

## **MESTRADO EM GESTÃO E POLÍTICAS AMBIENTAIS**

**Caracterização físico-química de pontos de águas (nascentes e furos) e sua relação com o uso e ocupação do solo - concelho da Ribeira Brava, ilha de São Nicolau-Cabo Verde.**

**Orientadora: Manuela Morais**

**Co-orientadora: Sónia Silva**

**Discente: Kátia Vicente**

Setembro de 2024



## **Agradecimentos**

Primeiramente, gostaria de agradecer àqueles a quem dedico este trabalho, por permitiram em que tudo isto acontecesse: a minha família.

Gostaria de dedicar um especial agradecimento à minha Orientadora Professora Doutora Maria Manuela Morais, pela orientação e pelo apoio para concretização do mesmo nas suas mais diversas fases, principalmente na recolha/análise de dados.

Deixa expresso um grande agradecimento à minha Coorientadora Professora Doutora Sónia Maria Duarte Melo Silva Victória, pela paciência e apoio na realização da tese em todas as fases.

Agradecer, a todos os docentes do Programa de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais, à Universidade de Cabo Verde, à Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa - REALP. Os meus sinceros e profundo agradecimento a toda equipa do Laboratório da Água da Universidade de Évora - LAUE, pelo apoio prestado durante o período de análise físico-química das amostras de água este agradecimento é extensivo à Universidade de Évora à qual pertence o LAUE Gostaria ainda de agradecer ao projeto ERASMUS AMIGO que permitiu a realização de mobilidades da Universidade de Évora para a Universidade de Cabo Verde da minha orientadora Prof<sup>a</sup> Doutora Maria Manuela Morais

Gostaria ainda de agradecer a todos os colegas desta caminhada, pelo bom relacionamento e pelas aprendizagens partilhadas à luz das reflexões e debates.

Por último agradeço ao meu estimado companheiro pelo apoio, carinho e paciência, durante este processo, e aos meus filhos pelos momentos que os privei da minha companhia.

A todos, um muito OBRIGADO!

## Índice

Resumo .....	1
Abstrat.....	2
1. Introdução.....	3
1.1. Objetivos .....	4
1.2. Resenha Histórica .....	5
1.3. Metodologia .....	7
2. Enquadramento regional e geológico.....	9
2.1. Localização e caracterização da zona de estudo (fig. 2) .....	9
2.1.1. Clima.....	11
2.1.2. Geologia .....	11
2.1.3. Geomorfologia .....	16
2.1.4. Enquadramento hidrogeológico .....	20
2.1.4.1. Caracterização Hidrogeológica das Formações Vulcânicas.....	20
2.1.5. Recursos hídricos .....	20
2.1.6. Hidrografia .....	22
2.1.7. Hidrogeologia.....	23
2.1.8. Uso e ocupação do solo .....	25
3. Dinâmica temporal de descritores físico-químicos da água .....	29
3.1. Metodologia .....	29
3.1.1. Periodicidade de amostragem e metodologia de campo .....	29
3.1.2. Metodologia laboratorial.....	30
3.1.3. Tratamento dos resultados .....	30
3.2. Resultados e discussão .....	31
3.2.1. Descritores físico-químicos da água.....	31
3.3. Considerações finais .....	41
Referências bibliografias .....	42
Anexo .....	46

## Índice de figuras:

Figure 1 Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde na costa ocidental de África.....	9
Figure 2 Localização da área de estudo .....	10
Figure 3 Gráfico das formações geológicas (%) de São Nicolau.....	14
Figure 4 Mapa geológico de São Nicolau com a localização dos pontos de água. ....	15
Figure 5 Mapa topográfico da ilha de São Nicolau .....	17
Figure 6 Mapa de declives da Ilha de São Nicolau .....	18
Figure 7 Carta das bacias hidrográficas da ilha de São Nicolau .....	23
Figure 8 Ocupação de solo (%) na ilha de São Nicolau .....	27
Figure 9 Carta uso e ocupação do solo de São Nicolau .....	28
Figure 10 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores do magnésio e a direita do sódio .....	32
Figure 11 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores do cálcio e a direita do potássio .....	33
Figure 12 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores dos cloretos e a direita dos sulfatos.....	34
Figure 13 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores dos COT e a direita dos bicarbonatos .....	34
Figure 14 resultados Amónio nos anos no período antes e depois das chuvas .....	35
Figure 15 resultado azoto nos períodos antes e depois das chuvas.....	36
Figure 16 resultados nitratos nos períodos antes e depois das chuvas .....	37
Figure 17 resultados fósforo nos períodos antes e depois das chuvas .....	37
Figure 18 resultados sílica nos períodos antes e depois das chuvas .....	38
Figure 19 Ordenação dos descritores físico-químicos e amostragens (2022-2023) nos 11 pontos de estudo .....	40

## Resumo

Tendo em conta o contexto atual dos recursos hídricos a nível de Cabo Verde, o presente trabalho tem como objetivo principal fazer a caracterização físico-química de alguns pontos de água do município de Ribeira Brava, São Nicolau e ver a sua relação com a geologia e o uso e ocupação do solo. Para a realização do trabalho foram feitas duas campanhas de amostragem em 11 pontos em dois períodos diferentes: antes e depois das chuvas. Foram recolhidas amostras em diferentes bacias hidrográficas relacionando assim o uso e ocupação do solo. As amostras foram analisadas no laboratório de água da Universidade de Évora-Portugal. Para obtenção dos resultados foram utilizados modelos estatísticos nomeadamente o Excel, a correlação de Pearson e o PCA. Os resultados obtidos mostram que a maioria dos pontos estudados se encontram em zonas de arbustivas onde se realizam pastoreios níveis com pouca pressão antrópica e que apresentam parâmetros físico-químicos com valores dentro dos limites exigidos pela lei caboverdiana no que tange a qualidade das águas. Os pontos situados em zonas edificadas mostram uma tendencia para contaminação com um ponto em específico que se destacou por ter valores de COT, amônio e nitratos altos sugestivos a que este ponto esteja sendo alvo de contaminação o que provavelmente pode ser explicado devido a sua localização bastante próxima do centro urbano e no fundo da ribeira sofrendo com a lixiviação, erosão e pressão antropogênica.

**Palavra-chave:** água, qualidade, contaminação, geologia, uso e ocupação de solo.

## Abstrat

Taking into account the current context of water resources in Cape Verde, the main objective of this work is to carry out the physical-chemical characterization of some water points in the municipality of Ribeira Brava, São Nicolau and see their relationship with geology and land use and occupation. To carry out the work, two sampling campaigns were carried out at 11 points in two different periods: before and after the rains. Samples were collected in different river basins, thus relating land use and occupation. The samples were analyzed in the water laboratory at the University of Évora-Portugal. To obtain the results, statistical models were used, namely Excel, Pearson correlation and PCA. The results obtained show that the majority of the points studied are located in shrubby areas where grazing is carried out at levels with little human pressure and which present physical-chemical parameters with values within the limits required by Cape Verdean law regarding water quality. Points located in built-up areas show a tendency for contamination with a specific point that stood out for having high TOC, ammonium and nitrate values suggesting that this point is being targeted for contamination, which can probably be explained due to its very location. close to the urban center and at the bottom of the river suffering from leaching, erosion and anthropogenic pressure.

**Keywords:** water, quality, contamination, geology, land use and occupation.

## 1. Introdução

Dada a gravidade das consequências dos impactes ambientais no mundo, sobretudo durante o século XXI, existe presentemente uma grande preocupação com as questões ambientais com importância equivalente às discussões económicas e sociais. No âmbito dessas preocupações encontra-se, indubitavelmente, a água.

A água é um recurso natural renovável muito abundante, no entanto sua forma doce é bastante reduzida. Face às necessidades crescentes da sua utilização no mundo atual, a água assume uma elevada importância estratégica, dada a progressiva escassez. Entre estas necessidades assumem particular relevância o abastecimento de água para consumo humano, para o qual se exigem rigorosos padrões de qualidade, quer da água fornecida, quer do serviço prestado aos consumidores.

Segundo Pina (2009), os recursos hídricos têm um papel importante no desenvolvimento de regiões e países. Em África esses recursos são determinantes para combater a pobreza e melhorar as condições de saúde, aumentar a produtividade agrícola, melhorar o setor de turismo, e para a manutenção da biodiversidade. As causas da escassez de água estão em parte relacionadas com causas naturais nomeadamente a localização geográfica, ocorrência de condições hidrogeológicas complexas e as próprias características das redes hidrográficas. Estas causas naturais são, no entanto, agravadas por uma gestão deficiente dos recursos hídricos.

A questão da água é um tema muito sensível em Cabo Verde. Um arquipélago com um território terrestre reduzido em relação ao território marinho torna esse bem ainda mais precioso. As principais fontes de água utilizadas para o consumo no país são os furos de exploração, as nascentes/poços e a dessalinização da água do mar (Água e Saneamento Básico, 2005). As características climáticas e geomorfológicas das ilhas que integram o arquipélago caracterizam-se pela existência de vales profundos e abruptos percorridos por cursos de água de regime temporário e torrencial durante a estação das chuvas, através dos quais 70% a 90% da precipitação se escoam sob forma torrencial, o que em pouco tempo causa erosão dos solos e transporta uma grande massa de água para o mar com muita matéria dissolvida, e em suspensão, proveniente dos terrenos e

solos erudidos. Este fenómeno tem tendência a acentuar-se num quadro de alterações climáticas, representando uma ameaça ao processo de desenvolvimento do país, afetando em particular a população mais pobre e vulnerável (Paulo N. 2015).

A água é considerada um importante agente transportador, pois, à medida que circula na paisagem, reage com as superfícies com as quais entra em contato, sendo que essa interação é responsável pelas alterações da sua composição química. Os fluxos hídricos superficiais assumem um importante papel no transporte dos elementos químicos determinado pelo grau de intemperismo e pela litologia original, (Andrade et al. 2009).

A águas subterrânea é uma componente importante do ciclo hidro geológico, devido à forte pressão antrópica sofrida ao longo dos tempos. Algumas regiões estão sofrendo com uma rápida diminuição da disponibilidade e aumento de contaminação (Avila et al. 2022).

Neste sentido torna-se importante um conhecimento mais profundo e alargado sobre o tema. As nascentes e os furos são considerados pontos de acesso à água subterrânea, estão sendo alvo de forte pressão, necessitando consequentemente de ser estudada para que se possa definir e implementar uma gestão sustentável da água.

## 1.1. Objetivos

A hidrologia e os recursos hídricos no arquipélago vem sendo alvo de estudo ao longo dos anos, nas suas várias áreas adjacentes como a geologia, hidrologia e hidrogeologia. O presente projeto tem o objetivo de contribuir para colmatar a escassez de estudos a nível local e regional sobre as características físico-químicas das águas subterrâneas e sua relação com a geologia e o uso e ocupação do solo do concelho de Ribeira Brava de São Nicolau.

Nesse sentido o objetivo geral do presente trabalho é a caracterização físico-química de 11 pontos de águas (nascentes e furos), situadas no concelho da Ribeira Brava, ilha de São Nicolau-Cabo Verde.

Como objetivos específicos pretende-se:

- a) Avaliar a qualidade da água das nascentes objeto de estudo, utilizando a legislação caboverdiana em vigor;
- b) Caracterizar a geologia e geomorfologia das bacias hidrográficas dos 11 pontos objeto de estudo;
- c) Identificar o uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas dos 11 pontos objeto de estudo;
- d) Relacionar as características físico-químicas da água das nascentes estudadas com a geologia e o uso e ocupação do solo;
- e) Identificar as pressões antropogênicas das bacias hidrográficas dos 11 pontos objeto de estudo.

## 1.2. Resenha Histórica

Em Cabo Verde, os estudos sobre a hidrogeologia foram realizados por Costa na década de sessenta, abordando os temas da problematização dos usos da água para a agricultura e criação de gado, entre outros fins. Na década seguinte houve maior desenvolvimento com os trabalhos desenvolvidos por Vailleux e Bourguet (1974), que realizaram em todo o arquipélago um projeto de investigação sobre águas subterrâneas tendo em consequência sido produzidos mapas de pontos de água. Estes trabalhos com sondagens elétricas constituiu a base de reconhecimento geofísico nas ilhas de São Nicolau, Boa Vista, Fogo e Santiago, enquanto que nas restantes ilhas foi realizado um levantamento sumário das nascentes e poços. A partir de 1975 as Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), tem auxiliando Cabo Verde, com estudos sobre os recursos hídricos, contribuindo para a identificação, realização de furos em várias ilhas do arquipélago. Neste âmbito foram realizados três projetos nos anos 1979 a 1986, com intuito de analisar os resultados hidrológicos sobre os recursos de água do arquipélago, assim como sugerir recomendações para o planeamento e gestão sustentável dos recursos hídricos do país.

INGRH & Cooperação Espanhola (1994) no trabalho de Síntese Geo-hidrológica de Cabo Verde, disponibilizaram informações sobre a hidrologia, geologia, hidroquímica e hidrogeologia das ilhas de Cabo Verde, sobre a nova estrutura de gestão e perspectivas futuras para o sector. Recomendaram também diferentes ações para conhecer melhor a realidade hidrogeológica do país. A partir da década de 90, vários autores nacionais e internacionais têm contribuindo com estudos nas diferentes ilhas, especialmente na ilha de Santiago que dispõe do maior número de estudos realizados.

## ENQUADRAMENTO JURÍDICO DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS

A legislação cabo-verdiana respeitante à gestão dos recursos hídricos tem evoluído de forma significativa ao longo dos anos. Os diplomas mais relevantes que exemplificam essa evolução são os seguintes:

- Decreto-Lei n.º 75/99, de 30 de dezembro, respeitante aos serviços de produção e distribuição de água e de recolha de águas residuais;
- Lei n.º 45/VIII/2013, de 17 de setembro, que criou o Conselho Nacional da Água e Saneamento;
- Lei n.º 46/VIII/2013, de 17 de setembro, que criou a Agência Nacional de Água e Saneamento (ANAS) e aprovou os seus estatutos;
- Decreto-Lei n.º 130/2013, de 12 de setembro, entretanto revogado pelo Artigo 374.º do Código de Água e Saneamento (CAS), que respeitava à transferência de infraestruturas de saneamento ambiental e à sua gestão e exploração;
- Resolução n.º 10/2015, de 20 de fevereiro, que aprovou o Plano Estratégico Nacional de Água e Saneamento (PLENAS);
- Decreto Legislativo n.º 3/2015, de 19 de outubro, que aprovou o Código de Água e Saneamento (CAS);
- Decreto Legislativo n.º 26/2016, de 12 de abril, que estabelece a política tarifária do setor da Água e Saneamento;
- Decreto Regulamentar n.º 5/2017, que estabelece os requisitos essenciais da qualidade da água destinada ao consumo humano;

- Decreto Legislativo n.º 5/2018, que estabelece o Regime Jurídico dos serviços de Abastecimento Público de Água e de Saneamento de Águas Residuais Urbanas;
- Decreto-Lei n.º 50/2018, de 20 de setembro, que criou a Agência Reguladora Multissetorial da Economia (ARME) e aprovou os seus estatutos;
- Regulamento Tarifário dos Serviços de Água e Saneamento (Deliberação n.º 1/ CA/2018) de 20 de dezembro;
- Regulamento de Relações Comerciais do Setor de Água e Saneamento (Deliberação n.º 2/CA/2018) de 20 de dezembro;
- Decreto n.º 4/2020 que estabelece os critérios e parâmetros para controlo da qualidade de água na origem superficial ou subterrânea, dessalinizada, águas pluviais recuperadas ou águas residuais tratadas.

Esses diplomas revelam uma progressiva relevância da gestão dos recursos hídricos no quadro legislativo cabo-verdiano, essenciais para enfrentar à escassez de água, própria das características geográficas e climáticas do País.

Relativamente às competências e atribuições das autarquias nesta matéria, são relevantes a Constituição da República de Cabo Verde e a Lei n.º 134/IV/95, de 3 de julho (Estatuto dos Municípios).

Existem outras dimensões do quadro legislativo cabo-verdiano que se cruzam com o tema da gestão da água, designadamente, o caso do Código da Contratação Pública, aprovado pela Lei n.º 88/VIII/2015, de 14 de abril; e a legislação relativa ao setor público empresarial, destacando-se a Lei n.º 104/VIII/2016, de 6 de janeiro, que decorre do Artigo 49.º daquela Lei, a Lei n.º 104/V/99, de 12 de julho, relativa ao setor empresarial local.

