



**LAMEIRO CAMPUS DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA (IPB):  
CARACTERIZAÇÃO E VALORAÇÃO ECO HIDROLÓGICA**

**Jarbas Amoedo Fogaça Neto**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança  
para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientado por:

**Prof. Doutor Tomás D’Aquino Freitas Rosa de Figueiredo**  
*Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (ESA-IPB)*

**Bragança**

**2022**

Jarbas Amoedo Fogaça Neto

**LAMEIRO CAMPUS DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA (IPB):  
CARACTERIZAÇÃO E VALORAÇÃO ECO HIDROLÓGICA**

Dissertação de Mestrado apresentado à  
Escola Superior Agrária (ESA) do Instituto  
Politécnico de Bragança (IPB), como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Mestre em Tecnologia Ambiental.

Professor Orientador IPB: Prof. Doutor  
Tomás D’Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Bragança, Portugal

Abril, 2022

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais Jarbas Amoedo Fogaça Júnior e Waldirene Souza Leite Amoedo pelo incentivo, ligações, suporte, pelos dias que passamos juntos (foi de extrema importância) e principalmente por acreditar nessa jornada. Pela compreensão e companheirismo da minha namorada, Carla Acioli, por me aguentar em dias bons e não tão bons. A minha irmã Ana Carolina Amoedo pela ajuda no dia a dia e memes.

Ao meu orientador Prof. Dr. Tomás de Figueiredo pela paciência, oportunidade, disponibilidade, conhecimento, e principalmente pelo tratamento dado a mim e aos demais orientandos. O entusiasmo e o amor pelo trabalho realizado por ele são transmitidos à todos em sua volta. Agradeço veemente pelo crescimento pessoal e profissional.

Ao Instituto Politécnico de Bragança pela experiência, conhecimento, estrutura e diversidade cultural a qual possui. Ao corpo docente que incessantemente mostrou-se capacitado e presente, mesmo em um período de pandemia mundial; e aos colegas de curso por dividirem as mesmas preocupações e responsabilidades.

Aos meus amigos de moradia do São Roque, pelas constantes risadas, conversas, aprendizados, diversidades culturais, comidas e algumas confusões. Em especial a Higor Vendramini Rosse, Heitor Dutra e Tiago Fonseca, por fazerem a minha estadia em Bragança mais leve, e pela amizade a qual levarei por toda a minha vida.

Aos orientados e ex-orientandos do Prof. Dr. Tomás pela troca de conhecimento, trabalhos e experiências. Pela disponibilidade da Ana Royer, e a incessante ajuda do Régis Pacheco nas idas a campo.

A minha avó Maria Lucia Oliveira, tia avó (a qual considero uma avó) Maria Ângela Oliveira e ao meu tio Evandro Amoedo, pela visita e dias especiais que passamos juntos.

Aos meus grandes amigos Drogon, Preta (em memória) e Nymeria pelo companheirismo e festas, sempre que pude retornar para casa.

Aos meus amigos e amigas do Brasil que torceram, mandaram energias positivas, mantiveram contato (em especial aos que sempre me atendiam por vídeo chamadas).

A todos que contribuíram seja por via direta ou indireta para a minha experiência e realização desse projeto.

*“No one can do everything, but everyone can do something.”*

Sylvia Earle, Ph.D

## RESUMO

As áreas conhecidas como lameiros – pastagens semi-naturais que dão suporte à produção pecuária – são elementos integrantes dos espaços de montanha do Norte de Portugal e da atividade agrícola tradicional que aí se pratica. A área de lameiros está sofrendo com o abandono da terra associada ao declínio demográfico. Com a descaracterização destas áreas, os lameiros estão perdendo importância como cultura e como ecossistema. Os lameiros recebem influências hidrológicas superficiais e subsuperficiais associadas à sua posição topográfica de vale, situam-se em altitudes relativamente elevadas e, portanto, em zonas de clima mais frio e úmido, e com solos mais ricos em matéria orgânica dos que os solos das áreas abrangentes. Os lameiros auxiliam na preservação ambiental, destacando-se o seu papel na redução da propagação de incêndios, e possuem inegável valor paisagístico. O Lameiro do Campus do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), localizado no Nordeste de Portugal, selecionado como área de estudo, é um caso singular, uma vez que foge da regra de ser uma área com âmbito rural, por estar inserido em área urbanizada dentro de um Campus universitário. O objetivo deste trabalho consistiu em caracterizar o entorno hidrológico do Lameiro do Campus do IPB e, a partir desta caracterização, identificar elementos que permitam reconhecer e valorizar as suas funções eco hidrológicas e as das áreas por ele influenciadas. A caracterização referida foi realizada em ambiente SIG (a partir do *software* ArcGis). A umidade do solo e o nível freático constituíram os elementos de avaliação do funcionamento hidrológico do lameiro e foram monitorizadas ao longo de 8 meses em 7 pontos de medição, respectivamente com sonda *PR2 Moisture*, leitor *HH2*, *software ReadHH2 2.8* e piezômetros. O tratamento e análise estatística destes dados foram realizados em Excel e RStudio. Os resultados foram comparados com balanços hidrológicos calculados com os dados da Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolónia no período de estudo. No seu conjunto, e para período referido, esta informação permitiu interpretar a dinâmica hidrológica do Lameiro do Campus do IPB, em conexão com o Rio Fervença, principal curso de água para o qual drena. Permitiu, portanto, realçar as funções de regulação hidrológica que esta área assegura, exercendo o papel de filtro biológico para a pressão humana caracterizado pela impermeabilização superficial do meio em que está inserido, e conseqüente, a tendência para ampliar os extremos hidrológicos do Lameiro.

**Palavras-chaves:** lameiros; Campus do IPB; Rio Fervença; SIG; sonda *PR2 Moisture*; piezômetros; umidade do solo.

## ABSTRACT

The areas known as *Lameiros* – semi natural pastures that support livestock production – are integral elements in North Portugal mountain's areas and of the traditional agricultural activity that is practiced there. The *Lameiros'* areas are suffering from land abandonment associated with demographic decline. With the de-characterization of these areas, the *Lameiros* are losing importance as a culture as an ecosystem. The *Lameiros* receive influences from surface and subsurface hydrological associated to a valley topographic position, it is located at relatively high altitudes, therefore, in colder and wetter climate zones, and at soils richer in organic matter than soils are comprehensive areas. The *Lameiros* subsidiary in environmental preservation, highlighting their role in reducing the spread of fires, and have an undeniable landscape value. The *Lameiro* Campus of *Instituto Politécnico de Bragança (IPB)* is in the Northeast of Portugal, selected as a study area, it is a unique case since it deviates from the rule of being a rural scope area, as it is inserted in an urbanized area within of a University Campus. The objective of this work was to characterize the hydrological surroundings of the *IPB's Lameiro* Campus, and from this characterization, to identify elements that allows recognizing and valuing its eco-hydrological functions and those areas influenced by it. The aforementioned characterization was performed by GIS (from the ArcGis software). The soil moisture and groundwater level constituted the elements for evaluating the hydrological functioning of the *Lameiros* and it was monitored over 8 months at 7 measurement points respectively whit PR2 Moisture probe, HH2 reader, ReadHH2 2.8 software and piezometers. The treatment and statistical analysis of these data were performed in Excel and RStudio. The results were compared a hydrological balance calculated with datas from Meteorological Station *Quinta de Santa Apolônia* during the study period. As a whole, for the mentioned period, this information allowed us to interpret the hydrological dynamics *IPB's Lameiro* Campus, in a connection with the Ferveça River, the main watercourse into it drains. It allowed, therefore, to highlight the functions of hydrological regulation that this area ensures, acting as a biological filter for human pressure characterized by the surface waterproofing of the environment in which it is inserted, and consequently, the tendency to expand the hydrological extremes of *Lameiro*.

**Key-words:** *Lameiros*; *IPB* Campus; Ferveça River; GIS; PR2 Moisture probe; piezometers, soil moisture.

## SUMÁRIO

<b>SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	VIII
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	X
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	XII
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 Hidrologia .....	3
2.1.1 Ciclo Hidrológico .....	3
2.1.1.1 Precipitação.....	5
2.1.1.2 A Umidade .....	6
2.1.1.3 Evapotranspiração.....	7
2.1.2 Região Hidrográfica .....	7
2.1.3 Bacia Hidrográfica.....	8
2.1.4 Características Fisiográficas .....	10
2.1.4.1 A Geometria.....	10
2.1.4.2 A Drenagem .....	12
2.1.4.3 O Relevo .....	13
2.2 Lameiros .....	16
2.2.1 Serviços do Ecossistema.....	17
2.2.1.1 Funções Hidrológicas .....	17
2.2.1.2 Funções Produtivas .....	18
2.2.1.3 Armazenamento de Carbono .....	19
2.2.1.4 Socioambientais .....	20
2.2.2 Classificação.....	20
2.3 Solos do Nordeste de Portugal.....	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	24
3.1 SIG .....	24
3.1.1 Sistemas, Projeções e Transformações.....	25
3.1.2 Curvas de Nível, Direção do Fluxo e Fluxo de Acumulação das Águas..	25
3.1.3 Elevação e Hipsometria (Relevo Sombreado).....	27
3.1.4 Bacia e Sub-Bacia hidrográficas.....	28
3.1.5 Relação COS, freguesia e Sub-Bacia hidrográfica.....	28
3.1.6 Outros Parâmetros .....	29
3.2 Análise Experimental.....	29

3.2.1	Sonda <i>PR2 Moisture</i> .....	31
3.2.2	Piezômetros .....	35
3.3	Análise Estatística.....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>39</b>
4.1	Caracterização do Lameiro do Campus do IPB .....	39
4.1.1	Localização.....	41
4.1.2	Altimetria.....	42
4.1.3	Geologia .....	47
4.1.4	Solos .....	47
4.1.5	Relevo.....	48
4.1.5.1	Modelo Digital de Elevação .....	48
4.1.5.2	Altitude Hipsométrica.....	49
4.1.6	Hidrologia.....	51
4.1.6.1	Precipitação.....	51
4.1.6.2	Região Hidrográfica Douro Internacional .....	52
4.1.6.3	Região Hidrográfica Douro Portugal.....	53
4.1.6.4	Bacia Hidrográfica Rio Sabor.....	55
4.2	Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.....	56
4.2.1	Caracterização Fisiográfica da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença....	58
4.2.1.1	A Geometria.....	58
4.2.1.2	A Drenagem.....	58
4.2.1.3	O Relevo .....	60
4.2.2	Relevo.....	61
4.2.2.1	Altitude Hipsométrica.....	61
4.2.2.2	Modelo Digital de Elevação .....	63
4.2.3	Geologia .....	64
4.2.4	Litologia dos Solos .....	65
4.3	Rede de Pontos de Amostragem .....	66
4.3.1	Evolução Urbanística.....	66
4.3.2	Sonda <i>PR2 Moisture</i> .....	71
4.3.3	Piezômetros .....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>87</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>92</b>

## SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Área
ADA	Área Diretamente Afetada
$A_i$	Área entre duas curvas de nível consecutivas
AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
AW3D	<i>ALOS World 3D</i>
BH	Bacia Hidrográfica
CCDR	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
cm	Centímetros
CNIG	<i>Centro Nacional de Información Geográfica</i>
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
$D_r$	Densidade de Drenagem
ESA	Escola Superior Agrária
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ETRS	<i>European Terrestrial Reference System</i>
EUREF	<i>European Reference Frame</i>
$\bar{H}$	Altura Média
$I_c$	Índice de Circularidade
$I_d$	Índice de Declive Global
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
IGeoE	Centro de Informação Geoespacial do Exército
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
$K_c$	Coefficiente de Compacidade
$K_f$	Fator de Forma
km	Quilômetros
km <sup>2</sup>	Quilômetros Quadrados
$L_e$	Comprimento do retângulo equivalente
$l_e$	Largura do comprimento equivalente
$L_{ei}$	Distância que Separam duas Retas de Cotas
$L_p$	Percurso Médio do Terreno

$L_t$	Comprimento das Linhas de Águas da Bacia Hidrográfica
m	Metros
$m^2$	Metros quadrados
ma	Megaano
mm	Milímetros
mV	miliVolts
NUTS	Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
P	Perímetro
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RH	Região Hidrográfica
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIG	Sistema Nacional de Informação Geográfica
UTM	Universal Transversal Mercator
WGS 1984	<i>World Geodetic System 1984</i>
$\bar{z}$	Altitude Média

