push($res, json_encode($row));
15 }
16 echo json_encode($res);
17 mysqli_close($conn);
18 ?>
```

Para a especificação das buscas, são enviadas as variáveis, via *Javascript*, para o arquivo em *PHP*, de forma a completar a linha de código de busca em *MySQL*, para alteração nas buscas por vazão, TDS e região de interesse. Com o envio das informações, a linha de código para busca é adaptada utilizando um algoritmo de separação condicional como no 2.12. O valor da variável de texto designada é adicionado à variável de busca para a execução do processo.

A variável *.json* é enviada ao programa principal utilizando o método *fetch*, fazendo a conversão de *json* para vetor e realizando a leitura dos valores para implementação no mapa. Os valores são obtidos pela função e lidos de forma recursiva, para cada ponto de retorno da busca. Cada um dos pontos é então designado à seu ponto no mapa utilizando a geolocalização, a cor, dependendo do valor do TDS e tamanho do ponto, dependendo da vazão.

A conexão e a leitura dos dados utilizando o método *fetch* ocorre utilizando o 2.13.

Trecho de Código 2.12 – Algoritmo para separação de busca para a variável 'vazão'

```

1
2  switch ($vazao){
3  case "todas":
4  $queryvazao = "";
5  break;
6
7  case "alta":
8  $queryvazao = "and_Vazao_>=_2000_";
9  break;
10
11 case "media":
12 $queryvazao = "and_Vazao_>=_1000_and_Vazao_<_2000_";
13 break;
14
15 case "baixa":
16 $queryvazao = "and_Vazao_>=_300_and_Vazao_<_1000_";
17 break;
18
19 case "seca":
20 $queryvazao = "and_Vazao_<_300_";
21 break;
22 }

```

A função `fetch` ocorre de forma assíncrona, permitindo o funcionamento do programa enquanto opera em *background*. Enquanto lê a variável `.json` o algoritmo faz a conversão do vetor de arquivo de texto para vetor de objeto utilizando a função `parse`.

Trecho de Código 2.13 – Função `fetch` em *Javascript* para conexão com *CRUD* em *PHP*

```

1  pocolayer.removeAll();
2
3  fetch("*****", {
4  method: 'get',
5  }) .then(response => response.json()).then(res => {
6
7  for (val in res){
8  arr = JSON.parse(res[val])
9  ...
10 }

```

Anteriormente ao processo de conversão, o programa remove todos os elementos da camada gráfica da *API*, abrindo espaço para a introdução dos valores buscados na camada. As imagens são produzidas e inicializadas utilizando o 2.14, definindo a cor e tamanho para aplicação no mapa.

Juntamente com a implementação dos pontos, é incluída a implementação dos

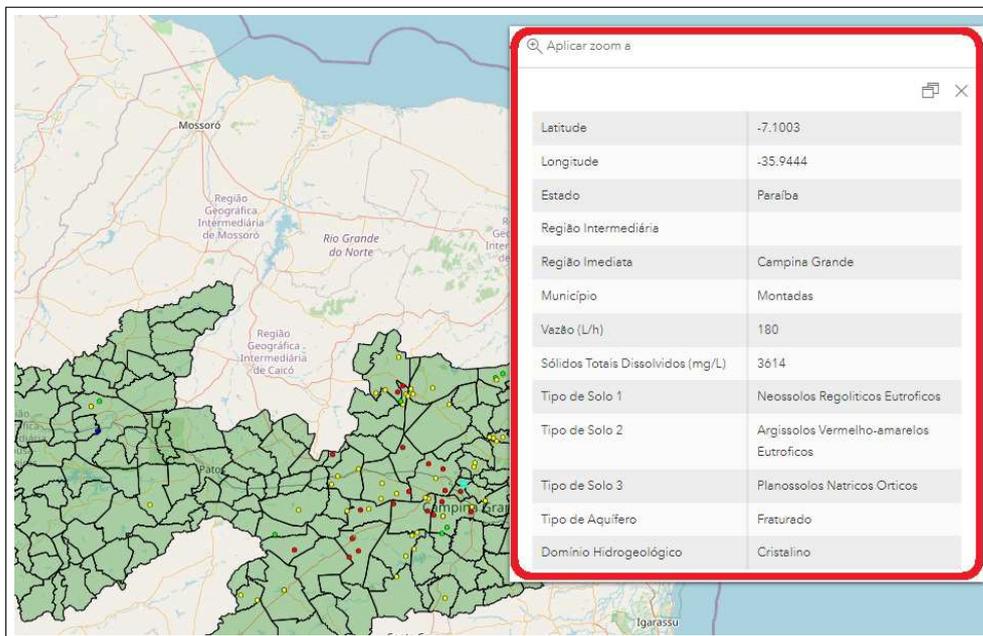
Trecho de Código 2.14 – Elemento da construção e implementação recursiva dos pontos da camada gráfica

```
1 let grap = new Graphic({
2   geometry:{
3     type: "point",
4     latitude: arr.Latitude,
5     longitude: arr.Longitude,
6   },
7   ...
8 })
9 pocolayer.graphics.add(grap)
```

popup's dos mesmos, carregando as informações adicionais para visualização dos dados. As informações obtidas com as camadas vem em conjunto com os pontos para simplificar a visualização.

A escolha por *popups* visa diminuir a poluição de informação na *UI*, tornando a utilização do programa ruim, desta maneira, as informações desejadas são mostradas de forma restrita, não interferindo na velocidade de processamento e na poluição visual gerada. A visualização final dos poços se dá na [Figura 2.18](#).

Figura 2.18 – Popup criado para a exposição de informações no programa
Fonte: Criado pelo autor



Com a implementação dos *popup's*, como na [Figura 2.18](#), com a informação, a etapa de produção da *UI* é concluída, restando a etapa de análise de dados.

CAPÍTULO

3

CONCLUSÕES

A parte conclusiva do trabalho se divide em três partes:

- A aplicação computacional produzida.
- A análise estatística dos dados obtidos.
- As considerações finais acerca do trabalho.

A aplicação permite utilização de maneira simplificada das informações obtidas para a visualização dos perfis de qualidade das águas.

A análise estatística realizada permitiu observar as divisões de qualidades das águas subterrâneas das regiões do estado e os impactos dos fenômenos geológicos nas águas da região.

Dentre as considerações finais são realizadas as discussões acerca dos objetivos concluídos pelo trabalho e maneiras de expandir o que já foi desenvolvido em futuras propostas de trabalho.

3.1 Aplicação Computacional Produzida para Visualização dos Dados

A aplicação produzida se utilizou da programação para simplificar a visualização dos dados obtidos ao longo do trabalho. As informações contidas no banco de dados de maneira bruta são apresentados de maneira organizada para a melhor visualização dos usuários finais. O formato final da UI está apresentado na [Figura 3.1](#).

Figura 3.1 – UI para utilização do programa



Dentro da aplicação e com o uso dos botões de alteração de mapa, é possível alterar a centralização e zoom do mapa para observar os estados de escolha, regiões intermediárias, regiões imediatas ou municípios, conforme mostrado na [Figura 3.2](#). Todos os estados, regiões intermediárias, regiões imediatas e municípios do país estão anexados dentro do programa, mesmo que não tenham banco de dados de poços associados.

As trocas de zoom e centralização para as zonas de interesse ocorrem utilizando as caixas em cascata para escolha de estados e municípios/regiões imediatas/regiões intermediárias. Os botões e abas para a realização das alterações destas opções estão apresentados na [Figura 3.3A](#).

As outras opções de alterações de visualização para as camadas iniciais do mapa são as camadas de fronteiras, domínios hidrogeológicos, taxonomia

Figura 3.2 – Mapas para o estado da Paraíba (A), região intermediária de Campina Grande (B), região imediata de Campina Grande (C) e município de Campina Grande (D)

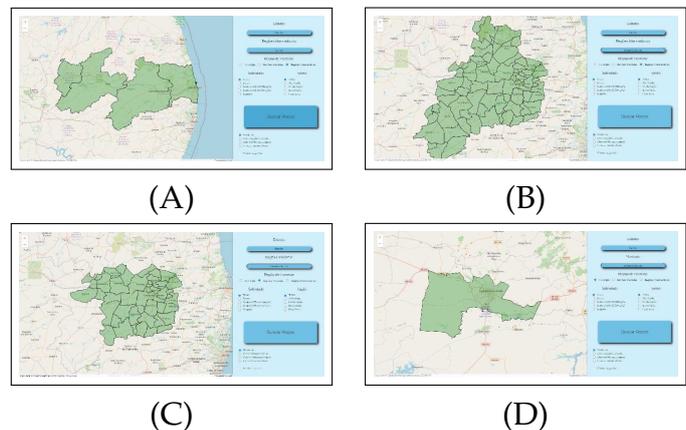
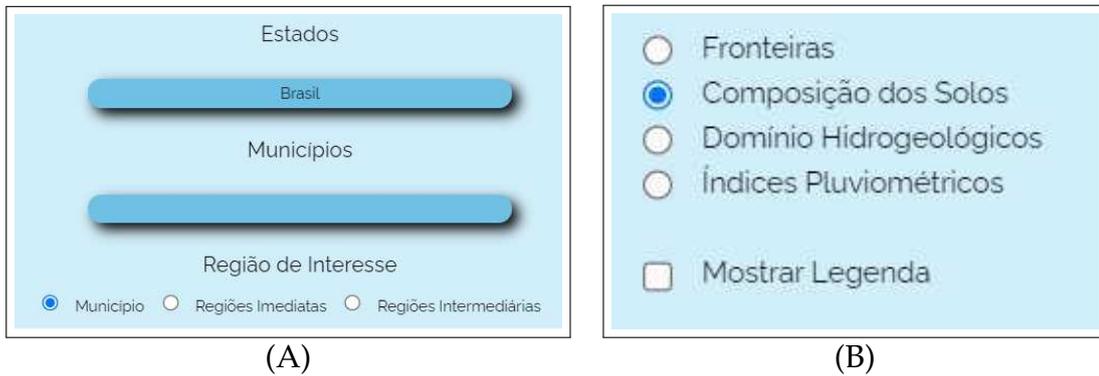
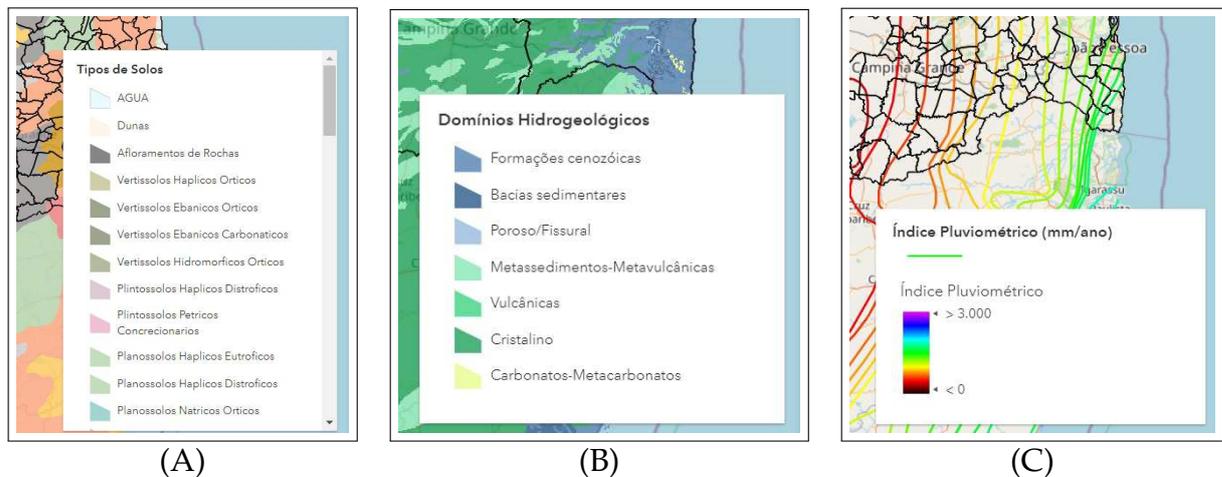


Figura 3.3 – Abas em cascata e botões para troca de tipo de região de interesse (A) e opções de troca de camada e visibilidade de legenda(B)



dos solos e pluviometria. Os mapas gerados foram apresentados anteriormente na Seção 2.1, com a possibilidade de apresentação de legenda para as cores apresentadas no mapa. As escolhas para apresentação de camada escolhida e utilização de legenda estão apresentadas na Figura 3.3B. As legendas são apresentadas na parte inferior direita do mapa, sendo mostradas na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Legendas utilizadas para taxonomia de solos (A), domínios hidrogeológicos (B) e isoietas pluviométricas (C)



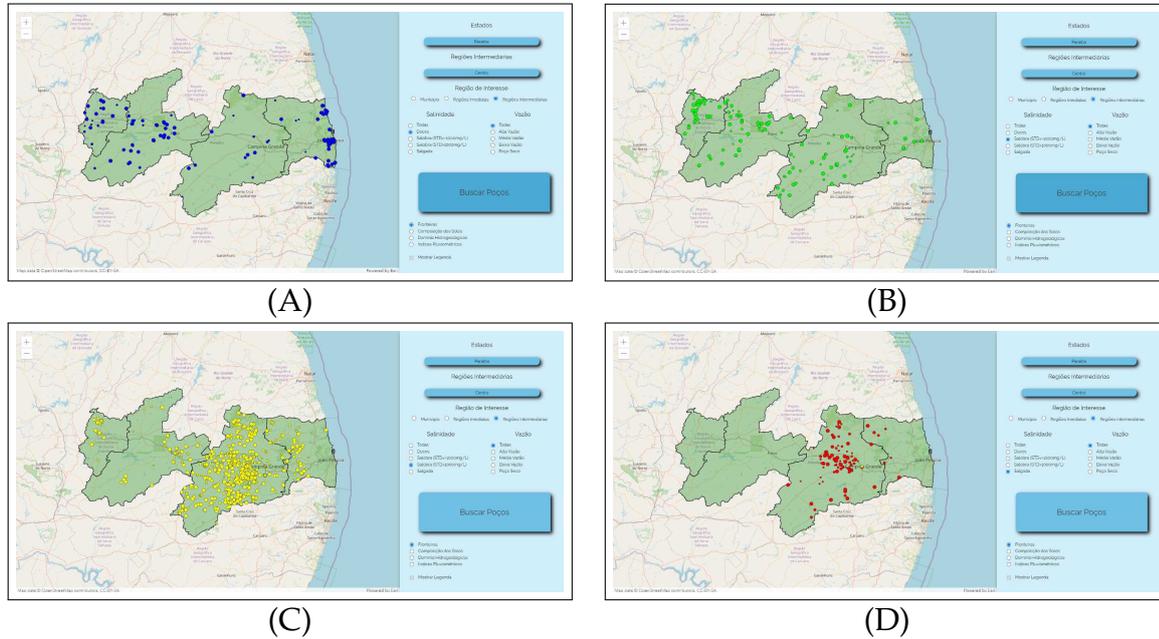
Além das opções de escolha visual de mapa, existem as possibilidades de alteração de visualização dos resultados das buscas de poços. As opções possíveis alteram as buscas em função da salinidade e vazão e estão apresentadas na Figura 3.5. As alterações não fazem mudanças imediatas, apenas após a realização das buscas, utilizando o botão de buscas, também apresentados na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Opções para troca de escolha de poços e botão de busca



Estas buscas são realizadas no interior do banco de dados para a produção da camada de visualização dos dados no mapa. A camada visível é produzida e apresentada na como na [Figura 3.6](#).

Figura 3.6 – Buscas no estado da Paraíba para poços de águas doces (A), salobros tipo 1 (B), salobros tipo 2 (C) e salgados (D)

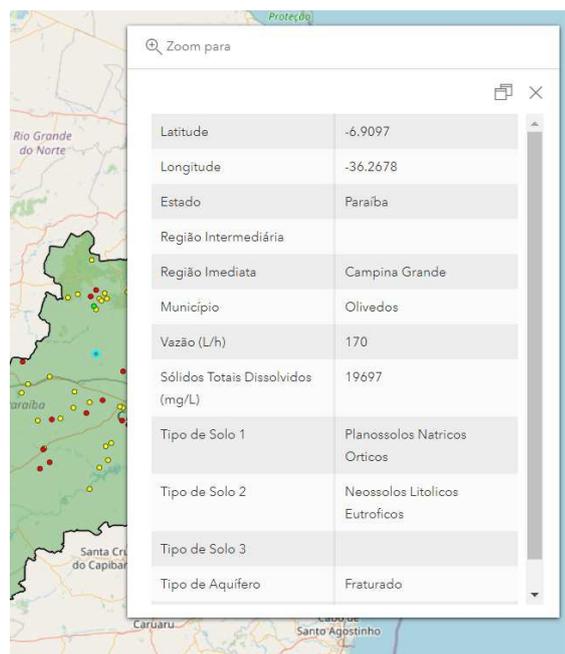


Dentro do mapa, os poços se dividem em cores, de acordo com a classificação das águas, sendo os poços de águas doces representados como azuis, salobros tipo 1 verdes, salobros tipo 2 amarelos e salgados vermelhos. A variação de cores no estado pode ser vista na [Figura 3.6A - D](#).

Além da alteração de cores dos marcadores dos poços, também é alterado o tamanho dos marcadores como indicador visual das vazões. Os tamanhos são determinados pelo valor numérico, não pela classificação, entretanto, poços secos determinam o limite inferior de diâmetro e poços de alta vazão determinam o limite superior.

Com as marcações prontas, a última alteração de interatividade aplicada foi a utilização dos balões em *popup* no mapa para a demonstração dos dados do banco de dados. Um exemplo dos *popups* está apresentado

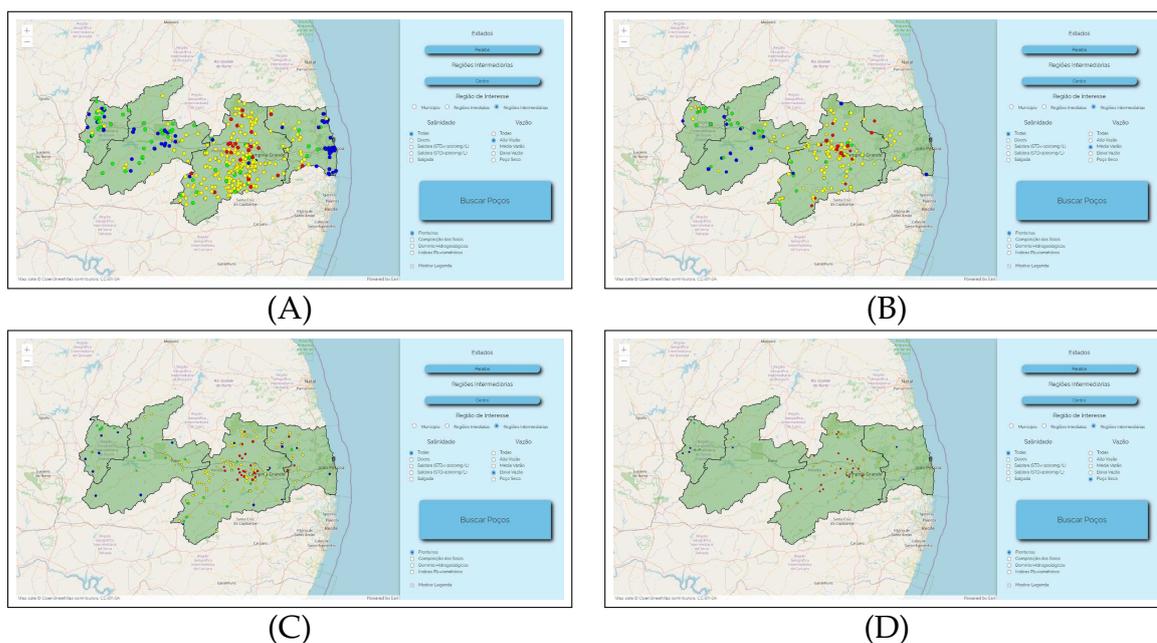
Figura 3.7 – Exemplo de *popup* contendo dados de poço



na [Figura 3.7](#). Estas informações são apresentadas para cada poço de forma individual, contendo as informações de cada camada além dos dados de vazão, STD e georreferenciamento dos poços.