### 1.3. Metodologia

A metodologia utilizada no presente trabalho de investigação é multidisciplinar e implicou a interpretação de informação de diferentes áreas de conhecimento científico, nomeadamente da

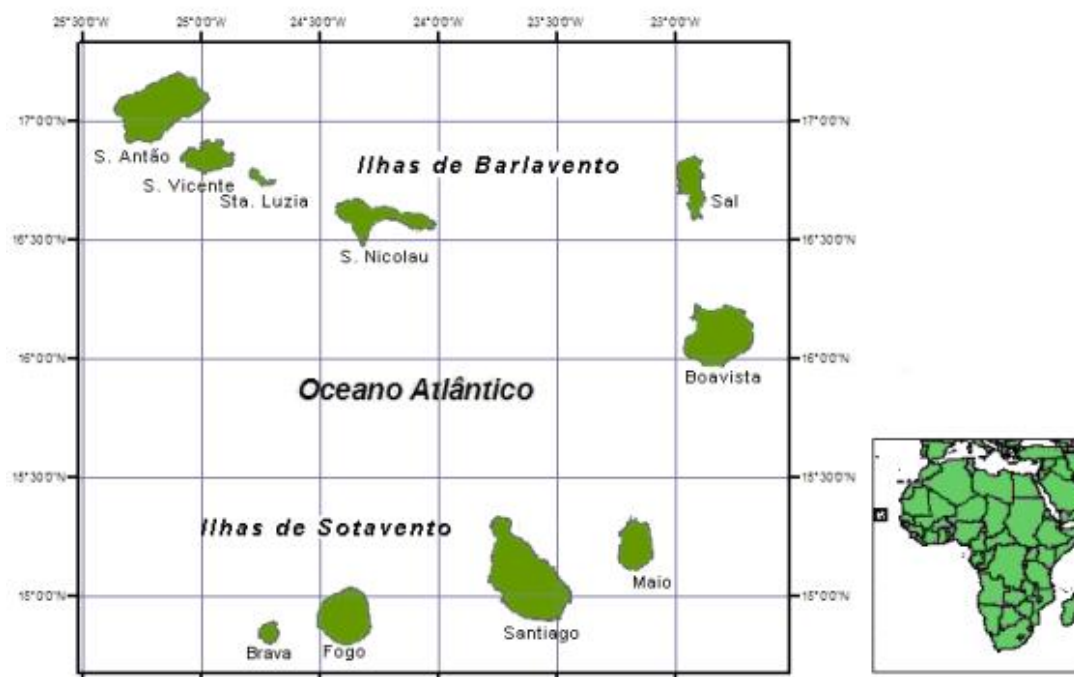
climatologia, hidrologia, geologia, hidrogeologia e geoquímica. A integração de toda informação recolhida nas diversas fases do projeto foi feita recorrendo à implementação de um sistema de informação geográfica (SIG).

Para a realização deste trabalho de investigação procedeu-se:

- ao levantamento e recompilação geral da bibliografia específica disponível sobre as diversas áreas de investigação abrangidas pelo estudo (geologia, climatologia, hidrologia, hidrogeologia, geoquímica) procedendo-se à respectiva síntese bibliográfica;
- à digitalização e correlação espacial da informação geológica e hidrológica disponível em mapas da área de estudo, utilizando o programa ArcGIS®;
- à recolha dos dados disponíveis sobre a hidrogeologia e qualidade da água na ilha de São Nicolau;
- à identificação das principais unidades hidrogeológicas, e sua distribuição espacial;
- à realização de duas campanhas de campo para a recolha de amostras de água subterrânea em furos, poços e nascentes previamente selecionados na ilha de São Nicolau, sendo a primeira realizada no mês de novembro de 2022, logo a seguir à época de chuvas; e a segunda no mês de abril de 2023 correspondendo a um período de maior estiagem na ilha;
- à utilização dos dados físico-químicos para determinar os padrões de qualidade da água.

## 2. Enquadramento regional e geológico

O arquipélago de Cabo Verde está situado no Oceano Atlântico, entre os paralelos de latitude  $14^{\circ} 48'$  e  $17^{\circ} 12'$  Norte e os meridianos de longitude  $22^{\circ} 44'$  e  $25^{\circ} 22'$  Oeste, a cerca de 455 km a Oeste de Cabo Verde do Senegal (costa ocidental de África), de onde provém o nome do arquipélago (Fig. 2.1). O arquipélago é formado por dez ilhas e treze ilhéus, nove das quais habitadas, que ocupam uma área total de 4 033 km<sup>2</sup> e têm uma população total de cerca de 491.233 habitantes (Censo de 2021), sendo que mais de metade vive na ilha de Santiago.



*Figure 1 Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde na costa ocidental de África.*

### 2.1. Localização e caracterização da zona de estudo (fig. 2)

A ilha de São Nicolau é uma das dez que compõem o arquipélago de Cabo Verde. Está situada entre os paralelos  $16^{\circ} 28' 32''$  e  $16^{\circ} 40' 41''$  N e os meridianos  $24.0 00' 47''$  e  $24.0 25' 57''$  W, no centro do arquipélago. Há a tradição de que é a única ilha, da qual se avistam todas as outras, numa situação atmosférica favorável. Integrando o grupo do Barlavento, tem como mais próximas, a Oeste, os ilhéus Branco e Raso, as ilhas de Santa Luzia, São Vicente e Santo Antão e a Este, as

ilhas do Sal e da Boavista. Com 326,7 km<sup>2</sup>, é a quinta ilha do arquipélago em superfície, depois de Santiago, Santo Antão, Boavista e Fogo. O seu maior comprimento, desenvolve-se no sentido O-E É de 44,5 km, e a sua largura máxima é de 22 km, dispostos na direção N-S.

Estas dimensões fazem com que tenha uma configuração geral alongada, a qual tem continuidade no pedestal submarino em que assenta e que se estende, na direção WNW-ESE, até Santo Antão. Sendo uma das ilhas mais recentes de Cabo Verde, tais como as ilhas do Fogo e de Santo Antão, é uma das mais montanhosas, com um relevo considerado «vigoroso». Ortograficamente é formada por um maciço vulcânico culminado pelo Monte Gordo, o mais elevado (1.304 m), a partir do qual se estendem as duas cordilheiras montanhosas da ilha: uma orientada no sentido S-N, dominando a parte Oeste, que se estende desde a Ponta da Vermelha até ao Monte Gordo, indo terminar junto a costa, na região da Praia Branca; outra, orientada no sentido E-O, que se prolonga por toda a Ponta Leste 4, desde a povoação de Castelhanos até ao Monte Matias (529 m; Teixeira, 2004).

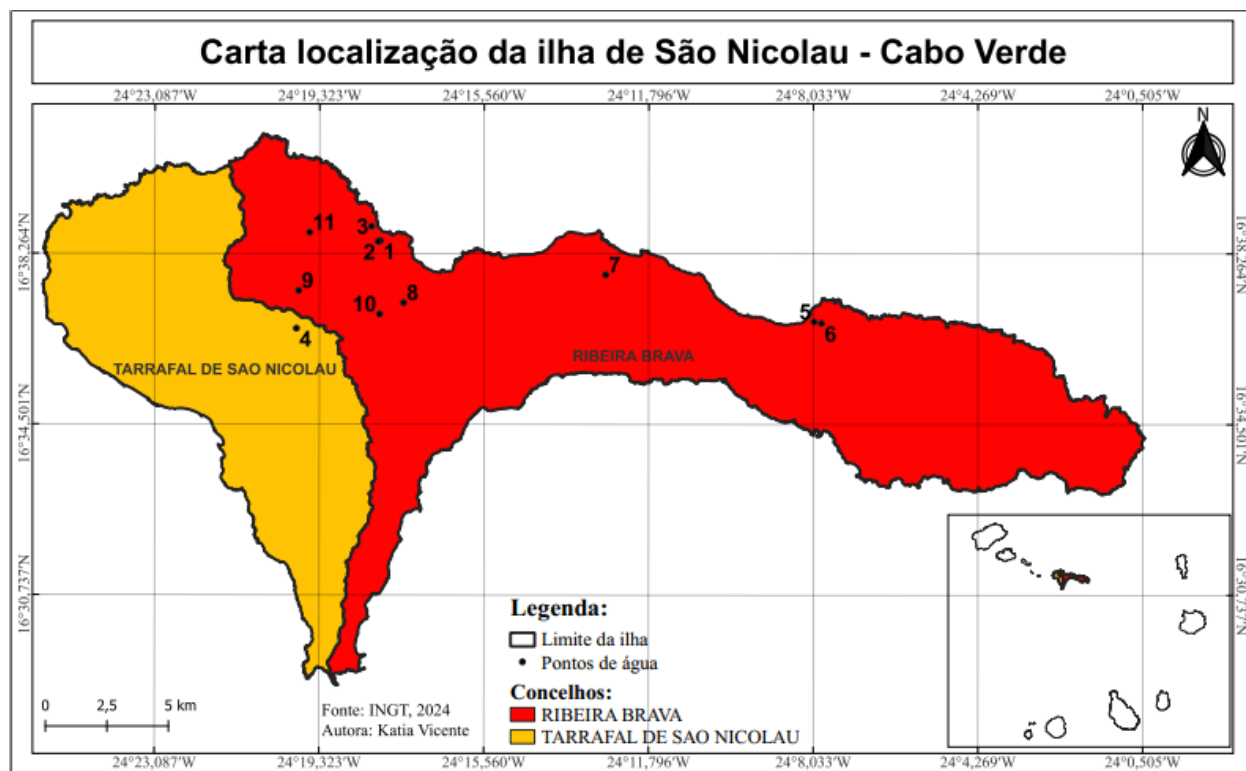


Figure 2 Localização da área de estudo

### 2.1.1. Clima

O clima de São Nicolau é semelhante ao do resto do arquipélago, sendo por isso bastante seco. Sofre a ação de três correntes de ventos principais: os alísios, que correm de NE e que determinam a estação seca (novembro-julho), apesar da sua humidade proporcionar, nas regiões altas voltadas a este quadrante, nevoeiros e orvalhadas particularmente benéficos para as culturas; os de SW, que por serem quentes e húmidos, provocam a chamada época das chuvas (julho-outubro); o harmatão que sopra de Este (do continente africano), caracteriza-se por ser uma corrente muito seca, quente e com poeiras, que quando ocorre, acentua a aridez da ilha.

A pluviosidade, é muito irregular, tanto na sua distribuição espacial como distribuição temporal. Por exemplo, na povoação da Ribeira Brava, ao centro, chove muito mais que no porto da Preguiça, a Sul (Teixeira A., 2004). As precipitações tem carácter torrencial com média anual de 214 mm. Os aguaceiros formados nas épocas de chuva dificultam a infiltração e provocam erosão nas superfícies despidas de vegetação. Monte Gordo é a parte mais húmida da ilha com média de precipitação de 600 mm por ano, e suas articulações entre Praia Branca e Vila da Ribeira Brava. É a região da ilha onde o relevo é mais ondulado e as altitudes são mais elevadas, enquanto as partes meridionais da ilha recebem uma precipitação anual de 100 mm ao ano (J. C. Olivry).

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG, 2024) a média de precipitação para o concelho de Ribeira Brava foram de 294,7mm e de 167mm, respetivamente em 2022 e em 2023. Sendo que no ano de 2022 a época de chuvas foi do mês de junho ao mês de setembro, enquanto que no ano seguinte além de ter chovido menos, em termos da média de precipitação, a época chuvosa foi de julho a setembro. O mês com maior precipitação é o mês de setembro.

As temperaturas mensais variam entre os 22 e 27°C, com médias anuais de 24,65°C no ano 2023 (meteoBlue, 2024). Estes valores dizem respeito a um único posto, instalado junto ao mar e na zona sul. A média para a ilha será mais baixa e as amplitudes talvez mais pronunciadas.

### 2.1.2. Geologia

Do ponto de vista geológico, a ilha de São Nicolau assim como as outras ilhas que constituem o arquipélago, são de origem vulcânica. A ilha caracteriza-se, por uma grande irregularidade do

terreno, com numerosas elevações a oeste, de dimensão média e vales profundos, que quase sempre terminam numa costa abrupta e rochosa. Acrescente-se que, do ponto de vista geológico, a ilha é formada principalmente por mantos basálticos, acompanhados de produtos piroclásticos, que dominam certas regiões do Sul, que lhe conferem um aspecto mais árido, com alguns fonolíticos e outras rochas relativamente ácidas. Na base da escarpa de falha afloram palagonitos, que podem corresponder ao complexo mais antigo (Pina, 2009). Em vários pontos da ilha existem pequenas segregações de rochas granulares. Por outro lado, as condições do clima e do relevo determinaram que os materiais das últimas manifestações vulcânicas fossem projetados também para Sul, diferenciando assim, os mantos geológicos que a cobrem.

Segundo Bebiano, (1932, apud; Goth, 2014) os produtos vulcânicos escoaram principalmente pela cratera principal que atualmente ocupa a área designada de Monte Gordo. Por vezes é cortada por filões de rochas ácidas, como podem ser observadas em áreas como sobretudo as que abrangem o vale da ribeira Brava o vale da ribeira do Recanto e a Figueira de Coxe.

Os filões apresentam um certo contraste entre a cor branca das rochas ácidas e a cor escura do manto basáltico, aos quais Bebiano (1932) designou por “*complexo da Vila*”.

Bebiano (1932) e Nunes (1962) identificaram uma interrupção de uma fratura na região da Preguiça que separa o corpo da ilha de uma cauda, Bebiano (1932) afirma que a parte mais estreita da ilha se formou a partir dos vulcões secundários situados nas proximidades do Monte Bissau, Tope Simon e Monte Vermelho. Em certas áreas, observam-se vulcões que foram expelindo grande quantidade de lapillís. Vulcões, esses, que se apresentam hoje em formato de “caldeiras”. A descoberta dos sedimentos fossilizados bem como a presença de fósseis marinhos no Monte Focinho veio comprovar que o atual campo da Preguiça esteve submerso, tendo sido levantado mais tarde a superfície que se observa com cerca de 200 metros de altitude.

De acordo com a Notícia Explicativa da Carta Geológica da Ilha de São Nicolau (Cabo Verde), escala de 1/50.000 de Macedo et al. (1988, pp. 1-32) admite-se que a história geológica da ilha tenha ocorrido em “três ciclos eruptivos completos, muitas vezes interrompidos por deposições sedimentares, nomeadamente os calcarenitos, conglomerados e areias, produzidas sobretudo nos períodos de relativa calma vulcânica - (Complexo Eruptivo Interno Antigo, o Complexo Eruptivo Principal e os Depósitos Sedimentares).

Segundo a Carta Geológica da ilha de São Nicolau (A. Serralheiro et al., 1988, Goth B., 2014) a cronologia estratigráfica estabelecida e representada na referida carta é a seguinte:

**1. Complexo Eruptivo Interno Antigo:** unidade de afloramento rochosos mais antiga da ilha remontam a idade Ante-Miocénica Superior, é constituída por filões basálticos associados a brechas intra vulcânicas, chaminés e materiais piroclásticos fonolíticos. Um exemplo da atividade erosiva destes materiais pode-se observar ~~ver~~ no vale da Ribeira Brava.

**2. Sedimentos de idade Miocénica Superior:** compostos por conglomerados, calcários e calcarenitos fossilíferos, intercalados entre as formações do Complexo Eruptivo Interno Antigo e Figueira de Coxe.

**3. Formação de Figueira de Coxe:** dominam os materiais basálticos como derrames lávicos submarinos e tufos de piroclastos, atravessados por filões basálticos. Esta formação está significativamente representada nas zonas de Figueira de Coxe, Queimada de Baixo e Ribeira Brava. Trata-se de materiais muito alterados e, por tanto, produzem importantes relevos escarpados.

**4. Depósito Conglomerático - Brechóide:** sedimentos de materiais rolados cimentados com argilas, originados geologicamente entre o Miocénico Superior e o Pliocénico. Os depósitos, variáveis em espessura, se interpõem entre a Formação de Figueira de Coxe e o Complexo eruptivo principal.

**5. Complexo Eruptivo Principal:** ocupa uma grande parte da ilha com materiais de natureza basáltica, com mantos lávicos subaéreos e submarinos com níveis de piroclastos e chaminés, além de camadas de depósitos sedimentares intercalados entre períodos de repouso vulcânico, constituídos por conglomerados e calcarenitos, e dunas fósseis.

**6. Formação da Preguiça:** corresponde a derrames de lavas basálticas, escoriáceas e vacuolares de idade Pliocénica, que cobriram grandes extensões da ilha soterrando mantos basálticos do Complexo Eruptivo Principal. São notáveis os derrames ao longo dos vales da Ribeira Grande (vertente nordeste) e de Cabeçalinho (vertente oposta).

**7. Formações do Monte Gordo:** inclui os cones mais conservados de São Nicolau (monte Gordo, da Praia Branca, Bissau, Furado, Joaquim Matias, Caldeirinha e Caçador). Os materiais

piroclásticos (lapilli, escórias e bombas) se distribuíram-se por grandes extensões soterrando as formações geológicas anteriores. A Formação de Monte Gordo, ícone paisagística da ilha, é a última manifestação eruptiva de São Nicolau, no final do Pliocénico.