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: ciclo hidrológico. ....	4
Figura 2: bacia hidrográfica.....	10
Figura 3: Lameiro Campos IPB e curso de água. ....	18
Figura 4: direções para fluxo de águas no ArcGis.....	26
Figura 5: rede de pontos de amostragem no Lameiro do Campus do IPB. ....	30
Figura 6: Sonda PR2 Moisture, leitor HH2, tubo e capa protetora. ....	32
Figura 7: tomada de dados através da Sonda PR2 Moisture acoplada com leitor HH2. 33	
Figura 8: profundidades do solo para determinação de umidade no solo. ....	34
Figura 9: tubo piezométrico e tubo de acesso da sonda <i>PR2 Moisture</i> . ....	35
Figura 10: Lameiro do Campus do IPB e tubos de acesso (sonda <i>PR2</i> e piezômetro) instalados e sinalizados.....	36
Figura 11: alturas piezométricas para análises hídricas.....	37
Figura 12: Lameiro do Campus do IPB e a visível urbanização limítrofe. ....	40
Figura 13: localização continental da área de estudo. ....	41
Figura 14: área do lameiro inserido no Campus do IPB. ....	42
Figura 15: gráfico de Dispersão para os pontos altimétricos disponibilizados pelo IPB. ....	43
Figura 16: curva de nível para o Campus do IPB.....	44
Figura 17: Gráfico de Dispersão quanto as aparições das Curvas de Nível.....	45
Figura 18: direção do fluxo de águas do Campus do IPB. ....	46
Figura 19: solos do Campus do IPB e de seu Lameiro.....	47
Figura 20: Modelo de Elevação Digital (DEM) do Distrito de Bragança destacando o Campus do IPB.....	49
Figura 21: mapa de Relevo Sombreado (hipsometria) do Campus do IPB.....	50
Figura 22: gráfico de Dispersão para altitude hipsométrica. ....	51
Figura 23: Região Hidrográfica Douro Internacional.....	52
Figura 24: Região Hidrográfica Douro Nacional. ....	54
Figura 25: Bacia Hidrográfica Rio Sabor. ....	56
Figura 26: Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença. ....	57
Figura 27: Classificação segundo Horton - Strabler, para o Rio Fervença. ....	59
Figura 28: área do Retângulo Equivalente para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença. ....	61

Figura 29: Curva Hipsométrica, relacionando a Altitude a Jusante e a Área acumulada em km <sup>2</sup> para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.....	62
Figura 30: altitude Hipsométrica para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença. ....	63
Figura 31: Mapa Modelo Digital de Elevação para Sub BH Rio Fervença. ....	64
Figura 32: litologia dos solos da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença. ....	65
Figura 33: COS 1995, 2007 e 2015 sobre área da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença. ....	67
Figura 34: COS 1995, 2007 e 2015 sobre as freguesias urbanas de Bragança.....	68
Figura 35: COS 1995, 2007 e 2015 para o Campus do IPB. ....	70
Figura 36: volume de umidade acumulado para S01 em L/m <sup>2</sup> .....	71
Figura 37: volume de umidade acumulado para S02 em L/m <sup>2</sup> .....	72
Figura 38: volume de umidade acumulado para S03 em L/m <sup>2</sup> .....	73
Figura 39: volume de umidade acumulado para S04 em L/m <sup>2</sup> .....	73
Figura 40: volume de umidade acumulado para S05 em L/m <sup>2</sup> .....	74
Figura 41: volume de umidade acumulado para S06 em L/m <sup>2</sup> .....	75
Figura 42: volume de umidade acumulado para S07 em L/m <sup>2</sup> .....	76
Figura 43: precipitação, evapotranspiração e balanço hidrológico. ....	77
Figura 44: balanços hidrológicos relacionado a umidade do solo mensurado na sonda PR2 Moisture.....	79
Figura 45: perfil freático para os pontos S01 e S02. ....	80
Figura 46: perfil freático para os pontos S03, S04 e S05. ....	81
Figura 47: perfil freático para os pontos S07. ....	81
Figura 48: avaliação hidrológica relacionando o volume freático para a rede de amostragem do Lameiro do Campus do IPB.....	82
Figura 49: Fluxo de Acúmulo de Água para percepção do Lameiro do IPB. ....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: classificação quanto a Forma da bacia e tendência a enchentes.....	11
Tabela 2: classificação e características quanto ao escoamento.....	12
Tabela 3: classificação quanto a densidade de Drenagem para a Sub-Bacia Hidrográfica. .....	12
Tabela 4: classificação de Horton - Strahler.....	13
Tabela 5: classificação dos lameiros. ....	21
Tabela 6: classes de declividade relacionado a tipologia do relevo. ....	27
Tabela 7: relação entre a altimetria do Campus do IPB e a composição da área. ....	45
Tabela 8: incidência de solos para o Campus do IPB.....	48
Tabela 9: classificação e incidências de relevo para o Campus do IPB.....	49
Tabela 10: Regiões Hidrográficas de Portugal. ....	53
Tabela 11: caracterização da Região Hidrográfica do Rio Douro Nacional. ....	55
Tabela 12: dados sobre a Área de Estudo e a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença. ....	57
Tabela 13: características geométricas da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença. ....	58
Tabela 14: características de drenagem da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.....	58
Tabela 15: características de relevo da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença. ....	60
Tabela 16: área da Altitude Mediana e a Altitude Mediana para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.....	60
Tabela 17: dados referentes ao Retângulo Equivalente da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.....	61
Tabela 18: classificação e incidências de relevo para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.....	63
Tabela 19: litologia dos solos da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.....	65
Tabela 20: evolução da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença para uso e ocupação do solo. ....	68
Tabela 21: evolução da área urbanizada de Bragança para uso e ocupação do solo. ....	69
Tabela 22: dados sobre a Área de Estudo e a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença....	69
Tabela 23: evolução Campus do IPB para uso e ocupação do solo. ....	70
Tabela 24: relação cores e datas para as mensurações a partir da sonda PR2 e Leitor HH2. .....	71
Tabela 25: balanço hidrológico Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolónia. 77	
Tabela 26: relação umidade do solo e influências hídricas atmosféricas. ....	78

## **1. INTRODUÇÃO**

Lameiros são pastagens semi-naturais situadas em zonas de montanha, geralmente apresentando níveis de umidade do solo elevados, com solos ricos em matéria orgânica. Auxiliam na preservação ambiental, destacando-se o seu papel na redução da propagação de incêndios e detêm grande valor paisagístico. Como ocupam solos mais profundos, poderão estar sujeitos a pressão para a alteração do seu uso e instalação de outras culturas (Pires, Pinto & Moreira, 1994), tendência que, todavia, no contexto atual não se verifica.

Os lameiros são áreas primordialmente interligadas a ruralidade, classificáveis com base na disponibilidade de água no solo, na tipologia de aproveitamento da erva ou na localização (Pires, Pinto & Moreira, 1994), com importância ambiental e econômica para as zonas montanhosas do Norte de Portugal. O êxodo de população rural para os centros urbanos tornou-se um movimento comum nas sociedades, resultando em declínio demográfico e abandono da terra, situação pela qual também passam atualmente os lameiros.

Neste trabalho foi tomado como objeto de estudo o Lameiro do Campus do Instituto Politécnico de Bragança, situado no Distrito de Bragança, em Portugal. Ainda que a temática Lameiro esteja associada a um ambiente rural, trata-se de um lameiro inserido em área urbanizada, o que além do valor eco hidrológico que detém, dispõe valores culturais, históricos e até afetivos. Mesmo com a instalação do Campus do Instituto Politécnico demonstrou ser um ecossistema resiliente e adaptável a novos contextos socioambientais. O lameiro margina o Rio Fervença, o qual atravessa o Campus do IPB e a cidade de Bragança, constituindo o principal eixo de drenagem natural de Bragança, estando submetido à influência urbana e às consequências hidrológicas da evolução da cidade. O Lameiro do Campus do IPB é portanto um caso singular de lameiros que se entendeu interessante abordar.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar o Lameiro do Campus Instituto Politécnico de Bragança no sentido de identificar e reconhecer o seu papel de regulação hidrológica e, com isso, o seu valor eco hidrológico. Ademais, o trabalho se propôs testar metodologias de monitorização de processos hidrológicos no Lameiro do Campus do Instituto Politécnico de Bragança.

De um ponto de vista metodológico, o estudo envolveu duas abordagens distintas: cartográfica e experimental. A caracterização hidrológica referida foi desenvolvida em ambiente SIG, recorrendo às bases cartográficas disponíveis e utilizando as ferramentas

de análise que aquele ambiente proporciona. Justifica-se a caracterização através de SIG ligadamente com a análise experimental, a fim de extrair o máximo de conhecimento sobre a área a qual o Lameiro do Campus do IPB está inserida, além das influências por ele submissas.

Para a monitorização de processos hidrológicos, instalou-se uma rede de pontos de amostragem do teor de umidade do solo e do nível freático no lameiro, variáveis que foram acompanhadas ao longo de 8 meses. Ainda que se aborde a valoração hidrológica, o presente trabalho analisa a importância e as interações do lameiro, ecossistema regulador entre os solos e o rio, e não propriamente sobre o curso de água presente na área de estudo.

A apresentação do estudo foi dividida em tópicos específicos, iniciando-se com o Tópico 2 nomeado **REVISÃO DE LITERATURA**, para a apresentação da bibliografia consultada sobre a temática abordada. O Tópico 3, **MATERIAIS E MÉTODOS** mostra como foi realizada a caracterização do Lameiro em ambiente SIG, a utilização da Sonda *PR2 Moisture* e leitor *HH2*, piezômetros e a análise estatística dos dados recolhidos.

O Tópico 4, nomeado **RESULTADOS E DISCUSSÃO**, apresenta os resultados da caracterização hidrológica do Lameiro do Campus do IPB e do seu contexto, bem como das medições efetuadas com a sonda *PR2 Moisture*, leitor *HH2*, *software ReadHH2 2.8* e piezômetros.

O Tópico 5 (**CONCLUSÕES**) condensa e contextualiza os resultados mostrados no Tópico 4, realçando a importância eco hidrológica do Lameiro do Campus do IPB. Por fim, o Tópico 6 (**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**) com as referências utilizadas e consultadas; seguido por **ANEXOS**, correspondendo a informações adicionais não inseridas diretamente no corpo do trabalho.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Objetiva promover o embasamento dos subtópicos apresentados, facilitando assim o entendimento e a melhoria dos resultados e discussão.

### **2.1 Hidrologia**

A hidrologia é uma ciência física que estuda o ciclo da água em áreas terrestres e próximas a costa (Brutsaert, 2005). Em outro conceito, a hidrologia é definida como a ciência natural que trata os fenômenos relativos à água em todos os seus estados, de sua distribuição e ocorrência na atmosfera, na superfície terrestre e no solo, e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem (Garcez & Alvarez, 1988).

De acordo com os conceitos, pode-se relacionar a hidrologia como a ciência que estuda a água, em seus diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso), na atmosfera, crosta terrestre e no subsolo.

A hidrologia é fortemente influenciada pela fisiologia regional: seja pela posição dos oceanos, presença de montanhas, tipologia do relevo, cobertura vegetal, clima e correntes de ar (Garcez & Alvarez, 1988).

Ainda para Garcez & Alvarez (1988), a hidrologia está relacionada com a Meteorologia, Climatologia, Geografia Física, Geologia, Oceanografia, e intimamente interligada com a Agronomia, Mecânica dos Solos e a Hidráulica.

#### **2.1.1 Ciclo Hidrológico**

O ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo da água, corresponde a um ciclo biogeoquímico o qual ocorre na atmosfera, crosta terrestre e subsolo. Consiste sinteticamente, nas transformações físicas da água, sendo o ciclo influenciado diretamente pela energia solar e pelo movimento da Terra.

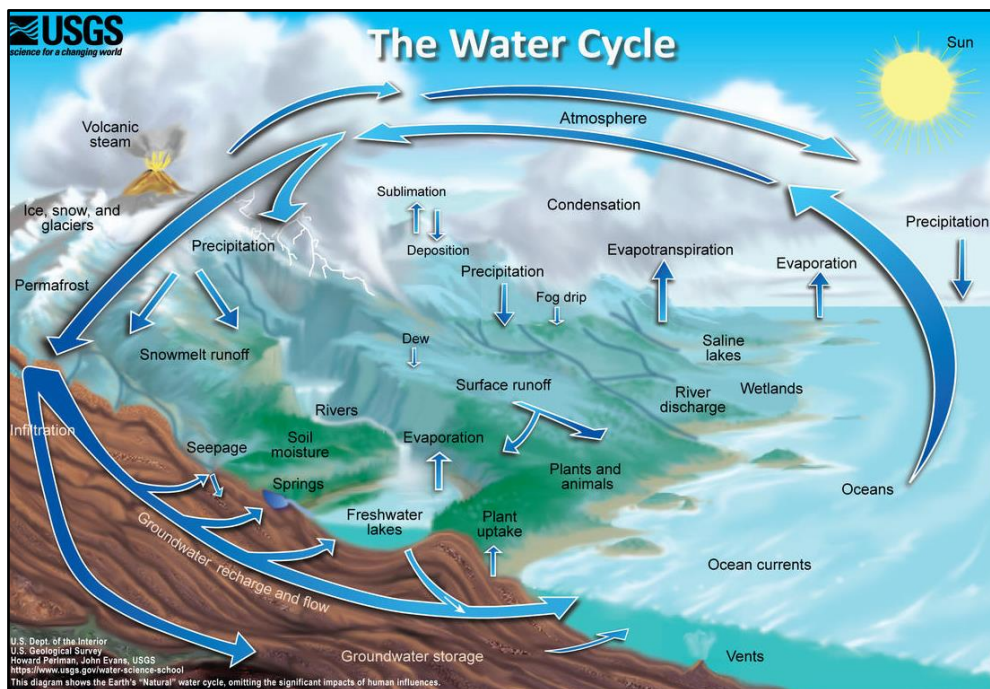
Intimamente relacionado aos ciclos biogeoquímicos da Terra, o ciclo da água também está particularmente aos ciclos de carbono e de nitrogênio; a água é a chave que contém e interliga esses ciclos interativos e acoplados (Oki, & Harrold, 1999).

A energia do sol aquece a água, fazendo-a evaporar e subir como vapor de água para a atmosfera. À medida que o vapor de água sobe, esfria e se condensa para formar nuvens (Bellette & Lee, 2003).