A visualização das distinções no tamanho dos marcadores em função da vazão dos poços pode ser observada na [Figura 3.8](#), sendo que as imagens A - D representam os poços de alta vazão, média vazão, baixa vazão e poços secos.

Figura 3.8 – Buscas no estado da Paraíba para poços de altas vazões (A), médias vazões (B), baixas vazões (C) e secos (D)



Com estas ferramentas, é possível observar todo o conteúdo contido no banco de dados dos poços. A utilização desta ferramenta permite que se observe regiões de presença de poços de alta vazão ou doces e poços águas salobras ou secos para que se determine a melhor região para perfuração dos poços. Outras informações podem ser extraídas do programa, como melhores informações acerca de solos e geologia local para o uso de águas para consumo.

3.2 Análise dos Dados e Resultados

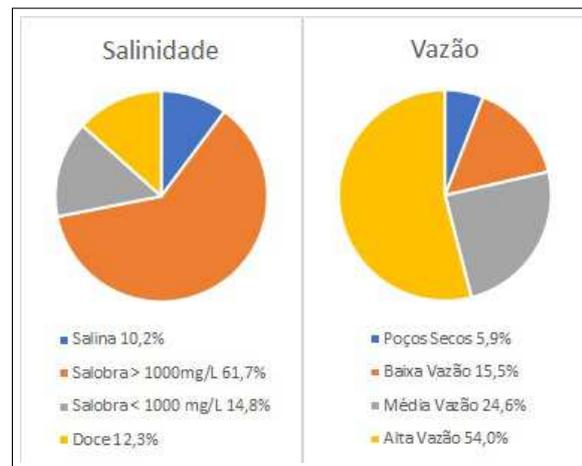
Concluídas as etapas de aquisição de informação e de programação da aplicação, foi realizado o estudo analítico dos dados. Considerando as informações provenientes dos poços do sistema SIAGAS, foi realizada a análise comparativa entre vazão e STD com a classificação dos solos e os domínios hidrogeológicos.

Além da distinção visual por cores para a demonstração da salinidade, existe a distinção por tamanhos em função da vazão. Poços de alta vazão são mostrados no mapa com maiores pontos enquanto poços secos e de menores vazões são mostrados com marcadores menores. Os valores variam em função do valor numérico, não da classificação, atingindo o valor máximo em poços de alta vazão e mínimo em poços secos.

3.2.1 Os poços no estado da Paraíba

O estado da Paraíba apresenta uma tendência natural à presença de águas salobras. Dentre todos os poços do banco de dados, apenas 12,3%, ou 135 de 1.014, poços no estado possuem águas naturalmente doces. A presença mais comum é de águas salobras, sendo 76,5%, ou 776 das águas encontradas no estado, 61,7% águas salobras com STD maior que 1.000 mg/L e 14,8% com STD menor que 1.000 mg/L. Na média, a salinidade das águas subterrâneas do estado é alta, apresentando 4.367 mg/L de STD em média. Dados acerca da vazão e da salinidade das águas podem ser observados na [Figura 3.9](#).

Figura 3.9 – Classificação dos poços por vazão e STD no estado
Fonte: Criado pelo autor

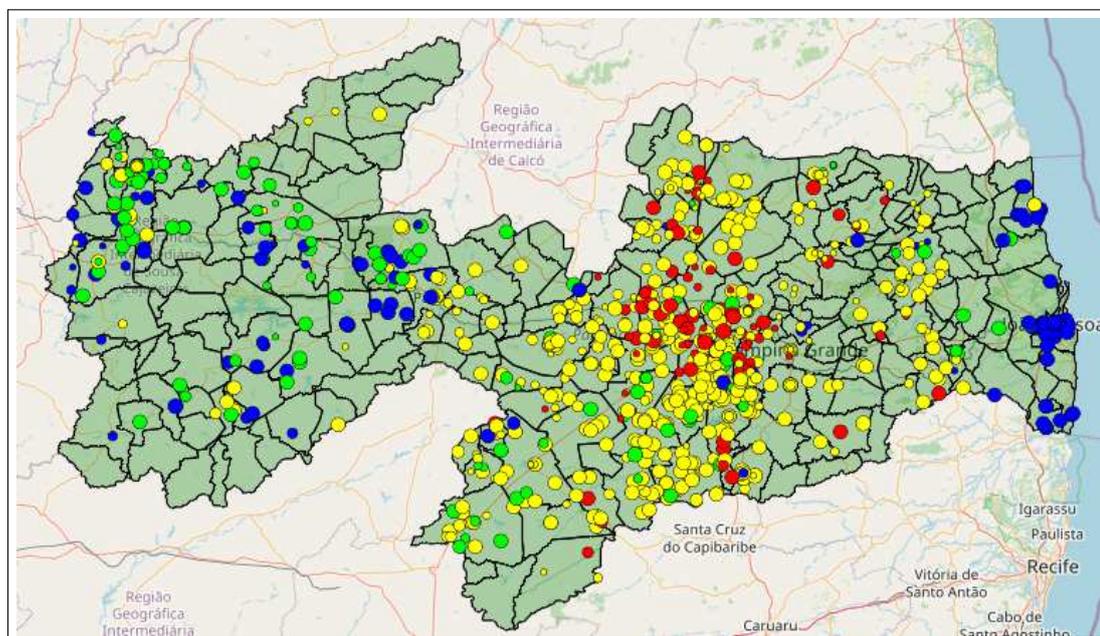


Com relação à vazão os poços apresentam em média altos valores de vazão, 4.409 L/h de valor médio em todo o estado. Majoritariamente os dados apresentam poços de alta vazão, totalizando 54,0% do total, ou 3.740 de 6.926 poços totais. Poços com vazões médias, que também podem ser explorados para abastecimento de comunidades, são 24,6% do total, ou 1.703 poços. Poços secos são apenas 5,9% do total, ou 407 de 6.929 poços, entretanto, o viés das informações incompletas nos dados deve ser considerado.

Os dados obtidos nesta etapa estão apresentados em destaque no Apêndice C. A classificação foi realizada utilizando os parâmetros determinados na Seção 2.1.1. Dentre os valores observados, é notável a presença de um grande número de poços de alta

e média vazão para abastecimento. Também é notável a alta salinidade dos poços da região. Os resultados das buscas de poços estão apresentados na figura [Figura 3.10](#).

Figura 3.10 – Poços perfurados no estado



- Taxonomia dos Solos

O estado apresenta uma grande variância dos tipos de solos encontrados ao longo do território. Com a variância existem grandes variações na qualidade das águas subterrâneas. Dados resumidos acerca dos solos estão localizados na [Tabela 3.1](#).

Dentre os solos encontrados no estado, são notáveis os espodosolos e gleissolos, todos encontrados majoritariamente na região costeira, com altas vazões e baixa salinidade média das águas. Os latossolos também possuem uma alta vazão média, porém com maior salinidade média. Tais observações se adequam à literatura de hidrologia proposta por [Sartori, Lombardi Neto e Genovez \(2005\)](#), que latossolos e espodosolos se enquadram nos grupos hidrológicos de alta infiltração, (grupos A e B do [Quadro 2.2](#)), desta maneira produzindo maiores reservatórios subterrâneos. Gleissolos não se caracterizam pela alta infiltração, entretanto, a causa da baixa infiltração se da majoritariamente pela condição de alagamento do solo, tornando a oferta de águas alta independentemente da infiltração.

Tabela 3.1 – Distribuição de dados por ordem de solos

Ordem	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Argissolos	2.413	380	6.707	3.897
Espodossolos	500	52	22.113	347
Gleissolos	62	4	28.736	269
Latossolos	786	134	12.787	2.936
Luvissolos	3.622	538	2.790	3.229
Neossolos	5.904	863	2.896	4.671
Planossolos	3.103	468	2.668	5.477
Vertissolos	1.003	169	3.279	3.737

No sentido contrário, luvisolos, planossolos e neossolos possuem vazões médias baixas, novamente condizendo com a literatura, indicando baixas taxas de infiltração. Estes solos porém, indicam a tendência dos poços na região, visto que são muito mais presentes, com destaque para neossolos, que correspondem à 5.904 poços, ou 85,2% do total de poços com dados de vazão informados.

Neossolos e planossolos também apresentam as maiores médias de salinidade, ambos superiores à 4.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos, indicando a tendência de salinização descrita por estes solos, planossolos pela alta taxa de sais e neossolos pela prevalência de neossolos litólicos na região.

• Domínios Hidrogeológicos

Os poços perfurados no estado apresentam uma grande prevalência de ocorrência em aquíferos fraturados, mostrando a grande disparidade na qualidade das águas subterrâneas em função dos aquíferos, como pode ser observado na [Tabela 3.2](#).

Tabela 3.2 – Distribuição de dados por tipos de aquíferos

Ordem	nº de Amostras		Vazão Média L/h	STD Médio mg/L
	Vazão	STD		
Poroso	1.484	131	10.949	1.173
Fraturado	5.440	883	2.622	4.840

Aquíferos fraturados na região tem uma tendência de produção inferior e maior taxa de salinidade das águas, como pode ser observado nos dados obtidos. Formações porosas produzem poços com águas mais doces e em maiores vazões em média. Os domínios hidrogeológicos apresentados no estado seguem esta mesma tendência, com domínios de formações fraturadas apresentando maiores salinidades e menores vazões em média ao longo do estado conforme a [Tabela 3.3](#).

Os domínios que produzem aquíferos fraturados compõem a maior parte do banco de dados, 5.440, ou 78,5% dos poços com dados de vazão e 883, ou 87,0% dos dados de STD. As distinções na qualidade e vazão das águas destes domínios são estatisticamente muito pequenas.

Com relação aos domínios que formam aquíferos porosas existe uma diferença sensível, formações cenozóicas apresentam uma vazão média muito superior à bacias sedimentares. De acordo com [Bomfim \(2010\)](#) ambos os domínios tem altos potenciais para produção de aquíferos, a diferença na média da produção dos mesmos deve observar portanto elementos externos aos domínios hidrogeológicos.

Tabela 3.3 – Distribuição de dados por domínios hidrogeológicos

Domínios Hidrogeológicos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Bacias Sedimentares	479	23	3.302	807
Formações Cenozóicas	1.005	108	14.593	1.251
Metassedimentos / Metavulcânicas	2.113	353	2.843	4.950
Cristalino	3.326	530	2.482	4.768

3.2.2 Poços na região do semiárido

O semiárido apresenta uma tendência de alta salinização das águas e baixa vazão de poços, apresentando vazão média de 2.680 L/h e STD médios de 5.859 mg/L.

A presença de poços de alta e média vazões é inferior à media do estado, sendo apenas 49,9% e 26,9%. O banco de dados foi construído com 4.987 poços contendo dados para vazão e 763 contendo dados para STD. A salinidade mostra uma tendência à salinização extrema, com apenas 13,3% dos poços apresentando águas doces e 14,8% apresentando águas salobras tipo 1.

Estes valores mostram a tendência formação de aquíferos reduzidos, com uma tendência local de baixa produção e alta salinidade.

• Taxonomia dos Solos

Diferentemente das regiões costeiras do estado, a região do semiárido apresenta grandes áreas ocupadas por solos de baixa permeação, tipos C e D na tabela hidrológica, mostrados na [Tabela 3.4](#). Os solos mais observados são neossolos, com 5.269 poços com dados de vazão e 784 poços com dados de STD, luvisolos, contendo 3.283 poços contendo dados de vazão e 468 poços contendo dados de STD e planossolos, com 2.822 poços contendo dados de vazão e 430 poços com dados de STD. Dentre estes, apenas os luvisolos apresentam águas subterrâneas de maior qualidade média em comparação ao restante do semiárido, com vazão média de 2.803 L/h e STD médios de 3.374 mg/L.

As maiores vazões médias observadas na região são de latossolos e vertissolos, com médias de 2.997 L/he 3.280 L/h respectivamente. Ambos os solos aparecem em menores áreas na região, possuindo apenas 453 e 959 entradas de vazão no banco de dados respectivamente, entretanto, possuem números suficientes para realização de análise estatística. Estes solos possuem percentuais altos de poços de alta vazão perfurado na região, 61,1% para latossolos e 60,4% para vertissolos.

Tabela 3.4 – Distribuição de dados no semiárido por ordem de solos

Ordem	nº de Amostras		Vazão Média L/h	STD Médio mg/L
	Vazão	STD		
Argissolos	1.651	288	2.510	4.879
Latosolos	453	81	2.997	4.422
Luvissolos	3.283	468	2.803	3.374
Neossolos	5.269	784	2.644	4.912
Planossolos	2.822	430	2.580	5.672
Vertissolos	959	164	3.280	3.772

Considerando as médias de STD, os melhores resultados observados dentre as ordens de solos são de luvisolos, mencionados anteriormente, e vertissolos, com média de 3.772 mg/L. Mesmo possuindo médias inferiores para STD, em nenhuma das ordens observadas na região do semiárido os percentuais de poços contendo águas doces supera 10%. Todas as ordens observadas possuem percentuais de águas salobras tipo 2 superiores à 50%, indicando a tendência de salinização dos solos locais.

- Domínios Hidrogeológicos

A região do semiárido na Paraíba é majoritariamente formada por domínios hidrogeológicos de formações fraturadas, que ocupam 86,7% das entradas no banco de dados com informações de vazão e 94,6% das entradas com informações de STD. Os dados referentes aos poços da região estão apresentados na [Tabela 3.5](#) e na [Tabela 3.6](#). Este padrão geológico é marcante na característica das águas subterrâneas da região, que apresenta maiores salinidades e menores vazões em domínios desta natureza.

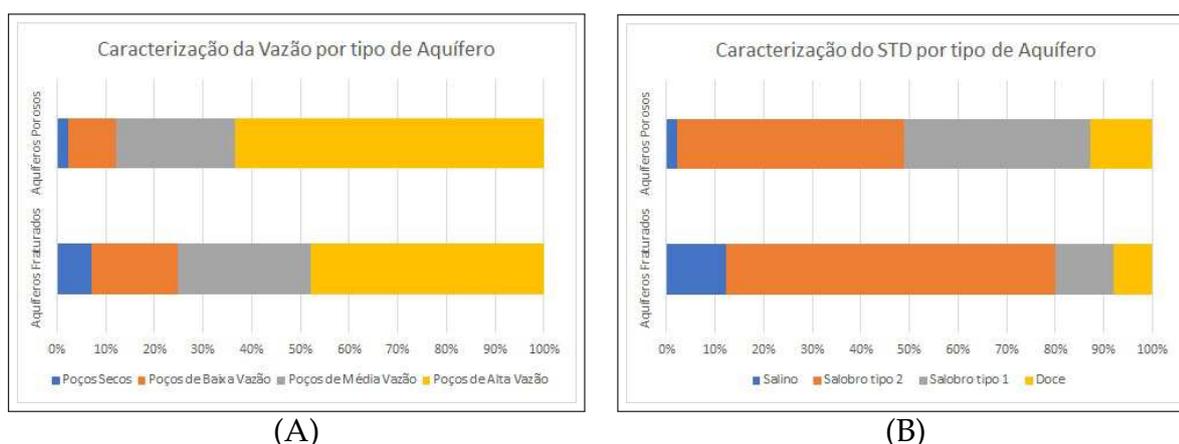
Tabela 3.5 – Distribuição de dados no semiárido por tipos de aquíferos

Aquíferos	nº de Amostras		Vazão Média L/h	STD Médio mg/L
	Vazão	STD		
Poroso	763	47	3.125	2.294
Fraturado	4.987	819	2.612	5.009

A vazão média em domínios fraturados é de 2.612 L/h, apresentando baixos percentuais de poços de alta e média vazões, 47,9% e 27,3% respectivamente. As formações de aquíferos porosos apresenta maiores vazões médias nos poços analisados, atingindo 3.125 L/h de vazão média e um percentual de 63,4% de poços de altas vazões, além de 24,4% de poços de médias vazões. Os percentuais de vazões podem ser observados na [Figura 3.11A](#).

Observando os domínios hidrogeológicos podemos perceber que dentre as formações fraturadas há uma diferença significativa entre vazões de poços encontrados, sendo poços de domínios cristalinos menos produtivos em média, apresentando 2.479

Figura 3.11 – Caracterização dos poços por tipo de aquífero no semiárido de acordo com vazão, A), e STD, B)



L/h contra 2.817 L/h de domínios de metassedimentos / metavulcânicas. Domínios de metavulcânicas apresentam um percentual superior de poços de alta vazão, como pode ser observado na Figura 3.12A, sendo 51,9% para domínios de metassedimentos / metavulcânicas contra 45,3% para domínios cristalinos. Entre domínios de aquíferos porosos, não há diferença sensível nas vazões médias, sendo que formações cenozóicas apresentam uma média de 3.141 L/h e bacias sedimentares apresentam uma média de 3.112 L/h.

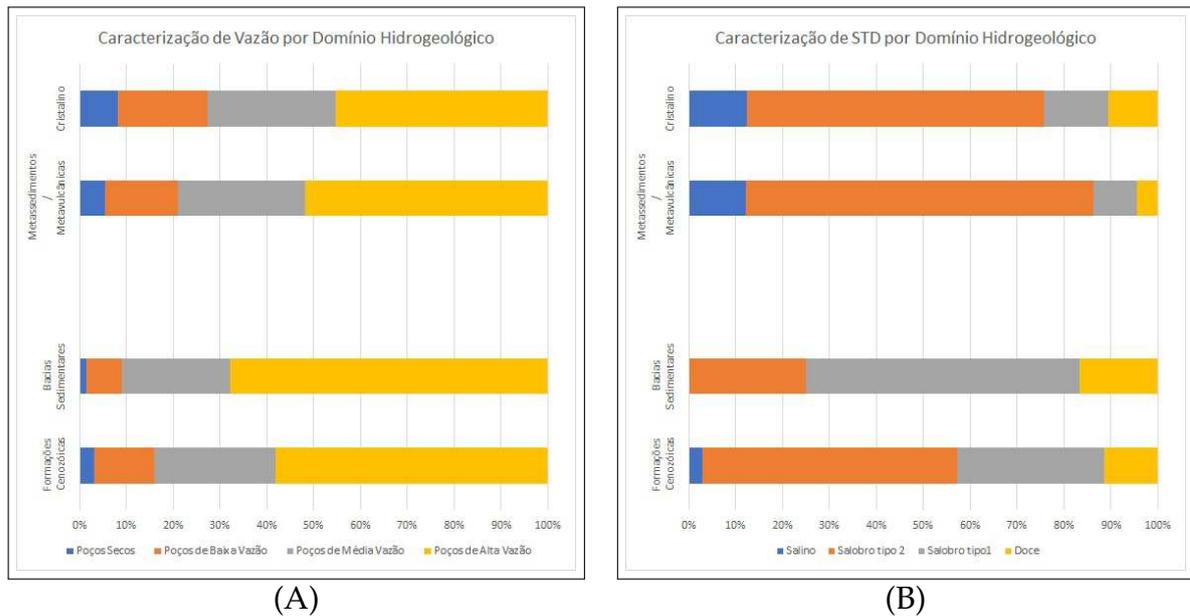
Tabela 3.6 – Distribuição de dados no semiárido por domínios hidrogeológicos

Domínios Hidrogeológicos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Bacias Sedimentares	416	12	3.112	949
Formações Cenozóicas	347	35	3.141	2.694
Metassedimentos / Metavulcânicas	1.955	336	2.479	5.066
Cristalino	3.032	483	2.817	4.969

Com relação aos STD observados nos poços da região, também há uma grande distinção entre poços em domínios de formações fraturadas e porosas, apresentando médias de 5.009 mg/L e 2.249 mg/L, como pode ser observado na figura Figura 2.7B. As formações fraturadas apresentam grande proporção de poços classificados como salobro tipo 2, 67,8%, contra 46,8% nas formações fraturadas. Com relação a poços de águas doces e salobras tipo 1, domínios porosos apresentam percentuais muito superiores, sendo 12,8% e 38,3% respectivamente contra 8,1% e 11,8% para formações fraturadas.