**8. Formações sedimentares Quaternárias:** os materiais mais representativos são de idade Holocénica (depósitos de vertente, escorrência e outros relacionados com cones de dejecção e aluviões e areias. Significativos são os recobrimentos com materiais grosseiros da plataforma entre o Tarrafal e a Ponta do Curral.

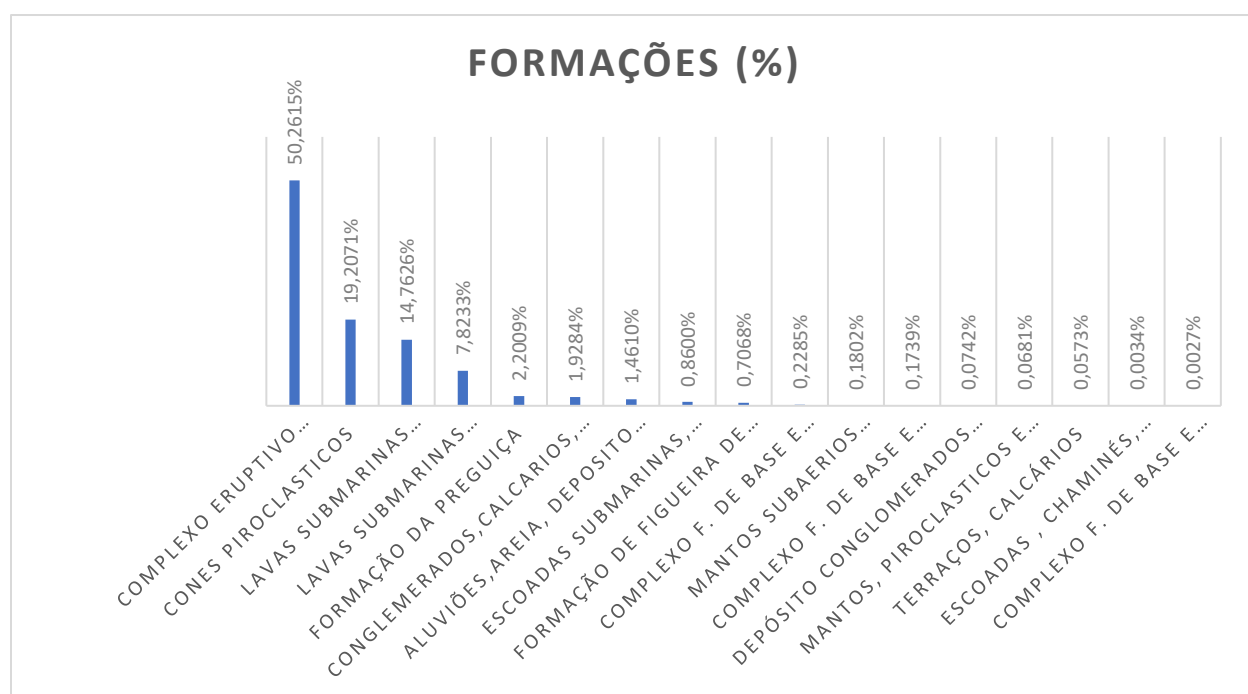


Figure 3 Gráfico das formações geológicas (%) de São Nicolau

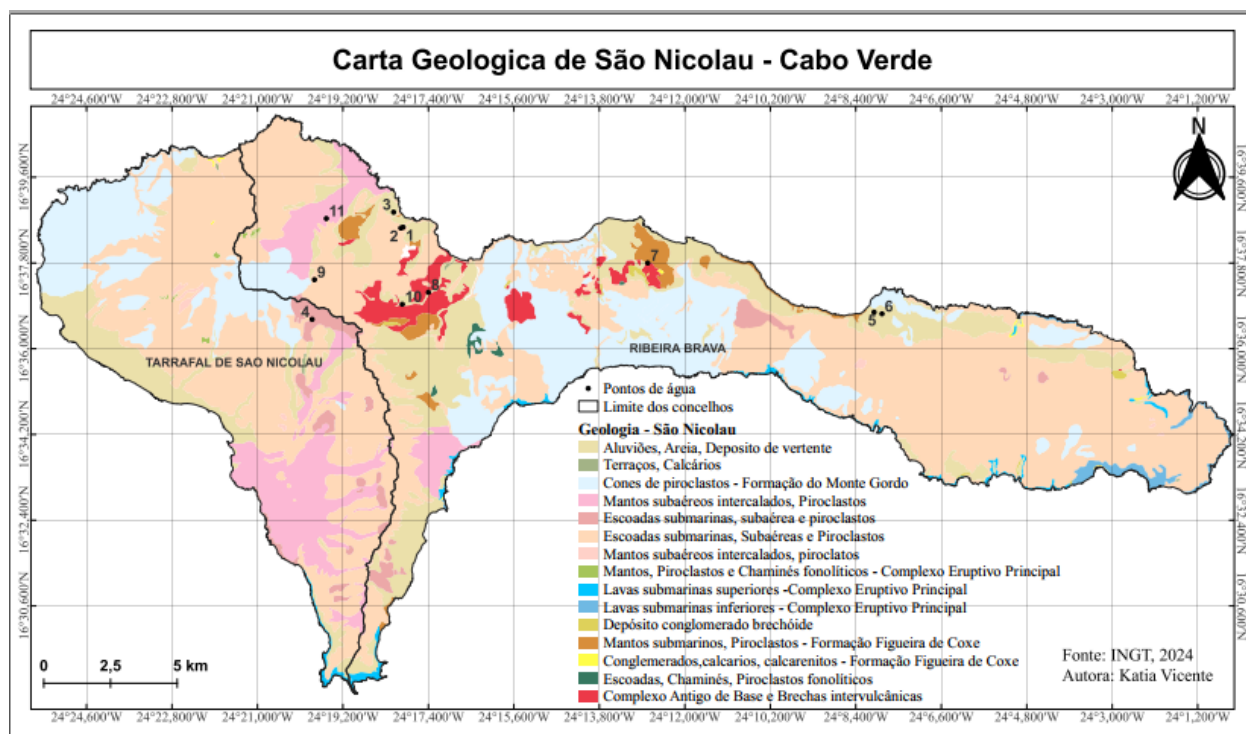


Figure 4 Mapa geológico de São Nicolau com a localização dos pontos de água.

Os pontos de amostragem foram recolhidos em diferentes pontos do município da Ribeira Brava, com exceção do ponto 4 situado no município do Tarrafal, numa zona de escoadas submarinas, subaéreas e piroclastos. Todavia a água desta nascente é distribuída em toda ilha, sendo considerada a maior fonte de água potável em termos quantitativos do município da Ribeira Brava.

Maioritariamente os pontos de amostragem situam-se em locais onde se encontram aluviões, areias e depósitos de vertente (pontos 1, 2, 3, 5, 6, 8 e 10). Os pontos 8 e 10, estão em contacto com o Complexo de Base Antigo, os pontos 1, 2 e 9 estão em contacto com escoadas submarinas, subaéreas e piroclastos. O ponto 7 está localizado na formação Figueira de Coxé e no Complexo Antigo de base e brechas intervulcânicas. O ponto 11 localiza-se numa zona de mantos submarinos intercalados e piroclastos. De ressaltar que a geologia dos pontos amostrados foi apenas baseada na carta geológica disponível da ilha em estudo (INGT, 2024).

### 2.1.3. Geomorfologia

Cabo Verde por ser um arquipélago insular de natureza vulcânica apresenta morfologias complexas caracterizadas por grandes altitudes, grandes pendentes de terrenos, extensas achadas e orografia acentuada. Tais características influenciam de forma significativa o modelo hidrológico da ilha no que respeita à escorrência superficial, tanto como na hidrodinâmica subterrânea.

Segundo Custódio (1975), a hidrodinâmica das águas subterrâneas é fortemente condicionada pelas características geomorfológicas do terreno em regiões insulares vulcânicas de pequenas dimensões.

O papel da orografia na dimensão superficial do ciclo hidrológico é crucial, favorece a construção de redes de circulação da água e determina o regime de escoamento. Neste processo o declive e as características topográficas do terreno são parâmetros mais marcantes.

Segundo Bebianio (1932), vários diques e filões deram origem a orientação das ilhas, sendo estes encontrados na ilha de Santo Antão e também devido ao relevo submarino das ilhas de Sotavento. Este fato, parte do princípio que as ilhas se formaram ao longo da fratura de orientação E-W, proveniente dos fenómenos vulcânicos.

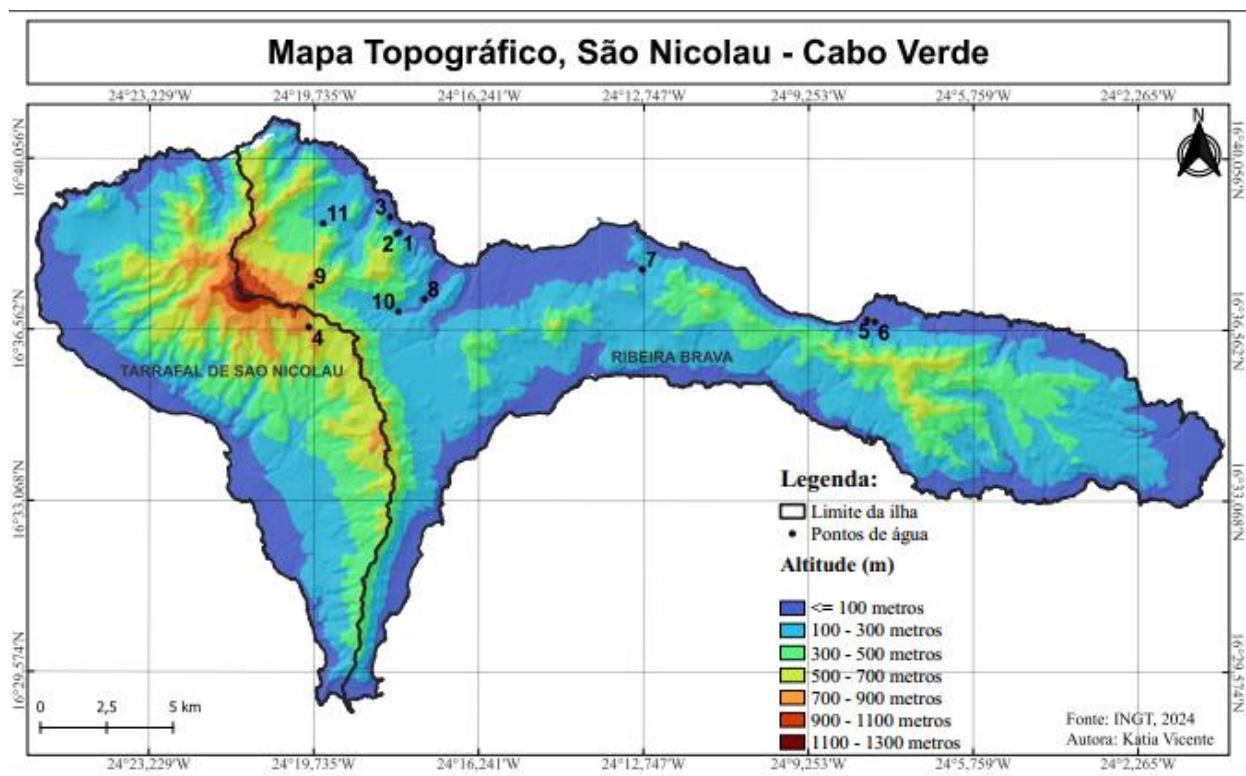


Figure 5 Mapa topográfico da ilha de São Nicolau

A ilha de São Nicolau tem sua morfologia única, face às restantes ilhas. De acordo com a descrição de Nunes (1962), esta configuração divide-a em duas formas dando-lhe a aparência de um corpo na direção Norte-Sul (o Maciço Montanhoso do Monte Gordo) e mais adelgaçante em forma de uma cauda, no sentido Este-Oeste. Estas características resultaram da diferenciação da natureza dos mantos geológicos que cobriram a superfície da ilha nas últimas décadas da erupção vulcânica, e que resultou a sua divisão geológica.

A ilha dispõe de um relevo abrupto, com erosão bastante marcante em quase toda a sua superfície, devido à origem e idade muito recentes (Nunes, 1962). Em contrapartida, a região sul apresenta um aspecto mais árido devido aos efeitos dos ventos alísios e a orografia.

Do ponto de vista orográfico a ilha é formada por dois maciços montanhosos, um dos relevos mais significativos, com o ponto mais alto o Monte Gordo com 1312 m de altitude seguido de Alto das Cobaças com 656 m de altitude. O outro maciço localiza-se a oriente, com alinhamentos no sentido

Este-Oeste em forma de cristas, que terminam no Monte Matias e no Morro Vermelho (Goth, 2014).

A configuração geomorfológica define por vezes uma paisagem marcada por elevações em terrenos de piroclastos (escória e lapilis em forma cónica), alternados com uma assimetria e sem interrupções, que geralmente se encontram nas proximidades de algumas nascentes de água (*e.g.* áreas de Hortelã, Torno d'Água).

A ilha possui relevos muito acidentados, que chegam a atingir valores superiores a 40°, numa cadência quase ritmada, separados por vales profundos e muito encaixados que cortam as formações basálticas e as escórias vulcânicas. Em alguns casos, estes vales apresentam formas muito alargadas de vertentes abruptas ou em forma de anfiteatro, como por exemplo, o vale da Vila da Ribeira Brava. Noutros casos, instalaram-se em filões de traquito e outras rochas duras que desenham na paisagem formas de cristas e picos.

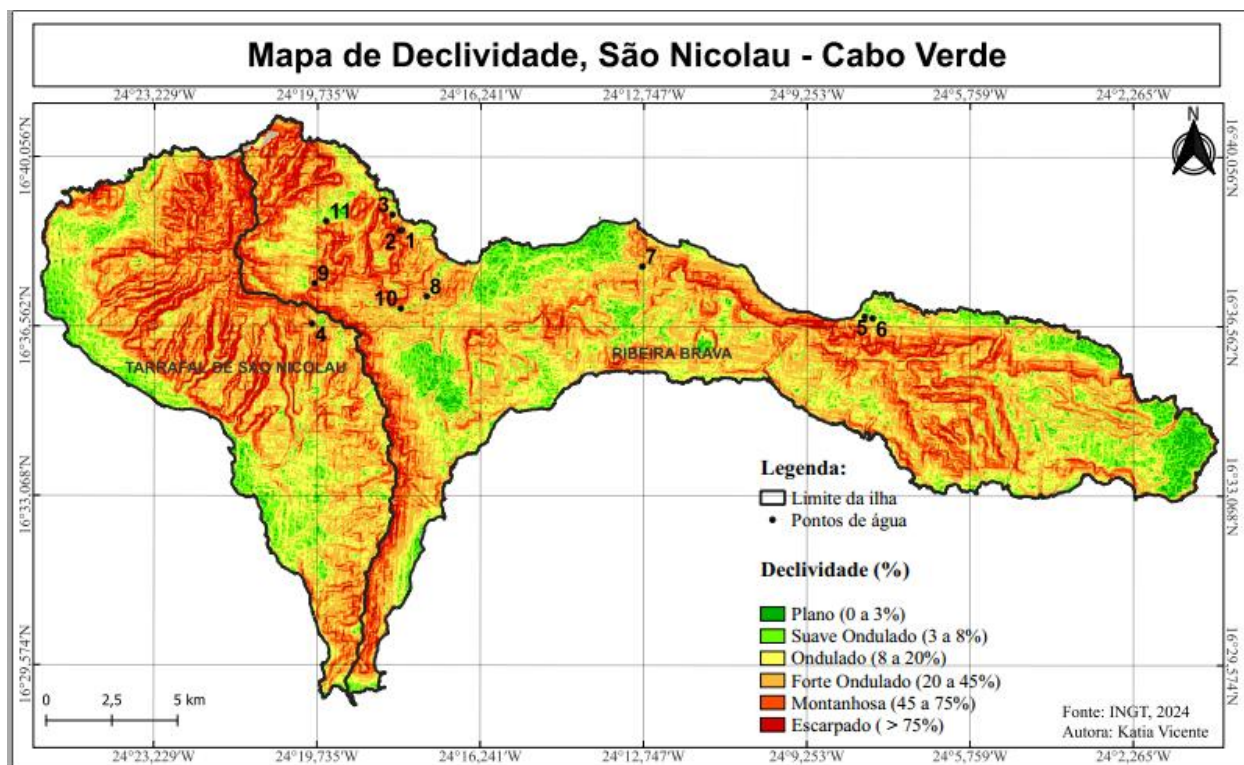


Figure 6 Mapa de declives da Ilha de São Nicolau

Segundo a autora Goth (2014), os afloramentos rochosos apresentam alternâncias de escoadas lávicas, piroclásticas e disjunções basálticas. Devido a esta alternância, o fundo dos vales mantém grande quantidade de carga sólida que ao ser arrastada pelas correntes confere-lhe uma planície bem marcada. Devido à riqueza do solo, grande parte dos campos aluvionares dos fundos dos vales são aproveitados para a prática da agricultura.