O ciclo pode ser considerado aberto ou fechado, a partir da referência a ser definida. É considerado como ciclo aberto quando o referencial ocorre em áreas de menores

drenagens (escala local). Para ser considerado ciclo fechado, o referencial passa a ser o planeta Terra (escala global), devido a área e complexidade do ciclo.

Em escala global o ciclo é fechado, e pode ser rápido ou longo (Souza, 2012). A **Figura 1** apresenta as etapas pertencentes ao ciclo hidrológico em escala global (fechado), quando considerado longo: evaporação, evapotranspiração, interceptação, condensação, precipitação, armazenamento superficial, infiltração, percolação, detenção superficial, degelo, escoamento superficial (enxurrada), escoamento subsuperficial (fluxo de base) e respiração.



**Figura 1: ciclo hidrológico.**  
**Fonte: USGS, 2021.**

Por se tratar de um ciclo fechado, qualquer etapa pode ser considerada como a inicial. Pode ser considerado um ciclo curto (rápido), segundo Souza (2012), quando a água interceptada evapora, retornando à atmosfera antes mesmo de entrar em outro processo do ciclo.

Considerando como ciclo fechado, o ciclo hidrológico pode ser descrito de maneira análoga onde a evaporação das águas superficiais (oceanos, rios, lagos), através da energia solar, ocorre a formação do vapor de água, o qual em grandes massas e sob influências (principalmente) das: correntes atmosféricas, pressão (altitude) e temperatura, transforma-se em precipitação (sólida ou líquida). A precipitação não alcança em sua totalidade a superfície terrestre uma vez que uma pequena parcela evapora durante o processo, e boa parte é interceptada pela cobertura vegetal, a qual utiliza para realizar fotossíntese e eliminar vapor de água (evapotranspiração).

Em sua maioria, a precipitação alcança a superfície terrestre e assim poderá: escoar (escoamento superficial) até o corpo de água mais próximo, infiltrar e percolar chegando as águas subterrâneas ou realizar escoamento subsuperficial até corpos de água próximos. Durante o escoamento, a precipitação é direcionada através da força da gravidade para as áreas mais baixas, e quando há diferenças no relevo essas águas ficam paradas em depressões enquanto infiltram no solo. As águas que não conseguem infiltrar ou alcançar as águas superficiais ou subterrâneas, são evaporadas e desse modo o ciclo se repetirá.

As diferentes incidências solares, diferentes comportamentos térmicos dos continentes quanto aos oceanos, quantidades atmosféricas (água, gás carbônico e ozônio), diversidade dos solos e coberturas vegetais, rotação e inclinação terrestre são fatores que contribuem e afetam o ciclo hidrológico (Ranzan, 2020; adaptado de Silveira, 2001).

O movimento rotacional da Terra e as diferentes taxas as quais as massas de ar são aquecidas e resfriadas criam os ventos que transportam o vapor de água condensado (Bellette & Lee, 2003).

O escoamento superficial retorna à água para os oceanos; o escoamento é importante para o equilíbrio da água doce e a salinidades dos oceanos (Oki, & Harrold, 1999).

Enquanto a chuva flui ao longo da superfície, locada em depressões do terreno, viaja rapidamente para o corpo de água mais próximo carregando as partículas de solo erodidas (Bellette & Lee, 2003).

Taxas altas de escoamento superficial em curto espaço de tempo elevam os picos de cheias, aumentam o carreamento de solos e outras substâncias, provocando assoreamento de rios e afetando a qualidade das águas (Souza, 2012).

Destaca-se nos seguintes subtópicos os componentes do Ciclo Hidrológico, os quais serão abordados diretamente para este estudo: precipitação, umidade e evapotranspiração.

#### 2.1.1.1 Precipitação

Com isso, as características físicas, bióticas e antrópicas da bacia influenciam nos processos hidrológicos de precipitação, infiltração, evaporação, escoamento superficial e subterrâneo e evapotranspiração (Ranzan, 2020).

A precipitação foi definida por Segerer & Villodas (2006) como todas as águas meteóricas que caem sobre a superfície da terra, tanto na forma líquida quanto na forma sólida (seja neve ou granizo).

Inserida no Ciclo Hidrológico, a precipitação pode ser considerada uma das etapas principais, sendo o meio de transporte de água (seja esta líquida ou sólida) para a atmosfera, influenciada diretamente pela evaporação e condensação. A precipitação é

considerada uma alimentação direta para o ciclo, comumente mensurada em milímetros (mm), e mesmo provinda dos oceanos, será sempre água doce.

A precipitação é a origem de toda as correntes superficiais e profundas, a qual sua quantificação e o conhecimento da sua distribuição, em tempo e espaço, se constituem em problemas básicos para a hidrologia (Segerer & Villodas, 2006).

A precipitação pode ser classificada de acordo com a elevação de massa úmida: ciclônica, convectiva e orográfica; ou pela forma que cai: chuva, chuvisco, temporal ou aguaceiro, neve, água neve, neve compactada, orvalho, geada e granizo (adaptado de Segerer & Villodas, 2006).

Quando não realiza evapotranspiração, a precipitação é interceptada, infiltra no solo ou evapora durante o seu processo, irá se acumular na superfície terrestre e ocorrerá o escoamento superficial. As águas precipitadas escoam a partir dos divisores topográficos, conforme a inclinação do terreno, seguindo os talwegues (Souza, 2012).

A altitude é o fator que mais condiciona o clima das montanhas uma vez que a temperatura desce com a altitude, em média, cerca de 0,65°C a cada 100 metros. Do mesmo modo, a pressão atmosférica também se reduz com a altitude (Gonçalves *et al.*, 2016).

Há um clima mediterrânico úmido nas áreas de Vinhais- Bragança, com altitudes de 700- 900 m e um déficit de água de Julho a Setembro (Pires, Pinto & Moreira, 1994).

#### 2.1.1.2 A Umidade

A umidade sempre está presente na atmosfera mesmo em dias sem nuvens; para que ocorra a precipitação são necessários alguns mecanismos que esfrie o ar o suficiente para que chegue desta maneira, ou aproximadamente, o ponto de saturação (Segerer & Villodas, 2006).

Está incluída no ciclo hidrológico mesmo que não citada explicitamente, onde é a quantidade de vapor de água presente na atmosfera e no solo. A partir de um processo endotérmico (absorção de calor), a umidade em grandes quantidades de massa na atmosfera é condensada e forma a precipitação (seja no estado líquido ou sólido).

A umidade do solo influencia o balanço de energia na superfície do solo, onde a falta de água disponível suprime a evapotranspiração e altera o albedo da superfície. A umidade do solo também afeta escoamento e infiltração (Oki, & Harrold, 1999).

O albedo mensura a reflectância geral da superfície do solo, fornecendo muitas informações úteis sobre o sistema do solo e com a melhor compreensão sobre o balanço energético do solo (Dobos, 2003).

### 2.1.1.3 Evapotranspiração

A evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) constitui a perda de água de uma superfície natural, em qualquer condição de umidade e de cobertura vegetal (Camargo e Camargo, 2000).

A evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>), é o processo de perda de água para a atmosfera, através de uma superfície natural gramada, padrão, sem restrição hídrica para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração (Camargo e Camargo, 2000).

Assim, entende-se por evapotranspiração como a relação da perda de água terrestre, a qual se dá partir da somatória da perda de água do solo (evaporação) e da perda de água da vegetação (por meio da transpiração) de modo síncrono para a atmosfera no estado físico gasoso, comumente mensurado em mm/dia. Trata-se de um processo endotérmico, uma vez que há a necessidade de absorção de calor.

As plantas, por meio de suas raízes, retiram água do solo e parte dessa água é cedida à atmosfera sob forma de vapor, ou seja, a transpiração, realizada por meio de ações fisiológicas da planta (Bertocco, 2021).

### 2.1.2 Região Hidrográfica

No Brasil, a Lei nº 9.433 (conhecida como Lei das Águas do Brasil) de 8 de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando assim o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), onde é constituído pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), o qual em sua Resolução Nº 32 de 15 de outubro de 2003, conceitua região hidrográfica em parágrafo único:

*“Considera-se como região hidrográfica o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.”*

Em Portugal, a Lei nº 58/2005 (conhecida como Lei das Águas) transpõe a ordem jurídica nacional a Diretiva nº 2000/60/CE. Assim, no Capítulo I, Artigo 3.º Princípios 2- A região hidrográfica é apresentada como a unidade principal de planeamento e gestão das águas, tendo por base a bacia hidrográfica. Ainda no Capítulo I, para o Artigo 4.º Definições vv), a região hidrográfica é conceituada como:

*“área de terra e de mar constituída por uma ou mais bacias hidrográficas contíguas e pelas águas subterrâneas e costeiras que lhes estão associadas, constituindo-se como a principal unidade para a gestão das bacias hidrográficas;”*

Dessa forma, entende-se por região hidrográfica como o agrupamento de bacias, sub-bacias, águas subterrâneas, rio principal (para deságue no mar ou em território estrangeiro) e que apresente características físicas, ambientais, sociais, políticas e econômicas similares ou homogêneas.

### 2.1.3 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica é definida como unidade básica de terra para a descrição do ciclo hidrológico e dos recursos de gestão, uma vez que a divisão de água pode ser obtida através de dados topográficos e vazão (Yu & Duffy, 2018; adaptado de Edwards, Williard, Schoonover, 2015).

Compreende-se que bacia hidrográfica pode ser definida como uma área de drenagem composta por um rio principal e seus tributários, que se comporta de acordo com a influência de um arcabouço estrutural composto por atributos físicos e humanos (de Matos, Rocha & de Oliveira, 2018).

Em Portugal, a Lei das Águas define bacia hidrográfica em seu Capítulo I, para o Artigo 4.º Definições *m*) como a área terrestre a partir da qual todas as águas fluem para o mar, através de uma sequência de rios, ribeiros ou eventualmente lagos, desaguando numa única foz, estuário ou delta.

A bacia hidrográfica é a área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único exutório (Souza, 2012).

Para Mascarenhas (2008) é o conjunto espacial geográfico que drena as águas para uma mesma saída comum (geralmente o mar); onde, na maioria dos casos, os limites da referida bacia não coincidem com os limites geopolíticos estabelecidos pelo país.

Bacia hidrográfica é definida como uma área de terra onde toda a precipitação de entrada é drenada para um mesmo local, em direção para um mesmo corpo de água ou para uma área topográfica mais baixa (Edwards, Williard, Schoonover, 2015).

Assim, entende-se por bacia hidrográfica toda a área que sofre influência topográfica, atmosférica e gravitacional, a qual possui um corpo de água principal (e possíveis afluentes) escoando para um único ponto (denominado exutório), delimitados pelos talwegues e divisores de água, gerando territórios que não obedecem a divisão geopolítica, mas que ainda assim influenciam de maneira social, ambiental, cultural e econômica.

A delimitação da bacia hidrográfica é ocasionada por talwegues que são depressões (menor ponto topográfico), correspondentes a parte mais funda do leito de um curso de

água (vale); e pelos divisores de águas que correspondem aos pontos onde as precipitações escoam para as bacias (normalmente são os pontos altos de uma montanha).

Fortemente influenciada pelo ciclo hidrológico, a bacia hidrográfica passa a ser um elemento significativo de tal ciclo, sendo responsável pela equação do balanço hídrico tendo o volume da precipitação como entrada do balanço e a saída composta pela somatória do volume escoado pelo exutório e pelo volume das perdas (evaporação, evapotranspiração e águas infiltradas para aquíferos).

As bacias hidrográficas comportam elementos físicos, ambientais e sociais, que viabilizam o entendimento de aspectos como a demanda, disponibilidade, gestão e democratização das águas (de Matos, Rocha & de Oliveira, 2018).

Em escala da bacia hidrográfica, o ciclo hidrológico também interage com os processos atmosféricos, com a superfície da terra, processos ecológicos, processos geológicos e os efeitos causados pela atividade humana (Yu & Duffy, 2018).

Como o conjunto de bacias hidrográficas compõem uma região hidrográfica, uma bacia é composta por sub-bacias hidrográficas. Assim, uma sub-bacia hidrográfica possui um curso de água menor, apresentando deságue no corpo de água principal da bacia ou é limitado por estação pluviométrica.

Sub-bacia hidrográfica é a área terrestre a partir da qual todas as águas se escoam, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos, para um determinado ponto de um curso de água, normalmente uma confluência ou um lago (Lei n.º 58/2005, 2005).

A **Figura 2** demonstra a composição resumida de uma bacia hidrográfica. A situação **A** apresenta os divisores de águas, sendo estes as parcelas mais elevadas topograficamente, responsáveis pela limitação da bacia hidrográfica e assim determinando a direção do escoamento. A situação **B** representa o escoamento de precipitação, partindo da parcela mais elevada para a com menor elevação topográfica da área da bacia, criando assim os talwegues ocupados pelos corpos de água. A situação **C** representa as sub-bacias hidrográficas, com deságue de curso de água no corpo principal da bacia e o conjunto de sub-bacias formam a bacia hidrográfica. Os exutórios são representados por **D**, onde demonstram a junção de corpos de água através uma única saída, seja de uma sub-bacia ou de uma bacia hidrográfica, para o curso de água de uma região hidrográfica ou para o oceano. A representação do curso principal da região hidrográfica está representada por **E**.