Com relação aos domínios hidrogeológicos, é observável a uma tendência à salinização de poços localizados em regiões de domínios de formações cenozóicas, com

Figura 3.12 – Caracterização dos poços por domínio hidrogeológico no semiárido de acordo com vazão, (A), e STD, (B)



uma média de 2.964 mg/L, muito superior em comparação às bacias sedimentares, que apresentam 949 mg/L em média. Os poços nesta região tem uma tendência à produção de águas salobras tipo 2, 54,3% em comparação com bacias sedimentares que tem percentual de 25,0%, demonstrado graficamente na figura [Figura 3.11B](#). Bacias sedimentares, por sua vez, produzem, em sua maioria, poços de águas salobras tipo 1, 58,3% dos poços analisados, contra 31,4% dos poços em domínios de formações cenozóicas. Dentre as formações fraturadas, as distinções são pequenas, apresentando 4.969 mg/L para domínios cristalinos e 5.066 mg/L para domínios de metassedimentos / metavulcânicas.

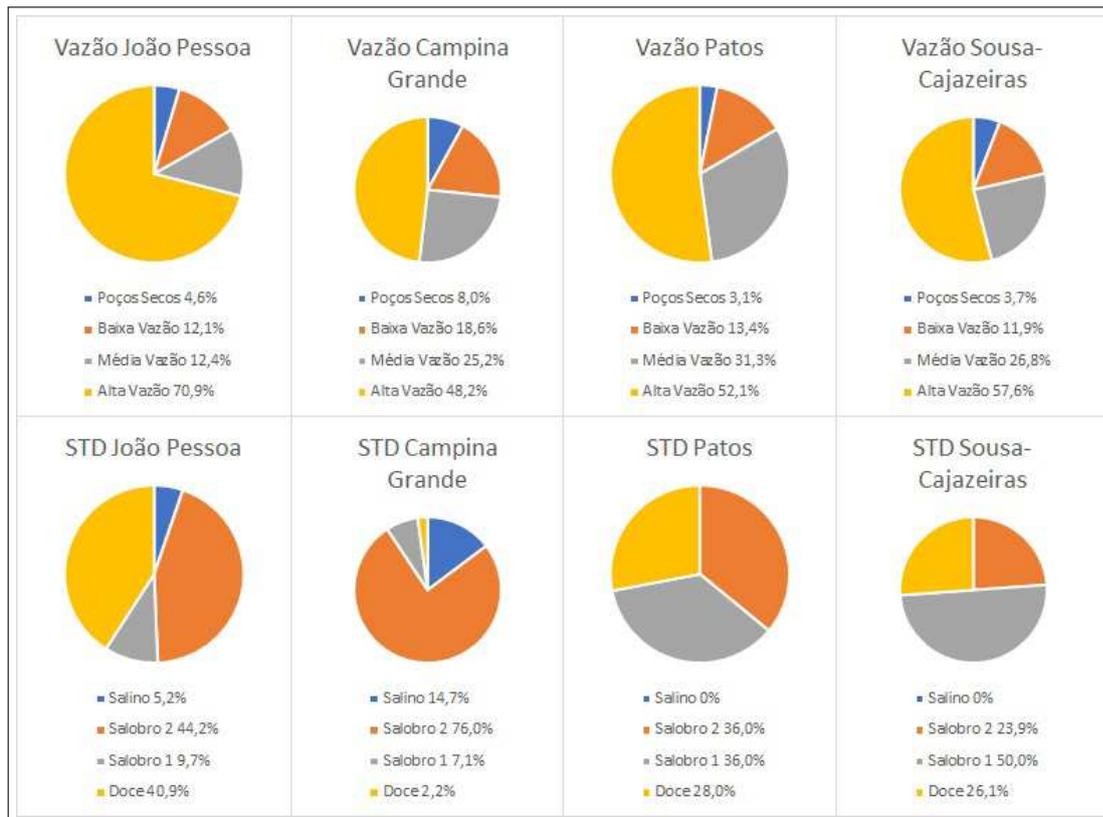
3.2.3 Poços nas regiões intermediárias

A percepção dos impactos das características do solo e da pluviometria são mais aparentes quando observadas em amostras de tamanhos menores, onde o impacto destes fenômenos se apresenta de maneira individual, ao contrário da observação ao longo do estado, que tem valor quantitativo maior, entretanto é falho em observar fenômenos individualmente.

A caracterização dos solos e da pluviometria tem grande variação ao longo do estado, apresentando características que correlacionam com suas características. Devido à natureza do estudo de aquíferos subterâneos, a observações de efeitos naturais individualmente é limitada, visto a natureza das amostras.

Desta maneira, a observação em regiões individuais, com convergências e divergências nas características pluviométricas, hidrogeológicas e geológicas permite a detecção de tais efeitos. As características gerais das regiões estão apresentadas

Figura 3.13 – Gráficos de poços por classificação de vazão e salinidade nas regiões intermediárias



nos gráficos apresentados na Figura 3.13. Estas características foram observadas da mesma maneira que as observações realizadas no estado como um todo, análises acerca de regiões imediatas também foram inclusas caso tenham produzido resultados significativos para a observação de fenômenos que interfiram nas águas subterrâneas.

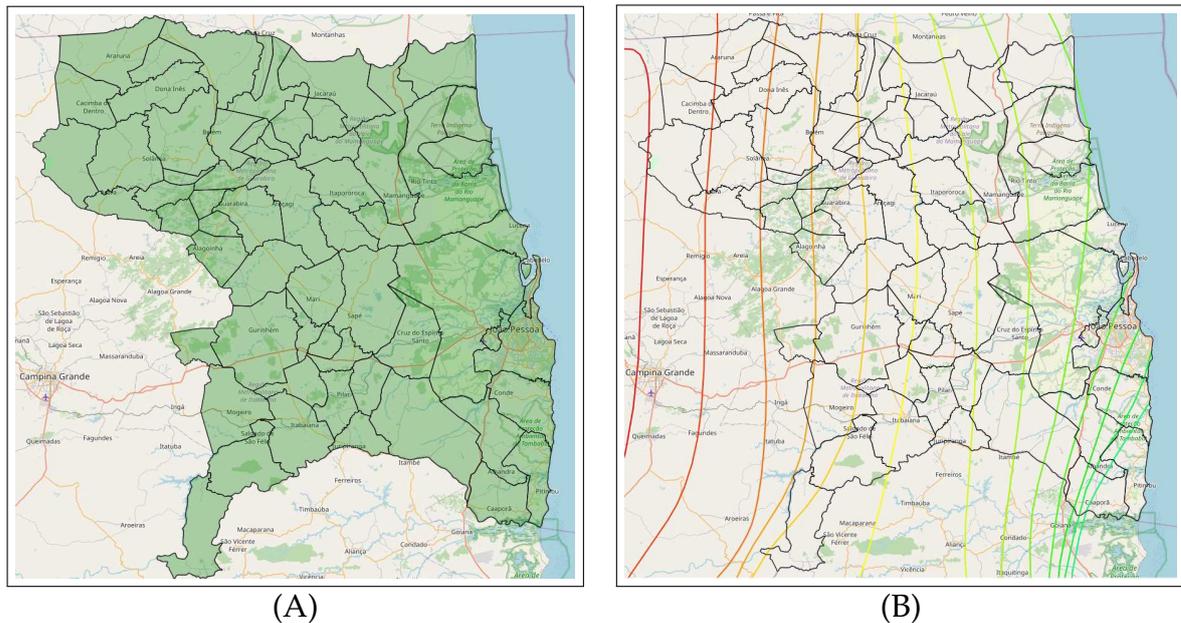
3.2.3.1 Região Intermediária de João Pessoa

A região intermediária de João Pessoa apresenta a maior diferenciação no perfil das águas subterrâneas. A vazão média da região é de 13.724 L/h, muito superior à média dos poços do estado. A salinidade dos poços da região é alta, ainda que abaixo da média dos poços do estado, apresentando 3.091 mg/L em média. As fronteiras da região estão mostradas na Figura 3.14A.

As áreas costeiras da região apresentam maiores valores de vazão, elevando a média regional. As regiões imediatas de João Pessoa e Mamanguape - Rio Tinto possuem altos valores médios de vazão, 20.798 L/h e 12.187 L/h respectivamente, demonstrando uma alta capacidade aquífera subterrânea. As outras duas regiões imediatas, Guarabira e Itabaiana, por outro lado, apresentam valores abaixo da média com relação à vazão e acima da média com relação à salinidade, 1.958 L/h e 2.409 L/h de vazão 4.891 mg/L e 5.558 mg/L.

A grande diferenciação da formação de aquíferos na região intermediária de João

Figura 3.14 – Municípios (A) e Isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de João Pessoa



Pessoa pode ser correlacionada à alta variação de pluviometria ao longo do estado, como pode ser visto na Figura 3.14B. Ao longo da região costeira os índices pluviométricos são mais altos, sendo que, seguindo em direção ao interior, os índices decaem intensamente.

- Taxonomia dos Solos

A região de João Pessoa é marcada pela presença de múltiplos tipos de solos de altas taxas de infiltração. A presença de espodosolos e latossolos formam regiões de poços de altas vazões, em média 22.113 L/h e 30.030 L/h respectivamente, em geral devido à alta taxa de permeação destes. Em conjunto com estes solos, há a presença de gleissolos e argissolos, que também formam poços de vazões maiores, 28.736 L/h e 14.471 L/h em média respectivamente. Além de solos destas ordens, a presença de neossolos quartzarênicos também promove a formação de aquíferos, devido à maior taxa de permeação. Solos de características mais argilosas não possuem altas vazões na

Tabela 3.7 – Distribuição de dados na região de João Pessoa por ordem de solos

Ordem	nº de Amostras		Vazão Média L/h	STD Médio mg/L
	Vazão	STD		
Argissolos	809	118	14.431	2.805
Espodosolos	500	52	22.113	347
Gleissolos	62	4	28.736	269
Latosolos	284	26	30.030	323
Luvissolos	291	56	2.410	5.233
Neossolos	555	113	4.552	4.115
Planossolos	231	34	3.459	5.872

região. Os solos que compõe a região estão apresentados na [Figura 3.15](#) e detalhados na [Tabela 3.7](#).

O STD dos poços da região apresentam correlação inversa à vazão, poços de maior vazão tendem a possuir menores STD médios. Argissolos fogem à tendência, apresentando em média 2.805 mg/L, ainda inferior à média, porém superior ao limites de água para consumo humano. Este comportamento ocorre em especial pela alta presença de poços em regiões de argissolos de características eutróficas, contendo argilas ricas em minerais, que realizam a troca iônica com a água. A comparação deste solo com argissolos distróficos na mesma região representa o impacto da característica, visto que o STD médio de argissolos vermelho-amarelos eutróficos e distróficos é de 4.432 mg/L e 1.178 mg/L respectivamente.

Outros tipos de solos com maior tendência de resistência a infiltração apresentam altos valores de STD, como neossolos litólicos eutróficos, luvisolos e planossolos, apresentando em média 4.676 mg/L, 5.233 mg/L e 5.872 mg/L respectivamente. Estes dados condizem com o esperado pela definição da literatura proveniente de [EMBRAPA \(2021\)](#), indicando a tendência de salinização das águas por adsorção de material iônico na superfície e evaporação.

• Domínios Hidrogeológicos

Os domínios que compõe a região de João Pessoa são diversos, entretanto, formações de domínios de rochas vulcânicas, carbonatos / metacarbonatos e bacias sedimentares aparecem em quantidade irrisórias. Os domínios encontrados em quantidades significativas na região são os domínios do cristalino, metavulcânicas/metasse-

Figura 3.15 – Mapa de solos da região intermediária de João Pessoa

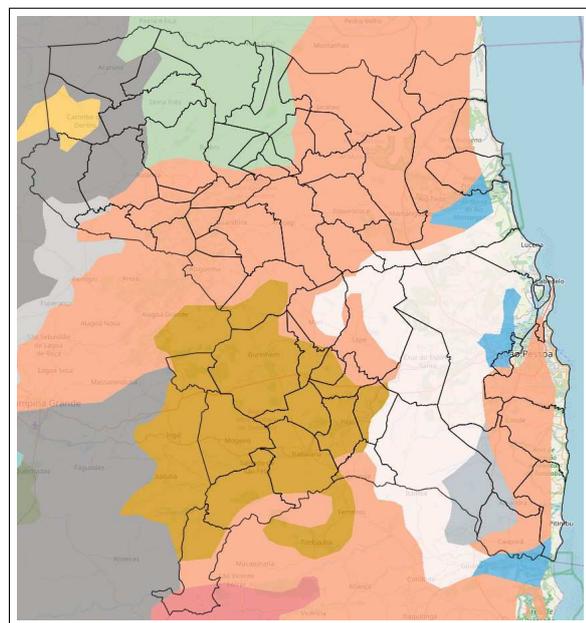
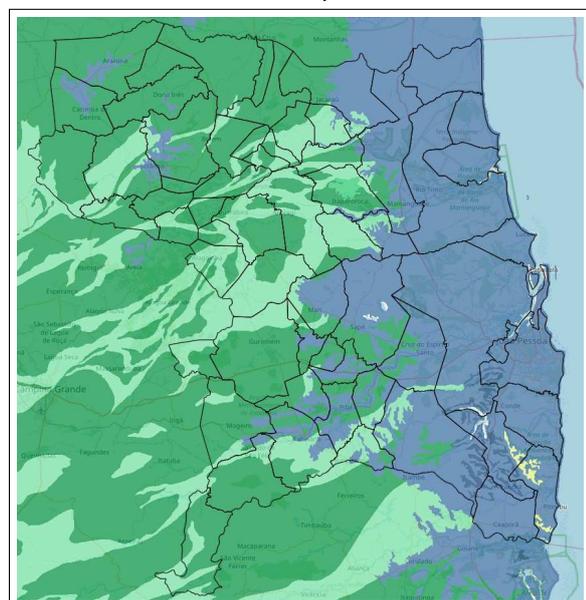


Figura 3.16 – Domínios hidrogeológicos da região intermediária de João Pessoa



dimentares e formações cenozóicas. As informações acerca dos dados estão contidas na [Tabela 3.8](#) e na [Tabela 3.9](#). Considerando estas informações, são encontrados na região poços localizados sobre aquíferos fraturados e porosas, como pode ser observado na [Figura 3.16](#).

Tabela 3.8 – Distribuição de dados na região de João Pessoa por tipos de aquíferos

Aquíferos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Poroso	633	81	21.016	1.155
Fraturado	408	73	2.420	5.240

Os aquíferos porosos encontrados na região contém a maior parte dos poços perfurados representados no banco de dados, sendo 633 ou 60,8% dos poços com informações de vazão e 81 ou 52,6% dos poços com informações de STD. Em média possuem maiores vazões e menores STD, com uma média de 21.016 L/h de vazão e 1.155 mg/L de STD. Apesar de apresentar média superior ao limite estabelecido para consumo humano, as águas dos aquíferos porosas são consistentemente doces, sendo 57 dos 81 poços, ou 70,4% dos poços, produtores de águas doces.

Em comparação, poços fraturados, tem em média 5.240 mg/L de STD e apresentam apenas 6 poços de 73, ou 8,2% produzindo águas doces. Dentro da área de aquíferos fraturados a presença de poços salinos ou salobros é mais comum, sendo 9,6% dos poços salinos e 74,0% dos poços salobros tipo 2. Com relação à vazão média dos poços, os valores são também inferiores aos aquíferos porosos, sendo em média 2.420 L/h de produção, e apenas 43,6% dos poços sendo de alta vazão, ou 178 de 408 poços, comparado à 88,5%, ou 560 de 633 poços, em aquíferos porosos.

Tabela 3.9 – Distribuição de dados na região de João Pessoa por domínios hidrogeológicos

Domínios Hidrogeológicos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Formações Cenozóicas	630	81	21.069	1.115
Metassedimentos / Metavulcânicas	135	33	2.926	4.941
Cristalino	272	40	2.167	5.601

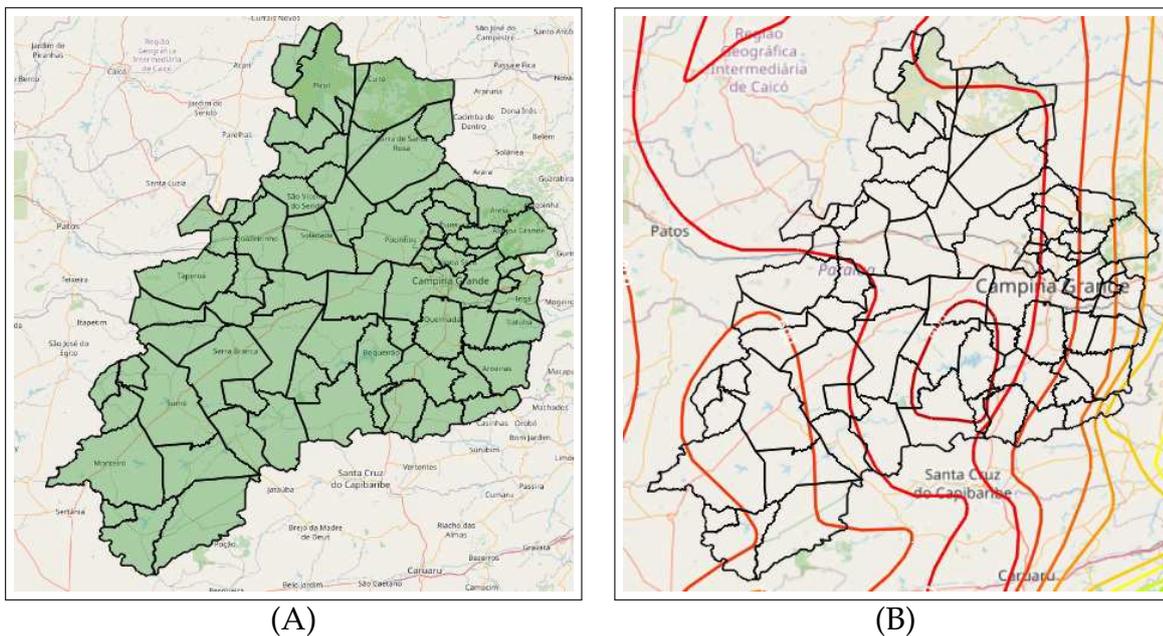
As informações observadas corroboram as informações de [Bonfim \(2010\)](#), indicando a baixa produtividade média de poços em regiões de domínios cristalinos e / metassedimentos, sendo os últimos, em média mais produtivos, 2.926 L/h contra 2.167 L/h em domínios cristalinos, novamente corroborando [Bonfim \(2010\)](#). Com relação à salinidade, domínios cristalinos apresentam menor STD médio 4.941 mg/L contra 5.601

mg/L de domínios de metassedimentos / metavulcânicos. Os domínios de formação porosa não apresentam variabilidade significativa, visto que dos 633 poços em aquíferos porosos, 630 advêm de formações cenozóicas, as formações em bacias sedimentares são estatisticamente desprezíveis, portanto, a comparação entre domínios de aquíferos porosos é irrelevante.

3.2.3.2 Região Intermediária de Campina Grande

A região de Campina Grande, que pode ser observada na [Figura 3.17A](#) é onde se localizam a maior parte dos poços do banco de dados, contendo 3.443, ou 49,7% dos poços com dados de vazão e 647 ou 63,8% dos dados de STD. Dentro da região as médias de vazão são as menores do estado, 2.615 L/h e as de STD maiores, 5.699 mg/L. Conseqüentemente é a região de menor percentual de poços doces e salobros tipo 1, 2,2% e 7,1% , e a de maior percentual de salinos e salobros tipo 2, 14,7% e 76,0% respectivamente. O mesmo se aplica às vazões de poços, sendo a região de menor percentual de poços de alta vazão, 48,2%, e a região de maior percentual de poços secos e de baixa vazão, 8,0% e 18,6%.

Figura 3.17 – Municípios (A) e Isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de Campina Grande



A pluviometria da região é a de menor média do estado, o que pode ser um dos indicadores da baixa produtividade dos poços. As baixas taxas pluviométricas podem ser observadas na [Figura 3.17B](#). A baixa pluviometria impacta na formação dos aquíferos, reduzindo a taxa de recarga e a alimentação destes.