O solo distribui-se na ilha respeitando os efeitos climáticos. Nas superfícies de maior elevação, apresenta uma tonalidade mais escura com vários horizontes de acumulação em comparação com os solos áridos que constituem as crostas carbonatadas de profundidades variáveis nas plataformas costeiras.

Relativamente à hidrografia, as ribeiras já referidas, são geralmente muito profundas e com poucos afluentes. Alguns leitos são pedregosos e apresentam percursos variados de carácter torrencial e temporário, devido ao regime a que estão sujeitos. Ao longo do tempo, as linhas de água foram-se instalando nos depósitos de vertente, à medida que os sedimentos arrastados se iam acumulando. Excecionalmente nalgumas ribeiras, a água brota nas nascentes - é o caso das ribeiras Funda, Camarões, Queimada, Brava, Prata, Fontainha e Calhau, na parte ocidental. Na parte oriental refiram-se os casos das ribeiras Seca, Ponte d'água e Alta. A existência destas nascentes proporciona a instalação de vegetação.

As orlas costeiras da ilha apresentam imponentes falésias que alternam com plataformas litorais de encostas, constituídas na sua maioria por materiais na fase de alteração e de desmoronamento adjacentes. A linha de costa apresenta formas modeladas bastante recortadas e irregulares, que desenham em determinados troços grandes formações de deltas lávicos dando origem a grandes baías. Muitas dessas baías são constituídas por substrato rochoso variado que, por vezes, dá origem a praias de areias com dimensões e cores diferentes.

As amostras foram colhidas em diferentes altitudes como pode se observar na figura 5, onde podemos constatar que: os pontos 3, 5, 6, 7, 8 se situam a uma altitude até 100m; os pontos 1, 10 e 11 situam-se entre 100 e 300m; o ponto 2 localiza-se entre 300 e 500m; os pontos 4 e 9 localiza-se entre de 700 e 900m. A ilha mostra uma geomorfologia bastante acentuada, com declividade de aproximadamente 45%, praticamente todos os pontos se encontram em locais de fundo de ribeiras ou zonas montanhosas. Os pontos 3, 5, 6, 7, 8 e 10 situam-se numa zona de suave ondulação enquanto que os restantes pontos encontram-se em zonas montanhosas.

#### 2.1.4. Enquadramento hidrogeológico

##### 2.1.4.1. Caracterização Hidrogeológica das Formações Vulcânicas

A hidrogeologia das ilhas oceânicas é baseada principalmente em Estudos havaianos e resumido por Hildenbrand et al. (2005) como consistindo em um gradiente regional (basal) de baixo gradiente, aquífero de lençol freático com águas subterrâneas sobrejacentes e confinadas em diques.

As ilhas vulcânicas jovens normalmente têm alto relevo topográfico, águas rasas solos e rápido escoamento ou infiltração. Tendo em conta estas características do ponto de vista hidrogeológico as ilhas vulcânicas apresentam geralmente escassez de recursos hídricos de boa qualidade (Peterson 1972).

As características hidrográficas de um território correspondem a conjugação de vários fatores: a geomorfologia; a geologia, como a suscetibilidade à erosão e a permeabilidade; climatologia, através da distribuição espacial e temporal da precipitação; e a ocupação do solo, influenciando a escorrência superficial. É comum num ambiente insular jovem que as generalidades das bacias hidrográficas apresentem pequena dimensão. As bacias melhor estruturadas desenvolvem-se a partir das zonas mais pluviosas do interior das ilhas (Borges, 2019).

Em ilhas vulcânicas a circulação da água depende, sobretudo, das suas características litológicas primárias, resultantes da origem da própria rocha e, em menor grau, das características litológicas secundárias resultantes de processos posteriores, de acordo com a evolução geológica.

As ilhas de Cabo Verde apresentam lados húmidos e secos como resultado dos padrões de circulação atmosférica e relevo topográfico local (Langworthy e Finan 1997). Em geral, acredita-se que a maior parte da infiltração e recarga ocorra nas partes de maior altitude das ilhas, onde as taxas de precipitação são mais elevadas (Barmen et al. 1990).

##### 2.1.5. Recursos hídricos

As linhas de água estão secas a maior parte do ano, sem caudal superficial. apenas apresentam caudal superficial após a ocorrência de chuva. É no sistema montanhoso Oeste que se encontram

as principais nascentes, é dele que se desenvolvem as ribeiras mais significativas da ilha: Cabeçalinho, Fragata, Prata, Camarões, Faja, Queimadas e Ribeira Brava, concluir-se que é nos vales de NE, que se encontram os leitos fluviais mais significativos (Teixeira, 2004).

Segundo Paulo Nuno (2015), a ilha apresenta condições muito favoráveis à infiltração da água da chuva nas zonas de maior altitude, principalmente na região Nordeste onde as chuvas são mais abundantes. As fontes de água são numerosas, existindo algumas ribeiras semipermanentes.

As linhas de água presentes na Ilha de São Nicolau não são perenes, verificando-se que a maioria da água da chuva escorre rapidamente para o oceano e apenas 13% se infiltra através da rocha permeável, servindo de recarga dos aquíferos subjacentes. A água subterrânea move-se do interior da ilha (áreas mais elevadas) para a costa, infiltrando-se em poços (furos), nascentes, ribeiras, galerias e finalmente pela infiltração submarina, em direção ao oceano.

No que diz respeito a disponibilidade de água, os dados da Direção Geral do Ambiente (2004), revelam que na Ilha de São Nicolau são produzidos anualmente entre 4,2 a 9,0 milhões de m<sup>3</sup> de água que se infiltra, sendo apenas parte desse volume potencialmente explorável. Considerando que na ilha de São Nicolau as linhas de água apresentam regime torrencial, as águas superficiais não apresentam usos assinaláveis. Mesmo na estação das chuvas, quando existe caudal, não se identificaram utilizações significativas da água superficial.

Consequentemente, na ilha de São Nicolau, a principal fonte de água são as águas subterrâneas. No município de ribeira Brava a responsabilidade sobre a utilização da água é assumida pelos Serviços Autónomos de Água (SAA), sendo que 94,4% da população tem acesso a água potável provenientes de captações ou furos, (Paulo Nuno, 2015) .

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (Direção Geral do Ambiente, 2004 *apud* Paulo Nuno, 2015), na ilha de São Nicolau existem 258 captações de água subterrânea (nascentes, poços e furos) que totalizam 5.455 m<sup>3</sup>/dia de caudal explorado. Para além do abastecimento público, a agricultura e a pecuária são outras atividades humanas que utilizam água subterrânea, sendo um sector que apresenta uma grande vulnerabilidade tendo em conta a escassez de água existente.

Segundo o Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde (DGA,2004), a água subterrânea é pouco mineralizada. Um estudo recentemente realizado sobre a bacia hidrográfica

da ribeira Grande ( na ribeira de Fajã), refere que a qualidade das águas subterrâneas é geralmente muito boa, devido ao facto de não haver fontes de poluição significativas. Segundo este estudo, embora atualmente ainda não exista risco de intrusão salina (água salgada), a utilização de água subterrânea deve ser limitada nas zonas costeiras para não aumentar esse risco.

#### 2.1.6. Hidrografia

A rede hidrográfica divide-se em duas partes, sendo uma no que respeita ao corpo principal da ilha que se estende no sentido N-S e por 22,5 Km, desde a Ponta Espechim à Ponta da Vermelha, repartindo-se pelos dois lados da grande linha de fecho, ou de cumeada, que corre no sentido NW-SE, e que envolve o maciço de Monte Gordo, o Morro Vermelho e o Cone Rocha, infletindo depois para Sul, em sucessivos topos e chãos planálticos que, em continuidade, se desenham até ao limite meridional (Carta de Zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação da ilha de São Nicolau).

Na fachada N-NE destacam-se as ribeiras da Prata, ribeira Grande/Fajã, ribeira Brava e ribeira da Água Amargosa, com redes hidrográficas densas, caracterizadas por relevos movimentados e situados entre as isoietas com valores entre os 200mm nas partes a jusante do litoral, e acima de 500 mm nas partes mais altas destas bacias. Por sua vez, a rede hidrográfica da fachada oposta é composta essencialmente pelos cursos das ribeiras principais que ao derivarem da grande linha de fecho se fundam bruscamente, definindo-se vales majestosos em canhão que, rapidamente, conduzem à faixa costeira, como é o caso das ribeiras de Calhaus, Pedras, Areia, Manuel Baú, Fundo da Bananeira e Cabeçalinho, todas tributárias da maior bacia hidrográfica da ilha, a do Tarrafal.

A ilha de São Nicolau apresenta 14 grupos de bacias hidrográficas: ribeira brava; ribeira Campo preguiça; ribeira Belém/coxe; ribeira Branco; ribeira do Juncalinho; ribeira do Carriçal; ribeira do Moro Alto; ribeira da Preguiça; ribeira do Tarrafal; ribeira da Praia branca; ribeira da prata; ribeira Grande/Fajã; ribeira de Queimadas e ribeira de Carvoeiros, que se subdividem, de forma mais ou menos densa. No passado recente (década de oitenta e noventa), a bacia da ribeira Brava foi objeto de tratamento, com grandes obras de correção torrencial, em particular na sua rede primária, necessitando ainda de mais intervenções a nível da rede secundária e das suas encostas.

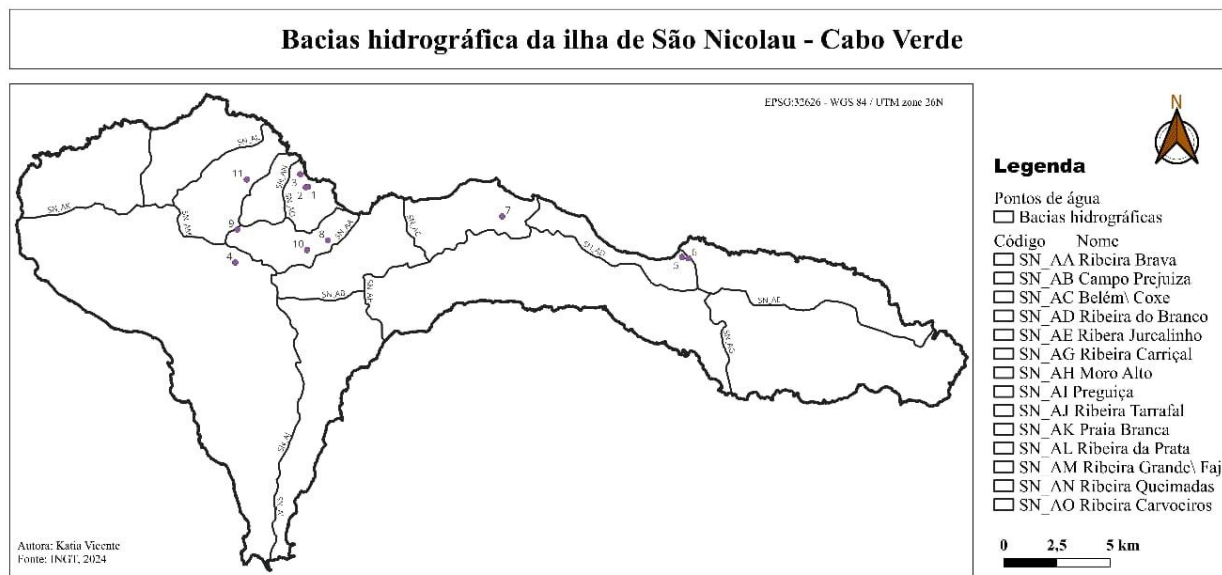


Figure 7 Carta das bacias hidrográficas da ilha de São Nicolau

As amostras recolhidas foram em várias bacias do município da Ribeira Brava ou que abastece o este município nomeadamente o caso do ponto 4 que está fora dos limites do concelho em estudo mas abastece toda a ilha. Os pontos 1, 2 e 3 estão inseridos na bacia de Ribeira de Carvoeiros, os pontos 5 e 6 situam-se na bacia Ribeira branco, o ponto 7, sito na bacia de Belém/coxe, os pontos 8, 9 e 20 localizam-se na bacia de Ribeira brava e o o ponto 11 na bacia de Ribeira grande /Fajã

#### 2.1.7. Hidrogeologia

A nível de hidrogeologia a ilha segue o mesmo padrão das ilhas que possuem altitudes acima dos 1000m, como é o caso da ilha de Santiago. Na tabela 1 apresenta-se um resumo sobre as formações geológicas e as suas correspondências com as unidades hidrogeológicas descritas. Pode-se observar que a unidade de base ocupa uma pequena área (3,7%), enquanto que a unidade intermedia ocupa a maior parte do território, totalizando uma área de 64,8% e perfazendo 2/3 de todo o território, e a unidade recente ocupa por sua vez 31,5% da área.

Os recursos hídricos subterrâneos têm origem maioritária na região do Monte Gordo, sendo elas formações vulcânicas muito porosas e permeáveis, pertencendo a unidade hidrogeológica intermedia, do Complexo Eruptivo Principal, constituído por fácies subaéreos e submarinas que ficam por cima do Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA), a formação mais antiga da ilha, constituída por complexo filoniano de base e brechas intravulcânicas.

Tabela 1 Formações geológicas e correspondentes unidades hidrogeológicas da ilha de São Nicolau (Governo de Cabo Verde, 2019)

FORMAÇÕES GEOLÓGICAS			UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS		
	Área			Área	
	km <sup>2</sup>	%		km <sup>2</sup>	%
Aluviões (a), areias (ar), depósitos de vertente (dv), depósitos de enxurrada (de), cones de dejeção (cd), cascalheiras de praia (cp), areias de praia (ap). Terraços (t), dunas fósseis (df), calcários (calc.).	47,26	13,6	UNIDADE RECENTE	109,27	31,5
<b>FORMAÇÃO DO MONTE GORDO</b> - Cones de piroclastos (pi*), pequenas escoadas (m).	62,01	17,9			
<b>FORMAÇÃO DA PREGUIÇA</b> - Escoadas subaéreas (mPG), escoadas submarinas (LR**), piroclastos (pi*)	31,16	9,0	UNIDADE INTERMÉDIA	224,96	64,8
<b>COMPLEXO ERUPTIVO PRINCIPAL</b> - Mantos subaéreos indiferenciados (M), piroclastos (Pi*), chaminés basálticas (chβ)	185,66	53,5			
Mantos (I), piroclastos (pi), chaminés fonolíticas (ch)	0,26	0,1			
Lavas submarinas superiores	4,13	1,2			
Lavas submarinas inferiores	2,48	0,7			
Conglomerados (cong.), calcários, calcarenitos (calc.), dunas fósseis (df), fossilíferos.	0,56	0,2			
Depósito conglomerático-brechóide	0,71	0,2			
<b>FORMAÇÃO DE FIGUEIRA COXE</b>			UNIDADE DE BASE	12,77	3,7
Mantos submarinos (λp), piroclastos (π*)	4,88	1,4			
Conglomerados, calcários e calcarenitos, fossilíferos do Monte Focinho.	0,01	0,0			
<b>CA</b> - Escoadas, chaminés (chφ), piroclastos fonolíticos (pi*)	0,56	0,2			
<b>CA</b> - Complexo filoniano de base e brechas intravulcânicas	7,32	2,1			
<b>TOTAL</b>	<b>347,00</b>	<b>100,0</b>		<b>347,0</b>	<b>100,0</b>

Os aquíferos da ilha podem ser identificados em todas as escalas com estruturas geológicas complexas. Dependendo dessas escalas a porosidade e a permeabilidade pode ser afetada. Em consequência existem aquíferos vulcânicos de permeabilidade fissural coexistindo com os de

permeabilidade de interstícios, enquanto que nas áreas onde se localizam depósitos aluvionares, podemos destacar aquíferos porosos.

Segundo um estudo realizado pelo Governo de Cabo verde, 2019, os aquíferos identificados na ilha de São Nicolau são semelhantes aos identificados na ilha de Santiago. Dependendo da sua localização, quando se situam em meio basáltico subaéreos são na generalidade fissurados, quando em ambiente marinho são intersticiais, e em ambientes sedimentares são porosos, devido a elevada porosidade e permeabilidade. O Monte Gordo caracteriza-se como um aquífero livre numa região de altitude superior a 900m, sendo o maior maciço da ilha com 1312m de altura, com registos de precipitação mais alta (600-799 mm) o que, com a orografia da ilha, faz descargas para níveis inferiores com maior intensidade no lado sudoeste.