**Figura 2:** bacia hidrográfica.

Fonte: autor, 2021; adaptado de Edwards, Williard & Schoonover, 2015.

#### 2.1.4 Características Fisiográficas

A partir da determinação de Região Hidrográfica, Bacia Hidrográfica e Sub-Bacia Hidrográfica, há a necessidade do estudo das suas características uma vez que são áreas com elevada influência. As características fisiográficas estão relacionadas ao comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, tomando como interesse a sua geometria, drenagem, relevo, solos e o uso e ocupação do solo. De acordo com Guimarães (2017), consideram-se características fisiográficas aquelas que podem ser obtidas a partir de: imagens de satélite, fotografias aéreas ou cartas.

##### 2.1.4.1 A Geometria

Sobre a geometria, após a realização do item 3.1.4, foi possível conhecer a área de drenagem (A) da Sub-Bacia do Rio Ferverça, bem como o perímetro (P). Quanto a caracterização da geometria pode ser forma qualitativa e quantitativa. Entende-se por caracterização geométrica qualitativa a observação do formato da bacia hidrográfica, podendo esta ser circular, alongada, comprida ou estreita. Quando a forma de caracterização quantitativa compreende aos parâmetros: Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ), Fator de Forma ( $K_f$ ) e Índice de circularidade ( $I_c$ ).

Para Coeficiente de Compacidade, também conhecido como Índice de Gravelius, ocorre a relação entre o perímetro e a área da bacia hidrográfica, sendo este adimensional. O menor valor que  $K_c$  pode tomar é 1, o que corresponde a uma bacia circular; quanto

maior  $K_c$  menos compacta é a bacia e, portanto, menor tendência para cheias ela terá (Guimarães, 2017).

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação (1)}$$

Entende-se por:

$K_c$  = Coeficiente de Compacidade (adimensional);  
 $P$  = Perímetro da área da bacia hidrográfica (km);  
 $A$  = Área de drenagem da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

Já o Fator de Forma relaciona o comprimento axial da bacia hidrográfica e a sua área. O maior valor que  $K_f$  pode tomar é 1 correspondente a uma bacia quadrada; quanto menor for  $K_f$ , menor será a tendência para cheias; uma bacia com um  $K_f$  baixo é uma bacia estreita e longa, onde tem menor tendência para a ocorrência de cheias (adaptado de Guimarães, 2017).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação (2)}$$

Entende-se por:

$K_f$  = Fator de forma (adimensional);  
 $L$  = Comprimento axial da bacia hidrográfica (km);  
 $A$  = Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

Para o Índice de Circularidade ( $I_c$ ) tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna-se alongada (Ferreira, Lima, Cavalcanti, & Santos, 2017).

$$I_c = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad \text{Equação (3)}$$

Entende-se por:

$I_c$  = Índice de Circularidade (adimensional);  
 $A$  = Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>);  
 $P$  = Perímetro da bacia hidrográfica (km).

Para valores a determinação da tipologia da bacia hidrográfica quanto ao seu formato interpretação ambiental é possível avaliar a bacia hidrográfica quanto ao seu formato e sua tendência a ocorrer enchentes. A partir da **Tabela 1** será possível classificar a Sub-Bacia Hidrográfica a qual o Lameiro do Campus do IPB está inserido referente a sua geometria.

**Tabela 1: classificação quanto a Forma da bacia e tendência a enchentes.**

FATORES	CLASSIFICAÇÃO E VALORES			
$K_c$	1 a 1,25	1,25 a 1,5	1,5 a 1,7	>1,7
$K_f$	1 a 0,75	0,75 a 0,5	0,5 a 0,30	<0,3
$I_c$	1 a 0,8	0,8 a 0,6	0,6 a 0,4	<0,4
FORMATO	Redonda	Mediana	Oblonga	Cumprida
TENDÊNCIA A ENCHENTE	Alta	Média	Baixa	Tende a conservação

Fonte: autor, 2021; adaptado de Villela & Matos 1975.

### 2.1.4.2 A Drenagem

O escoamento das bacias hidrográficas pode ser caracterizado como: perenes, intermitentes e efêmeros. A **Tabela 2** de modo resumido, apresenta as respectivas características para os tipos de escoamentos citados.

**Tabela 2: classificação e características quanto ao escoamento.**

TIPO DE ESCOAMENTO	CARACTERÍSTICAS
Perenes	- Escoam água durante todo o ano; - É mantido pelas reservas de águas e águas subterrâneas; - O nível de água subterrâneo nunca desce abaixo do leito do curso de água; - Todos estas características mantêm-se mesmo em períodos de secas.
Intermitentes	- Escoam durante períodos úmidos e secam em períodos de secas; - Em períodos úmidos o nível freático passa a se localizar acima do nível inferior do leito; - Água de origem subterrânea e superficial; - Em períodos de secas o nível freático desce a um nível inferior ao do leito e o escoamento cessa; - Escoamento ocorre após o período de secas ou durante chuvadas pontuais.
Efêmeros	- Existem durante ou de imediato após períodos de precipitações - Apenas escoamentos superficiais; - Nível freático abaixo do leito do curso de água - Não a contribuição de águas subterrâneas.

Fonte: autor, 2021; adaptado de Guimarães, 2017; e de Lencastre e Franco, 2003.

De acordo com Guimarães(2017), a Densidade da Drenagem ( $D_r$ ) fornece uma boa indicação da eficiência da drenagem natural da bacia constituindo, portanto, um índice da tendência para a ocorrência de cheias da bacia. Desse modo, é obtida através da relação entre o comprimento das linhas de águas presentes na bacia hidrográfica, independentemente da sua classificação quanto ao tipo de escoamento.

$$D_r = \frac{L_t}{A} \quad \text{Equação (4)}$$

Entende-se por:

$D_r$  = Densidade de drenagem ( $\text{km}^{-1}$ );

$L_t$  = Comprimento das linhas de águas presentes na bacia hidrográfica (km);

$A$  = Área da bacia hidrográfica ( $\text{km}^2$ ).

Referente a capacidade quanto ao escoamento superficial, ocorrência de enxurradas, erosão e infiltração, a Sub-Bacia Hidrográfica será caracterizada a partir do valor obtido para a Densidade de Drenagem (**Tabela 3**).

**Tabela 3: classificação quanto a densidade de Drenagem para a Sub-Bacia Hidrográfica.**

VALOR	TIPOLOGIA	OBSERVAÇÕES
> 3	MUITO ALTA	Elevada tendência ao escoamento superficial, erosão e enxurradas.
2,5 a 3	ALTA	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas.
1,5 a 2,5	MÉDIA	Tendência mediana ao escoamento superficial.
< 1,5	BAIXA	Baixo escoamento superficial e maior infiltração.

Fonte: autor, 2021; adaptado de Machado & Torres, 2012.

A classificação Horton-Strahler referente as linhas de águas presentes em uma bacia, atribuindo um número de ordem de acordo com as junções realizadas pelos cursos de águas presentes na bacia hidrográfica (adaptado de Guimarães, 2017). A sua classificação é determinada por ordens, onde não ultrapassam a ordem 3 (**Tabela 4**).

**Tabela 4: classificação de Horton - Strahler.**

ORDEM	CARACTERÍSTICAS
1	-Não apresentam afluentes.
2	-Apresentam afluentes; - Encontro de cursos de água de ordem 1; ou de ordem 1 e ordem 2.
3	- Apresentam afluentes; - Encontro de cursos de água de ordem 1 e ordem 3; ou ordem 1 e ordem 3.

Fonte: autor, 2021; adaptado de Guimarães, 2017.

$$L_p = \frac{1}{D_r} \quad \text{Equação (5)}$$

Entende-se por:

$L_p$  = Percurso médio do terreno (km);

$D_r$  =Densidade de drenagem ( $\text{km}^{-1}$ ).

#### 2.1.4.3 O Relevo

O relevo influencia a bacia hidrográfica relacionando-a com os fatores ligados ao ciclo hidrológico. O relevo influencia a precipitação, temperatura e evapotranspiração, que são dependentes da altitude; e condiciona a velocidade do escoamento superficial que é dependente do declive da bacia (Guimarães, 2017).

A partir do *DEM AW3D*, descrito no item 3.1, foi possível realizar a caracterização fisiográfica para o relevo e assim determinar: Altitude Média ( $\bar{Z}$ ), Altura Média ( $\bar{H}$ ), Índice de Declividade Global ( $I_d$ ), Comprimento do Retângulo Equivalente ( $L_e$ ), Largura do Retângulo Equivalente ( $l_e$ ), Distância que Separam as duas Retas de Cotas ( $L_{ei}$ ) e a Curva Hipsométrica.

A Altitude Média ( $\bar{Z}$ ) é a relação do somatório da multiplicação entre a altura média e a área, entre duas curvas de nível consecutivas, com a área total da bacia (Ranzan, 2020; adaptado de Lencastre & Franco, 2006).

$$\bar{Z} = \frac{\sum Z_i A_i}{A} \quad \text{Equação (6)}$$

Entende-se por:

$\bar{Z}$  = Altitude Média (m);

$Z_i$  = Altitude Média entre as curvas de níveis consecutivas (m);

$A_i$  = Área entre duas curvas de nível consecutivas ( $\text{km}^2$ );

$A$  = Área da bacia hidrográfica ( $\text{km}^2$ ).

Referente à Altura Média ( $\bar{H}$ ), condiciona a energia potencial da água e portanto o tempo que a água leva a atingir a secção de referência (Guimarães, 2017). É definida através da diferença entre a Altitude Média e a Altitude Mínima.

$$\bar{H} = \frac{\sum H_i A_i}{A} \text{ ou } \bar{H} = \bar{Z} - Z_{\min} \quad \text{Equação (7)}$$

Entende-se por:

$\bar{H}$  = Altura Média (m);

$H_i$  = Altura Média entre as curvas de níveis consecutivas (m);

$\bar{Z}$  = Altitude Média (m);

$Z_{\min}$  = Altura mínima (m);

$A_i$  = Área entre duas curvas de nível consecutivas (km<sup>2</sup>);

$A$  = Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

O Índice de Declividade Global ( $I_d$ ) pode ser determinada através das informações contidas no *DEM* pela diferença entre as alturas de 5% e 95%, onde tal diferença é dividida pelo Comprimento do Retângulo Equivalente ( $L_e$ ), ou através da raiz quadrada entre a razão da somatória entre as curvas de níveis multiplicada pela razão das áreas entre as curvas de nível e a área total da bacia, pelo produto entre o comprimento do Retângulo Equivalente.

$$I_d = \frac{Z_5 - Z_{95}}{L_e} \quad \text{ou} \quad I_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(Z - Z_{i-1}) \times \frac{A_i}{A}]}{1000 \times L_e}} \quad \text{Equação (8)}$$

Entende-se por:

$I_d$  = Índice de Declividade Global (adimensional);

$Z_5$  = Altitude a 5% da área da bacia hidrográfica (adimensional);

$Z_{95}$  = Altitude a 95% da área da bacia hidrográfica (adimensional);

$Z_i - Z_{i-1}$  = Diferença entre as cotas (m);

$A_i$  = Área entre duas curvas de nível consecutivas (km<sup>2</sup>);

$A$  = Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>);

$L_e$  = Comprimento do retângulo Equivalente (km).

Entende-se como Comprimento do Retângulo Equivalente ( $L_e$ ) e Largura do Retângulo Equivalente ( $l_e$ ) como parâmetros constituintes do Retângulo Equivalente para uma bacia hidrográfica. Com  $L_e$  e  $l_e$  pode-se calcular a Área e o Perímetro de uma bacia hidrográfica quando a bacia pode ser representada por um Retângulo Equivalente, atendendo a regra onde  $P/\sqrt{A} \geq 4$ ; quando  $P/\sqrt{A} = 4$ , deixa de ser Retângulo Equivalente e passa a ser um Quadrado Equivalente (adaptado de Guimarães, 2017).

$$L_e = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 \cdot A}}{4} \quad \text{Equação (9)}$$

$$l_e = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16 \cdot A}}{4} \quad \text{Equação (10)}$$

Entende-se por:

$L_e$  = Comprimento do retângulo Equivalente (km);

$l_e$  = Largura do Retângulo Equivalente (km);

$P$  = Perímetro da bacia hidrográfica (km);

$A$  = Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

A Distância que Separam as duas Retas de Cotas ( $L_{ei}$ ) é determinada através da razão entre a Área da diferença de duas curvas de nível e a Largura do Retângulo Equivalente (Ranzan, 2020).

$$L_{ei} = \frac{A_i}{l_e} \quad \text{Equação (11)}$$

Entende-se por:

$L_{ei}$  = Distância que Separam duas Retas de Cotas (km);

$l_e$  = Largura do Retângulo Equivalente (m);

$A_i$  = Área entre duas curvas de nível consecutivas (km<sup>2</sup>).

Observa-se que para o Retângulo Equivalente da Sub BH Rio Ferverença, têm-se a confirmação através de  $P/\sqrt{A} \geq 4$ . A confirmação da Área e Perímetro da Sub-Bacia Hidrográfica após o cálculo do Comprimento e Largura do Retângulo Equivalente pode ser confirmada através das Equações:

$$A = L_e \times l_e \quad \text{Equação (12)}$$

$$P = 2 \times (L_e + l_e) \quad \text{Equação (13)}$$

Para descrição do Retângulo Equivalente da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença determinou-se a Área da Altitude Mediana em km<sup>2</sup> e a Altitude Mediana em metros, através das Equações:

$$A_{Amed} = A \times 0,5 \quad \text{Equação (14)}$$

$$Z_{med} = Z_2 + (Z_1 - Z_2) + \left( \frac{\frac{A}{Z} - A_2}{A_1 - A_2} \right) \quad \text{Equação (15)}$$

A caracterização para a Curva Hipsométrica é determinada entre a relação da altitude da bacia hidrográfica e a sua área; é responsável por concluir o “patamar” na Curva Hipsométrica, onde revela em geral a existência de uma zona plana (Guimarães, 2017).