As regiões imediatas que compõe a região intermediária de Campina Grande apresentam baixas vazões em média, comparando com as outras regiões do estado. As regiões imediatas de Campina Grande, Cuité - Nova Floresta, Monteiro e Sumé apresentam

vazões médias de 2.624 L/h, 2.348 L/h, 2.491 L/h e 2.998 L/h. O STD médio das regiões, entretanto é bastante variável com regiões como a região imediata de Campina Grande e Cuité - Nova Floresta possuindo altos valores médios, 6.276 mg/L e 5.957 mg/L respectivamente. O impacto da região de Campina Grande é alto pois é a região de maior concentração de pessoas, comportando um maior número de poços perfurados, 2.081 de 3.443, 60,4% dos poços da região intermediária.

- Taxonomia dos Solos

Os solos da região de Campina Grande, diferentemente da região de João Pessoa, possuem uma alta fração de solos de baixa permeabilidade, como pode ser observado na [Figura 3.18](#) tornando os solos da região menos suscetíveis à formação de aquíferos. As ordens de solos encontradas na região apresentam menos de 3.000 L/h de vazão média, com exceção dos latossolos e vertissolos, que apresentam em média 3.244 L/h e 3.140 L/h. Luvisolos apresentam valores de vazão acima da média da região com 2.852 L/h, e valem a menção devido ao alto número de poços perfurados em solos desta ordem na região, 2.069. Estas informações, acerca dos dados em função dos solos encontrados, estão detalhadas na [Tabela 3.10](#).

Figura 3.18 – Mapa de solos da região intermediária de Campina Grande

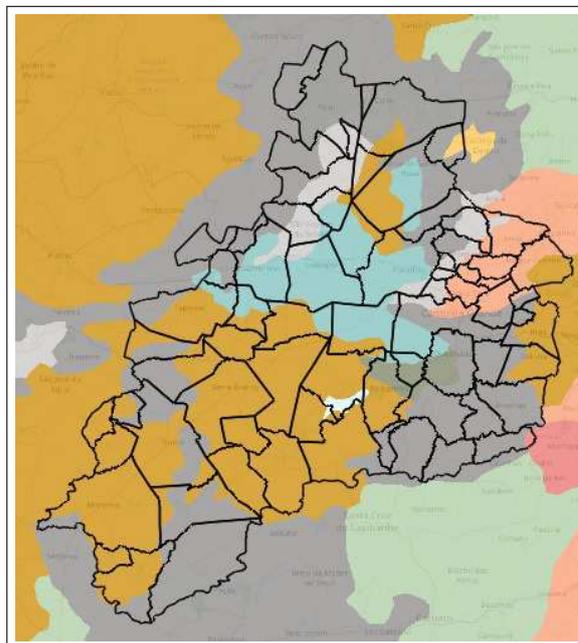


Tabela 3.10 – Distribuição de dados na região de Campina Grande por ordem de solos

Ordem	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Argissolos	942	186	2.562	5.679
Latossolos	342	74	3.244	4.745
Luvisolos	2.069	325	2.852	3.837
Neossolos	3.087	573	2.526	5.822
Planossolos	1.596	317	2.416	6.974
Vertissolos	768	159	3.140	3.926

Com relação à salinidade das águas, em média, regiões com presença de luvisolos e vertissolos apresentam menores valores de STD, 3.836 mg/L and 3.926 mg/L respectivamente. As águas mais salinas da região estão presentes em planossolos, com, em média, 6.974 mg/L. Planossolos na região apresentam também, em média, a

maior fração de águas salinas do estado, 21,8%.

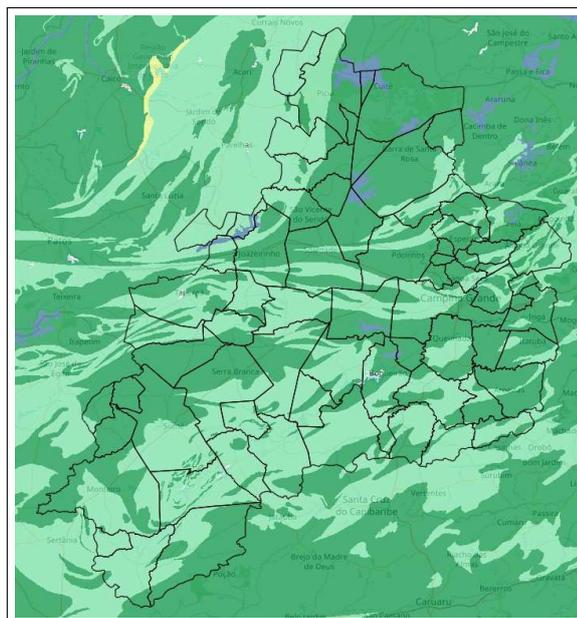
Observando as composições dos solos é perceptível a tendência de salinização nos neossolos regolíticos e planossolos nátricos, com 26,4% e 22,3% de presença de poços salinos e com 6.976 mg/L e 7.087 mg/L de STD médios respectivamente. AS características eutróficas de ambos os solos colaboram com tal resultado, devido à maior presença de sais na composição dos solos.

Com relação à vazão dos poços, planossolos háplicos apresentam a maior vazão média, 3.686 L/h, entretanto, possuem apenas 70 poços registrados no banco de dados e ocupam uma pequena parte da região. Poços em regiões de vertissolos háplicos, luvisolos crômicos e latossolos vermelho-amarelos apresentam maiores vazões, sendo que vertissolos ocupam uma maior área na região, contendo 686 poços no total com média de 3.223 L/h e 60,8% de poços de alta vazão. Latossolos vermelho-amarelos e luvisolos crômicos ocorrem simultaneamente na região, possuindo média de 3.244 L/h e 62,6% de poços de alta vazão.

Figura 3.19 – Domínios hidrogeológicos da região intermediária de Campina Grande

• Domínios Hidrogeológicos

A região de Campina Grande é quase inteiramente ocupada por domínios hidrogeológicos que formam aquíferos fraturados. Dentre 3.443 os poços do banco de dados da região com dados de vazão, 3.399, ou 98,7% dos poços estão em formações fraturadas e do 647 poços com dados de STD, 640, ou 98,9% estão em formações fraturadas. Os domínios encontrados na região de Campina Grande primariamente são de metassedimentos / metavulcânicas e cristalino, contendo 1.600 e 1.799 poços respectivamente, outros 44 poços são de domínio de formações cenozóicas. As informações acerca dos poços são apresentadas na [Tabela 3.11](#) e na [Tabela 3.12](#). As divisões de domínios hidrogeológico dentro do estado estão apresentados na [Figura 3.19](#).



A variação de volumes para poços de domínios cristalinos e de metassedimentos / metavulcânicos possuem baixas vazões médias quando realizadas as comparações com os restante do estado, 2.473 L/h e 2.790 L/h respectivamente. Os poços de formações cenozóicas também apresentam baixas vazões médias, 2.099 L/h. É notável a maior vazão dos poços de domínios de metassedimentos / metavulcânicas, apresentando

vazões 12,8% maiores que os de domínio cristalino.

Tabela 3.11 – Distribuição de dados na região de Campina Grande por tipos de aquíferos

Aquíferos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Poroso	44	7	2.099	2.932
Fraturado	3.399	640	2.622	5.729

Com relação à salinização das águas dos aquíferos, as águas de poços de aquíferos fraturados possui STD médio muito superior ao aquífero porosos na região, em média 5.729 mg/L, sendo a média dos cristalinos 6.129 mg/L e dos domínios de metassedimentos / metavulcânicas 5.235 mg/L, em comparação com os porosos, formações cenozóicas, 2.932 mg/L. Os poços de formações cenozóicas, entretanto, possuem pouco volume de dados, desta maneira não apresentando significativo valor estatístico.

Tabela 3.12 – Distribuição de dados na região de Campina Grande por domínios hidrogeológicos

Domínios Hidrogeológicos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Formações Cenozóicas	44	7	2.099	2.932
Metassedimentos / Metavulcânicas	1.600	286	2.790	5.235
Cristalino	1.799	354	2.473	6.129

Dentre os aquíferos fraturados ainda há uma grande diferença entre domínios do cristalino e metassedimentos / metavulcânicas, sendo cristalinos 17,1% mais salinos. Implica-se desta diferença a maior tendência à salinização por evaporação, devido à formação de aquíferos com menores volumes de água.

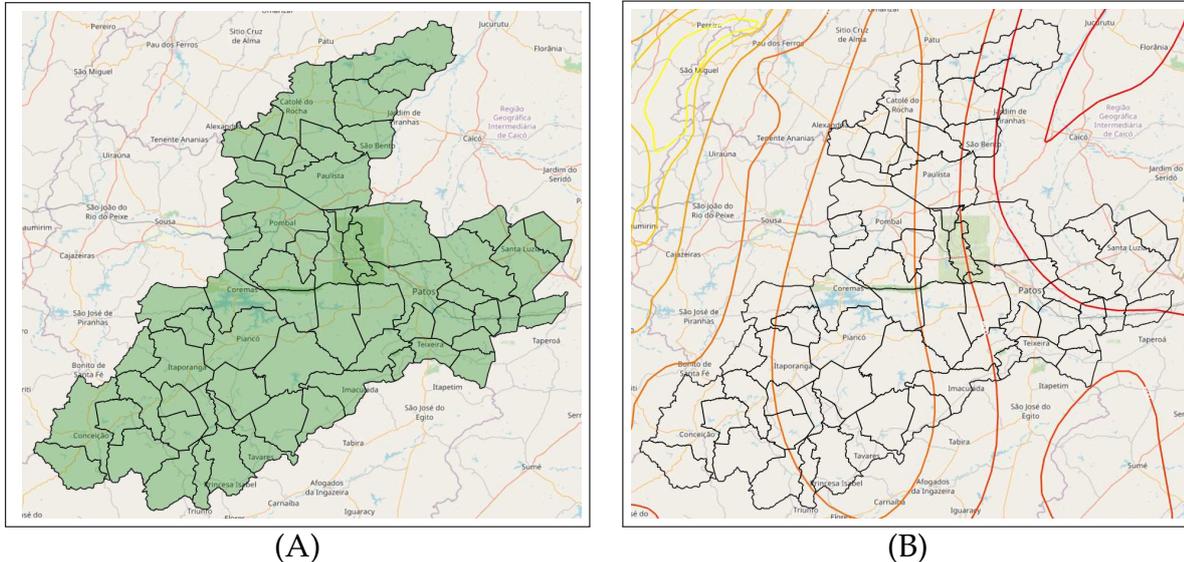
3.2.3.3 Região Intermediária de Patos

A região de Patos possui maiores vazões e menores STD médios em relação à região de Campina Grande, 3.062 L/h e 1.499 mg/L respectivamente. A divisão da região imediata pode ser observada na [Figura 3.20A](#).

É notável a presença na região de poços de águas doces, como pode ser observado nas regiões imediatas de Itaporanga e Pombal, que apresentam 821 mg/L e 773 mg/L respectivamente. A região de Patos, apresenta características mais salinas nas águas subterrâneas, contendo em média 1.947 mg/L. As regiões imediata de Princesa Isabel e Catolé do Rocha - São Bento Possuem dados insuficientes para a realização de uma

análise local dos dados, contendo apenas 2 e 4 poços com dados informados relativos aos STD.

Figura 3.20 – Municípios (A) e isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de Patos



A variação de vazões nas regiões imediatas é baixa, variando dentre a mais alta, em Catolé do Rocha - São Bento, 3.281 L/h e a mais baixa em Pombal, com 2.511 L/h. A baixa causa da baixa taxa pluviométrica da região, impedindo a recarga dos aquíferos, conforme pode ser observado na [Figura 3.20B](#).

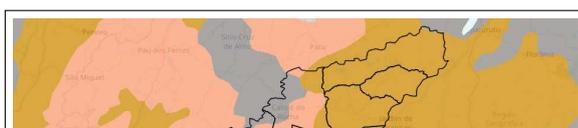
A região possui uma tendência de produção de aquíferos de menor vazão, possuindo apenas 52,1% dos poços caracterizados como poços de alta vazão e 31,3% como média vazão. Esta tendência é característica dos poços da região do semiárido, em que as vazões dos poços perfurados são baixas em média.

Com relação à salinidade, percebe-se que há uma maior tendência de produção de águas doces, sendo 28,0% do poços de águas doces e 36,0% do poço sendo de águas salobras tipo 1. Estes percentuais são um grande indicativo de que existem grandes números de formações de aquíferos contendo águas doces na região.

- Taxonomia dos Solos

A região de Patos é predominantemente caracterizada pela presença de neossolos litólicos eutróficos, que aparecem em 1.135 dos 1.154 dos poços com dados de vazão, ou 98,4%, e 123 dos 125 poços com dados de STD, ou 98,4%, no banco de dados. Outros solos que aparecem em grandes volumes de dados são argissolos vermelho-amarelo eutróficos, com 224 entradas com dados de vazão e 18 com entradas de STD, luvisolos crômicos órticos, com 739 poços com dados de vazão e 99 com dados de STD e planossolos nátricos órticos, com 662 entradas com dados de vazão e 94 com dados de STD.

Figura 3.21 – Mapa de solos da região intermediária de Patos



cristalinos, com 728 entradas com dados de vazão e 83 com dados de STD. Os domínios podem ser observados na [Figura 3.22](#) e os dados na [Tabela 3.14](#) e na [Tabela 3.15](#).

Tabela 3.14 – Distribuição de dados na região de Patos por tipos de aquíferos

Aquíferos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Poroso	104	9	3.348	1.561
Fraturado	1.049	116	2.792	706

Dentre os domínios que formam aquíferos fraturados, há uma preferência para a produção de poços de maior vazão em domínios de metassedimentos / metavulcânicas, possuindo uma vazão média de 3.164 L/h, contra 2.628 L/h em domínios cristalinos. As caracterizações dos poços confirmam esta tendência, sendo 57,0% poços de alta vazão e 32,7% poços de mádia vazão em domínios de metassedimentos / metavulcânicas contra 49,6% de alta vazão e 30,5% de alta vazão para domínios cristalinos.

Tabela 3.15 – Distribuição de dados na região de Patos por domínios hidrogeológicos

Domínios Hidrogeológicos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Bacias Sedimentares	4	1	5.125	768
Formações Cenozóicas	100	8	3.277	699
Metassedimentos / Metavulcânicas	321	33	3.164	1.919
Cristalino	728	83	2.628	1.418

Com relação à salinidade, entretanto, a tendência se inverte, sendo os poços em domínios cristalinos, em média, menos salobros, com uma média de 1.418 mg/L contra 1.919 mg/L dos poços de domínios de metassedimentos / metavulcânicas. A caracterização mostra um alto percentual de poços de águas doces na região, sendo 30,1% dos poços em domínios cristalinos e 24,2% dos poços em domínios de metassedimentos / metavulcânicas.

Os poços de domínios porosos por sua vez apresentam média de salinidade muito baixa, apesar de poucos dados para se ter uma análise conclusiva, com uma média de 706 mg/L em 9 poços na região. Destes poços 8 são formados por domínios de formações cenozóicas e 1 domínio de bacia sedimentar.

Analisando os dados de vazão podemos determinar uma vazão, em média, superior aos domínios fraturados, muito semelhante entretanto ao domínio de metassedimentos / metavulcânicas, sendo 3.348 L/h. As caracterizações também demonstram

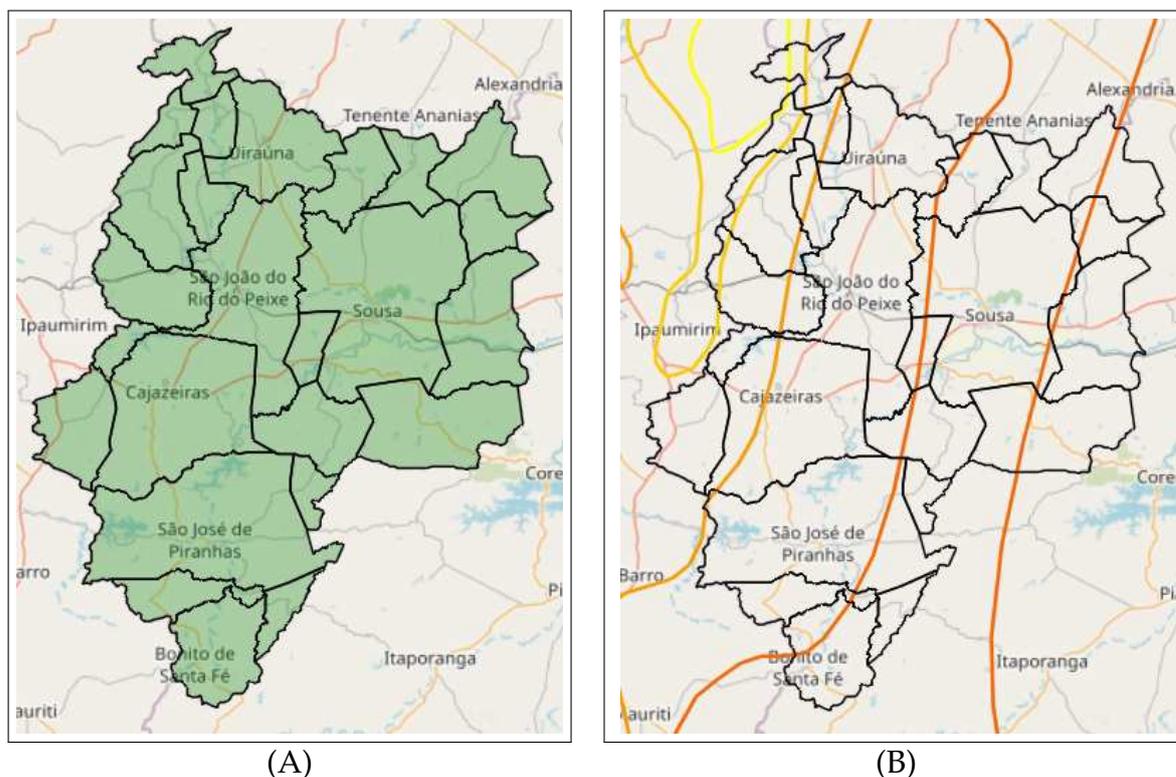
um resultado semelhante, com 55,0% dos poços apresentando alta vazão e 32,0% apresentando média vazão.

3.2.3.4 Região Intermediária de Sousa-Cajazeiras

A região de Sousa - Cajazeiras possui o menor número de entradas no banco de dados para o estado, sendo 1.287 amostras contendo dados de vazão e 88 amostras para STD. As divisões geopolíticas da região podem ser observadas na [Figura 3.23A](#).

Com relação às vazões médias, a região apresenta valores semelhantes em comparação com as outras regiões do semiárido, 3.062 L/h. O percentual de poços de altas e médias vazões é alto em comparação com regiões próximas, atingindo 57,6% de poços de altas vazões e 26,8% de poços de médias vazões na região.

Figura 3.23 – Municípios (A) e isoietas pluviométricas (B) da região intermediária de Sousa - Cajazeiras



Com relação aos STD, a região apresenta o menor valor médio do estado, com 873 mg/L resultando num grande número de reservatórios de águas doces. Dentre os poços observados na região, 26,1% das águas são consideradas doces e 50,0% das águas são salobras tipo 1, resultando no maior percentual de águas para utilização em atividades econômicas no estado.

Os índices pluviométricos na região afetam a qualidade das águas, visto que são superiores em comparação às outras regiões do semiárido, como pode ser observado na [Figura 3.23B](#). Entretanto não são razão única para este fenômeno, visto que mesmo

superiores às regiões centrais do estado, ainda são muito baixos em comparação com as médias fora da região do semiárido.

Dentre as regiões imediatas, Sousa e Cajazeiras, há uma tendência de maior produção nos aquíferos localizados nas imediações de Sousa, com uma média de 3.635 L/h, a maior média dentre as regiões imediatas na região do semiárido, contra 2.821 L/h na região de Cajazeiras.

Com relação aos STD médios nas regiões a diferença é baixa, sendo que ambas possuem características de produção de águas mais doces, apresentando valores médios de 799 mg/L e 948 mg/L para Sousa e Cajazeiras respectivamente.