Em regiões mais baixas, como vales e zonas costeiras, constituídas principalmente por materiais de idade quaternária, com espessas camadas (20-30m) de aluviões, areias, cascalheiras e areias de praia, que possuem alta permeabilidade, os aquíferos apresentam grande potencial hídrico. No entanto, pela sua proximidade e muitas vezes pelo contato com o mar, tornam-se muito vulneráveis a intrusão salina quando sobre explorados. Nos locais onde as formações mais antigas atuam como substrato este podem tornar a água mais mineralizada.

Segundo estudo (Governo de Cabo verde, 2019), apesar da ilha de São Nicolau possuir reservas de água subterrânea significativas, esta ainda está muito aquém da sua necessidade per capita como recomendado internacionalmente.

*Tabela 2 Estimativa reservas hídricas de São Nicolau (Governo de Cabo Verde, 2019)*

	Unidade de Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Reservas ativas (hm <sup>3</sup> )	5,67		
Reservas permanentes (hm <sup>3</sup> )	173,5	1 831,9	141,8
Reservas totais (hm <sup>3</sup> )	2 152,9		

#### 2.1.8. Uso e ocupação do solo

A ilha de São Nicolau é descrita por relatos antigos como sendo uma ilha bastante verde, arbórea e com muita água. Pela sua geomorfologia com relevo abrupto, e tendo em consideração o clima da ilha, a vegetação distribui-se por diferentes zonas, como descritas no Esquema Regional de Ordenamento do Território (EROT) de São Nicolau:

**Zona muito árida:** extremamente seca, com solos incipientes e com muitos materiais pedregosos. As altitudes atingem 200/250m com orientação Este-Sul-Oeste, onde podem ser encontradas explorações horto-frutícolas em algumas ribeiras embora esta zona encontra-se muito desprovida de vegetação e muito utilizada para pastoreio temporário.

**Zona árida:** ocupa a maior área da ilha, fazendo a transição da zona muito árida para semi-árida. A altitude não ultrapassa os 200/250m e possui orientações Norte e Noroeste. O solo desta zona caracteriza-se por possuir espessura reduzida, com frequentes afloramentos rochosos e relativa abundância de materiais pedregosos de tamanho variável, à superfície. É muito utilizada para o pastoreio extensivo, possui algumas manchas com perímetros florestais, constituídos por acácias (*Prosopis juliflora* e *Acacia martins*). Em áreas mais baixas é possível a prática de agricultura.

**Zona semi-árida:** desenvolve-se em altitudes superiores a 250m, com relevos culminantes e escarpas orientadas a Norte-Nordeste (Monte Gordo 440/550-600/1200 m) do acidentado dorsal Este-Oeste. No “corpo principal” da ilha, faz a transição da zona árida para a sub-húmida. Constitui uma área muito utilizada para agricultura com base em culturas de sequeiro (e.g., feijão congo, milho/feijões, batata-doce).

**Zona sub-húmida:** formada por uma larga mancha de relevos intermédios da fachada montanhosa, cujas altitudes variam entre 200/300-600/700m. Corresponde à área onde é praticada toda a agricultura da ilha, repartidas pelas bacias da ribeira Prata, ribeira Grande/Fajã (com maior percentagem de ocupação agrícola), e a parte montante das bacias da ribeiras Brava, Queimadas e Carvoeiros. As culturas praticadas são maioritariamente milho/feijões, batata-doce, feijão congo, hortícolas e fruteiras.

**Zona húmida:** situa-se em altitudes compreendidas entre 600/700 e 1100/1200 m e culmina com a grande concha que é o vale da Fajã de Baixo, onde existe uma intensa atividade agrícola de sequeiro. Existem também algumas áreas de agricultura de regadio, situadas em baixas aluviais de linhas de água como é o caso das ribeiras Amargosa, Prata Grande/Fajã.

Na ilha de São Nicolau a ocupação de solo corresponde maioritariamente a vegetação dispersa/escassa, com 52,2% de toda a área da ilha correspondendo a 184km<sup>2</sup>. Seguem-se as áreas de pastagem de pastoreios livres, que ocupam 26,5% n uma área de cerca de 91,2 km<sup>2</sup>. Por uma vez, a vegetação arbustiva ocupa 13,5%, totalizando cerca de 46.6 km<sup>2</sup>; a vegetação arbórea(florestal) ocupa 2,8% o que equivale a uma área de cerca de 9,7 km<sup>2</sup>; já vegetação herbácea húmida ocupam 0,003% da área total; as áreas ocupadas pelo cultivo de sequeiro e regadio equivalem a 0,112%; os corpos de água ocupam 0,009% de toda área da ilha e a área construída corresponde a 0,85% equivalente a uma área de cerca de 2,94 km<sup>2</sup> (fig. 8).

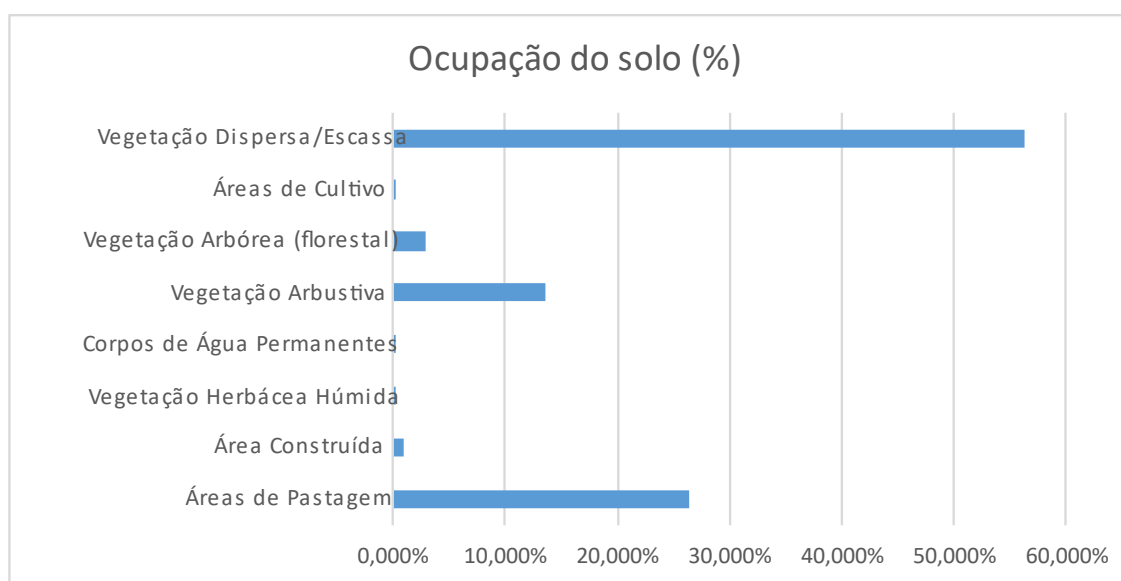


Figure 8 Ocupação de solo (%) na ilha de São Nicolau

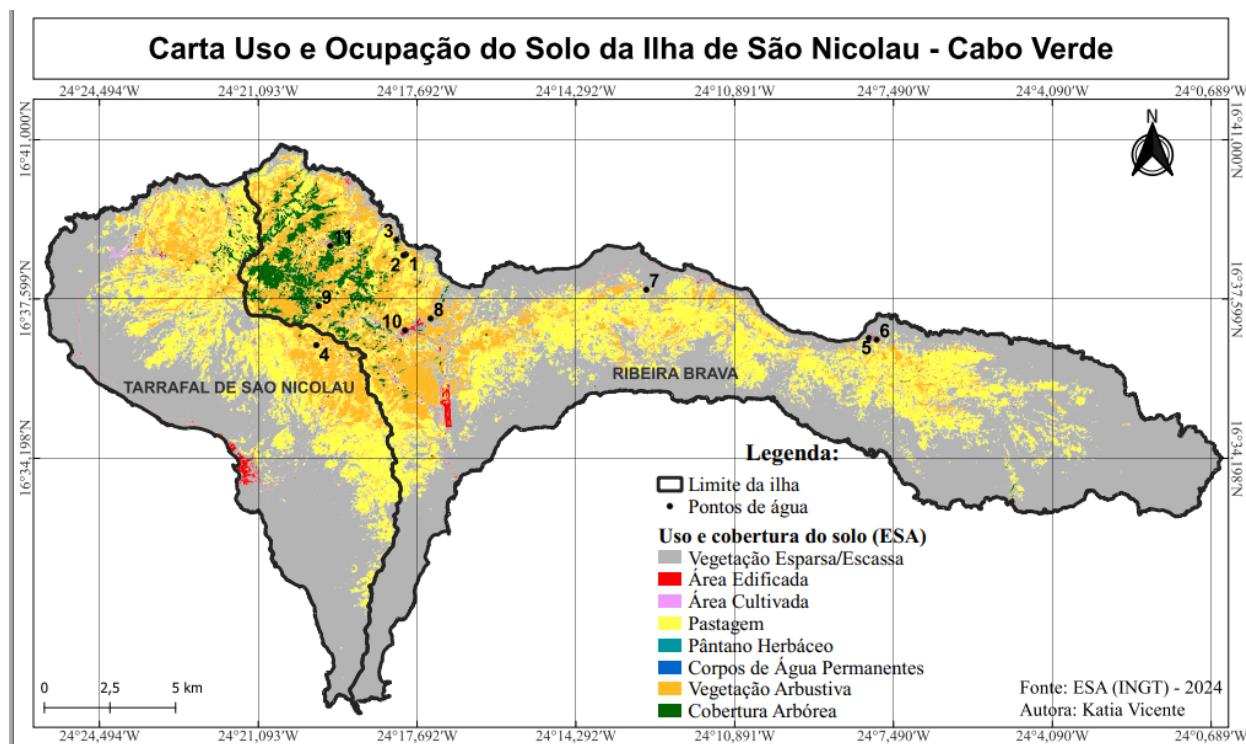


Figure 9 Carta uso e ocupação do solo de São Nicolau

As amostras de água foram maioritariamente colhidas em zonas de pastagem e com vegetação arbustivas, próximas a áreas de vegetação esparsas, são eles os pontos 1, 2, 3, 4, 7. Os pontos 9 e 11 situam-se em zonas com cobertura arbórea. Os pontos 5, 6, 8 e 10 situam-se em zonas edificadas.

### 3. Dinâmica temporal de descritores físico-químicos da água

O presente capítulo tem como objetivo apresentar e discutir resultados de descritores físico-químicos da água analisados nos treze pontos de água amostrados, obtidos em duas campanhas de amostragem (novembro de 2022 – abril de 2023).

O capítulo é constituído por três secções. Na secção 1 (ponto 4.1) apresenta-se a metodologia seguida, o que inclui metodologia de campo, laboratório e tratamento de dados; na secção 2 (ponto 4.2) apresentam e discutem-se os resultados; e na secção 3 (ponto 4.3) apresentam-se umas breves considerações finais, tendo em consideração o objetivo do presente capítulo no contexto global do trabalho.

#### 3.1. Metodologia

Nesta secção do trabalho, descreve-se a metodologia adotada para a caracterização da qualidade física e química dos pontos de água objetos de estudo: poços e nascentes da Ribeira Brava. Neste sentido, descreve-se a estratégia metodológica utilizada no trabalho de campo, no laboratório e no tratamento de dados (análise estatística).

##### 3.1.1. Periodicidade de amostragem e metodologia de campo

As amostragens para análise foram feitas em treze pontos de água, sendo estes nascentes e poços utilizados para uso doméstico e/ou para agricultura. As amostras foram recolhidas no período a seguir as chuvas em novembro de 2022 e no período anterior as chuvas no mês de abril de 2023, tentando caracterizar o período seco e o período húmido. Estas amostras foram colocadas no frio (a menos 4° C) e no escuro, e transportadas para o Laboratório da Água de Évora (Portugal), para a determinação de outros parâmetros físico-químicos.

Como referido anteriormente, as amostragens foram efetuadas no período antes das chuvas e depois das chuvas (novembro 2022), porem o pH e a condutividade apenas foram analisadas na campanha realizada no período pós chuvas, consequentemente para estes parâmetros apenas foi efetuada uma a nível espacial para o referido período. Por sua vez os pontos 10, 11, 12 e 13 apenas foram amostrados no período antes das chuvas (abril de 2023).

### 3.1.2. Metodologia laboratorial

Após a chegada ao laboratório, procedeu-se à conservação das amostras de água, onde posteriormente foram analisados alguns parâmetros químicos de acordo com as normas standard (APHA, 1998): azoto total (mg N/L); nitratos (mg  $\text{NO}_3^-$  - N/L); azoto amoniacal (mg  $\text{NH}_4^+$  - N/L); fósforo total (mg P/L); sólidos suspensos totais (mg SST/L); Sódio (mg/L - Na); Potássio (mg/L - K); Cálcio (mg/L - Ca); Cloretos (mg/L - Cl-); Sulfatos (mg/L  $\text{SO}_4^-$ ); Carbonatos (mg/L); Bicarbonatos (mg/L  $\text{CaCO}_3$ ); Magnésio (mg/L - Mg) e Sílica (mg/L -  $\text{SiO}_2$ )

### 3.1.3. Tratamento dos resultados

Os resultados obtidos para as diferentes variáveis analisadas foram organizados em matrizes no software Microsoft Excel (2019).

Para cada parâmetro/descritor analisado foram efetuados gráficos por ponto de amostragem nas duas campanhas realizadas, para se analisarem tendencias espaciais (entre pontos de amostragem) e temporais (entre as duas épocas do ano). Complementarmente fez-se a matriz de correlação de Pearson entre variáveis, após logaritmização dos dados para ajuste à normalidade dos dados [ $\log(x+1)$ ], onde x é o valor a ser transformado e a adição de 1 assegura que não se obtenha um logaritmo de 0, que não existe].

Por forma a analisarmos a globalidade conjunta dos dados foi feita uma ordenação global dos parâmetros/descriptores físico-químicos através da aplicação de uma análise de componente principal (PCA), com recurso ao software PAleontological STatistics (PAST v.4.03) (Hammer *et al.*, 2001). Uma vez que a PCA é uma análise paramétrica que utiliza correlação entre locais e variáveis, procedeu-se à transformação dos dados por  $\log(x+1)$ . A transformação não só aproxima os dados à normalidade, como melhora o poder de recuperação de padrões e minimiza a influência das variâncias de cada variável e das várias unidades de medida (Singh *et al.*, 2004). Refira-se que a análise (PCA) integra três etapas sequenciais: i) a preparação da matriz de correlação [R]; ii) extração dos fatores comuns e redução de variáveis explicativas; iii) e, rotação dos eixos relativos aos fatores comuns, com o objetivo de tornar a solução mais simples e facilmente interpretável (Andrade *et al.*, 2007). Do ponto de vista estatístico-matemático, a análise PCA tem por objetivo

transformar ou reduzir um grande número de variáveis originais observadas num novo conjunto de variáveis, chamadas de eixos ou componentes principais. A principal função dessas componentes, além da ortogonalidade, é que são obtidas por ordem decrescente de máxima variância. Para os cálculos, a primeira componente principal explica o máximo da variabilidade total dos dados; a segunda explica o máximo da variabilidade restante dos dados, sendo não correlacionada com a primeira; a terceira explica o máximo da variabilidade total restante dos dados, sendo não correlacionada com a primeira e a segunda componentes e assim sucessivamente, até que o número de componentes principais seja no máximo igual ao número de variáveis (Guedes *et al.*, 2012; apud Landim, 2019)

### 3.2. Resultados e discussão

#### 3.2.1. Descritores físico-químicos da água

##### ***Iões***

Os iões maiores ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) são componentes derivados de sais minerais dissolvidos na água, pela reação desta com as rochas e solos. As suas concentrações estão relacionadas a fatores geoquímicos, propriedades da base de drenagem, tipo de solo, condições climáticas, despejos urbanos e industriais (Neves *et al.*, 2016). A composição química da água pode sofrer variações devido a interações químicas, adsorção ou troca iônica, por ação direta ou indireta da atividade antrópica.

##### **Catiões (metais)**

Segundo Porto *et al.* (1991), os elementos traços, em particular os metais, não apresentam funções biológicas relevantes, podendo, contudo, ser tóxicos para as comunidades biológicas, quando presentes em elevadas concentrações. Por outro lado, assumem uma função importante na depuração da água uma vez que precipitam a matéria orgânica, melhorando as condições óticas e consequentemente a atividade biológica.