Justifica-se a obtenção da Curva Hipsométrica para a indicação da variação do relevo para a bacia hidrográfica, verificando a relação entre a altitude e a área da bacia hidrográfica.

A declividade do terreno consiste na relação entre as diferenças de altitude de dois pontos e a distância horizontal entre eles no terreno. A declividade média tem influência sobre: a umidade do solo, a infiltração, o escoamento superficial, entre outros (Wenzel *et al.*, 2017). Os dados obtidos para a determinação da Curva Hipsométrica foram através do *DEM AW3D*, presente no item **3.1.3**, bem como a classificação do Declive.

O **Anexo 16** foi utilizado como uma tabela auxiliar para a caracterização fisiográfica da Sub BH Rio Ferverença. A partir das equações apresentadas, pode-se

calcular: Valores Máximos e Mínimos de Altitude para a Sub BH (a montante e a jusante), Aparições, Pontos Médios de Altitude (a partir da média entre os intervalos de cotas), Área (razão entre o produto da área e quantidade de aparições das cotas pela quantidade total de cotas), Área Acumulada (somatório das áreas de acordo com a produto entre o ponto médio de altitude), Área Acumulada em porcentagem (produto entre 100 e a razão da área acumulada com a área total), o produto entre o Ponto Médio e a Área e para o Índice de Declividade global a somatória para as determinadas altitudes e áreas.

## 2.2 Lameiros

Os lameiros são pastagens de montanha de carácter permanente que podem ser consideradas seminaturais, uma vez que não decorrem da sementeira deliberada de espécies melhoradas (Pôças, Cunha, & Pereira, 2006, adaptado de Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001).

São designados lameiros porque se encharcados e nus seriam abundantes em lama; desenvolveram-se integrados num sistema produtivo que visava o mais possível a autossuficiência e era a base da alimentação do efetivo pecuário, sobretudo bovino (Pereira & Sousa, 2006).

Entende-se por lameiros como as áreas que sofrem influências hídricas (presença de curso de água e elevadas taxas de precipitação), situadas em montanhas (topografia elevada), que apresentam solos ricos em matéria orgânica e com textura fina, onde quando misturados com água, tende a resultar em argila (popularmente chamada de lama). Os lameiros são de grande importância ambiental, uma vez que: possuem solos férteis; auxiliam na preservação da fauna, flora, solos e dos recursos hídricos; auxiliam na redução da propagação de incêndios; suas áreas são utilizadas como pastagem; além de apresentar elevados valores paisagísticos.

Nos lameiros justifica-se nas zonas com encharcamento quase permanente, e nas zonas de acumulação de água mesmo que não se verifique a existência de acentuada má drenagem (Pires, Pinto & Moreira, 1994).

Lameiros enquadram-se no conjunto de biótopos que deverão ser conservados e valorizados, quer pelo seu valor enquanto pastagens seminaturais de montanha, quer pelo contexto socioeconómico e geográfico das regiões em que se inserem (Pôças, Cunha, & Pereira, 2006).

### 2.2.1 Serviços do Ecossistema

Lameiros possuem grande valor ambiental: manutenção da biodiversidade animal e vegetal, proteção do solo e recursos hídricos, valor paisagístico, preservação das produções zootécnicas autóctones e redução na propagação de incêndios (adaptado de Pereira & Sousa, 2006).

Ainda que a principal atividade para tal ecossistema enquadre-se na agricultura e pastagens, entende-se que os lameiros executam funções que beneficiam o meio ambiente.

#### 2.2.1.1 Funções Hidrológicas

Os lameiros situam-se preferencialmente junto a linhas de água ou zonas edáficas naturalmente húmidas, beneficiando ele regadio na sua totalidade ou parcialmente, ocupando por conseguinte os melhores solos (Pires, Pinto & Moreira, 1994).

O curso de água é de extrema importância para o ecossistema, seja ela para a sua caracterização, classificação e atividade por ele exercida. Observa-se que para ser caracterizado como lameiro há a necessidade de um curso de água presente na área.

Nestes pontos a disponibilidade de água para rega é boa, assumindo assim, papel significativo nos sistemas de produção agrícola, sendo terrenos valorizados na economia rural tradicional (Fernandes, 2020).

Em Portugal, concentram-se principalmente nas regiões mais montanhosas de Trás-os-Montes, mas também na Beira Interior e Entre Douro e Minho, na proximidade das linhas de água e normalmente a cotas superiores a 700 – 800 m (Pôças, Cunha, & Pereira, 2006).

O lameiro pode ser classificado de acordo com a sua disponibilidade hídrica. Destaca-se que as funções hídricas dominam, influenciam e, principalmente, determinam todas as atividades por ele executadas. Exalta-se a necessidade de melhor caracterização hídrica para o lameiro para que ele possa ser melhor aproveitado, ou seja, as funções hidrológicas do lameiro determinam as características físicas, bióticas e antrópicas da área a qual inserido.

A partir da **Figura 3** pode-se visualizar o Lameiro do Campus do IPB, a influência que as funções hídricas realizam para o lameiro e para a área a qual está inserido, onde ainda localizado em uma área com urbanização já consolidada, tem valoração eco hidrológica. As funções hidrológicas afetam a Área Diretamente Afetada (ADA), Área de Influência Direta (AID) e a Área de Influência Indireta (AII).



**Figura 3: Lameiro Campos IPB e curso de água.**  
**Fonte: autor, 2022.**

Em modo geral, as funções hídricas influenciam os serviços prestados por tal ecossistema, onde são caracterizados por serem reguladores hídricos, contribuindo no transporte da matéria orgânica e nutrientes, auxiliam na normatização climática, participam do ciclo hidrológico, são influentes no armazenamento de Carbono, na retenção de solo e na determinação do curso de água.

#### 2.2.1.2 Funções Produtivas

Os lameiros são pastagens seminaturais permanentes, de origem centenária, profundamente interligados com os diversos agrossistemas que caracterizam a agricultura tradicional de montanha (Pôças, Cunha, & Pereira, 2006).

Os lameiros são áreas de prados e pastagens regadas características das zonas de montanha do norte e centro de Portugal; o solo sempre revestido, permite adequado controlo da erosão evitando-se escoamentos concentrados e favorecendo-se a infiltração (Pereira & Sousa, 2006).

A agricultura é a principal atividade socioeconômica realizada nessas áreas, e na grande maioria dos casos serve como complemento de renda, não sendo a atividade principal para o sustento da família (Fernandes, 2020).

O conceito para lameiros apresenta-se relacionado a principal atividade exercida por ele, a agricultura e agropecuária, ainda que a produção seja voltada para consumo de subsistência. É de se enaltecer a qualidade dos solos, sendo este um dos principais motivos para a execução de tais atividades produtivas.

Áreas exploradas, geralmente, são da própria família, ou a posse vem através de acordos informais, a mão-de-obra é praticamente realizada apenas pelos membros familiares (PNM, 2007a).

A funcionalidade primordial continua a ser o autoconsumo, estando as exportações do sistema para o mercado confinadas à produção de carne ou leite de bovinos e de carne de pequenos ruminantes (Pôças, Cunha, & Pereira, 2006, adaptado de Vieira et al., 2000).

Os lameiros, como ocupam os melhores solos, têm vindo, e vão continuar ainda mais nos anos seguintes, a sofrer com a tendência para a sua destruição e instalação de outras culturas (Pires, Pinto & Moreira, 1994).

### 2.2.1.3 Armazenamento de Carbono

Os lameiros têm um papel determinante na regulação do ciclo da água e dos nutrientes, na formação e retenção do solo, atuando em zonas declivosas como um agente de minimização dos riscos de erosão, e na retenção da propagação de incêndios (Pôças, Cunha, & Pereira, 2006).

Os solos localizados em áreas baixas que sofrem alagamento periódico e prolongada saturação por água, possuem características distintas quando comparados a áreas bem drenadas (Fernandes, 2020).

Ainda para Fernandes (2020), a saturação dos microporos do solo por água, eliminado a fase gasosa, aquando do encharcamento, torna a agregação quase inexistente devido à consistência semifluida que prevalece nessas condições de umidade.

Os solos dos lameiros apresentam elevada carga de matéria orgânica no solo, a qual é rica em carbono, sua fixação pode ser realizada de maneiras distintas (fisicamente, quimicamente e bioquimicamente), e pode ser controlada por fatores ambientais (temperatura, umidade, teor de nutrientes e concentração de oxigênio no solo).

Já a respiração do solo é sazonalmente variável, e a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera ocorre através da decomposição biológica dos resíduos orgânicos ou oxidação da matéria orgânica no solo (adaptado de Fernandes, 2020).

O estoque de carbono no solo, para além de depender da concentração de carbono, depende também do teor de elementos grosseiros (partículas com dimensões superiores a 2 mm) e da densidade aparente do solo (Fernandes, 2020).

#### 2.2.1.4 Socioambientais

Os lameiros terão surgido juntamente com a fundação dos povoados de montanha, durante a Alta Idade Média, como consequência da destruição pelo fogo ou por corte das árvores que se desenvolviam junto aos corpos de água (Bertocco, 2021).

Destaca-se que o desenvolvimento de grandes civilizações deram-se através de áreas em proximidades aos corpos hídricos, assim, o lameiro tem sua importância para a evolução do concelho de Bragança, influenciando ainda nos aspectos socioambientais e culturais.

Observa-se o deslocamento populacional global do campo para os centros urbanos, onde a sociedade está se desvinculando das atividades e assentos familiares para as grandes cidades. Tal emigração, apesar de ser vista com normalidade, acarreta o abandono de áreas as quais possuem elevado elance cultural.

Os lameiros e prados de lima, e os sistemas produtivos em que se enquadram estão em risco, ameaçados pela progressiva desertificação do mundo rural, que conta hoje com uma população envelhecida (Pereira & Sousa, 2006).

Acrescentando os incentivos à introdução de outras culturas (nogueiras, por exemplo) que na sua maioria são ocupados por lameiros, tem contribuído para o agravamento da situação (Pires, Pinto & Moreira, 1994).

Referente ao clima, apresentam invernos rigorosos com baixas temperaturas e elevadas taxas de precipitações. Já no verão, apresentam taxas de precipitações moderadas e temperaturas elevadas. Quanto a vegetação, os lameiros apresentam vegetação espontânea, diretamente influenciada pelo clima, disponibilidade de água e pelo aproveitamento do lameiro.

Os lameiros também possuem valor ambiental, pois dificultam a propagação de incêndios, devido a ocasionarem a descontinuidade da vegetação florestal (Fernandes, 2020).

Com áreas que apresentam vegetação rasteira entre o curso de água e a vegetação com espaçamentos variando entre 10 e 70 m; pela elevada umidade local, onde por muitas vezes apresentarem-se encharcados, os lameiros dificultam a propagação de incêndios e acrescentam uma função ambiental a mais do que já apresentado.

#### 2.2.2 Classificação

De acordo com Pires, Pinto & Moreira (1994), os lameiros podem ser classificados de acordo com: disponibilidade de água (relacionado a rega e precipitação), quanto ao seu

aproveitamento (a atividade realizada no lameiro) e quanto a sua localização (relaciona-se quanto a localização e a topografia local).

**Tabela 5** apresenta as classificações quanto aos parâmetros apresentados e cita as suas respectivas características para os parâmetros apresentados.

**Tabela 5: classificação dos lameiros.**

PARÂMETRO	CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
<b>Disponibilidade de água</b>	Lameiros de Regadio	-Rega equivalente às necessidades hídricas durante o Verão. -Localizados junto a linhas de água não permanentes ou de reduzido caudal e com fracas nascentes de água.;
	Lameiros de Regadio Imperfeito	-Não é possível fornecer a dotação de rega necessária à pastagem durante todo o Verão e/ou em toda a sua superfície; -Pode haver parte da pastagem regada e parte não regada. -Situados normalmente junto a linhas de água cujo curso só existe enquanto há precipitação (anulando-se mesmo em pleno Inverno), sempre que haja períodos mais ou menos longos sem chuvas; -Situam-se também nos planaltos ou topos de encosta junto a nascentes que só brotam em pleno Inverno.
	Lameiros de Sequeiro (ou Secadal)	-Aproveitados para pastoreio de modo exclusivo; -Lameiros mais pobres (quando Regadio Imperfeito e Sequeiro) e declivosos (quando Regadio); -Suporte do efetivo na Primavera, onde no Inverno servem como base de alimentação de bovinos, juntamente com matos. -Aproveitados quase exclusivamente por corte podendo sofrer um único pastoreio no ano; -De Regadio quando situados em bons solos a jusante das povoações, beneficiando tradicionalmente, durante o Inverno, de regas enriquecidas com grande quantidade de nutrientes dissolvidos ou em suspensão; -Elevada quantidade de Matéria Orgânica e mineral provinda da passagem de água por zonas de mato ou floresta. -Mais abundante e de maior contribuição para alimentação do efetivo;
<b>Aproveitamento</b>	Lameiros de Pasto (Pastigueiros)	-Prados de Regadio ou Regadio Imperfeito aproveitados em regime misto (pastoreio e de corte), com declives pouco acentuados.
	Lameiros de Erva (Segadeiros)	-Declives acentuados e formas convexas; -Solos pouco profundos com pequenas áreas de enraizamentos, baixo teor de umidade do solo e disponibilidade de nutrientes
	Lameiros de Feno	-Declives côncavos e depressões; -Há acumulação de partículas de solos finas e zonas de enraizamentos mais profundos
<b>Localização</b>	Lameiros de Encosta Declivosa	-Frequentemente sujeitos a alagamento
	Lameiros de Meia Encosta	
	Lameiros de Vale	

Fonte: autor, 2021; adaptado de Pires, Pinto & Moreira, 1994; e de Pereira & Sousa, 2006.