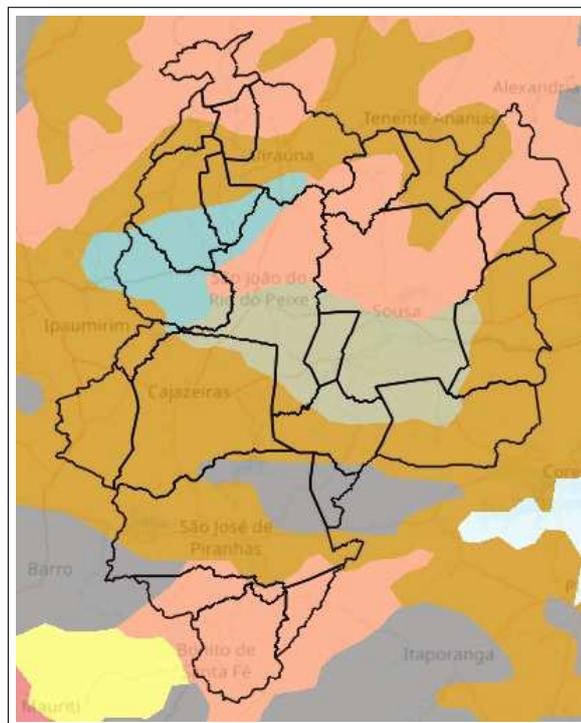
• Taxonomia dos Solos

Assim como a região de Patos, a região de Sousa - Cajazeiras é caracterizada por presença intensa de neossolos na composição dos solos da região, sendo presente em 1.127 poços dos 1.287, poços com entradas de dados para vazão, ou 87,6% e 54 poços dos 88 poços com com entradas de dados de STD, ou 61,4%, mostrados na [Tabela 3.16](#). As divisões de solos dentro do estado estão mostradas na [Figura 3.24](#).

Dentre os solos que produzem poços de altas vazões, estão os vertissolos, com uma vazão média de 3.732 L/h, com um conjunto de dados de 235 poços. Nestes solos o percentual de produção de poços de altas vazões é de 65,5%, o maior valor das regiões do semiárido, além disso possuem 19,6% de poços de médias vazões. Neossolos flúvicos na região também apresentam altas vazões médias, devido à ocorrência simultânea com vertissolos.

Com relação aos STD, a ordem que apresenta menores valores são os planossolos, com STD médios de 685 mg/L em 23 poços perfurados na região. Os poços apresentam, em percentuais, 39,1% de águas doces e 43,5% de águas salobras tipo 1. Observando as composições, luvisolos crômicos apresentam uma média similar de STD, 708 mg/L, e altos percentuais de poços de águas doces, 45,8% e de águas salobras tipo 1, 37,5%.

Figura 3.24 – Mapa de solos da região intermediária de Sousa - Cajazeiras



Os resultados de solos com baixas salinidades apresentam uma tendência geral de baixa salinização das águas subterrâneas da região, com médias abaixo de 1.000 mg/L para todos os parâmetros.

Tabela 3.16 – Distribuição de dados na região de Sousa - Cajazeiras por ordem de solos

Ordem	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Argissolos	438	58	3.146	953
Latossolos	160	34	2.576	994
Luvisolos	523	58	2.526	876
Neossolos	1.127	54	3.131	797
Planossolos	614	23	2.743	685
Vertissolos	235	7	3.732	830

• Domínios Hidrogeológicos

O principal diferencial observado nas análises de dados acerca da região de Sousa - Cajazeiras é a larga presença de domínios hidrogeológicos de formações porosas, diferentemente do restante do semiárido paraibano que favorece formações fraturadas. O total de poços com dados de vazão observados em domínios de formações porosas é de 703 enquanto fraturados são 584, com relação ao STD são 34 poços em domínios de formações porosas contra 54 em formações fraturadas. Os domínios da região podem ser observados na [Figura 3.25](#) e na [Tabela 3.17](#) e na [Tabela 3.18](#)

Tabela 3.17 – Distribuição de dados na região de Sousa - Cajazeiras por tipos de aquíferos

Aquíferos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Poroso	703	34	3.562	977
Fraturados	584	54	2.461	808

As vazões médias dos poços em domínios porosos segue a tendência natural, e produz vazões médias maiores, 3.562 L/h, enquanto as vazões médias de domínios fraturados são 2.461 L/h. Aquíferos fraturados na região apresentam também um alto percentual de poços de alta vazão, 68,6%, contra 44,3% em aquíferos fraturados.

Dentre a divisão de domínios, as formações cenozóicas apresenta as maiores vazões médias, 4.210 L/h entre 231 poços observados. Destes, 71,0% são classificados como poços de alta vazão, o maior percentual dentre as regiões do interior do estado. Bacias sedimentares apresentam altas vazões medias, 3.244 L/h e 67,4% de poços com altas vazões dentre 472 poços analisados.

Analisando os domínios de formações fraturadas, as diferenciações são menores, 2.476 L/h para poços em domínios cristalinos e 2.323 L/h em domínios de metassedimentos / metavulcânicas. Domínios cristalinos são mais presentes nesta região, sendo 527 dos 584 poços com dados de vazão para formações fraturadas.

Considerando os dados de STD, existe uma prevalência de águas doces em domínios de formações fraturadas, apresentando uma média de 808 mg/L contra 977 mg/L em formações porosas. Apesar dos valores próximos, formações fraturadas apresentam um maior percentual de poços de águas doces, 31,5% contra 17,6% em formações porosas. Ambas as formações tem percentuais de poços salobros tipo 1 idênticas, 50,0%.

Os dados de domínios porosos mostram menores valores de STD médio em domínios de bacias sedimentares, apresentando em média 809 mg/L em 22 poços contra formações cenozóicas, com 1.285 mg/L em 12 poços. Entre percentuais, entretanto, os valores são próximos para poços de águas doces, 16,7% para domínios de formações cenozóicas contra 18,2% de bacias sedimentares. A diferença se dá principalmente entre percentuais de águas salobras tipos 1 e 2, onde nas bacias cenozóicas os percentuais são 59,1% e 22,7% respectivamente enquanto formações cenozóicas apresentam 33,3% e 50,0%.

Figura 3.25 – Domínios hidrogeológicos da região intermediária de Sousa - Cajazeiras

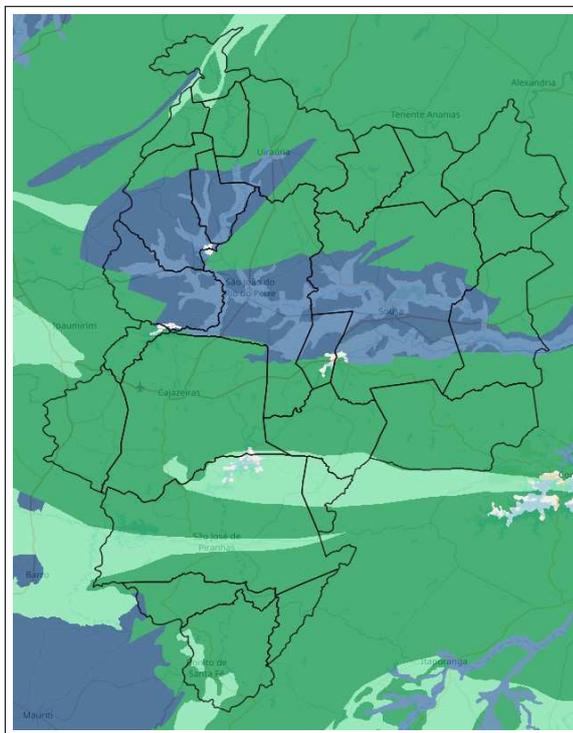


Tabela 3.18 – Distribuição de dados na região de Sousa - Cajazeiras por domínios hidrogeológicos

Domínios Hidrogeológicos	nº de Amostras		Vazão Média	STD Médio
	Vazão	STD	L/h	mg/L
Bacias Sedimentares	472	22	3.244	809
Formações Cenozóicas	231	12	4.211	1.285
Metassedimentos / Metavulcânicas	57	1	2.323	1.723
Cristalino	527	53	2.476	791

Dentre formações fraturadas apenas domínios cristalinos apresentam dados suficientes para a realização da análise estatística, com 53 poços, domínios de metassedimentos / metavulcanicâs apresentam apenas 1 poço contendo dados de STD. Poços em domínios cristalinos apresentam uma média de 791 mg/L de STD e um percentual de 32,1% de poços de águas doces.

3.3 Conclusões

As águas subterrâneas do estado da Paraíba são extremamente distintas de acordo com as regiões e o solo que as abrigam. O uso para mitigação dos efeitos das secas na região são importantes mas devem ser estudados de forma correta visando reduzir os custos de implementação e uso indevido que pode levar a danos à saúde da população e atividades econômicas.

O efeito primário que pode ser observado na qualidade das águas é a pluviometria das localidades. O reabastecimento dos aquíferos é fundamental para a exploração sustentável dos aquíferos e é, como pode ser observado pelos dados obtidos, o principal determinante dos volumes e salinidade dos aquíferos. Regiões de índices pluviométricos extremamente baixos, como Campina Grande, apresentam vazões médias extremamente baixas e salinidade alta. Regiões de maiores índices pluviométricos, como Sousa - Cajazeiras e João Pessoa apresentam menores salinidades e maiores vazões médias.

Dentre as características de domínios hidrogeológicos, é observável a preferência da formação de aquíferos em domínios de formações porosas, contendo em média maiores vazões. Com suficientes chuvas, a interferência na salinidade das águas é negligível, como pode ser observado na região de Sousa - Cajazeiras, indicando que a salinização por evaporação não produz efeito significativo nos aquíferos partindo de um volume mínimo de água nos reservatórios subterrâneos.

Dentre os domínios porosos há pouca distinção entre a qualidade das águas subterrâneas em circunstâncias similares, formações cenozóicas e bacias sedimentares apresentam valores extremamente similares, quando observados dentro da região do semiárido. Com relação à salinidade, existe uma maior tendência de salinização nas regiões de formações cenozóicas, assunto que deve ser estudado de forma mais aprofundada, observando a geologia local. Existe uma preferência para a formação de aquíferos de maior capacidade em formações cenozóicas, como pode ser observado na região de Sousa - Cajazeiras. Para a determinação de fato de maior capacidade dos aquíferos porosos de acordo com o domínio hidrogeológico na região, entretanto, é necessário um estudo mais aprofundado na região.

Domínios fraturados por sua vez, apresentam pouca capacidade de armazenamento de águas, o que, juntamente com a baixa quantidade de chuvas tende a produzir reservatórios de baixíssima vazão. Domínios de metassedimentos / metavulcânicas apresentam uma pequena superioridade na produção de reservatórios maiores, o que pode ser impactante para a determinação de localidades para perfurações de poços em projetos de mitigação das secas. Com relação à salinidade não existe clara distinção entre os dois domínios, e pode ser observado uma tendência alta à salinização em ambos, causado principalmente pela evaporação, visto que reservatórios menores acabam

acumulando concentrações mais elevadas de sais.

Com relação aos solos, os solos que permitem maior permeação de águas ocorrem majoritariamente na região costeira do estado, onde os índices pluviométricos são maiores. A presença de espodosolos, gleissolos e latossolos na região de João Pessoa, juntamente com os altos índices pluviométricos promovem reservatórios com vazões enormes, que podem ser utilizados para atividades econômicas ou abastecimento da população caso necessário. Na região do semiárido, tais solos aparecem em pequenas regiões, impossibilitando seu uso em larga escala.

A ordem de solos com melhores indicadores para formação de aquíferos na região do semiárido são os vertissolos, que apresentam ocorrência nas regiões de Campina Grande, João Pessoa e Sousa - Cajazeiras, possuindo vazões marginalmente superiores às outras formações de solos. Tais solos são classificados como pouco permeáveis, entretanto, dada a falta de solos de alta permeação na região, demonstra características superiores para a formação de aquíferos na região do semiárido. Nenhuma outra ordem de solos apresenta incremento estatístico na vazão na região do semiárido.

Considerando a salinidade, além da formação de vertissolos, solos da ordem dos luvisolos, apenas luvisolos crômicos órticos, luvisolos crômicos pálicos na região apresentam resultados distintos de outras composições, apresentando menores valores de STD e podendo ser utilizados de forma a mitigar o consumo energético para dessalinização em poços perfurados. Ambos os solos mencionados são caracterizados como solos de baixa permeabilidade e alta tendência à salinização, entretanto, a falta de solos de características desejadas torna as mínimas vantagens comparativas em características extremamente favoráveis.

A observação das características mencionadas permite a utilização dos dados obtidos como facilitadores na determinação de reservatórios subterrâneos e podem produzir conteúdo significativo para a determinação de localidades para a perfuração de poços. Se faz necessário observar que, apesar das dificuldades no acesso adequado à água subterrânea no estado, em especial na região do semiárido, o estudo aponta para a existência de reservatórios de alta vazão em todas as regiões observadas mesmo em solos e domínios hidrogeológicos desfavoráveis. Reservatórios hídricos subterrâneos com capacidade para a mitigação das crises hídricas regionais podem ser explorados mesmo em ambientes desfavoráveis, devendo ser observada as localizações dos principais reservatórios locais e uso extensivo de sistemas de geolocalização de águas subterrâneas.

3.3.1 Trabalhos Futuros

- Expansão das regiões estudadas para o semiárido brasileiro por completo, podendo ser expandida em trabalhos futuros para armazenar em bancos de dados os poços de todas as regiões do país.
- Ampliar as informações acerca da geologia local, abrangendo a composição das rochas dentro do estado.
- Implementar com *hardware* adquirido ou produzido localmente, armazenamento de informações em banco de dados de tempo real para gestão diária dos poços.
- Estudar composições físico-químicas das águas subterrâneas determinando as quantidades de íons específicos por região geológica ou econômica.
- Produzir uma UI mais completa, permitindo a visualização de informações de maneira gráfica no interior do programa, tendo acesso a outras informações produzidas caso hajam.

APÊNDICE

A

DIVISÃO DE MUNICÍPIOS E REGIÕES
IMEDIATAS

A.1 Municípios da região do Semiárido

Quadro A.1 – Municípios paraibanos do semiárido

Aguiar	Bom Jesus	Congo	Itaporanga
Alagoa Grande	Bom Sucesso	Coremas	Itatuba
Alagoa Nova	Bonito de Santa Fé	Coxixola	Jericó
Alagoinha	Boqueirão	Cubati	Joca Claudino
Alcantil	Borborema	Cuité	Juarez Távora
Algodão de Jandaíra	Brejo do Cruz	Cuité de Mamanguape	Juazeirinho
Amparo	Brejo dos Santos	Cuitegi	Junco do Seridó
Aparecida	Cabaceiras	Curral Velho	Juru
Araçagi	Cachoeira dos Índios	Damião	Lagoa
Arara	Cacimba de Areia	Desterro	Lagoa de Dentro
Araruna	Cacimba de Dentro	Diamante	Lagoa Seca
Areia	Cacimbas	Dona Inês	Lastro
Areia de Baraúnas	Caiçara	Duas Estradas	Livramento
Areial	Cajazeiras	Emas	Logradouro
Aroeiras	Cajazeirinhas	Esperança	Mãe d'Água
Assunção	Caldas Brandão	Fagundes	Malta
Bananeiras	Camalaú	Frei Martinho	Manaíra
Baraúna	Campina Grande	Gado Bravo	Mari
Barra de Santa Rosa	Caraúbas	Guarabira	Marizópolis
Barra de Santana	Carrapateira	Gurinhém	Massaranduba
Barra de São Miguel	Casserengue	Gurjão	Matinhas
Belém	Catingueira	Ibiara	Mato Grosso
Belém do Brejo do Cruz	Catolé do Rocha	Igaracy	Maturéia
Bernardino Batista	Caturité	Imaculada	Mogeiro
Boa Ventura	Conceição	Ingá	Montadas

Quadro A.2 – Municípios paraibanos do semiárido: continuação

Monte Horebe	Poço de José de Moura	São Bentinho	Serra Grande
Monteiro	Pombal	São Bento	Serra Redonda
Mulungu	Prata	São Domingos	Serraria
Natuba	Princesa Isabel	São Domingos do Cariri	Sertãozinho
Nazarezinho	Puxinanã	São Francisco	Sobrado
Nova Floresta	Queimadas	São João do Cariri	Solânea
Nova Olinda	Quixaba	São João do Rio do Peixe	Soledade
Nova Palmeira	Remígio	São João do Tigre	Sossêgo
Olho d'Água	Riachão	São José da Lagoa Tapada	Sousa
Olivedos	Riachão do Bacamarte	São José de Caiana	Sumé
Ouro Velho	Riachão do Poço	São José de Espinharas	Tacima
Parari	Riacho de Santo Antônio	São José de Piranhas	Taperoá
Passagem	Riacho dos Cavalos	São José de Princesa	Tavares
Patos	Salgadinho	São José do Bonfim	Teixeira
Paulista	Salgado de São Félix	São José do Brejo do Cruz	Tenório
Pedra Branca	Santa Cecília	São José do Sabugi	Triunfo
Pedra Lavrada	Santa Cruz	São José dos Cordeiros	Uiraúna
Piancó	Santa Helena	São José dos Ramos	Umbuzeiro
Picuí	Santa Inês	São Mamede	Várzea
Pilões	Santa Luzia	São Sebastião de Lagoa de Roça	Vieirópolis
Pilõezinhos	Santa Teresinha	São Sebastião do Umbuzeiro	Vista Serrana
Pirpirituba	Santana de Mangueira	São Vicente do Seridó	Zabelê
Pocinhos	Santana dos Garrotes	Serra Branca	
Poço Dantas	Santo André	Serra da Raiz	

A.2 Região Intermediária de João Pessoa

Quadro A.3 – Municípios e Regiões Imediatas de João Pessoa

João Pessoa	Guarabira	Mamanguape - Rio Tinto	Itabaiana
Alhandra	Alagoinha	Baía da Traição	Itabaiana
Bayeux	Araçagi	Capim	Mogeiro
Caaporã	Arara	Curral de Cima	Natuba
Cabedelo	Araruna	Itapororoca	Salgado de São Félix
Caldas Brandão	Bananeiras	Jacaraú	São José dos Ramos
Conde	Belém	Mamanguape	
Cruz do Espírito Santo	Borborema	Marcação	
Cuité de Mamanguape	Cacimba de Dentro	Mataraca	
Gurinhém	Caiçara	Pedro Régis	
João Pessoa	Casserengue	Rio Tinto	
Juarez Távora	Cuitegi		
Juripiranga	Dona Inês		
Lucena	Duas Estradas		
Mari	Guarabira		
Pedras de Fogo	Lagoa de Dentro		
Pilar	Logradouro		
Pitimbu	Mulungu		
Riachão do Poço	Pilões		
Santa Rita	Pilõezinhos		