Verifica-se que a nível dos metais analisados (magnésio, sódio, cálcio e potássio), a maior parte dos pontos encontram-se dentro dos valores máximos aceites pela legislação do país, todavia observa-se que em alguns pontos estes valores são ultrapassados como é o caso do ponto 8 onde mostra claramente (ver os gráficos abaixo) com concentrações elevadas destes cations. A nível

temporal as oscilações são pouco variáveis sendo que no período antes das chuvas há maior presença destes metais na água em relação ao período pós chuvas, o sódio e o potássio chegam a aumentar muito como pode se observar nas figuras 10 e 11. O sódio apresenta no período depois das chuvas valores dentro do intervalo permitido pela lei caboverdiana com exceção dos pontos 7 e 8, contudo em 2023, no período antes das chuvas, essas concentrações aumentam consideravelmente, o que pode ocorrer devido a lixiviação ou contaminação antropogênica (domestica e principalmente agricultura).

Verifica-se uma correlação forte entre o bicarbonato e os cátions com valores significativos superiores a 0,5 (Anexo A- resultado da correlação de Pearson). Nomeadamente com o cálcio ( $r=0,62$ ), com magnésio ( $r=0,69$ ), com o potássio ( $r=0,70$ ) e com sódio ( $r=0,80$ ). A correlação dos entre a condutividade e os cátions e entre os cloretos e os cátions é também significativa com valores de  $r$  superiores a 0,5. Por sua vez a correlação entre os cátions é também significativa com exceção da correlação entre sódio e cálcio com  $r=0,43$ .

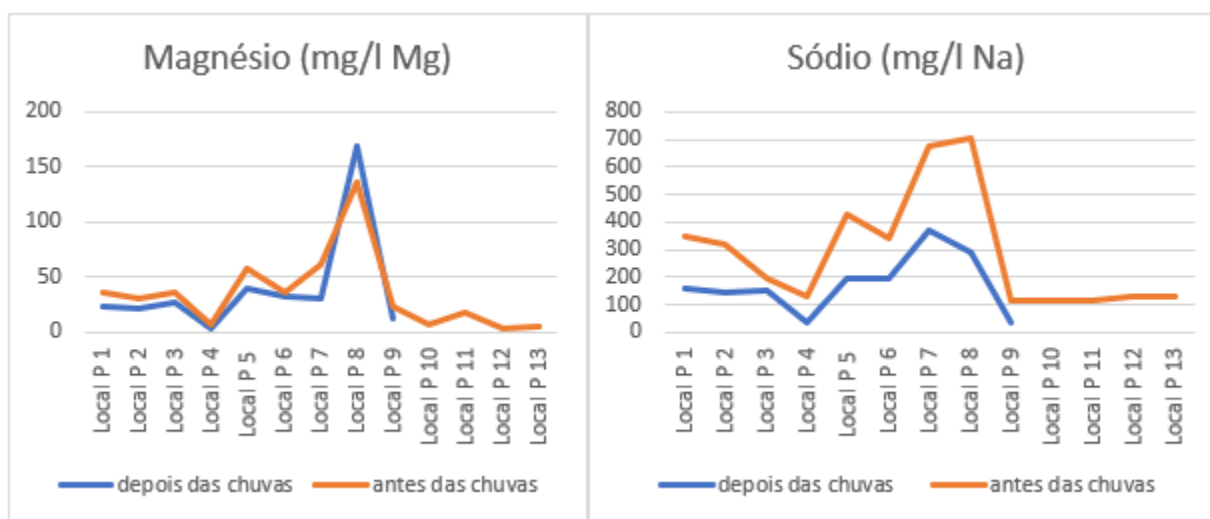


Figure 10 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores do magnésio e a direita do sódio

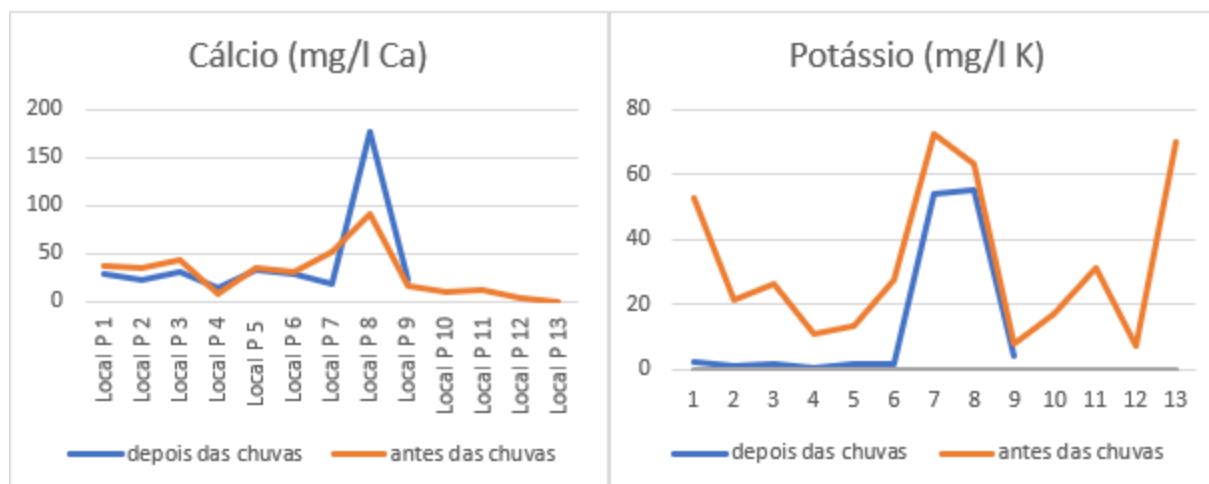


Figure 11 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores do cálcio e a direita do potássio

VMR (valor máximo recomendado), legislação Cabo-verdiana (Decreto regulamentar n°4/2020, de 2 de março): sódio: 69 – 207 mg/l; Magnésio – 60 mg/l.

VMA (valor máximo admissível), legislação Cabo-verdiana (Decreto regulamentar n°4/2020, de 2 de março): Cálcio – 400 mg/l.

### Aniões

A origem dos aniões presentes nas amostras de água pode ser consequência de atividades antropogénica através de contaminação antrópica e/ou natural como minerais de rochas. Analisando os dados dos gráficos representados nas figuras 12 e 13 pode-se observar que a relativamente aos cloretos, a maior parte dos pontos de amostragem, apresentam valores admissíveis pela legislação do país. Contudo, o ponto 3 (no período antes das chuvas apenas), e os pontos 5, 7 e 8, no período antes das chuvas evidenciam concentrações que ultrapassam o valor máximo de 471 mg/L, o que pode estar relacionado com a sua localização e a pressão antropogénica associada. Os sulfatos, de forma geral, apresentam concentrações muito abaixo dos valores admissíveis e/ou máximos descritos pela legislação. De forma geral apresenta pouca variabilidade temporal. No entanto o ponto 7 apresenta uma maior variação com valores inferior no período antes das chuvas comparativamente com o período pós chuvas.

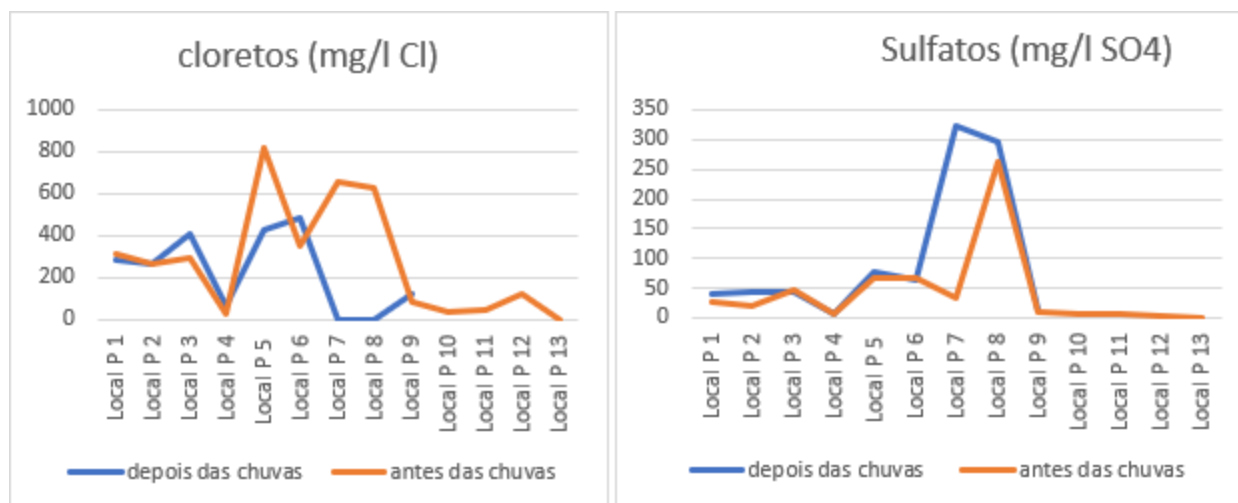


Figure 12 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores dos cloretos e a direita dos sulfatos

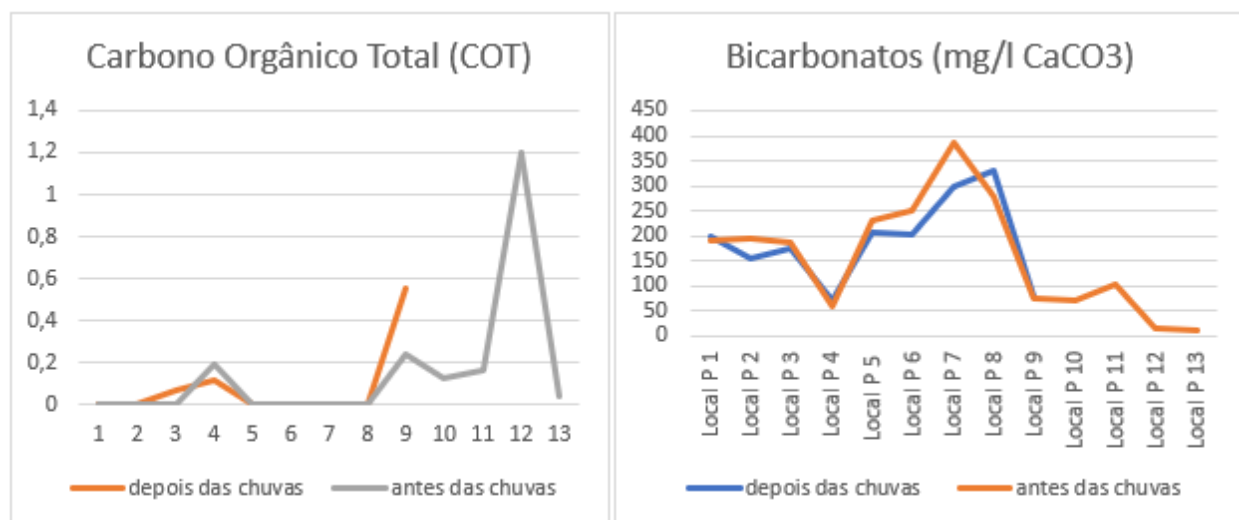


Figure 13 Oscilações durante o período antes e depois das chuvas, a esquerda os valores dos COT e a direita dos bicarbonatos

VMR (valor máximo recomendado), legislação Cabo-verdiana (Decreto regulamentar nº4/2020, de 2 de março): sulfatos – 575 mg/l.

VMA (valor máximo admissível), legislação Cabo-verdiana (Decreto regulamentar nº4/2020, de 2 de março): sulfatos – 960 mg/l; bicarbonatos – 610 mg/l; Cloretos: 106,5 - 355 mg

Os bicarbonatos apresentam valores abaixo dos admissíveis pela lei do país. O COT apresenta concentrações praticamente nulas durante as duas campanhas com valores inferiores a 1: Exceptua-se o ponto 12 com uma concentração de 1,2 (referir a unidade) de carbono. Pode se observar nos gráficos na figura 13 que o COT e bicarbonato são inversamente proporcionais, o que pode ser observado na correlação de Pearson com  $r = -0.62$ ,  $p < 0,05$  uma correlação negativa (ver esquema em anexo A).

## Nutrientes

Relativamente aos nutrientes foram analisados o azoto, nitratos, fosforo total, sílica, amónio. O Amónio apresenta concentrações abaixo dos valores recomendados pela legislação do país, com concentrações mais reduzidas em período pós chuvas com exceção ao ponto 1, sendo que o ponto 8 apresenta para o período antes das chuvas a concentração mais elevada, o que indica que este local está mais susceptível a contaminação antropogénica

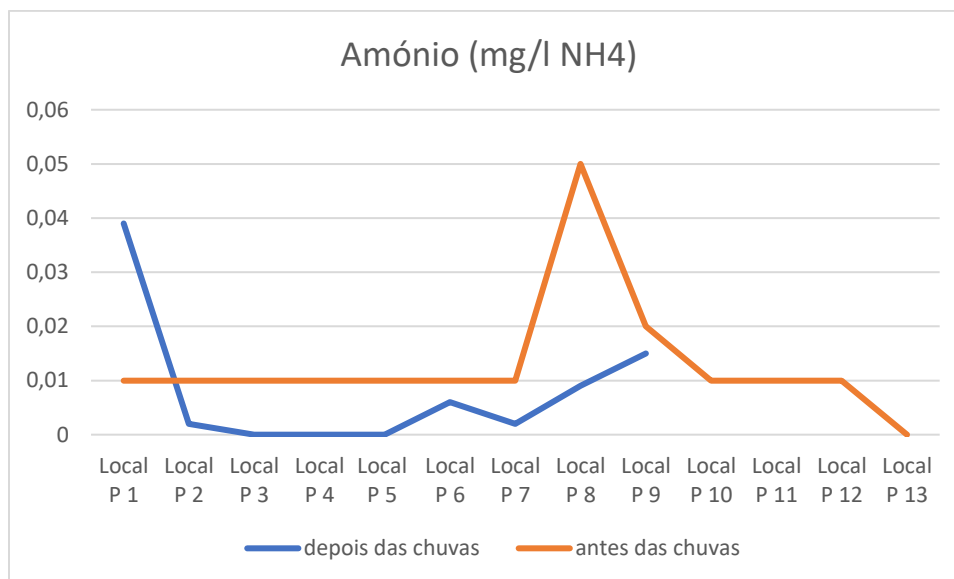


Figure 14 resultados Amónio nos anos no período antes e depois das chuvas

O azoto total, de forma geral apresenta concentrações abaixo do valor máximo recomendado pela legislação, com exceção aos pontos 8, 9 e 11, que evidenciaram concentrações mais elevadas respetivamente no período antes das chuvas. O ponto 8 apresenta concentrações muito elevadas, que podem estar relacionadas com a entrada externas, relacionadas com o uso e ocupação dos solos nas bacias hidrográficas, nomeadamente derivadas práticas agrícolas e pecuárias insustentáveis.