### 2.3 Solos do Nordeste de Portugal

Os solos estão locados na superfície terrestre, são influenciados por fatores físicos ambientais e o conhecimento sobre tal parâmetro consiste no reconhecimento dos seus pedo-serviços.

Os complexos montanhosos da região de Trás-os-Montes sofreram grandes modificações geomorfológicas, hidrológicas, pedológicas e biológicas pela atividade humana, através de práticas agrícolas e pastoris (Ranzan, 2020).

A partir de Figueiredo (2013) foi possível observar as principais unidades de solos dominantes para o Nordeste de Portugal (com área igual a 1.309 mil hectares), com destaque para: Leptossolos (71,6 %), Cambissolos (13,4 %), Antrossolos (6,9 %), Pararregossolos (4,7 %), Alissolos (1,2 %), Fluviissolos (0,9 %) e Regossolos (0,7 %); há incidências de Luvissolos e Podzóis, porém possuem coberturas inferiores a 0,5 %.

Esses solos encontrados na região de Trás-os-Montes sofrem limitações quando ao uso agrário devido a várias características, entre elas: espessura, carência de água no solo, pedregosidade e declive (Ranzan, 2020; adaptado de Figueiredo, 2013).

Ainda para Figueiredo (2013), a principal cobertura do solo para o Nordeste de Portugal é o Leptossolos, o qual é caracterizado como solos incipientes; já os Cambissolos, segunda maior cobertura para a mesma área é classificado como solo pouco evoluído. Destaque para os Fluviissolos, classificado como solos incipientes e é caracterizado por serem solos espessos, desenvolvidos sobre os depósitos de planuras aluviais.

A elevada incidência de Leptossolos para a cobertura dos solos para o Nordeste de Portugal, sendo esta tipologia relacionada a regiões montanhosas e correlacionadas aos litossolos. Ainda que baixa, a incidência de Fluviissolos está acometida a ambientes que são periodicamente inundáveis, independentemente do continente e da zona climática em que se encontra (adaptado de Driessen, Deckers, Spaargaren & Nachtergaele, 2000).

O grupo de solo de referência dos Leptossolos acomoda solos rasos sobre rochas duras ou materiais altamente calcários, mas também solos profundos e extremamente pedregosos; são solos encontrados particularmente em regiões montanhosas (Driessen *et al.*, 2000).

Os fluviissolos possuem uma intervenção muito débil da pedogênese; devem a sua muito baixa pedregosidade às características do depósito que constitui o respectivo material originário, quase sempre composto por partículas no domínio da terra fina (Figueiredo, 2012).

Fluviissolos acomodam solos azonais em aluviões, geneticamente são solos jovens e não estão confinados exclusivamente em sedimentos de rio, podem ser encontrados em depósitos lacustres e marinhos (Driessen *et al.*, 2000).

Em Bragança predominam os terrenos do precâmbrico-arcaico, à parte pequenos depósitos terciários e modernos, alguns afloramentos de granitos, xistos câmbrios e formações do silúrico (Pires, Pinto & Moreira, 1994).

Os lameiros ocupam 31.157 hectares em Vila Real e Bragança, equivalente a 11 % da superfície dedicada à agricultura (Pires, Pinto & Moreira, 1994, adaptado de INE, 1979).

Ainda para Pires, Pinto & Moreira (1994), a introdução de outras culturas (nogueiras por exemplo) nas áreas de lameiro vem ocasionando a sua destruição visto que encontram-se geralmente em áreas de acumulação hídrica.

A descaracterização das áreas de lameiro e a destruição destes solos de qualidade elevada acarretam em problemas socioambientais, pela descaracterização da atividade cultural e agrícola proporcionada pelos lameiros, e pelo aumento erosivo local.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para caracterizar o Lameiro do Campus do IPB e áreas abrangentes. Sonda *PR2 Moisture* acoplada ao leitor *HH2* e piezômetros foram utilizados para a avaliação do funcionamento hidrológico através da umidade do solo e nível freático.

A caracterização através de SIG consiste em identificar elementos que permitam reconhecer e valorizar as funções eco hidrológicas do Lameiro do Campus do IPB e do seu entorno hidrológico. A caracterização complementa a análise experimental sobre a área a qual o Lameiro está inserida, possibilitando relacionar os resultados obtidos da monitorização dos processos hidrológicos.

#### 3.1 SIG

A tecnologia SIG foi utilizada neste estudo com o objetivo de simplificar a observação e caracterização da área de estudo. Tal tecnologia é costumeiramente utilizada a partir do manejo de dados, sejam estes metadados ou vetores, que interligam a tecnologia com a análise espacial. Foi utilizado o *software* ArcGis para confecção dos mapas, através da manipulação dos dados obtidos.

SIG envolve de forma sistêmica e interativa banco de dados, tecnologia e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, armazenar, manipular, visualizar e operar dados georreferenciados para obtenção de novas informações (Dantas, Taco, & Yamashita, 1996).

Assim, foram gerados mapas para caracterização hidrológica da área de estudo, bem como para facilitar a absorção de informações envolvidas e aplicadas sobre ela. A partir da obtenção do *Digital Elevation Model (DEM)* - em português Modelo Digital de Elevação- disponibilizado de forma gratuita pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), através do projeto *ALOS Global Digital Surface Model*, mais conhecido como *ALOS World 3D (AW3D)*. O projeto *AW3D* disponibiliza imagens *DEM* abrangendo todo o planeta com resolução de 30 metros (m) e com sistemas de coordenadas estabelecidos: *World Geodetic System 1984 (WGS1984)*.

Dados e metadados referentes à Portugal foram disponibilizados através do site oficial do Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) e do Centro de Informação Geoespacial do Exército (IGeoE). Referente à Espanha, foram disponibilizados através do site oficial do *Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)*. Quanto as

imagens de satélite, utilizando a ferramenta *Basemap* do próprio ArcGis, foram disponibilizadas a partir da *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*.

Foi disponibilizado pelo Instituto Politécnico de Bragança (IPB) as cotas de altimetria do campus (vetorizadas) e a planta planialtimétrica em *.DWG* (modelo de arquivo provindo de AutoCad). A partir destes arquivos foi possível confeccionar mapas com as características altimétricas da área de estudo. A partir da planta altimétrica foi possível determinar os limites da área de estudo (campus do IPB), transformando o arquivo *.DWG* para o tipo *KML*, e em seguida para o tipo *shapefile* (do tipo polígono). Utilizou-se o *software* ArcGis para tais transformações.

### 3.1.1 Sistemas, Projeções e Transformações

Utilizou-se como sistema referencial de localização a projeção *Universal Transversal Mercator* (UTM). Justifica-se a escolha por ser a projeção mais utilizada no mundo, tendo como eixos cartesianos a Linha do Equador para localização Norte e Sul, e o Meridiano de Greenwich para localização Leste e Oeste. Como medida de unificar as coordenadas dos dados obtidos e gerados, por utilizar a projeção em UTM, e por ser recomendado pela *European Reference Frame* (EUREF), todos os dados foram utilizados com sistema de coordenadas projetadas *European Terrestrial Reference System* (ETRS) 1989 TM06.

Dados obtidos em outro tipo de sistemas de coordenados foram transformados a partir do *Arctoolbox* (ferramenta do ArcGis). Assim, através de *Project* foi inserido o dado para transformação do sistema de coordenada e em *Output Coordinate System* foi escolhido a opção *ETRS 1989 Portugal TM06*; em seguida, executou tal ferramenta através do *OK*. Para dados que não possuam sistemas de coordenadas definidos, utiliza-se *Define Projection*; escolheu-se o dado a ter o sistema de coordenados definido e então a escolha sobre as coordenadas projetadas *ETRS 1989 Portugal TM06*.

Para dados do tipo *Raster*, a transformação para as coordenadas projetadas *ETRS 1989 Portugal TM06*, consiste na utilização de *Project Raster*, onde em *Output Coordinate System* escolheu-se *ETRS 1989 Portugal TM06*.

### 3.1.2 Curvas de Nível, Direção do Fluxo e Fluxo de Acumulação das Águas

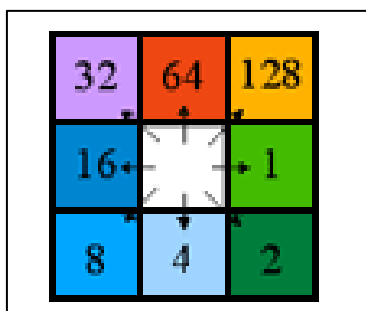
Através dos dados altimétricos disponibilizados pelo IPB, utilizou-se os dados vetorizados do tipo pontos para a caracterização altimétrica de curva de nível da área de estudo. No ArcGis, os pontos vetorizados já disponibilizados em coordenadas projetadas *ETRS 1989 Portugal TM06*, foram observados em *Open Attribute Table* as informações

altimétricas estavam locadas em um campo nomeado *text* e categorizadas no tipo *String*; para a utilização dessas informações houve a necessidade de criar um campo nomeado *COTAS\_CAD*, substituindo a categorização de informação para o tipo *Double* e alterando o separador decimal, de ponto para vírgula. Assim, a partir da preparação do arquivo original com a criação de um novo *Field*, foi possível gerar tal mapa.

Foi criado um *DEM* (do tipo *Raster*) utilizando a *Inverse Distance Weighting (IDW)*, ou seja, interpolação da ponderação de distância inversa. Para o campo *Z value field*, utilizou-se o *field* criado *COTAS\_CAD*.

Para a confecção do mapa de curvas de nível utilizou-se, o *Raster* criado e, a *Contour*; utiliza-se em *Input* o *Raster* criado através da ferramenta *IDW*; no campo *Contour interval* determina-se qual o intervalo de contorno a ser criado, assim esse passo foi repetido duas vezes (primeira vez para *Contour interval* igual a 5 e para *Contour interval* igual a 2), gerando curvas de nível com intervalo de 5 m e curvas de nível para o intervalo de 2 m, respectivamente. Inseriu-se a área de estudo, e foi realizado um *Clip*, ferramenta de geoprocessamento dentro do ArcGis, para melhor observação das curvas de níveis com intervalo de 2 m; *Label Features* foi ativado para as curvas de níveis de 2 m.

Já para a confecção do mapa de Direção de fluxo de águas, utilizou-se o *DEM* disponibilizado pelo *AW3D* para a determinação da direção do fluxo. Utilizando o *DEM N041W007* a qual a área de estudo está inserida, transformou-se para as coordenadas projetadas *ETRS 1989 Portugal TM06* (explicada no tópico **3.1.1**). Utilizando *Fill*, para o *DEM* projetada e o seu resultado para *Flow Direction*. Tal ferramenta alterou a imagem em pixels coloridos com valores múltiplos de 2 para seus resultados até o valor 128 (sendo os múltiplos com valores iguais a: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128). Através de *Resample* gerou-se um novo arquivo com *pixels* maiores, com os mesmos valores múltiplos de 2. Em *Raster to Point* utilizou-se para input o último arquivo gerado, onde para cada pixel foi gerado um ponto centralizado. A partir da **Figura 4** é possível observar e substituir os pontos gerados por *Resample* por setas através de *Properties*.



**Figura 4:** direções para fluxo de águas no ArcGis.  
Fonte: ArcGisPro, 2021; adaptado de Jenson & Domingue, 1988.

As setas representaram a direção do fluxo das águas; por fim, utiliza-se o *Raster* criado a partir de *IDW* e insere-se o polígono IPB gerado.

Para a confecção do Fluxo de Acumulação de Água utilizou-se o dado gerado a partir da utilização da ferramenta *Fill*, para o *DEM* projetada e o seu resultado para *Flow Direction*; a partir do arquivo gerado a partir do *Flow Direction*, utilizou-se a ferramenta *Flow Accumulation*, com a saída do dado indicado para a tipologia *Float*. O resultado é obtido, a fim de obter resultados com maior detalhe (visto que o resultado acarreta apenas na demonstração dos principais cursos de água) realiza-se a partir de *Raster Calculator* a expressão algébrica relacionando os dados já gerados para confecção do mapa, para demonstrar os cursos de água presentes na Sub-Bacia Hidrográfica. Calculou-se *Log10* (arquivo gerado a partir do *Flow Accumulation*, entre parênteses). Posteriormente, ainda em *Raster Calculator*, realiza-se uma expressão a partir de: Con (novo arquivo gerado entre aspas  $\geq 2$ , novo arquivo gerado entre aspas), resultando no fluxo de acumulação de água com melhor estruturação persistente. Realizou-se a troca de coloração para o resultado com a finalidade de melhor visualização.