São Miguel de Taipu	Pirpirituba		

Quadro A.4 – Municípios e Regiões Imediatas de João Pessoa - Continuação

João Pessoa	Guarabira	Mamanguape - Rio Tinto	Itabaiana
Sapé Sobrado	Riachão Serra da Raiz Serraria Sertãozinho Solânea Tacima		

A.3 Região Intermediária de Campina Grande

Quadro A.5 – Municípios e Regiões Imediatas de Campina Grande

Campina Grande	Cuité - Nova Floresta	Monteiro	Sumé
Alagoa Grande	Baraúna	Camalaú	Amparo
Alagoa Nova	Barra de Santa Rosa	Monteiro	Congo
Alcantil	Cuité	Ouro Velho	Coxixola
Algodão de Jandaíra	Damião	Prata	Livramento
Areia	Frei Martinho	São João do Tigre	Parari
Areial	Nova Floresta	São Sebastião do Umbuzeiro	São José dos Cordeiros
Aroeiras	Nova Palmeira	Zabelê	Serra Branca
Assunção	Pedra Lavrada		Sumé
Barra de Santana	Picuí		
Barra de São Miguel	Sossêgo		
Boa Vista			
Boqueirão			
Cabaceiras			
Campina Grande			
Caraúbas			
Caturité			
Cubati			
Esperança			
Fagundes			
Gado Bravo			
Gurjão			

Quadro A.6 – Municípios e Regiões Imediatas de Campina Grande - Continuação

Campina Grande	Cuité - Nova Floresta	Monteiro	Sumé
Ingá Itatuba Juazeirinho Junco do Seridó Lagoa Seca Massaranduba Matinhas Montadas Olivedos Pocinhos Puxinanã Queimadas Remígio Riachão do Bacamarte Riacho de Santo Antônio Santa Cecília Santo André São Domingos do Cariri São João do Cariri São Sebastião de Lagoa de Roça São Vicente do Seridó Serra Redonda Soledade Taperoá Tenório Umbuzeiro			

A.4 Região Intermediária de Patos

Quadro A.7 – Municípios e Regiões Imediatas de Patos

Patos	Itaporanga	Catolé do Rocha - São Bento	Pombal	Princesa Isabel
Água Branca	Aguiar	Belém do Brejo do Cruz	Cajazeirinhas	Juru
Areia de Baraúnas	Boa Ventura	Bom Sucesso	Condado	Manaíra
Cacimba de Areia	Conceição	Brejo do Cruz	Lagoa	Princesa Isabel
Cacimbas	Curral Velho	Brejo dos Santos	Paulista	São José de Princesa
Catingueira	Diamante	Catolé do Rocha	Pombal	Tavares
Coremas	Ibiara	Jericó	São Bentinho	
Desterro	Igaracy	Mato Grosso	São Domingos	
Emas	Itaporanga	Riacho dos Cavalos		
Imaculada	Nova Olinda	São Bento		
Mãe d'Água	Pedra Branca	São José do Brejo do Cruz		
Malta	Piancó			
Matureia	Santa Inês			
Olho d'Água	Santana de Mangueira			
Passagem	Santana dos Garrotes			
Patos	São José de Caiana			
Quixaba				
Salgadinho				
Santa Luzia				
Santa Terezinha				
São José de Espinharas				
São José do Bonfim				
São José do Sabugi				
São Mamede				
Teixeira				
Várzea				
Vista Serrana				

A.5 Região Intermediária de Sousa - Cajazeiras

Quadro A.8 – Municípios e Regiões Imediatas de Sousa - Cajazeiras

Sousa	Cajazeiras
Aparecida	Bom Jesus
Bernardino Batista	Bonito de Santa Fé
Joca Claudino	Cachoeira dos Índios
Lastro	Cajazeiras
Marizópolis	Carrapateira
Nazarezinho	Monte Horebe
Poço Dantas	Poço de José de Moura
Santa Cruz	Santa Helena
São Francisco	São José de Piranhas
São José da Lagoa Tapada	São João do Rio do Peixe
Sousa	Serra Grande
Uiraúna	Triunfo
Vieirópolis	

APÊNDICE

B

LEGENDA DE CORES NO MAPA POR
SUBORDEM DE PRIMEIRO
COMPONENTE DE SOLO

Quadro B.1 – Tipos de solos encontrados como primeiro componente e cores no mapa

Ordem	Subordem	Cor no Mapa
Argissolos	Acinzentados	
	Amarelos	
	Vermelho-Amarelos	
	Vermelhos	
Cambissolos	Háplicos	
	Húmicos	
Chernossolos	Rendzicos	
	Ebânicos	
	Argilúvicos	
Espodossolos	Ferrihumilúvicos	
Gleissolos	Tiomórficos	
	Sálicos	
	Háplicos	
Latosolos	Amarelos	
	Amarelos	
	Vermelho-Amarelos	
	Vermelhos	
Luvissolos	Crômicos	
Neossolos	Litólicos	
	Regolíticos	
	Quartzarênicos	
	Flúvicos	
Nitossolos	Vermelhos	
	Háplicos	
Organossolos	Háplicos	
Planossolos	Háplicos	
	Nátricos	
Plintossolos	Háplicos	
	Pétricos	

Quadro B.2 – Tipos de solos encontrados como primeiro componente e cores no mapa - Continuação

Ordem	Subordem	Cor no Mapa
Vertissolos	Ebânicos	
	Háplicos	
	Hidromórficos	
Afloramento de Rochas		
Dunas		
Água		

APÊNDICE

C

TABELAS DE DADOS DE POÇOS

C.1 Tabelas de Dados do Estado

•Região Intermediária

Tabela C.1 – Distribuição dos poços nas regiões intermediárias e o total do estado da Paraíba

	João Pessoa	Campina Grande	Patos	Sousa - Cajazeiras	Total
Quantidade	1.043	3.443	1.153	1.287	6.926
Secos	48	275	36	48	407
Baixa Vazão	126	642	155	153	1.076
Média Vazão	129	868	361	345	1.703
Alta Vazão	740	1.658	601	741	3.740
% Seco	0,046	0,080	0,031	0,037	0,059
% Baixa	0,121	0,186	0,134	0,119	0,155
% Média	0,124	0,252	0,313	0,268	0,246
% Alta	0,709	0,482	0,521	0,576	0,540
Vazão Média (L/h)	13.724	2.615	2.842	3.062	4.409
Quantidade	154	647	125	88	1.014
Salino	8	95	0	0	103
Salobro 2	68	492	45	21	626
Salobro 1	15	46	45	44	150
Doce	63	14	35	23	135
% Salino	0,052	0,147	0,000	0,000	0,102
% Salobro 2	0,442	0,760	0,360	0,239	0,617
% Salobro 1	0,097	0,071	0,360	0,500	0,148
% Doce	0,409	0,022	0,280	0,261	0,133
TDS Médio (mg/L)	3.091	5.699	1.499	873	4.367

•Região Imediata

Tabela C.2 – Distribuição dos poços nas regiões imediatas: tabela 1

	Cajazeiras	Campina Grande	Catolé do Rocha - São Bento	Cuité - Nova Floresta	Guarabira	Itabaiana	Itaporanga
Quantidade	905	2081	84	286	278	71	363
Secos	38	179	3	36	35	7	7
Baixa Vazão	96	371	10	56	77	9	25
Média Vazão	260	525	33	73	59	18	140
Alta Vazão	511	1006	38	121	107	37	191
% Seco	0,042	0,086	0,036	0,126	0,126	0,099	0,019
% Baixa	0,106	0,178	0,119	0,196	0,277	0,127	0,069
% Média	0,287	0,252	0,393	0,255	0,212	0,254	0,386
% Alta	0,565	0,483	0,452	0,423	0,385	0,521	0,526
Vazão Média (L/h)	2.821	2.624	3.281	2.348	1.958	2.409	2.779
Quantidade	44	467	4	76	64	8	24
Salino	0	78	0	12	5	1	0
Salobro 2	10	355	3	60	48	7	5
Salobro 1	18	25	1	2	5	0	10
Doce	16	9	0	2	6	0	9
% Salino	0,000	0,167	0,000	0,158	0,078	0,125	0,000
% Salobro 2	0,227	0,760	0,750	0,789	0,750	0,875	0,208
% Salobro 1	0,409	0,054	0,250	0,026	0,078	0,000	0,417
% Doce	0,364	0,019	0,000	0,026	0,094	0,000	0,375
STD médio (mg/L)	799	6.276	2.304	5.957	4.891	5.558	821

Tabela C.3 – Distribuição dos poços nas regiões imediatas: tabela 2

	João Pessoa	Mamanguape - Rio Tinto	Monteiro	Patos	Pombal	Princesa Isabel	Sousa	Sumé	Livramento
Quantidade	597	97	628	540	120	46	382	432	16
Secos	6	0	42	17	5	4	10	18	0
Baixa Vazão	35	5	126	87	22	11	57	77	12
Média Vazão	48	4	177	139	35	14	85	91	2
Alta Vazão	508	88	283	297	58	17	230	246	2
% Seco	0,010	0,000	0,067	0,031	0,042	0,087	0,026	0,042	0,000
% Baixa	0,059	0,052	0,201	0,161	0,183	0,239	0,149	0,178	0,750
% Média	0,080	0,041	0,282	0,257	0,292	0,304	0,223	0,211	0,125
% Alta	0,851	0,907	0,451	0,550	0,483	0,370	0,602	0,569	0,125
Vazão Média (L/h)	20.798	12.187	2.491	2.859	2.511	3.210	3.635	2.998	781
Quantidade	62	20	40	70	25	2	44	64	0
Salino	2	0	1	0	0	0	0	4	0
Salobro 2	10	3	28	34	2	1	11	49	0
Salobro 1	8	2	10	19	15	0	26	9	0
Doce	42	15	1	17	8	1	7	2	0
% Salino	0,032	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,063	
% Salobro 2	0,161	0,150	0,700	0,486	0,080	0,500	0,250	0,766	
% Salobro 1	0,129	0,100	0,250	0,271	0,600	0,000	0,591	0,141	
% Doce	0,677	0,750	0,025	0,243	0,320	0,500	0,159	0,031	
STD médio (mg/L)	1.685	708	2.387	1.947	773	1.446	948	3.252	

•Tipos de Aquíferos

Tabela C.4 – Distribuição dos poços por tipos de aquíferos

	Cárstico	Faturado	Poroso
Quantidade	2	5.440	1.484
Secos	0	384	23
Baixa Vazão	0	969	107
Média Vazão	0	1.466	237
Alta Vazão	2	2.621	1.117
% Seco	0,000	0,071	0,015
% Baixa	0,000	0,178	0,072
% Média	0,000	0,269	0,160
% Alta	1,000	0,482	0,753
Vazão Média (L/h)	11.500	2.622	10.949
Quantidade	0	883	131
Salino	0	102	1
Salobro 2	0	594	32
Salobro 1	0	118	32
Doce	0	69	66
% Salino		0,116	0,008
% Salobro 2		0,673	0,244
% Salobro 1		0,134	0,244
% Doce		0,078	0,504
STD médio (mg/L)		4.840	1.173

•Domínios Hidrogeológicos

Tabela C.5 – Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos

	Carbonatos/ Metacarbonatos	Bacias Sedimentares	Formações Cenozóicas	Cristalino	Metassedimentos / Metavulcânicas	Vulcânicas
Quantidade	2	479	1.005	3.326	2.113	1
Secos	0	7	16	266	118	0
Baixa Vazão	0	36	71	635	334	0
Média Vazão	0	113	124	908	558	0
Alta Vazão	2	323	794	1.517	1.103	1
% Seco	0,000	0,015	0,016	0,080	0,056	0,000
% Baixa	0,000	0,075	0,071	0,191	0,158	0,000
% Média	0,000	0,236	0,123	0,273	0,264	0,000
% Alta	1,000	0,674	0,790	0,456	0,522	1,000
Vazão Média (L/h)	11.500	3.302	14.593	2.482	2.843	3.000
Quantidade	0	23	108	530	353	0
Salino	0	0	1	61	41	0
Salobro 2	0	5	27	334	260	0
Salobro 1	0	14	18	82	36	0
Doce	0	4	62	53	16	0
% Salino		0,000	0,009	0,115	0,116	
% Salobro 2		0,217	0,250	0,630	0,737	
% Salobro 1		0,609	0,167	0,155	0,102	
% Doce		0,174	0,574	0,100	0,045	
STD médio (mg/L)		807	1.251	4.768	4.950	

•Ordem dos Solos

Tabela C.6 – Distribuição dos poços por ordem dos solos: tabela 1

	Afloramentos de Rochas	Argissolos	Cambissolos	Espodossolos	Gleissolos	Latossolos
Quantidade	594	2.413	5	500	62	786
Secos	45	176	0	2	0	22
Baixa Vazão	106	361	1	18	1	68
Média Vazão	165	479	2	27	2	130
Alta Vazão	278	1.397	2	453	59	566
% Seco	0,076	0,073	0,000	0,004	0,000	0,028
% Baixa	0,178	0,150	0,200	0,036	0,016	0,087
% Média	0,278	0,199	0,400	0,054	0,032	0,165
% Alta	0,468	0,579	0,400	0,906	0,952	0,720
Vazão Média (L/h)	2.610	6.707	5.888	22.113	28.736	12.787
Quantidade	94	380	0	52	4	134
Salino	9	30	0	0	0	6
Salobro 2	63	223	0	2	0	76
Salobro 1	7	53	0	5	0	23
Doce	15	74	0	45	4	29
% Salino	0,096	0,079		0,000	0,000	0,045
% Salobro 2	0,670	0,587		0,038	0,000	0,567
% Salobro 1	0,074	0,139		0,096	0,000	0,172
% Doce	0,160	0,195		0,865	1,000	0,216
STD médio (mg/L)	4.872	3.897		347	269	2.936

Tabela C.7 – Distribuição dos poços por ordem dos solos: tabela 2

	Luvisolos	Neossolos	Planossolos	Vertissolos	Água
Quantidade	3.622	5.904	3.103	1.003	31
Secos	198	385	213	36	0
Baixa Vazão	616	998	531	146	3
Média Vazão	938	1.535	862	214	15
Alta Vazão	1.870	2.986	1.497	607	13
% Seco	0,055	0,065	0,069	0,036	0,000
% Baixa	0,170	0,169	0,171	0,146	0,097
% Média	0,259	0,260	0,278	0,213	0,484
% Alta	0,516	0,506	0,482	0,605	0,419
Vazão Média (L/h)	2.790	2.896	2.668	3.279	2.716
Quantidade	538	863	468	169	2
Salino	22	97	73	8	0
Salobro 2	365	551	285	139	0
Salobro 1	99	125	72	17	0
Doce	52	90	38	5	2
% Salino	0,041	0,112	0,156	0,047	0,000
% Salobro 2	0,678	0,638	0,609	0,822	0,000
% Salobro 1	0,184	0,145	0,154	0,101	0,000
% Doce	0,097	0,104	0,081	0,030	1,000
STD médio (mg/L)	3.229	4.671	5.477	3.737	383

•Composição dos Solos

Tabela C.8 – Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 1

	Afloramentos de Rochas	Argissolos Acinzentados Distrocenos	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Argissolos Vermelhos Eutróficos	Cambissolos Háplicos tb Eutróficos
Quantidade	594	127	587	1.826	6	5
Secos	45	0	19	157	2	0
Baixa Vazão	106	8	43	318	0	1
Média Vazão	165	18	53	426	1	2
Alta Vazão	278	101	472	925	3	2
% Seco	0,076	0,000	0,032	0,086	0,333	0,000
% Baixa	0,178	0,063	0,073	0,174	0,000	0,200
% Média	0,278	0,142	0,090	0,233	0,167	0,400
% Alta	0,468	0,795	0,804	0,507	0,500	0,400
Vazão Média (L/h)	2.610	8.618	18.989	2.759	9.700	5.888
Quantidade	94	9	59	321	2	0
Salino	9	0	1	29	0	0
Salobro 2	63	0	11	212	2	0
Salobro 1	7	2	5	48	0	0
Doce	15	7	42	32	0	0
% Salino	0,096	0,000	0,017	0,090	0,000	
% Salobro 2	0,670	0,000	0,186	0,660	1,000	
% Salobro 1	0,074	0,222	0,085	0,150	0,000	
% Doce	0,160	0,778	0,712	0,100	0,000	
STD médio (mg/L)	4.872	371	1.178	4.397	3.600	

Tabela C.9 – Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 2

	Espodossolos Ferrihumilúvicos Hidromórficos	Espodossolos Ferrilúvicos Hidromórficos	Espodossolos Humilúvicos Hidromórficos	Gleissolos Sálicos Sódicos	Latossolos Amarelos Distróficos	Latossolos Vermelho-Amarelos Eutróficos
Quantidade	19	202	279	62	284	502
Secos	0	0	2	0	3	19
Baixa Vazão	0	12	6	1	8	60
Média Vazão	3	19	5	2	5	125
Alta Vazão	16	171	266	59	268	298
% Seco	0,000	0,000	0,007	0,000	0,011	0,038
% Baixa	0,000	0,059	0,022	0,016	0,028	0,120
% Média	0,158	0,094	0,018	0,032	0,018	0,249
% Alta	0,842	0,847	0,953	0,952	0,944	0,594
Vazão Média (L/h)	20.571	10.619	30.539	28.736	30.030	3.031
Quantidade	3	24	25	4	26	108
Salino	0	0	0	0	0	6
Salobro 2	0	2	0	0	1	75
Salobro 1	0	4	1	0	1	22
Doce	3	18	24	4	24	5
% Salino	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056
% Salobro 2	0,000	0,083	0,000	0,000	0,038	0,694
% Salobro 1	0,000	0,167	0,040	0,000	0,038	0,204
% Doce	1,000	0,750	0,960	1,000	0,923	0,046
STD médio (mg/L)	68	476	257	269	323	3.564

Tabela C.10 – Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 3

	Luvisolos Crômicos Órticos	Luvisolos Crômicos Pálicos	Neossolos Flúvicos ta Eutróficos	Neossolos Litólicos Distróficos	Neossolos Litólicos Eutróficos	Neossolos Quartzarênicos Órticos	Neossolos Regolíticos Eutróficos
Quantidade	3.120	502	235	29	5.603	80	710
Secos	179	19	7	1	350	1	55
Baixa Vazão	556	60	28	4	949	6	111
Média Vazão	813	125	46	13	1.472	1	191
Alta Vazão	1.572	298	154	11	2.832	72	353
% Seco	0,057	0,038	0,030	0,034	0,062	0,013	0,077
% Baixa	0,178	0,120	0,119	0,138	0,169	0,075	0,156
% Média	0,261	0,249	0,196	0,448	0,263	0,013	0,269
% Alta	0,504	0,594	0,655	0,379	0,505	0,900	0,497
Vazão Média (L/h)	2.751	3.031	3.732	2.211	2.786	13.233	2.395
Quantidade	430	108	7	0	794	16	81
Salino	16	6	0	0	82	0	19
Salobro 2	290	75	1	0	511	3	51
Salobro 1	77	22	4	0	122	2	9
Doce	47	5	2	0	79	11	2
% Salino	0,037	0,056	0,000		0,103	0,000	0,235
% Salobro 2	0,674	0,694	0,143		0,644	0,188	0,630
% Salobro 1	0,179	0,204	0,571		0,154	0,125	0,111
% Doce	0,109	0,046	0,286		0,099	0,688	0,025
STD médio (mg/L)	3.145	3.564	830		4.545	630	6.356

Tabela C.11 – Distribuição dos poços por composição dos solos: tabela 4

	Planossolos Háplicos Eutróficos	Planossolos Nátricos Órticos	Vertissolos Ebânicos Órticos	Vertissolos Háplicos Órticos	Água
Quantidade	298	2.805	90	913	31
Secos	28	185	4	32	0
Baixa Vazão	63	468	20	126	3
Média Vazão	60	802	25	189	15
Alta Vazão	147	1.350	41	566	13
% Seco	0,094	0,066	0,044	0,035	0,000
% Baixa	0,211	0,167	0,222	0,138	0,097
% Média	0,201	0,286	0,278	0,207	0,484
% Alta	0,493	0,481	0,456	0,620	0,419
Vazão Média (L/h)	3.540	2.575	2.514	3.354	2.716
Quantidade	41	427	24	145	2
Salino	4	69	0	8	0
Salobro 2	34	251	22	117	0
Salobro 1	2	70	1	16	0
Doce	1	37	1	4	2
% Salino	0,098	0,162	0,000	0,055	0,000
% Salobro 2	0,829	0,588	0,917	0,807	0,000
% Salobro 1	0,049	0,164	0,042	0,110	0,000
% Doce	0,024	0,087	0,042	0,028	1,000
STD médio (mg/L)	5.230	5.501	3.935	3.705	383

C.2 Tabelas de Dados dos Municípios do Semiárido

•Tipos de Aquíferos

Tabela C.12 – Distribuição dos poços por tipos de aquíferos no semiárido

	Fraturado	Poroso
Quantidade	4.987	763
Secos	356	17
Baixa Vazão	884	76
Média Vazão	1360	186
Alta Vazão	2387	484
% Seco	0,071	0,022
% Baixa	0,177	0,100
% Média	0,273	0,244
% Alta	0,479	0,634
Vazão Média (L/h)	2.612	3.125
Quantidade	819	47
Salino	101	1
Salobro 2	555	22
Salobro 1	97	18
Doce	66	6
% Salino	0,123	0,021
% Salobro 2	0,678	0,468
% Salobro 1	0,118	0,383
% Doce	0,081	0,128
STD médio (mg/L)	5.009	2.249

•Domínios Hidrogeológicos

Tabela C.13 – Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos no semiárido

	Formações Cenozóicas	Bacias Sedimentares	Cristalino	Metassedimentos / Metavulcânicas
Quantidade	347	416	3.032	1.955
Secos	11	6	250	106
Baixa Vazão	44	32	578	306
Média Vazão	90	96	832	528
Alta Vazão	202	282	1.372	1.015
% Seco	0,032	0,014	0,082	0,054
% Baixa	0,127	0,077	0,191	0,157
% Média	0,259	0,231	0,274	0,270
% Alta	0,582	0,678	0,453	0,519
Vazão Média (L/h)	3.141	3.112	2.479	2.817
Quantidade	35	12	483	336
Salino	1	0	60	41
Salobro 2	19	3	306	249