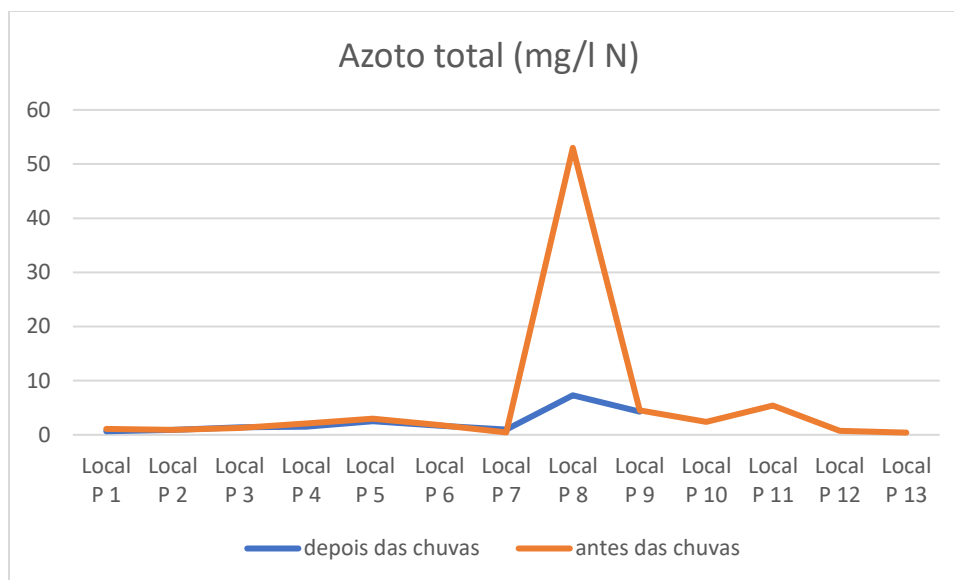


Figure 15 resultado azoto nos periodos antes e depois das chuvas

Os nitratos apresentam concentrações abaixo dos valores legislados para a na maioria dos pontos, com uma ligeira subida na época antes das chuvas. Exceptua-se o ponto 8 que na campanha antes das chuvas apresentou uma concentração acima dos valores recomendados (19mg/l) e na campanha na época depois das chuvas apresentou uma concentração exorbitante (194,1mg/l), ultrapassando muito o limite máximo de estabelecido pela lei em vigor (50mg/l). Saliente-se a alta solubilidade dos nitratos retidos no solo no período mais seco, apresentando facilidade de serem lixiviados caso não sejam assimilados pelas culturas (Glavan *et al.*, 2013; apud Landin, 2019), o que acontece no período húmido ao contrário do ocorrido neste estudo onde houve maior concentração de nitratos no período seco muito provavelmente devido poluição remota, devido ao uso dos fertilizantes (compostos azotados), na agricultura na Bacia Hidrográfica

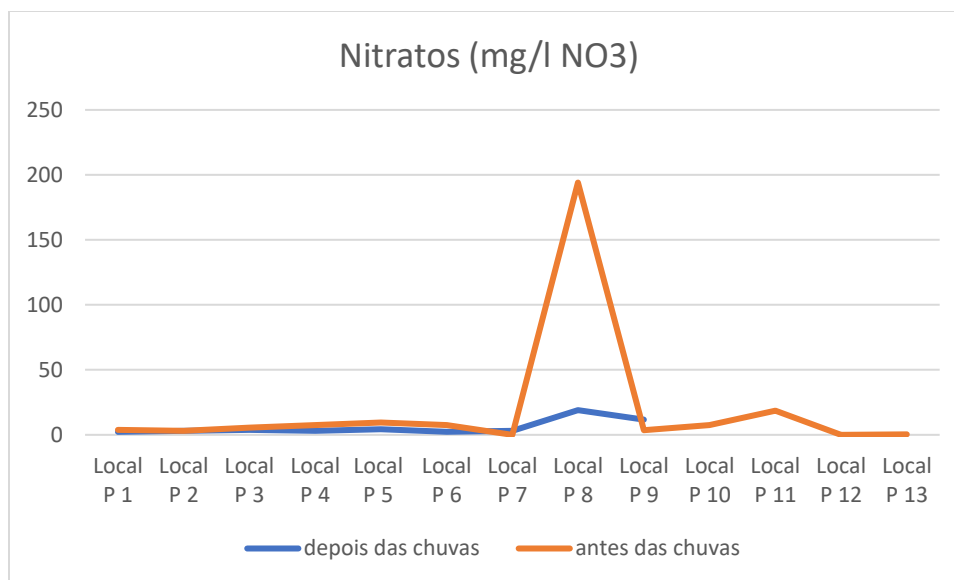


Figure 16 resultados nitratos nos períodos antes e depois das chuvas

O Fósforo Total evidenciou concentrações muito elevadas, sobretudo na campanha realizada no período antes das chuvas com um valor máximo de 5 mg/L detetado no local 6. Estas concentrações estão muito acima do valor máximo recomendado (0,2 mg/L), pela legislação cabo-verdiana e acima do limite que classifica o sistema como eutrófico (0,035 mg/L), o que indicia estarmos em presença de sistemas eutrofizados, mas no período de pós chuvas os valores são de forma geral abaixo dos valores recomendados pela lei com exceção de dois pontos, o ponto 2 e o ponto 9.

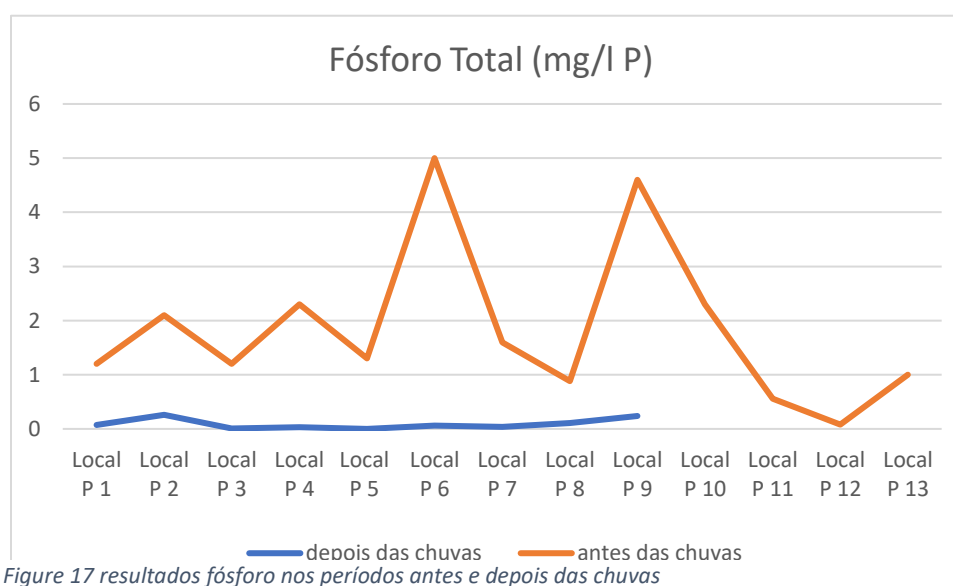


Figure 17 resultados fósforo nos períodos antes e depois das chuvas

A sílica evidencia concentrações inferiores a 0,2mg/l e valor máximo de 115,3 mg/l. Não se verifica uma grande variação entre campanhas (antes e depois das chuvas), com exceção do ponto 4 na campanha realizada depois das chuvas.

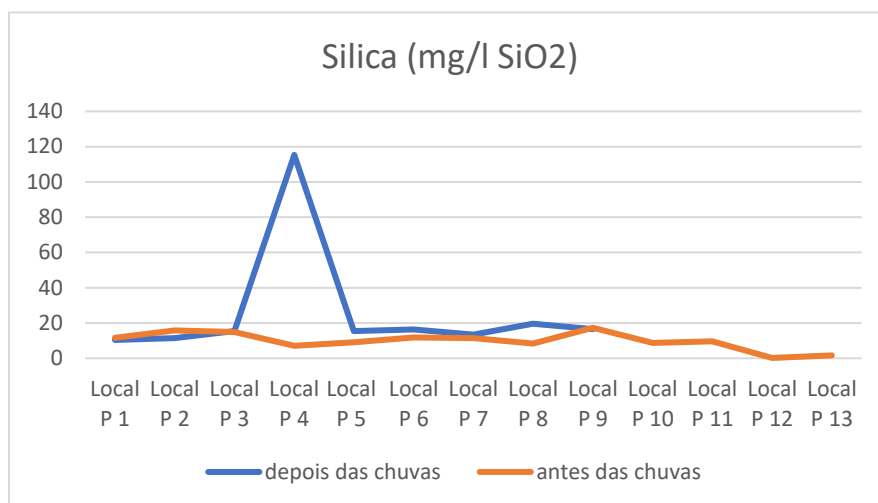


Figure 18 resultados sílica nos períodos antes e depois das chuvas

VMR (valor máximo recomendado), legislação Cabo-verdiana (Decreto regulamentar nº4/2020, de 2 de março): Azoto total - 3 mg/l; Azoto amoniacal – 1,0 mg/l; nitratos – 5 mg/l; fósforo total – 0,2 mg/IVMA (valor máximo admissível), legislação Cabo-verdiana (Decreto regulamentar nº4/2020, de 2 de março): Azoto amoniacal – 1,5 mg/l; nitratos – 50 mg/l

### **Ordenação Global dos Descritores**

A ordenação conjunta dos descritores físico-químicos foi estudada através da Análise de Componentes Principais (PCA). Efetuou-se a ordenação de dezesseis descritores, utilizando a matriz simétrica de correlação para as duas amostragens. O resultado da ordenação para as duas primeiras componentes principais, apresentou valores próprios de 7,67 e 2,49, respetivamente, a que corresponde uma variância acumulada de 63,53%. Na Tabela 4 apresentam-se os vetores próprios das variáveis físico-químicas, destacando se a negrito as que mais contribuem para a explicação das duas primeiras componentes ( $\geq 0,2$ ).

Na primeira componente principal (47,95% de variância) destacam-se com vetores próprios positivos por ordem decrescente: condutividade; magnésio; sódio; bicarbonatos; cloretos; cálcio; sulfatos; potássio. No lado oposto da ordenação, com vetores próprios negativos para a exolicação do eixo destaca-se o pH (Figura 14).

A segunda componente principal (15,58% de variância), dispõe, na parte positiva os descritores: amónia; nitratos e azoto total; em oposição aos descritores: bicarbonato e cloreto na parte negativa (Figura 14).

A ordenação das amostragens (com indicação dos pontos e período de amostragem) no espaço definido pelas duas primeiras componentes completa a informação obtida pela ordenação dos descritores, podendo em consequência ser considerada uma representação do espaço ecológico. Esta ordenação resulta da ordenação dos descritores devido à projeção da matriz logaritimizada em modo R (por descritor) sobre a matriz dos vetores próprios em modo C (locais de amostragem).

*Tabela 3 Vetores próprios dos descritores físico-químicos das duas componentes principais, destacando se a negrito as que mais contribuem para a explicação das duas primeiras componentes ( $\geq 0,2$ ).*

	<b>Dim 1</b>	<b>Dim 2</b>
pH	<b>-0,75</b>	<b>-0,45</b>
Condutividade	<b>0,96</b>	-0,25
Bicarbonatos	<b>0,83</b>	<b>-0,46</b>
Cloretos	<b>0,81</b>	<b>-0,46</b>
Cálcio	<b>0,8</b>	-0,08
Amonio	0,45	<b>0,7</b>
Nitratos	0,66	<b>0,66</b>
Azoto total	0,67	<b>0,67</b>
Fósforo Total	-0,13	0,21
Silica	-0,31	-0,1
Sulfatos	<b>0,78</b>	-0,17
COT	-0,5	0,5
Ferro	-0,14	0,27
Magnésio	<b>0,92</b>	0,04
Potássio	<b>0,75</b>	-0,07
Sódio	<b>0,84</b>	-0,06

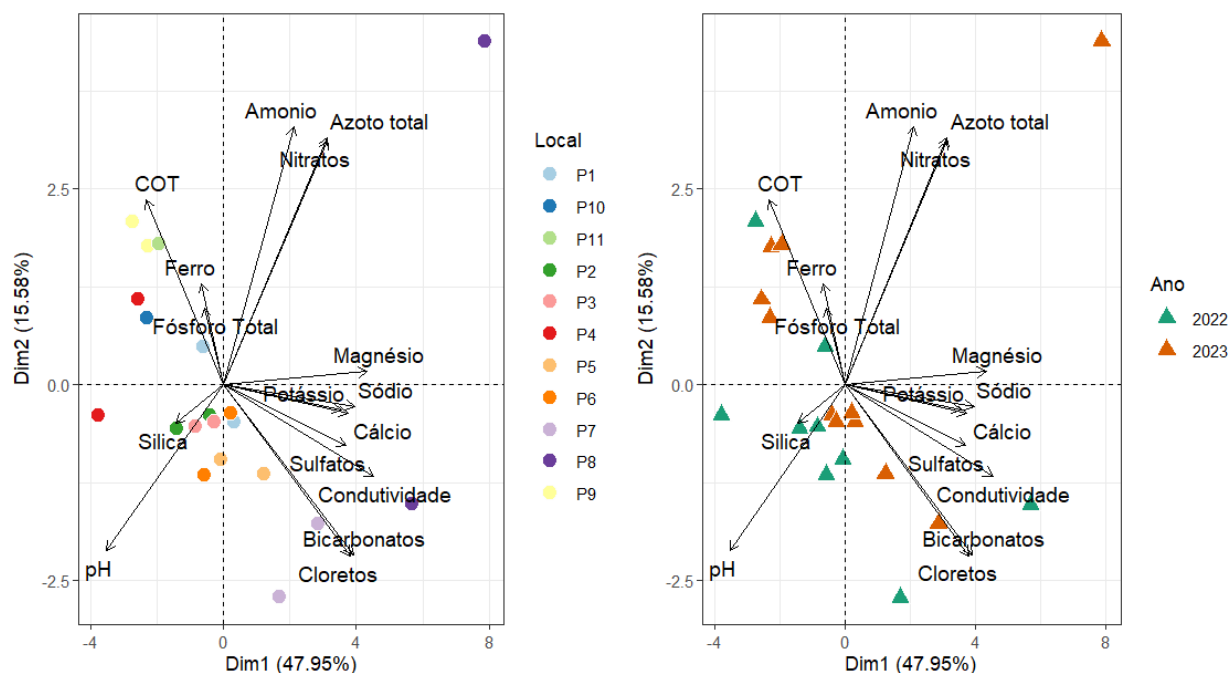


Figure 19 Ordenação dos descritores físico-químicos e amostragens (2022-2023) nos 11 pontos de estudo

Em relação a nível temporal pode-se observar que as amostras de forma generalizada apresentam pouca oscilação com exceção do ponto 8 que apresenta uma grande oscilação com diferenças bem acentuadas. O ponto 8 localiza-se no fundo da ribeira muito perto de parcelas de terreno onde se cultivam produtos agrícolas e pratica a criação de gado próximo de uma cadeia de condutas antigas, que conduziam água para o centro da cidade. Consequentemente, muito susceptível a pressão antropogênica, contribuindo assim para a contaminação. Esta contaminação foi detetada através das concentrações elevadas de parâmetros físico-químicos (nomeadamente nitratos, amônio e azoto total) da água deste ponto, pelo que se pode ver no gráfico no período antes das chuvas/seca o ponto 8 mostra esse vetor mais alongados mostrando assim uma elevada contaminação com origem provável na lixiviação desses componentes a seguir as chuvas.

Na dimensão 1 podemos observar que há maior contribuição de componentes geológico (lado positivo do eixo) nomeadamente sódio, magnésio, cálcio, potássio, bicarbonatos, sulfatos o que mostra uma maior influência na composição química da água o que pode estar relacionado com a composição das rochas onde estão localizadas e pelo efeito de desmineralização dos materiais envolvidos aos depósitos de água, lixiviação e erosão. Algumas amostras mostram um valor considerável dos indicadores de contaminação nomeadamente nas variáveis COT, amônio, azoto,

nitratos o que poderá estar relacionados com a contaminação antropogênica. Em termos globais, verifica-se um pouco distanciamento entre as amostragens realizadas em situação de seca, identificada no ano 2023 (antes das chuvas) e as amostragens realizadas em 2022 (depois das chuvas), com maior quantidade da água, o que denota uma alteração da qualidade da água em função do maior ou menor volume de água presente.

Já na segunda dimensão os maiores contribuidores são as variáveis que indicam a contaminação no eixo positivo e menor contribuição das variáveis geológicas.

### 3.3.Considerações finais

Mais do que 50% da ocupação do solo da ilha está ocupada por vegetação arbustivas, onde parte dela é utilizadas para o pastoreio livre, aproximadamente  $\frac{1}{4}$  são que ocupam 26,5% , segundo os dados obtidos podemos ver que os pontos situados em zonas edificadas mostram mais tendencia para estarem sob influência de contaminação antropogênica devido a sua localização. Nomeadamente o ponto 8 que fica situado numa em que sofre influência direta da população e que segundo os dados do COT, amônio, azoto e nitrato mostram um maior nível de contaminação em relação aos restantes pontos analisados. Os pontos 5, 6 e 10 apesar de estarem inseridas em zonas edificadas não apresentam dados sugestivos a contaminação, isto porque se encontram em pequenas vilarejos onde a presença humana é bastante menor comparativamente a ponto 8.

Os restantes dos pontos estão inseridos em zonas arbustivas e arbóreas com pouca influência antrópica mostram que estão menos suscetíveis a contaminação, com pouca variabilidade dos parâmetros nos períodos antes das chuvas e depois das chuvas.

De um modo geral, os descritores fisico-químicos analisados nos pontos selecionados, encontram-se dentro dos limites permitidos pela legislação caboverdiana, com algumas exceções, maioritariamente detectadas antes das chuvas em situação, mas seca (nitratos, COT, azoto, amônio etc), o que nos indicam aumento de contaminação

O ponto 8 evidencia uma elevada concentração de azoto, nitratos, amónio, o que indicam que este ponto está sobre pressão antropogênica, carecendo de medidas mitigadoras, muito embora o destino da água não sea para o consumo humano.

## Referências bibliográficas

Andrade, E. de, Araújo, L., Rosa, M., Disney, W., & Alves, A. (2007). Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, 27(3), 683–690. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000400011>

Andrade, L. N. D., Leite, M. G. P., & Bacellar, L. D. A. P. (2009). Influência geológica em assinaturas químicas das águas e solos do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais. *Revista Escola de Minas*, 62, 147-154.

Avila, H.M. et al, 2022, Schematization of Converging Groundwater Flow Systems Based on 3D Geostatistics, *Water* 2022, 14, 3169. <https://doi.org/10.3390/w14193169>  
<https://www.mdpi.com/journal/water>

Akiti, T. (1985) – Environmental isotope study of the groundwaters of the island of Santiago (Cape Verde). Report Project CVI/82/004 PNUD. International Atomic Energy Agency. Division of Research and Laboratories. Section of Isotope Hydrology. Vienna. 26 pp.