### 3.1.3 Elevação e Hipsometria (Relevo Sombreado)

Através da observação, a área de estudo está localizada no *DEM* do *AW3D N041W007*, e este *Raster* foi transformado para o sistema de coordenadas projetadas descrito no item **3.1.1**.

Para o mapa de elevação do terreno (Declividade ou inclinação), em *Fill*, para preenchimento de áreas que possivelmente apresentem falhas dentro do *DEM*. Utilizando a ferramenta *Surface*, a qual serve a modelagem de terreno, através de *Slope* (declividade), em *Input* determinou-se o *Raster* realizado (resultado da ferramenta *Fill*) e para *Output measurement* escolheu-se *PERCENT\_RISE* referente a porcentagem de inclinação do terreno.

Para obtenção da classificação do relevo quanto ao declive, relacionou-se a porcentagem quanto a tipologia, a partir da classificação da EMBRAPA (**Tabela 6**).

**Tabela 6: classes de declividade relacionado a tipologia do relevo.**

DECLIVIDADE (%)	TIPOLOGIA DE RELEVO
0-3	Plano
3-8	Suave-Ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte-Ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Forte- Montanhoso

Fonte: autor, 2021; adaptado de EMBRAPA, 1979.

Para o mapa de hipsometria, com o *Raster* já projetado, após utilizar a ferramenta *Fill*, para preenchimento de áreas que possivelmente apresentem falhas dentro do *DEM*, insere-se em *Hillshade* e executa-se. Foi alterado a cor de apresentação para a ferramenta *Fill*, para *Elevation#1*, para as diferentes classes. Utilizou-se transparência em 85% para o dado gerado após a utilização da ferramenta *Hillshade*.

#### 3.1.4 Bacia e Sub-Bacia hidrográficas

A área de estudo está inserida na Região Hidrográfica Douro Internacional e Região Hidrográfica do Douro em âmbitos nacionais. Para a confecção dos mapas de região hidrográfica (Douro e Douro Internacional) utilizou-se *shapefiles* disponibilizados por SNIG e CNIG.

Quanto a Bacia Hidrográfica, foi determinada utilizando *DEM* do *AW3D: N041W007*, *N041W008*, *N042W007* e *N042W008*. Para unir estes *Rasters* foi utilizado a ferramenta *Merge* para mesclar as feições e em seguida, o novo *Raster* deve ser projetado para o sistema de coordenadas citado no tópico **3.1.1**. Viabilizando a tabela de atributos do *Raster* projetado, através de *Copy Raster* e definindo o campo *Pixel Type* como *16\_Bit\_UNSIGNED*.

A partir do *Raster* preparado, pode-se determinar os limites da bacia hidrográfica através do ArcGis pela ferramenta *Fill*, e inseriu-se para *Input* o *DEM* agora preparada. Usou-se a ferramenta *Flow Direction*, para seu resultado foi utilizado *Flow Accumulation* e em seguida *Stream Order*, para determinação do fluxo de direção das águas, fluxos de acumulação e saída de ordem do fluxo, respectivamente, uma vez que pertencem a uma mesma superfície. Através de *Con*, adotou-se *Value > 5* para o campo *Expression*; em seguida *Stream to Feature*; com isso, obteve-se a drenagem delimitada da bacia hidrográfica em vetor.

Para delimitação da área da bacia, criou-se um vetor (do tipo ponto) o qual representou o exutório da bacia; logo após a criação do exutório utilizou-se *Watershed*, para delimitação da bacia tendo como referência o exutório criado. Para transformação do *Raster* em *shapefile*, utilizou-se *Raster to Polygon*.

Para Sub-Bacias hidrográficas repetiu-se todos os passos citados acima, porém apenas para o *DEM N041W007* do *AW3D*.

#### 3.1.5 Relação COS, freguesia e Sub-Bacia hidrográfica

Como preparação para confecção dos mapas verificou-se o sistema de coordenadas para os dados utilizados; todos aqueles que não possuíam ou estavam em sistemas de

coordenadas diferentes de *ETRS 1989 Portugal TM06* foram transformados para o sistema de coordenadas projetadas descrito no item **3.1.1**.

Referente aos mapas de uso e ocupação dos solos, denominado COS operou-se com 3 *shapefiles* com anos distintos: 1995, 2007 e 2015, considerando todos para a Classe 1.

Relacionou-se o COS para os distintos anos, relacionado a Sub-Bacia hidrográfica do Rio Fervença. Empregou-se a utilização da ferramenta *Clip* a partir do *shapefile* COS para a área da Sub-Bacia. Assim, para efeitos comparativos pode-se observar a evolução urbana referente as influências da Sub-Bacia hidrográfica

Já para a relação COS e freguesias, aplicou-se ao *shapefile* freguesias do ano de 2012 a ferramenta *Definition Query*, em *Properties*. Através de uma equação, pode-se determinar quais freguesias iriam ser operadas, portanto selecionou-se para as freguesias de Bragança: Santa Maria e Sé. Justifica-se a escolha pois são áreas urbanas centrais de Bragança. Para a transformação de uma área única de freguesias, empregou-se a ferramenta *Merge*; para a retirada das fronteiras contidas nesta nova área manuseou-se a ferramenta *Dissolve*. Aplicou-se a ferramenta *Clip* em função para COS da nova área gerada (repetiu-se para COS 1995, COS 2007 e COS 2015); com isso, pode-se observar a evolução do uso e ocupação dos solos com o passar dos anos. Realizou-se o mesmo procedimento para a área do Campus do IPB, para COS 1995, 2007 e 2015.

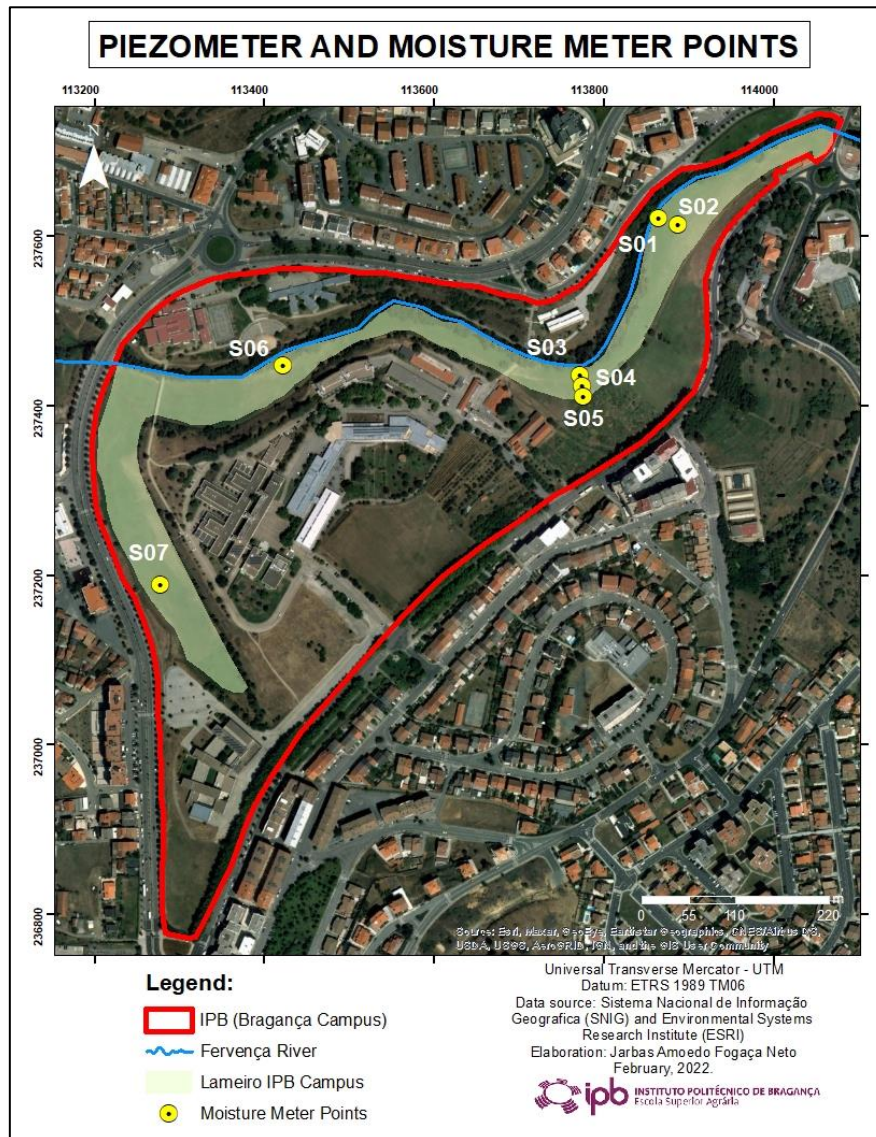
### 3.1.6 Outros Parâmetros

Verificou-se o sistema de coordenadas para os dados utilizados para a obtenção de informações a partir dos dados vetoriais para a confecção dos mapas de: localização, rede de pontos de amostragem, geologia, precipitação, litologia e tipo de solo. A realização destes mapas foram a partir da adaptação dos dados oficiais disponibilizados, para observação e caracterização deste estudo, a partir da área do Campus do IPB. Os dados que não possuíam ou estavam em sistemas de coordenadas diferentes de *ETRS 1989 Portugal TM06* foram transformados para o sistema de coordenadas projetadas descrito no item **3.1.1**.

### 3.2 Análise Experimental

Para a Análise Experimental, realizou-se através de SIG a instalação de uma Rede de Pontos de Amostragem hídrica na área do Lameiro do Campus do IPB. Considerou-se para a disposição e instalação da rede de pontos de amostragem: a acessibilidade do terreno, distância quanto ao corpo hídrico, topografia do terreno e acúmulo do fluxo de água.

A distribuição de 7 pontos por todo território do Lameiro para sonda *PR2 Moisture* e 6 pontos para os tubos piezométricos, os quais distam aproximadamente 2 m (**Figura 5**); utilizou-se a mesma nomenclatura quanto a posição para as duas tipologias, uma vez que foram caracterizados pela localização. Justifica-se a não existência do tubo piezométrico S06, uma vez que tipologia de solo não permitiu a instalação do mesmo, tratando-se de um solo com grande quantidade de rochas e por sua elevada compactação.



**Figura 5:** rede de pontos de amostragem no Lameiro do Campus do IPB.  
**Fonte:** autor, 2021; adaptado de SNIG e ESRI, 2021.

S01 e S02 são os pontos a jusante do lameiro, estão em áreas restritas e com maior faixa de terreno. S01 possui proximidade ao rio Ferveça; já S02 possui equidistância equiparada a S05, sendo o corpo hídrico o referencial.

A instalação de S03, S04 e S05 é justificada por estar na área do lameiro com maior acessibilidade e possuir atividade atrelada. Tais pontos possuem instalações para mensurações de umidade do solo para *sonda PR2* e tubos piezométricos. S03 está

localizada em proximidade ao rio, já S05 o ponto que mais dista do corpo hídrico, e ao mesmo tempo, possui maior proximidade a Horta Comunitária do IPB. Para o ponto S04, é justificado por ser o ponto intermediário entre S03 e S05.

O ponto S06 apresenta instalação apenas para mensuração da sonda *PR2 Moisture*. É caracterizado por: estar em proximidade ao Rio Ferverça, locado em uma área restrita (difícil acesso), apresenta altitude intermediária e não possui atividade atrelada a sua área.

Para a instalação de S07, determinou-se por ser o ponto a montante (considerando a área do lameiro), por estar locado na maior altitude do lameiro e por possuir maior distância do corpo hídrico.

O período de monitorização totalizou-se em 8 meses, iniciando no mês de julho do ano de 2021 e finalizando no mês de fevereiro do ano de 2022. A primeira mensuração foi realizada no dia 01 de julho, estação verão, com elevada temperatura e baixa índice de precipitação, caracterizado por ser uma estação de seca. A sequência de mensurações deu-se a partir de 22 de novembro de 2021, com baixo espaçamento entre as demais mensurações, com a última tomada de valores sendo o dia 16 de fevereiro de 2022.

Justifica-se o espaçamento entre a primeira e a segunda mensuração visto o déficit de água no solo, uma vez que as mensurações tornaram-se não satisfatórias, com resultados não mensuráveis pela sonda *PR2 Moisture* (apresentando erro do tipo *L*). Utilizou-se a mensuração do dia 01 de julho como única mensuração para o período de seca, exemplificando a quantidade de umidade no solo para a respectiva estação; juntamente com as mensurações posteriores, estações outono e inverno (estações com os maiores índices de precipitação), foi possível realizar a avaliação hidrológica do lameiro.

### 3.2.1 Sonda *PR2 Moisture*

Utilizou-se neste estudo a Sonda *PR2 Moisture* com 6 sensores quando acoplada com o leitor *HH2*, mensurando a umidade presente no solo dos 7 pontos fixos determinados na área de estudo, foi possível obter o conhecimento sobre a disponibilidade da umidade presente no solo.

Para mensuração a partir da sonda *PR2 Moisture*, houve a necessidade de perfurar o solo com 1 metro (m) de profundidade para inserção do tubo de acesso (transparente, com marcações específicas do tamanho da sonda, responsável por proteger e manter a Sonda *PR2 Moisture* limpa, em contato indireto com o solo); foram realizadas sinalizações dentro da área de estudo para cada ponto.

A Sonda *PR2 Moisture* (**Figura 6**) mensura através de sinais de saída e retorno de voltagem (em milivolts - mV- e em outras unidades através da conversão de unidades),

portanto converte-se a leitura obtida em mV de umidade do solo utilizando uma tabela de linearização e parâmetros específicos do solo.