Salobro 1	11	7	66	31
Doce	4	2	51	15
% Salino	0,029	0,000	0,124	0,122
% Salobro 2	0,543	0,250	0,634	0,741
% Salobro 1	0,314	0,583	0,137	0,092
% Doce	0,114	0,167	0,106	0,045
STD médio (mg/L)	2.694	949	4.969	5.066

•Ordem dos Solos

Tabela C.14 – Distribuição dos poços por ordem dos solos no semiárido

	Afloramentos de Rochas	Argissolos	Cambissolos	Latosolos	Luvisolos	Neossolos	Planossolos	Vertissolos
Quantidade	552	1.651	5	453	3.283	5.269	2.822	959
Secos	43	160	0	16	175	357	195	36
Baixa Vazão	101	310	1	52	553	907	480	140
Média Vazão	153	398	2	108	863	1.423	802	204
Alta Vazão	255	783	2	277	1.692	2.582	1.345	579
% Seco	0,078	0,097	0,000	0,035	0,053	0,068	0,069	0,038
% Baixa	0,183	0,188	0,200	0,115	0,168	0,172	0,170	0,146
% Média	0,277	0,241	0,400	0,238	0,263	0,270	0,284	0,213
% Alta	0,462	0,474	0,400	0,611	0,515	0,490	0,477	0,604
Vazão Média (L/h)	2.493	2.510	5.888	2.997	2.803	2.644	2.580	3.280
Quantidade	86	288	0	81	468	784	430	164
Salino	9	30	0	6	22	96	73	8
Salobro 2	63	206	0	66	324	512	255	137
Salobro 1	4	28	0	8	76	107	65	15
Doce	10	24	0	1	46	69	37	4
% Salino	0,105	0,104		0,074	0,047	0,122	0,170	0,049
% Salobro 2	0,733	0,715		0,815	0,692	0,653	0,593	0,835
% Salobro 1	0,047	0,097		0,099	0,162	0,136	0,151	0,091
% Doce	0,116	0,083		0,012	0,098	0,088	0,086	0,024
STD médio (mg/L)	5.286	4.879		4.422	3.374	4.912	5.672	3.772

•Composição dos Solos

Tabela C.15 – Distribuição dos poços por composição dos solos no semiárido: tabela 1

	Afloramentos de Rochas	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Argissolos Vermelhos Eutróficos	Cambissolos Háplicos tb Eutróficos
Quantidade	552	79	1.572	4	5
Secos	43	15	145	2	0
Baixa Vazão	101	19	291	0	1
Média Vazão	153	23	375	0	2
Alta Vazão	255	22	761	2	2
% Seco	0,078	0,190	0,092	0,500	0,000
% Baixa	0,183	0,241	0,185	0,000	0,200
% Média	0,277	0,291	0,239	0,000	0,400
% Alta	0,462	0,278	0,484	0,500	0,400
Vazão Média (L/h)	2.493	1.626	2.555	12.755	5.888
Quantidade	86	8	280	1	0
Salino	9	1	29	0	0
Salobro 2	63	7	199	1	0
Salobro 1	4	0	28	0	0
Doce	10	0	24	0	0
% Salino	0,105	0,125	0,104	0,000	
% Salobro 2	0,733	0,875	0,711	1,000	
% Salobro 1	0,047	0,000	0,100	0,000	
% Doce	0,116	0,000	0,086	0,000	
STD médio (mg/L)	5.286	5.121	4.872	2.194	

Tabela C.16 – Distribuição dos poços por composição dos solos no semiárido: tabela 2

	Latossolos Amarelos Distróficos	Latossolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Luvisolos Crômicos Órticos	Luvisolos Crômicos Pálicos	Neossolos Flúvicos ta Eutróficos	Neossolos Litólicos Distróficos	Neossolos Litólicos Eutróficos
Quantidade	5	448	2.835	448	202	29	5.043
Secos	1	15	160	15	7	1	322
Baixa Vazão	2	50	503	50	27	4	862
Média Vazão	0	108	755	108	38	13	1.361
Alta Vazão	2	275	1.417	275	130	11	2.498
% Seco	0,200	0,033	0,056	0,033	0,035	0,034	0,064
% Baixa	0,400	0,112	0,177	0,112	0,134	0,138	0,171
% Média	0,000	0,241	0,266	0,241	0,188	0,448	0,270
% Alta	0,400	0,614	0,500	0,614	0,644	0,379	0,495
Vazão Média (L/h)	1.618	3.013	2.769	3.013	3.742	2.211	2.676
Quantidade	1	80	388	80	7	0	730
Salino	0	6	16	6	0	0	81
Salobro 2	1	65	259	65	1	0	474
Salobro 1	0	8	68	8	4	0	106
Doce	0	1	45	1	2	0	69
% Salino	0,000	0,075	0,041	0,075	0,000		0,111
% Salobro 2	1,000	0,813	0,668	0,813	0,143		0,649
% Salobro 1	0,000	0,100	0,175	0,100	0,571		0,145
% Doce	0,000	0,013	0,116	0,013	0,286		0,095
STD médio (mg/L)	1.980	4.452	3.152	4.452	830		4.708

Tabela C.17 – Distribuição dos poços por composição dos solos no semiárido: tabela 3

	Neossolos Quartzarênicos Órticos	Neossolos Regolíticos Eutróficos	Planossolos Háplicos Eutróficos	Planossolos Nátricos Órticos	Vertissolos Ebânicos Órticos	Vertissolos Háplicos Órticos	Água
Quantidade	5	658	230	2.592	90	869	31
Secos	1	52	24	171	4	32	0
Baixa Vazão	2	97	53	427	20	120	3
Média Vazão	0	179	48	754	25	179	15
Alta Vazão	2	330	105	1.240	41	538	13
% Seco	0,200	0,079	0,104	0,066	0,044	0,037	0,000
% Baixa	0,400	0,147	0,230	0,165	0,222	0,138	0,097
% Média	0,000	0,272	0,209	0,291	0,278	0,206	0,484
% Alta	0,400	0,502	0,457	0,478	0,456	0,619	0,419
Vazão Média (L/h)	1.618	2.440	2.646	2.574	2.514	3.359	2.716
Quantidade	1	74	33	397	24	140	2
Salino	0	18	4	69	0	8	0
Salobro 2	1	49	29	226	22	115	0
Salobro 1	0	6	0	65	1	14	0
Doce	0	1	0	37	1	3	2
% Salino	0,000	0,243	0,121	0,174	0,000	0,057	0,000
% Salobro 2	1,000	0,662	0,879	0,569	0,917	0,821	0,000
% Salobro 1	0,000	0,081	0,000	0,164	0,042	0,100	0,000
% Doce	0,000	0,014	0,000	0,093	0,042	0,021	1,000
STD médio (mg/L)	1.980	6.725	5.693	5.670	3.935	3.744	383

C.3 Tabelas de Dados da Região Intermediária de João Pessoa

•Tipos de Aquíferos

Tabela C.18 – Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na região de João Pessoa

	Cárstico	Faturado	Poroso
Quantidade	2	408	633
Secos	0	39	9
Baixa Vazão	0	101	25
Média Vazão	0	90	39
Alta Vazão	2	178	560
% Seco	0,000	0,096	0,014
% Baixa	0,000	0,248	0,039
% Média	0,000	0,221	0,062
% Alta	1,000	0,436	0,885
Vazão Média (L/h)	11.500	2.420	21.016
Quantidade	0	73	81
Salino	0	7	1
Salobro 2	0	54	14
Salobro 1	0	6	9
Doce	0	6	57
% Salino		0,096	0,012
% Salobro 2		0,740	0,173
% Salobro 1		0,082	0,111
% Doce		0,082	0,704
STD médio (mg/L)		5.240	1.155

•Domínios Hidrogeológicos

Tabela C.19 – Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de João Pessoa

	Carbonatos/ Metacarbonatos	Bacias Sedimentares	Formações Cenozóicas	Cristalino	Metassedimentos / Metavulcânicas	Vulcânicas
Quantidade	2	3	630	272	135	1
Secos	0	0	9	29	10	0
Baixa Vazão	0	0	25	68	33	0
Média Vazão	0	0	39	62	28	0
Alta Vazão	2	3	557	113	64	1
% Seco	0,000	0,000	0,014	0,107	0,074	0,000
% Baixa	0,000	0,000	0,040	0,250	0,244	0,000
% Média	0,000	0,000	0,062	0,228	0,207	0,000
% Alta	1,000	1,000	0,884	0,415	0,474	1,000
Vazão Média (L/h)	11.500	10.000	21.069	2.167	2.926	3.000
Quantidade	0	0	81	40	33	0
Salino	0	0	1	5	2	0
Salobro 2	0	0	14	27	27	0
Salobro 1	0	0	9	3	3	0
Doce	0	0	57	5	1	0
% Salino			0,012	0,125	0,061	
% Salobro 2			0,173	0,675	0,818	
% Salobro 1			0,111	0,075	0,091	
% Doce			0,704	0,125	0,030	
STD médio (mg/L)			1.155	4.941	5.601	

•Ordem dos Solos

Tabela C.20 – Distribuição dos poços por ordem dos solos na região de João Pessoa

	Afloramentos de Rochas	Argissolos	Espodossolos	Gleissolos	Latossolos	Luvissolos	Neossolos	Planossolos	Vertissolos
Quantidade	43	809	500	62	284	291	555	231	0
Secos	5	41	2	0	3	17	45	25	0
Baixa Vazão	15	95	18	1	8	59	111	52	0
Média Vazão	6	90	27	2	5	67	101	51	0
Alta Vazão	17	583	453	59	268	148	298	103	0
% Seco	0,116	0,051	0,004	0,000	0,011	0,058	0,081	0,108	
% Baixa	0,349	0,117	0,036	0,016	0,028	0,203	0,200	0,225	
% Média	0,140	0,111	0,054	0,032	0,018	0,230	0,182	0,221	
% Alta	0,395	0,721	0,906	0,952	0,944	0,509	0,537	0,446	
Vazão Média (L/h)	3.386	14.471	22.113	28.736	30.030	2.410	4.552	3.459	
Quantidade	17	118	52	4	26	56	113	34	3
Salino	2	5	0	0	0	5	8	4	0
Salobro 2	8	51	2	0	1	40	68	27	0
Salobro 1	2	11	5	0	1	6	12	2	2
Doce	5	51	45	4	24	5	25	1	1
% Salino	0,118	0,042	0,000	0,000	0,000	0,089	0,071	0,118	0,000
% Salobro 2	0,471	0,432	0,038	0,000	0,038	0,714	0,602	0,794	0,000
% Salobro 1	0,118	0,093	0,096	0,000	0,038	0,107	0,106	0,059	0,667
% Doce	0,294	0,432	0,865	1,000	0,923	0,089	0,221	0,029	0,333
STD médio (mg/L)	4.429	2.805	347	269	323	5.233	4.115	5.872	511

•Composição dos Solos

Tabela C.21 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de João Pessoa: tabela 1

	Afloramentos de Rochas	Argissolos Acinzentados Distrocesos	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Argissolos Vermelhos Eutróficos
Quantidade	43	127	558	251	5
Secos	5	0	18	23	2
Baixa Vazão	15	8	39	56	0
Média Vazão	6	18	40	50	1
Alta Vazão	17	101	461	122	2
% Seco	0,116	0,000	0,032	0,092	0,400
% Baixa	0,349	0,063	0,070	0,223	0,000
% Média	0,140	0,142	0,072	0,199	0,200
% Alta	0,395	0,795	0,826	0,486	0,400
Vazão Média (L/h)	3.386	8.618	19.861	2.487	2.640
Quantidade	17	9	59	59	2
Salino	2	0	1	4	0
Salobro 2	8	0	11	40	2
Salobro 1	2	2	5	6	0
Doce	5	7	42	9	0
% Salino	0,118	0,000	0,017	0,068	0,000
% Salobro 2	0,471	0,000	0,186	0,678	1,000
% Salobro 1	0,118	0,222	0,085	0,102	0,000
% Doce	0,294	0,778	0,712	0,153	0,000
STD médio (mg/L)	4.429	371	1.178	4.432	3.600

Tabela C.22 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de João Pessoa: tabela 2

	Espodossolos Ferrihumilúvicos Hidromórficos	Espodossolos Ferrilúvicos Hidromórficos	Espodossolos Humilúvicos Hidromórficos	Gleissolos Sálicos Sódicos	Latossolos Amarelos Distróficos	Luvissolos Crômicos Órticos
Quantidade	19	202	279	62	284	291
Secos	0	0	2	0	3	17
Baixa Vazão	0	12	6	1	8	59
Média Vazão	3	19	5	2	5	67
Alta Vazão	16	171	266	59	268	148
% Seco	0,000	0,000	0,007	0,000	0,011	0,058
% Baixa	0,000	0,059	0,022	0,016	0,028	0,203
% Média	0,158	0,094	0,018	0,032	0,018	0,230
% Alta	0,842	0,847	0,953	0,952	0,944	0,509
Vazão Média (L/h)	20.571	10.619	30.539	28.736	30.030	2.410
Quantidade	3	24	25	4	26	56
Salino	0	0	0	0	0	5
Salobro 2	0	2	0	0	1	40
Salobro 1	0	4	1	0	1	6
Doce	3	18	24	4	24	5
% Salino	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,089
% Salobro 2	0,000	0,083	0,000	0,000	0,038	0,714
% Salobro 1	0,000	0,167	0,040	0,000	0,038	0,107
% Doce	1,000	0,750	0,960	1,000	0,923	0,089
STD médio (mg/L)	68	476	257	269	323	5.233

Tabela C.23 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de João Pessoa: tabela 3

	Neossolos Litólicos Eutróficos	Neossolos Quartzarênicos Órticos	Neossolos Regolíticos Eutróficos	Planossolos Háplicos Eutróficos	Planossolos Nátricos Órticos	Vertissolos Háplicos Órticos
Quantidade	471	80	4	227	4	0
Secos	42	1	2	23	2	0
Baixa Vazão	104	6	1	51	1	0
Média Vazão	99	1	1	50	1	0
Alta Vazão	226	72	0	103	0	0
% Seco	0,089	0,013	0,500	0,101	0,500	
% Baixa	0,221	0,075	0,250	0,225	0,250	
% Média	0,210	0,013	0,250	0,220	0,250	
% Alta	0,480	0,900	0,000	0,454	0,000	
Vazão Média (L/h)	3.111	13.233	603	3.509	603	
Quantidade	96	16	1	33	1	3
Salino	8	0	0	4	0	0
Salobro 2	64	3	1	26	1	0
Salobro 1	10	2	0	2	0	2
Doce	14	11	0	1	0	1
% Salino	0,083	0,000	0,000	0,121	0,000	0,000
% Salobro 2	0,667	0,188	1,000	0,788	1,000	0,000
% Salobro 1	0,104	0,125	0,000	0,061	0,000	0,667
% Doce	0,146	0,688	0,000	0,030	0,000	0,333
STD médio (mg/L)	4.676	630	6.120	5.865	6.120	511

C.4 Tabelas de Dados da Região Intermediária de Campina Grande

•Tipos de Aquíferos

Tabela C.24 – Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na Região de Campina Grande

	Fraturado	Poroso
Quantidade	3.399	44
Secos	273	2
Baixa Vazão	631	11
Média Vazão	855	13
Alta Vazão	1.640	18
% Seco	0,080	0,045
% Baixa	0,186	0,250
% Média	0,252	0,295
% Alta	0,482	0,409
Vazão Média (L/h)	2.622	2.099
Quantidade	640	7
Salino	95	0
Salobro 2	486	6
Salobro 1	46	0
Doce	13	1
% Salino	0,148	0,000
% Salobro 2	0,759	0,857
% Salobro 1	0,072	0,000
% Doce	0,020	0,143
STD médio (mg/L)	5.729	2.932

•Domínios Hidrogeológicos

Tabela C.25 – Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de Campina Grande

	Formações Cenozóicas	Cristalino	Metassedimentos / Metavulcânicas
Quantidade	44	1.799	1.600
Secos	2	178	95
Baixa Vazão	11	368	263
Média Vazão	13	449	406
Alta Vazão	18	804	836
% Seco	0,045	0,099	0,059
% Baixa	0,250	0,205	0,164
% Média	0,295	0,250	0,254
% Alta	0,409	0,447	0,523
Vazão Média (L/h)	2.099	2.473	2.790
Quantidade	7	354	286
Salino	0	56	39
Salobro 2	6	268	218
Salobro 1	0	24	22
Doce	1	6	7
% Salino	0,000	0,158	0,136
% Salobro 2	0,857	0,757	0,762
% Salobro 1	0,000	0,068	0,077
% Doce	0,143	0,017	0,024
STD médio (mg/L)	2.932	6.129	5.235

•Ordem dos Solos

Tabela C.26 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Campina Grande

	Afloramentos de Rochas	Argissolos	Latosolos	Luvissolos	Neossolos	Planossolos	Vertissolos	Água
Quantidade	376	942	342	2.069	3.087	1.596	768	13
Secos	31	102	13	127	262	148	29	0
Baixa Vazão	68	167	37	368	603	321	118	2
Média Vazão	104	220	78	500	786	433	168	4
Alta Vazão	173	453	214	1.074	1.436	694	453	7
% Seco	0,082	0,108	0,038	0,061	0,085	0,093	0,038	0,000
% Baixa	0,181	0,177	0,108	0,178	0,195	0,201	0,154	0,154
% Média	0,277	0,234	0,228	0,242	0,255	0,271	0,219	0,308
% Alta	0,460	0,481	0,626	0,519	0,465	0,435	0,590	0,538
Vazão Média (L/h)	2.409	2.562	3.244	2.852	2.526	2.416	3.140	4.003
Quantidade	63	186	74	325	573	317	159	0
Salino	7	25	6	17	89	69	8	0
Salobro 2	50	149	64	271	428	218	138	0
Salobro 1	2	7	4	30	42	26	11	0
Doce	4	5	0	7	14	4	2	0
% Salino	0,111	0,134	0,081	0,052	0,155	0,218	0,050	
% Salobro 2	0,794	0,801	0,865	0,834	0,747	0,688	0,868	
% Salobro 1	0,032	0,038	0,054	0,092	0,073	0,082	0,069	
% Doce	0,063	0,027	0,000	0,022	0,024	0,013	0,013	
STD médio (mg/L)	5.538	5.679	4.745	3.836	5.822	6.974	3.926	

•Composição dos Solos

Tabela C.27 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Campina Grande: tabela 1

	Afloramentos de Rochas	Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Argissolos Vermelhos Eutróficos	Latossolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Luvisolos Crômicos Órticos	Luvisolos Crômicos Pálicos
Quantidade	376	942	1	342	1.727	342
Secos	31	102	0	13	114	13
Baixa Vazão	68	167	0	37	331	37
Média Vazão	104	220	0	78	422	78
Alta Vazão	173	453	1	214	860	214
% Seco	0,082	0,108	0,000	0,038	0,066	0,038
% Baixa	0,181	0,177	0,000	0,108	0,192	0,108
% Média	0,277	0,234	0,000	0,228	0,244	0,228
% Alta	0,460	0,481	1,000	0,626	0,498	0,626
Vazão Média (L/h)	2.409	2.562	45.000	3.244	2.774	3.244
Quantidade	63	186	0	74	251	74
Salino	7	25	0	6	11	6
Salobro 2	50	149	0	64	207	64
Salobro 1	2	7	0	4	26	4
Doce	4	5	0	0	7	0
% Salino	0,111	0,134		0,081	0,044	0,081
% Salobro 2	0,794	0,801		0,865	0,825	0,865
% Salobro 1	0,032	0,038		0,054	0,104	0,054
% Doce	0,063	0,027		0,000	0,028	0,000
STD médio (mg/L)	5.538	5.679		4.745	3.568	4.745

Tabela C.28 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Campina Grande: tabela 2

	Neossolos Litólicos Eutróficos	Neossolos Regolíticos Eutróficos	Planossolos Háplicos Eutróficos	Planossolos Nátricos Órticos	Vertissolos Ebânicos Órticos	Vertissolos Háplicos Órticos	Água
Quantidade	2.899	397	70	1.526	90	678	13
Secos	231	50	5	143	4	25	0
Baixa Vazão	565	89	11	310	20	98	2
Média Vazão	738	97	10	423	25	143	4
Alta Vazão	1.365	161	44	650	41	412	7
% Seco	0,080	0,126	0,071	0,094	0,044	0,037	0,000
% Baixa	0,195	0,224	0,157	0,203	0,222	0,145	0,154
% Média	0,255	0,244	0,143	0,277	0,278	0,211	0,308
% Alta	0,471	0,406	0,629	0,426	0,456	0,608	0,538
Vazão Média (L/h)	2.565	2.038	3.686	2.358	2.514	3.223	4.003
Quantidade	521	72	8	309	24	135	0
Salino	74	19	0	69	0	8	0
Salobro 2	392	48	8	210	22	116	0
Salobro 1	41	4	0	26	1	10	0
Doce	14	1	0	4	1	1	0
% Salino	0,142	0,264	0,000	0,223	0,000	0,059	
% Salobro 2	0,752	0,667	1,000	0,680	0,917	0,859	
% Salobro 1	0,079	0,056	0,000	0,084	0,042	0,074	
% Doce	0,027	0,014	0,000	0,013	0,042	0,007	
STD médio (mg/L)	5.625	6.976	2.612	7.087	3.935	3.925	

C.5 Tabelas de Dados da Região Intermediária de Patos

•Tipos de Aquíferos

Tabela C.29 – Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na região de Patos

	Fraturado	Poroso
Quantidade	1.049	104
Secos	36	0
Baixa Vazão	142	13
Média Vazão	327	34
Alta Vazão	544	57
% Seco	0,034	0,000
% Baixa	0,135	0,125
% Média	0,312	0,327
% Alta	0,519	0,548
Vazão Média (L/h)	2.792	3.348
Quantidade	116	9
Salino	0	0
Salobro 2	44	1
Salobro 1	39	6
Doce	33	2
% Salino	0,000	0,000
% Salobro 2	0,379	0,111
% Salobro 1	0,336	0,667
% Doce	0,284	0,222
STD médio (mg/L)	1.561	706

•Domínios Hidrogeológicos

Tabela C.30 – Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de Patos