Barros, R. P. (2018). Estudo de uma Solução Integrada de Sustentabilidade para uma Comunidade Rural de Cabo Verde- A Fajã, na Ilha de São Nicolau- A partir da Construção de Indicadores Ambientais e Socioeconómicos.

Beltra, D. (2006). BELTRA, D.. Fórum Mundial da Água debate escassez. *Jornal Estado de Minas, Belo Horizonte*, 15, mar., 2006. - Pesquisa Google. [https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk03I8R8vVNJEbFPpdd5z\\_uHkjNpN0g%3A1611015480670&source=hp&ei=OCUGYPP6JvPOgwfiwoDIBQ&q=BELTRA%2C+D..+Fórum+Mundial+da+Água+debate+escassez.+Jornal+Estado+de+Minas%2C+Belo+Horizonte%2C+15%2C+mar.%2C+2006.&oq=BELTRA%2C+](https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk03I8R8vVNJEbFPpdd5z_uHkjNpN0g%3A1611015480670&source=hp&ei=OCUGYPP6JvPOgwfiwoDIBQ&q=BELTRA%2C+D..+Fórum+Mundial+da+Água+debate+escassez.+Jornal+Estado+de+Minas%2C+Belo+Horizonte%2C+15%2C+mar.%2C+2006.&oq=BELTRA%2C+)

Custódio, E. & Llamas, M.R. (1976). *Hidrologia Subterrânea* - Ed. Omega, Barcelona; L.L.

Estudo para elaboração de mapas de Vulnerabilidade e Índice de Poluição das Águas Subterrâneas na ilha de São Nicolau – Modelo GOD, 2019. Governo de Cabo Verde

Felippe M. 2009, Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de belo horizonte-mg com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia , Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil.

Gominho, M. (2011). Gestão dos recursos hídricos no processo de desenvolvimento sustentável de Cabo Verde: uma proposta (Master's thesis).

Goth B. (2014) Geopatrimónio; Geoconservação; Ilha de São Nicolau; Geoturismo; Inventariação. Dissertação de Mestrado em Geografia Física: Ambiente e Ordenamento do Território apresentada ao Departamento de Geografia, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Governo de Cabo Verde, 2019, Estudo para elaboração de mapas de vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas na ilha de São Nicolau-modelo GOD

Hammer, D. A. T., Ryan, P. D., Hammer, Ø., & Harper, D. A. T. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. In *Palaeontologia Electronica* (Vol. 4, Issue 1). [http://palaeoelectronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)  
[https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/weatherarchive/ribeira-brava\\_cabo-verde\\_3374121?fcstlength=1y&year=2023&month=9](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/weatherarchive/ribeira-brava_cabo-verde_3374121?fcstlength=1y&year=2023&month=9) (acesso em Julho 2024)

J. C. Olivry. Estudo de precipitações em São Nicolau. M. D. R. / Centro de O.R.S.T.O.M. de Dakar. Projecto 79/CD/77/CAV/II.

José G. Vasconcelos, Sergio Koide, 2009, Metodologia para Otimização da Amostragem de Qualidade de Água em Redes de Distribuição. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 14 n.4 Out/Dez 2009, 5-15.

Landim L. (2021), análise temporal de descritores físico-químicos e Fitoplanctónicos da água. Albufeiras de flamengos e de figueira gorda, ilha de santiago, cabo verde (estratégias de conservação e de gestão sustentável das albufeiras e bacias hidrográficas), universidade de cabo verde -Escola de ciências agrárias e ambientais-Doutoramento em gestão e políticas ambientais, Praia, Cabo Verde

Mateus Nunes, *op. cit.*, pp. 21-22; Mateus Nunes, *Problemas da Ilha de S. Nicolau (Caba Verde)*, Lisboa, 1962, pp. 23 e 30. Cf. Ernesto J. de C. E. Vasconcelos, *op. cit.* , p. 42; Mateus Nunes, *Os*

*Solos da Ilha de Sao Nicolau (arquipelago de Caba Verde)*, pp. 20-21; *Problemas da Ilha de S. Nicolau (Caba Verde)*, pp. 27-28.)

Nunes J. C. (2002). Novos Conceitos em Vulcanologia: Erupções, Produtos e Paisagens Vulcânicas. Associação Portuguesa de Geólogos. Geonovas, n.º 16, pp 5-22.

ONU. (2015). The United Nations World Water Development Report 2015, Water for a sustainable world.

ONU. (2016). The United Nations World Water Development Report 2016, Water and Job.

Paulo, N. M. R. (2015). Fundações de Barragens em maciços rochosos vulcânicos: o caso da barragem de Banca Furada na Ilha de S. Nicolau em Cabo Verde (Doctoral dissertation).

Pina A. A Experiência Cabo-verdiana como Instrumento de Gestão das Bacias Hidrográficas Mosteiros, Ribeira do Paul e Ribeira Fajã servindo de Apoio à Agricultura Irrigada. INGRH.

Roda, A. R. O acesso limitado à água potável nos países da África subsaariana como violação dos direitos humanos. Inter: revista de direito internacional e direitos humanos da ufrj, 2(2).

Sabino, A. A. (2015). Os sistemas de conservação de água em Cabo Verde-Caso de estudo da bacia hidrográfica da Ribeira Brava.

Santos, Francisco L.; Alexandre, Carlos A.; Coelho, Renato R. (2017). Relações solo-água-planta. In Hidrologia Agrícola. ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Escola de Ciência e Tecnologia Universidade de Évora

Shahidian, S.; Serralheiro, R.P.; Serrano, J.; Sousa, A. (2014) O desafio dos recursos hídricos em Cabo Verde

Stevens L. et al. 2011, Inventory and monitoring protocols for springs ecosystems.

Silva C. et al. Caracterização das águas subterrâneas da zona do lumiar (concelho de Lisboa)

Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., & Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - A case study. *Water Research*, 38(18), 3980–3992.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011>

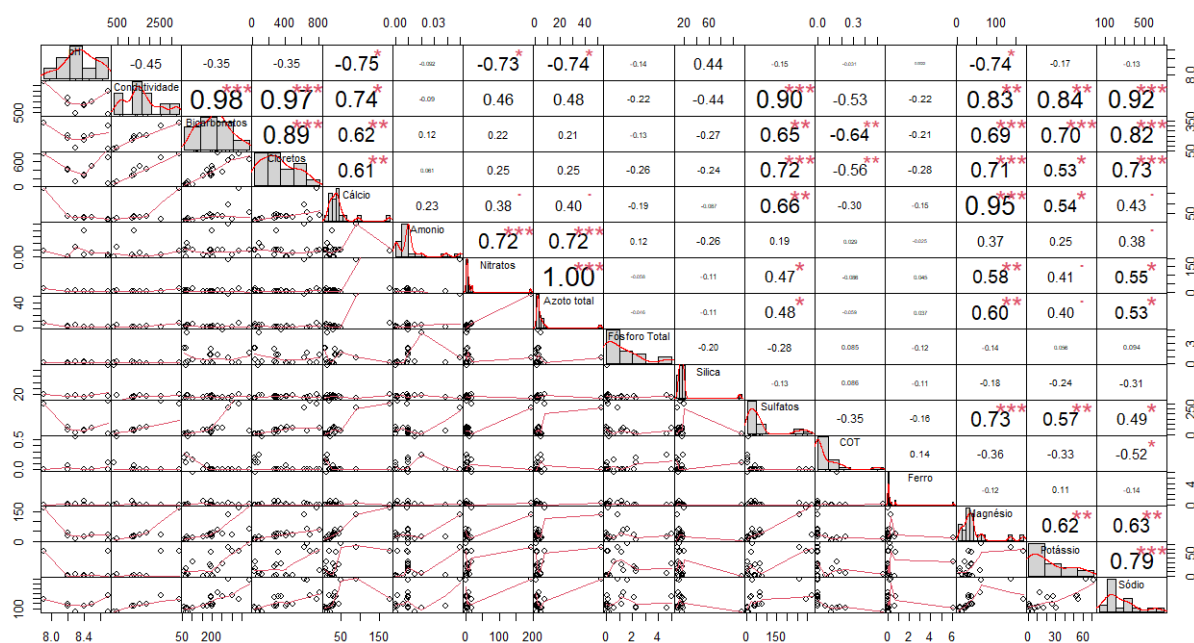
Teixeira A., 2004, A ILHA DE SAO NICOLAU DE CABO VERDE NOS SECULOS XV A XVIII, Centro de História de além-mar, Universidade Nova de Lisboa, faculdade de ciencias sociais e humana, Lisboa, Portugal.

Teixeira J, (2011), Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.

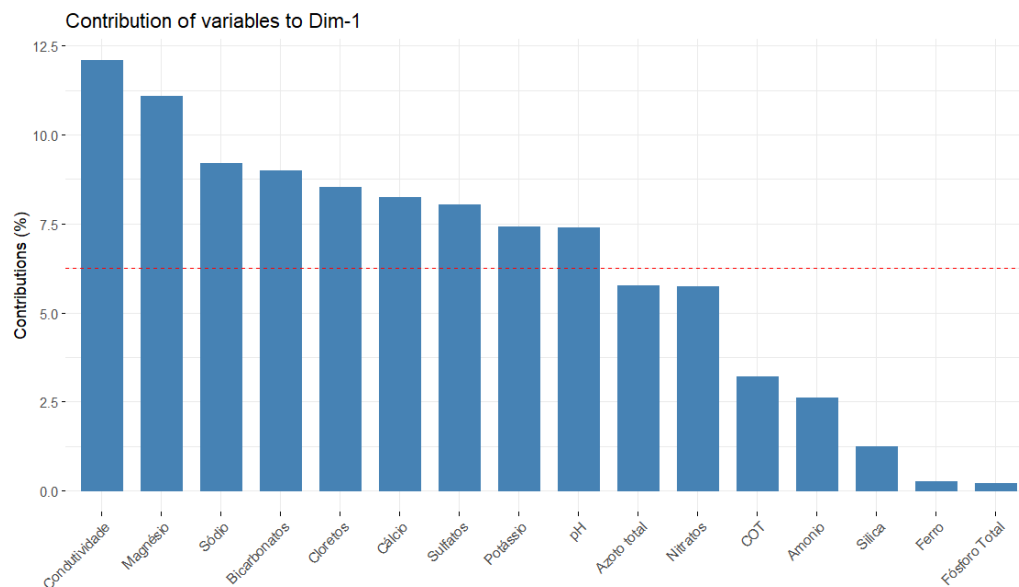
Varela, L. H. F. (2016). Desafios ao direito humano à água e à sustentabilidade dos serviços em Santa Cruz, Cabo Verde. *Ambiente & Sociedade*, 19, 207-226.

Ventura, J.E. (2009) A problemática dos recursos hídricos em Santiago. 1º Congresso de desenvolvimento regional de Cabo Verde. Praia.

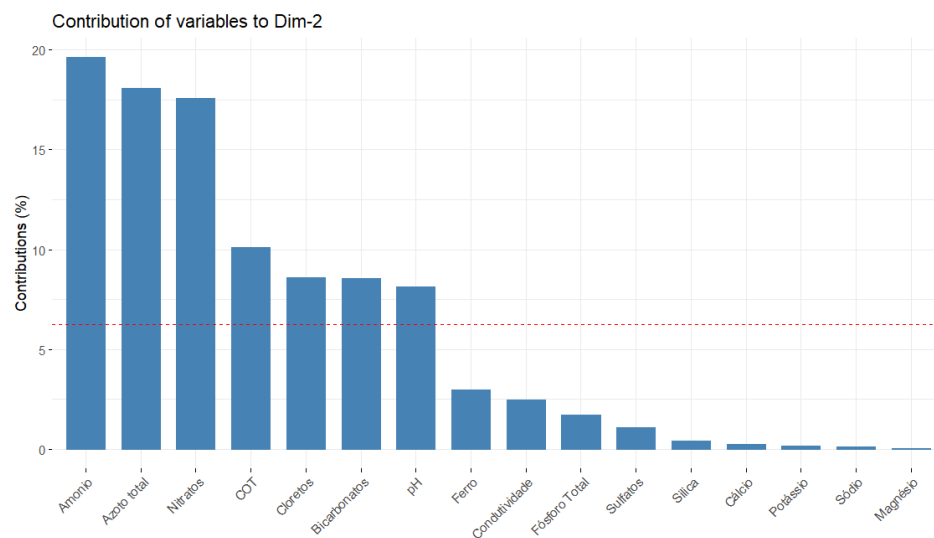
## Anexo



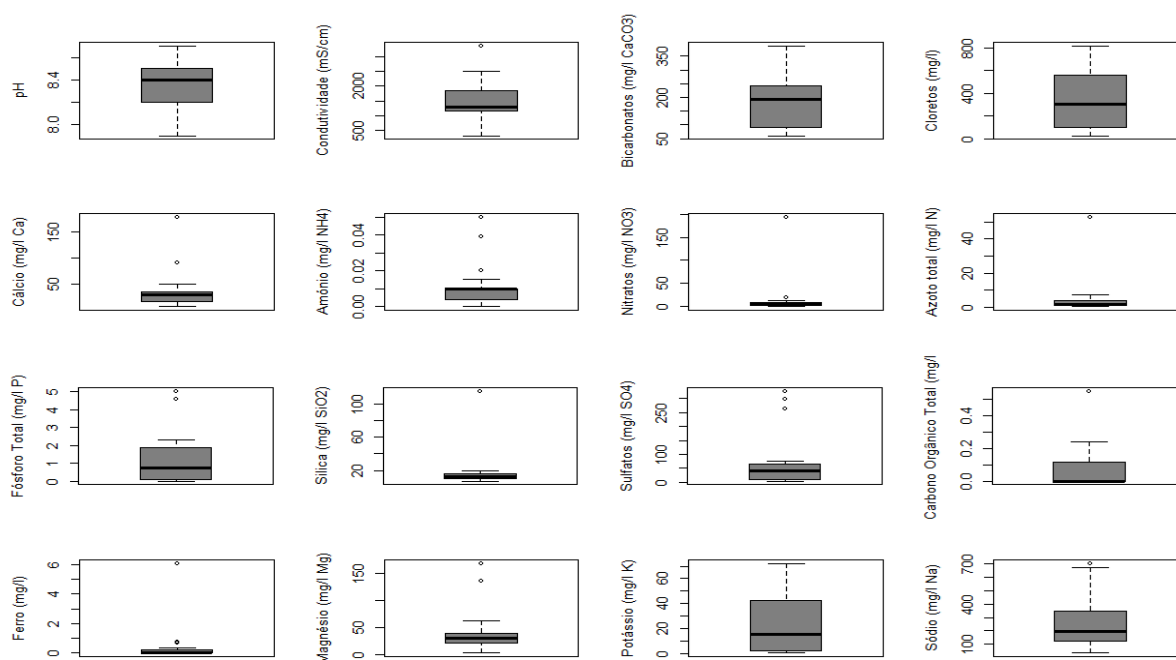
### Anexo A correlação de Pearson



### Anexo B contribuição das variáveis na dimensão 1



Anexo C contribuição das variáveis na dimensão 2



Anexo D resultados do modelo boxplot das variáveis

Ponto	Coordenadas geográficas		Localidade	Tipo	Uso	Fotografias da 2ª campanha
1	16.3834N	24.1756W	Ribeiraozinho	Furo	Rega	Fot. 138 – 157 25 de abril 2023
2	16.3831N	24.1758W	Ribeiraozinho	Nascente <del>galeria</del>	Rega	Fot. 158 – 161 25 de abril 2023
3	16.3844N	24.1811W	Carvoeiros	Furo	Rega	Fot. 119 – 126 25 de abril 2023
4	16.3728N	24.1946W	Ventoso- Cabeçalinho	Nascente Água torno	População	Fot. 025 – 042 25 de abril 2023
5	16.3646N	24.0801W	Juncalinho- RB	Nascente/poço perto do mar	Lavagem de roupa e rega	Fot. 162 – 169 25 de abril 2023
6	16.3644N	24.0751W	Juncalinho- RB	Furo,	Rega e população	Fot. 188 – 200 25 de abril 2023
7	16.3748N	24.1247W	Figueira Coche- Belém-RB	<del>furo</del>	Rega	Fot. 005 – 027 26 de abril 2023
8	16.6187N	24.2906W	Maiama-RB	Nascente/ <del>poço</del>	Rega	Fot. 044 – 088 26 de abril 2023
9	16.3728N	24.1946W	Cachaço-RB	Nascente	População	Fot. 063 – 085 25 de abril 2023
10 (só 2ª campanha)			Vila da Ribeira Grande	Fontanario na Vila da Ribeira Grande	População	Fot. 086 – 098 25 de abril 2023
11 (só 2ª campanha)			3 Km de extensão	Galeria de Fajã	População	Fot. 099 – 118 25 de abril 2023

Anexo E locais de amostragem – São Nicolau

Anexo F dados obtidos nas duas campanhas de amostragens