	Formações Cenozóicas	Bacias Sedimentares	Cristalino	Metassedimentos / Metavulcânicas
Quantidade	100	4	728	321
Secos	0	0	28	8
Baixa Vazão	13	0	117	25
Média Vazão	32	2	222	105
Alta Vazão	55	2	361	183
% Seco	0,000	0,000	0,038	0,025
% Baixa	0,130	0,000	0,161	0,078
% Média	0,320	0,500	0,305	0,327
% Alta	0,550	0,500	0,496	0,570
Vazão Média (L/h)	3.277	5.125	2.628	3.164
Quantidade	8	1	83	33
Salino	0	0	0	0
Salobro 2	1	0	30	14
Salobro 1	5	1	28	11
Doce	2	0	25	8
% Salino	0,000	0,000	0,000	0,000
% Salobro 2	0,125	0,000	0,361	0,424
% Salobro 1	0,625	1,000	0,337	0,333
% Doce	0,250	0,000	0,301	0,242
STD médio (mg/L)	699	768	1.418	1.919

•Ordem dos Solos

Tabela C.31 – Distribuição dos poços por ordem dos solos na região de Patos

	Afloramentos de Rochas	Argissolos	Cambissolos	Luvisolos	Neossolos	Planossolos	Água
Quantidade	175	224	5	739	1.135	662	18
Secos	9	14	0	23	36	18	0
Baixa Vazão	23	33	1	115	154	98	1
Média Vazão	55	67	2	201	350	181	11
Alta Vazão	88	110	2	400	595	365	6
% Seco	0,051	0,063	0,000	0,031	0,032	0,027	0,000
% Baixa	0,131	0,147	0,200	0,156	0,136	0,148	0,056
% Média	0,314	0,299	0,400	0,272	0,308	0,273	0,611
% Alta	0,503	0,491	0,400	0,541	0,524	0,551	0,333
Vazão Média (L/h)	2.852	3.065	5.888	2.955	2.859	2.928	1.786
Quantidade	14	18	0	99	123	94	2
Salino	0	0	0	0	0	0	0
Salobro 2	5	7	0	39	45	36	0
Salobro 1	3	5	0	36	45	34	0
Doce	6	6	0	24	33	24	2
% Salino	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
% Salobro 2	0,357	0,389		0,394	0,366	0,383	0,000
% Salobro 1	0,214	0,278		0,364	0,366	0,362	0,000
% Doce	0,429	0,333		0,242	0,268	0,255	1,000
STD médio (mg/L)	2.411	2.139		1.481	1.518	1.456	383

•Composição dos Solos

Tabela C.32 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Patos

	Afloramentos de Rochas	Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Cambissolos Háplicos tb Eutróficos	Luvisolos Crômicos Órticos	Neossolos Litólicos Eutróficos	Neossolos Regolíticos Eutróficos	Planossolos Nátricos Órticos	Água
Quantidade	175	224	5	739	1.135	1	662	18
Secos	9	14	0	23	36	0	18	0
Baixa Vazão	23	33	1	115	154	1	98	1
Média Vazão	55	67	2	201	350	0	181	11
Alta Vazão	88	110	2	400	595	0	365	6
% Seco	0,051	0,063	0,000	0,031	0,032	0,000	0,027	0,000
% Baixa	0,131	0,147	0,200	0,156	0,136	1,000	0,148	0,056
% Média	0,314	0,299	0,400	0,272	0,308	0,000	0,273	0,611
% Alta	0,503	0,491	0,400	0,541	0,524	0,000	0,551	0,333
Vazão Média (L/h)	2.852	3.065	5.888	2.955	2.859	400	2.928	1.786
Quantidade	14	18	0	99	123	0	94	2
Salino	0	0	0	0	0	0	0	0
Salobro 2	5	7	0	39	45	0	36	0
Salobro 1	3	5	0	36	45	0	34	0
Doce	6	6	0	24	33	0	24	2
% Salino	0,000	0,000		0,000	0,000		0,000	0,000
% Salobro 2	0,357	0,389		0,394	0,366		0,383	0,000
% Salobro 1	0,214	0,278		0,364	0,366		0,362	0,000
% Doce	0,429	0,333		0,242	0,268		0,255	1,000
STD médio (mg/L)	2.411	2.139		1.481	1.518		1.456	383

C.6 Tabelas de Dados da Região Intermediária de Sousa - Cajazeiras

•Tipos de Aquíferos

Tabela C.33 – Distribuição dos poços por tipos de aquíferos na região de Sousa - Cajazeiras

	Fraturado	Poroso
Quantidade	584	703
Secos	36	12
Baixa Vazão	95	58
Média Vazão	194	151
Alta Vazão	259	482
% Seco	0,062	0,017
% Baixa	0,163	0,083
% Média	0,332	0,215
% Alta	0,443	0,686
Vazão Média (L/h)	2.461	3.562
Quantidade	54	34
Salino	0	0
Salobro 2	10	11
Salobro 1	27	17
Doce	17	6
% Salino	0,000	0,000
% Salobro 2	0,185	0,324
% Salobro 1	0,500	0,500
% Doce	0,315	0,176
STD médio (mg/L)	808	977

•Domínios Hidrogeológicos

Tabela C.34 – Distribuição dos poços por domínios hidrogeológicos na região de Sousa - Cajazeiras

	Formações Cenozóicas	Bacias Sedimentares	Cristalino	Metassedimentos / Metavulcânicas
Quantidade	231	472	527	57
Secos	5	7	31	5
Baixa Vazão	22	36	82	13
Média Vazão	40	111	175	19
Alta Vazão	164	318	239	20
% Seco	0,022	0,015	0,059	0,088
% Baixa	0,095	0,076	0,156	0,228
% Média	0,173	0,235	0,332	0,333
% Alta	0,710	0,674	0,454	0,351
Vazão Média (L/h)	4.211	3.244	2.476	2.323
Quantidade	12	22	53	1
Salino	0	0	0	0
Salobro 2	6	5	9	1
Salobro 1	4	13	27	0
Doce	2	4	17	0
% Salino	0,000	0,000	0,000	0,000
% Salobro 2	0,500	0,227	0,170	1,000
% Salobro 1	0,333	0,591	0,509	0,000
% Doce	0,167	0,182	0,321	0,000
STD médio (mg/L)	1.285	809	791	1.723

•Ordem dos Solos

Tabela C.35 – Distribuição dos poços por ordem dos solos na região de Sousa - Cajazeiras

	Argissolos	Latossolos	Luvisolos	Neossolos	Planossolos	Vertissolos
Quantidade	438	160	523	1.127	614	235
Secos	19	6	31	42	22	7
Baixa Vazão	66	23	74	130	60	28
Média Vazão	102	47	170	298	197	46
Alta Vazão	251	84	248	657	335	154
% Seco	0,043	0,038	0,059	0,037	0,036	0,030
% Baixa	0,151	0,144	0,141	0,115	0,098	0,119
% Média	0,233	0,294	0,325	0,264	0,321	0,196
% Alta	0,573	0,525	0,474	0,583	0,546	0,655
Vazão Média (L/h)	3.146	2.576	2.526	3.131	2.743	3.732
Quantidade	58	34	58	54	23	7
Salino	0	0	0	0	0	0
Salobro 2	16	11	15	10	4	1
Salobro 1	30	18	27	26	10	4
Doce	12	5	16	18	9	2
% Salino	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% Salobro 2	0,276	0,324	0,259	0,185	0,174	0,143
% Salobro 1	0,517	0,529	0,466	0,481	0,435	0,571
% Doce	0,207	0,147	0,276	0,333	0,391	0,286
STD médio (mg/L)	953	994	876	797	685	830

•Composição dos Solos

Tabela C.36 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Sousa - Cajazeiras: tabela 1

	Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Latossolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	Luvissolos Crômicos Órticos	Luvissolos Crômicos Pálicos	Neossolos Flúvicos Eutróficos
Quantidade	409	160	363	160	235
Secos	18	6	25	6	7
Baixa Vazão	62	23	51	23	28
Média Vazão	89	47	123	47	46
Alta Vazão	240	84	164	84	154
% Seco	0,044	0,038	0,069	0,038	0,030
% Baixa	0,152	0,144	0,141	0,144	0,119
% Média	0,218	0,294	0,339	0,294	0,196
% Alta	0,587	0,525	0,452	0,525	0,655
Vazão Média (L/h)	3.213	2.576	2.503	2.576	3.732
Quantidade	58	34	24	34	7
Salino	0	0	0	0	0
Salobro 2	16	11	4	11	1
Salobro 1	30	18	9	18	4
Doce	12	5	11	5	2
% Salino	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% Salobro 2	0,276	0,324	0,167	0,324	0,143
% Salobro 1	0,517	0,529	0,375	0,529	0,571
% Doce	0,207	0,147	0,458	0,147	0,286
STD médio (mg/L)	953	994	708	994	830

Tabela C.37 – Distribuição dos poços por composição dos solos na região de Sousa - Cajazeiras: tabela 2

	Neossolos Litólicos Distróficos	Neossolos Litólicos Eutróficos	Neossolos Regolíticos Eutróficos	Planossolos Háplicos Eutróficos	Planossolos Nátricos Órticos	Vertissolos Háplicos Órticos
Quantidade	29	1.098	308	1	613	235
Secos	1	41	3	0	22	7
Baixa Vazão	4	126	20	1	59	28
Média Vazão	13	285	93	0	197	46
Alta Vazão	11	646	192	0	335	154
% Seco	0,034	0,037	0,010	0,000	0,036	0,030
% Baixa	0,138	0,115	0,065	1,000	0,096	0,119
% Média	0,448	0,260	0,302	0,000	0,321	0,196
% Alta	0,379	0,588	0,623	0,000	0,546	0,655
Vazão Média (L/h)	2.211	3.156	2.886	350	2.747	3.732
Quantidade	0	54	8	0	23	7
Salino	0	0	0	0	0	0
Salobro 2	0	10	2	0	4	1
Salobro 1	0	26	5	0	10	4
Doce	0	18	1	0	9	2
% Salino		0,000	0,000		0,000	0,000
% Salobro 2		0,185	0,250		0,174	0,143
% Salobro 1		0,481	0,625		0,435	0,571
% Doce		0,333	0,125		0,391	0,286
STD médio (mg/L)		797	806		685	830

REFERÊNCIAS

Albuquerque, J. d. P. T. Contribuição ao conhecimento do sistema cristalino do estado da paraíba como meio aquífero. *Águas Subterrâneas*, out. 1984. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24265>>. Citado na página 2.

Alves, R. V. et al. Qualidade da água consumida pelos moradores do semiárido paraibano após dessalinização. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 6, n. 1, p. 222–245, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0018>>. Citado na página 2.

Amaral, K.; Machado, N.; Navoni, J. Implantação de sistemas de dessalinização em comunidades rurais do semiárido do rio grande do norte: percepção social da água potável e das ações voltadas a ampliar o seu acesso universal. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 54, p. 362–378, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/dma.v54i0.70737>>. Citado na página 2.

ANA; CPRM. *Precipitação*. 2016. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/befdedc6-d753-4f09-a309-8957d7fe5f61>>. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 18.

Araújo, L. A.; Lima, J. P. R. Transferências de renda e empregos públicos na economia sem produção do semiárido nordestino. *Planejamento e Políticas Públicas*, v. 33, p. 45–78, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3993/2/PPP_n33_Transferencias.pdf>. Citado na página 2.

Azevêdo, A. C. Verso e reverso das políticas públicas de Água para o semiárido brasileiro. *Política e Planejamento Regional*, v. 2, n. 2, p. 373–392, 2015. Disponível em: <<https://www.revistappr.com.br/artigos/publicados/artigo-verso-e-reverso-das-politicas-publicas-de-agua-para-o-semiarido-brasileiro.pdf>>. Citado na página 2.

- Bomfim, L. F. C. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente sig: Concepção e metodologia. *Águas Subterrâneas*, set. 2010. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22886>>. Citado 3 vezes nas páginas 17, 18 e 41.
- BONFIM, L. F. C. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente sig: Concepção e metodologia. *Águas Subterrâneas*, 2010. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22886>>. Citado na página 49.
- CONAMA. CONAMA 357/05. 2005. Acessado no dia 15.08.2023. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.
- CONAMA. CONAMA 396/08. 2008. Acessado no dia 15.08.2023. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 7 e 8.
- Cunha, T. J. F. et al. *Argissolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/argissolos>>. Citado na página 13.
- Cunha, T. J. F. et al. *Cambissolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/cambissolos>>. Citado na página 14.
- Cunha, T. J. F. et al. *Latosolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/latossolos>>. Citado na página 14.
- Cunha, T. J. F. et al. *Luvissolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/luvissolos>>. Citado na página 15.
- Cunha, T. J. F. et al. *Neossolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/neossolos>>. Citado na página 15.
- Cunha, T. J. F. et al. *Planossolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/planossolos>>. Citado na página 15.
- Cunha, T. J. F. et al. *Vertissolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/vertissolos>>. Citado na página 15.
- Dart, R. d. O.; EMBRAPA. *Solos do Brasil*. 2020. Acessado no dia 15.08.2023. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

de Lima, E. A. et al. Possibilidades de aproveitamento das águas subterrâneas do estado da paraíba na agricultura irrigada utilizando o gráfico do u.s. salinity laboratory. *Águas Subterrâneas*, set. 2010. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22873>>. Citado na página 3.

de Lima, E. A. et al. Mapa de variação da concentração total de sais das águas subterrâneas da região nordeste do brasil. *Águas Subterrâneas*, set. 2008. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23756>>. Citado na página 2.

de Oliveira, F. A.; Silveira, C. d. S.; Vasconcelos, F. d. C. Análise da influência da perfuração de poços no convívio com as secas no semiárido nordestino: Estudo de caso na comunidade de riacho das flores em reriutaba/ce-brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 3, 2020. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhdSxYqgBwJ4RyshBjpHQLp/?lang=pt>>. Citado na página 1.

EMBRAPA. *Chave do SiBCS*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 48.

Feitosa, F. A. C.; Diniz, J. A. O. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. *Águas Subterrâneas*, dez. 2011. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28026>>. Citado na página 2.

Feitosa, F. A. C. et al. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3^a. ed. [s.n.], 2008. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14818>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

Fetter, C. W. *Applied Hydrogeology*. 4th. ed. London, UK: [s.n.], 2014. Citado na página 17.

Freeze, R. A.; Cherry, J. A. *Groundwater*. [s.n.], 1979. Disponível em: <<https://gw-project.org/livros/groundwater>>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

Fuckner, M. A.; CPRM. *Domínios Hidrogeológicos*. ANA, 2021. Acessado no dia 15.08.2023. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/226381bf-48bd-4c75-8b3e-2372157438fb>>. Citado na página 16.

Gomes, T. et al. Spodosols. *Revista Ambientale*, v. 12, p. 1–7, 07 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.34032/ambientale.v12i2.196>>. Citado na página 14.

IBGE. *Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias 2017*. [S.l.: s.n.], 2017. ISBN 9788524044182. Citado na página 9.

IBGE. *API de Malhas Geográficas*. 2020. Acessado no dia 15.08.2023. Disponível em: <<https://servicodados.ibge.gov.br/api/docs/malhas?versao=3>>. Citado 3 vezes nas páginas XVII, 6 e 9.

IBGE. *Semiárido Brasileiro*. 2022. Accessed in February 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html>>. Citado 2 vezes nas páginas XVII e 10.

Mesquita, P. et al. Importância dos programas voltados aos agricultores familiares nos períodos de seca frente à necessidade de adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 55, p. 599–618, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.72974>>. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 2.

MS. MS 888/21. 2021. Acessado no dia 15.08.2023. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 7 e 8.

NUNES, M. *Estudos em Direito Ambiental - Desenvolvimento, desastres e regulação*. [S.l.: s.n.], 2022. ISBN 9786599918384. Citado 2 vezes nas páginas XVII e 11.

PBMC. *Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. 2016. Citado na página 10.

Saraiva, S. M. *Caracterização de Luvisolos, Neossolos Regolíticos e Planossolos ao Longo de um Gradiente Pluviométrico no Semiárido Brasileiro*. 2016. Citado na página 15.

Sartori, A.; Lombardi Neto, F.; Genovez, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos estados unidos parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 4, p. 5–18, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>>. Citado 7 vezes nas páginas XXI, 12, 13, 14, 15, 39 e 55.

SILVA, P. C. G. d. et al. Caracterização do semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: *Semiárido Brasileira: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 17–48. Citado na página 10.

Stürmer, S. L. K. et al. Relação da granulometria do solo e morfologia do saprolito com a infiltração de água em neossolos regolíticos do rebordo do planalto do rio grande do sul. *Ciênc. Rural*, v. 37, n. 7, p. 2057–2064, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000141>>. Citado na página 15.

Theis, C. V. The source of water derived from wells. *Civil Eng.*, v. 10, p. 277–280, 1940. Disponível em: <https://www.eqb.state.mn.us/sites/default/files/documents/Source_of_Water_Derived_from_Wells.pdf>. Citado na página 19.

Zaroni, M. J.; dos Santos, H. G. *Espodossolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/chave-do-sibcs/espodossolos>>. Citado na página 14.

Zaroni, M. J.; dos Santos, H. G. *Gleissolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/gleissolos>>. Citado na página 14.