**Figura 6: Sonda PR2 Moisture, leitor HH2, tubo e capa protetora.**  
Fonte: autor, 2022.

As tabelas para solos orgânicos e minerais são pré-instaladas pelo fabricante; para maior precisão, é possível inserir parâmetros próprios para específicos tipos de solo, onde devem ser conhecidos e determinados experimentalmente.

O leitor *HH2* fornece a média cumulativa única das leituras selecionadas. Tais leituras são armazenadas e calculadas em um documento do tipo *.CSV*. O leitor *HH2* necessita de uma configuração simples para melhor precisão quanto a mensuração de umidade do solo e antes de ser acoplado a sonda. Tal configuração consiste na escolha definição do dispositivo a ser acoplado, neste caso a Sonda *PR2 Moisture*; ajuste de relógio, caso necessário; e entre os tipos de solos: minerais e orgânicos.

Utiliza-se *Mineral* para areia, lodo/lama/aluvião, solos argilosos. Já para solos trufosos, utiliza-se *Organic*. Para este estudo, utilizou-se a opção *MINERAL*, por se tratar de um solo que em sua maioria apresenta gleissolos para a área do Lameiro. Para outros tipos de solo, há a necessidade de uma configuração diferente, a partir da opção *Soil Type*.

A Sonda *PR2 Moisture* possui 6 sensores, locados em 10, 20, 30, 40, 60 e 100 centímetros (cm), e assim cada sensor pode estar em um horizonte de solo diferente. A determinação da tipologia de solo para cada sensor tem a finalidade de obter a melhor precisão; é possível configurar para que todos os sensores estejam adequados à uma única tipologia de solo.

Para a instalação da rede de pontos de amostragem adaptou-se um bastão de aço inox com 3 cm de diâmetro externo (2,7 cm de diâmetro interno), e com 1,5 m de comprimento; realizou-se marcações com espaçamento correspondendo a 5 cm para melhor percepção de profundidade a partir da sua inserção ao solo. Ainda no bastão, com objetivo de facilitar a perfuração do solo, foi realizado um corte em uma extremidade com angulação próxima 60° (tomando como referência a linha paralela ao bastão).

Após a realização da perfuração, inseriu-se o bastão de acesso, obedecendo as marcações contidas nele, com a tampa protetora e em seguida, realizou-se a sinalização do local escolhido. Assim que instalado o tubo de acesso, retirou-se o tubo protetor da Sonda *PR2 Moisture*, e com a sonda acoplada ao leitor *HH2*, inseriu-se no tubo de acesso. Atentou-se para a limpeza da sonda e o tubo de acesso; quando necessário, utilizou-se uma toalha de papel na fenda da haste de limpeza, e empurrando-o até o fundo do tubo. Foi retirado e verificado as condições de limpeza da sonda e o tubo de acesso. Há a necessidade de secar o tubo caso esteja molhado. Não utilizou-se solventes químicos ou limpadores, uma vez que podem causar danos a sonda. Não se deve utilizar as mãos ou qualquer outro objeto nos anéis de sensores da sonda, para não contaminar e influenciar os resultados.

Quando inserida a sonda no tubo de acesso (**Figura 7**), realizou-se quatro leituras em cada local, girando o sensor a 90°, para melhor mensuração dos diferentes horizontes.



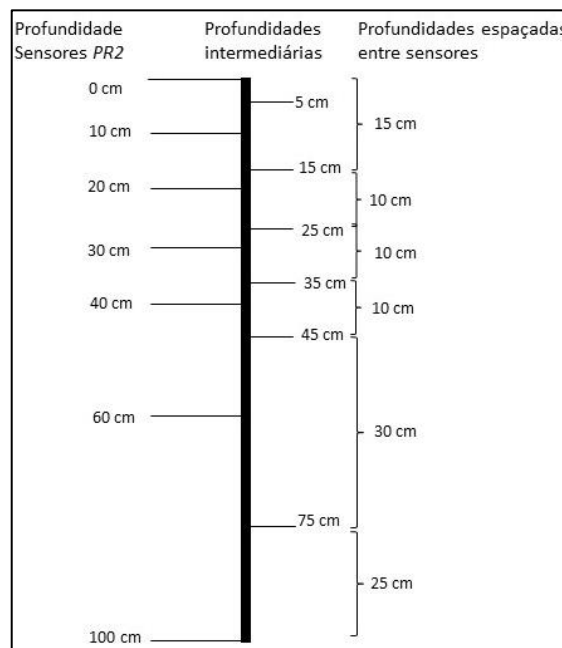
**Figura 7:** tomada de dados através da Sonda *PR2 Moisture* acoplada com leitor *HH2*.  
Fonte: autor, 2022.

Para a leitura dos dados, pressionou-se *Read*, assim aparecera *PR2* e abaixo o valor mensurado de umidade volumétrica do solo à 10 cm abaixo da superfície (referente a leitura dos outros sensores, podem ser observados pressionando as setas para baixo, uma vez que a leitura exibe o sensor mais próximo da superfície).

Pode-se escolher diferentes unidades através da opção *Display*. Para este estudo escolheu-se  $m^3 \cdot m^{-3}$  (sendo  $m^3$  de água e  $m^3$  de solo). Para salvar a leitura, pressionou-se *Store*; já para descarte, pressionou-se *Esc*. A partir do produto entre os valores mensurados para a umidade em cada ponto da rede de amostragem para determinada data ( $m^3/m^3$ ) e a profundidade espaçada entre os sensores (m), foi possível obter o volume de umidade do solo em  $m^3/m^2$ .

Após realizada toda a leitura do local, retirou-se a sonda e a tampa do tubo acesso foi recolocada. Para recuperar as leituras, conectou-se o monitor portátil (*HH2 meter*) ao computador e executou-se o *software ReadHH2 2.8*. Tal software possui a função de organizar os dados salvos pelo *HH2* em um arquivo do tipo *.CSV*, separado por pontos “.”, apresentando as características gerais nele instaladas e os resultados mensurados.

Ainda exista 6 sensores para a sonda, as profundidades intermediárias consistem nos perfis entre os sensores da sonda *PR2*, os quais estimam valores para as umidades. As estimativas abrangem um volume quanto a profundidade entre tais perfis, onde as profundidades espaçadas entre os sensores apresentam o valor da real abrangência (**Figura 8**).



**Figura 8: profundidades do solo para determinação de umidade no solo.**  
**Fonte: autor, 2022.**

A partir da observação dos perfis dos sensores, das profundidades intermediárias e as profundidades espaçadas entre os sensores, pode-se calcular a umidade acumulada no solo, a qual consiste no produto entre a média de umidade e a profundidade espaçada entre os sensores, transformando as unidades de  $m^3/m^2$  para  $L/m^2$ ; e o acúmulo através da somatória entre os perfis de profundidade para uma mesma data.

### 3.2.2 Piezômetros

A umidade no solo do Lameiro do Campus do IPB sofre com influências hídricas atmosféricas e subterrâneas. As influências atmosféricas são relacionadas quanto ao balanço hídrico entre a precipitação, caracterizada pela alimentação direta de umidade no solo, e a evapotranspiração como a saída de umidade do solo; já para as influências subterrâneas observa-se a influência freática (com influência do curso de água ou não) para abastecimento direto de umidade no solo. Foi considerado para as influências hídricas atmosféricas altura até o perfil 20 cm; já para as influências hídricas subterrâneas, a partir de 100 cm.

Para verificação da dinâmica hidrológica do Lameiro do Campus do IPB, instalou-se 6 tubos piezométricos em proximidade aos tubos de acesso da sonda *PR2 Moisture*. Os tubos são constituídos de PVC (**Figura 9**), com 1,5 m de altura e 4,5 cm de diâmetro externo, e distam aproximadamente 2 m dos tubos de acesso da sonda *PR2 Moisture*. Com auxílio de trena interligada a uma haste de alumínio, foram realizadas as mensurações da altura freática.



**Figura 9:** tubo piezométrico e tubo de acesso da sonda *PR2 Moisture*.

Fonte: autor, 2022.

A influência atmosférica para o Lameiro do Campus do IPB foi realizada a partir dos parâmetros: precipitação (P), caracterizando como a principal fonte de alimentação (de maneira direta) para o solo; evapotranspiração (ETP) como fonte de saída do solo; e

o balanço hídrico, determinado através da diferença entre precipitação e a evapotranspiração ( $P - ETP$ ). A **Figura 10** representa as sinalizações e a distância entre os tubos de acesso da rede de amostragem do Lameiro do Campus do IPB.



**Figura 10:** Lameiro do Campus do IPB e tubos de acesso (sonda PR2 e piezômetro) instalados e sinalizados.

Fonte: autor, 2022.

Obteve-se as alturas dos lençóis freáticos e volume para cada tubo de acesso instalado a partir da análise comparativa subterrânea realizada através dos tubos piezométricos. Através do *software* Excel (cálculos e gráficos), utilizou-se a relação e determinação da altura do lençol freático através da **Equação (16)**, onde foi realizada mensurações da altura do lençol freático ( $h_l$ ), altura da água no solo ( $h_a$ ) e altura de terra ( $h_t$ ) no tubo de acesso para cada data.

$$H = h_s + h_{ss} \quad \text{onde} \quad h_{ss} = h_l + h_a + h_t \quad \text{Equação (16)}$$

Entende-se por:

$H$  = altura piezométrica, com valor conhecido (1,5 m);

$h_s$  = altura superficial, localizada entre o solo e a atmosfera (cm);

$h_{ss}$  = altura subsolo, sendo a somatória das demais alturas existentes (cm);

$h_l$  = altura do lençol freático, localizada entre o solo até a água no subsolo (cm);

$h_a$  = altura da água no subsolo (cm);

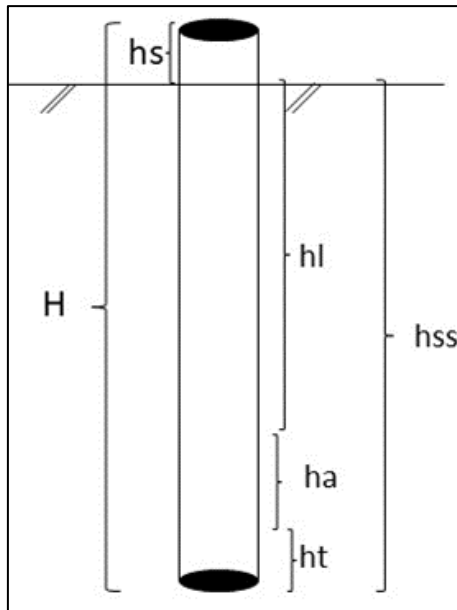
$h_t$  = altura da terra, presente no tubo de acesso (cm).

Já para as influências hídricas do lençol freático quanto ao volume, utilizou-se dados das alturas mensuradas para cada tubo de acesso. Determinou-se a partir do volume do cilindro, o volume para uma área correspondente a 1 m<sup>2</sup>. Transformou-se o resultado obtido em m<sup>3</sup> para litros para efeitos comparativos.

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \text{Equação (17)}$$

Entende-se por:  
 $V_c$  = volume do cilindro (L);  
 $\pi$  = pi;  
 $r$  = raio determinado para área de 1 m<sup>2</sup> (0,564 m);  
 $h$  = altura de água mensurada (m).

A **Figura 11** representa visualmente as alturas calculadas a partir da **Equação (16)** e da **Equação (17)**, para determinação das alturas para cada ponto de acesso de piezômetros, e as respectivas influências.



**Figura 11:** alturas piezométricas para análises hídricas.  
Fonte: autor, 2022.

### 3.3 Análise Estatística

A análise estatística, com caráter descritivo, foi realizada através dos dados obtidos a partir da confecção dos mapas (SIG) e assim, pelos dados gerados a partir deles. A partir de *Open Attribute Table*, verificou-se os dados gerados para os *shapefiles* e Rasters utilizados. Tais dados foram importados para documentos do tipo *.CSV*. A importação destes dados foi realizada através da ferramenta do ArcGis: *Table to Excel*, onde em *Input* foi inserido o vetor ou Raster, e realizado *OK*.

Com a obtenção dos dados em *.CSV* utilizou-se os *softwares* Excel e RStudio para cálculos e verificações dos dados gerados. Para os cálculos de: Altimetria, Curva de Nível, Declividade, Hipsometria, Características Fisiográficas, geração de gráficos (Curva Hipsométrica) e obtenção das aparições para cálculo da área de cobertura em km<sup>2</sup> e porcentagem (utilizando a função *CONT.SE*), utilizou-se o *software* Excel, bem como gráficos de Dispersão e de Linha.

O *software* RStudio foi utilizado para as análises estatísticas (média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, quartis, valores máximo e mínimo e *p-value*), geração de gráficos *boxplot* e verificação dos dados gerados através da caracterização em SIG (através de *Attribute Table*). As funções utilizadas para obtenção dos dados estatísticos e gráficos, no *software* RStudio, estão localizadas em um *Script*, em Anexos (**Anexo 43** ao **Anexo 46**).

Através da disponibilização dos dados da Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolônia pelo Engenheiro Arsénio Araújo, Técnico Superior do Departamento de Ambiente e Recursos Ambientais da Escola Superior Agrária (ESA) IPB, realizou-se balanços hidrológicos (por intermédio da precipitação e evapotranspiração), permitindo elucidar a dinâmica hidrológica do Lameiro do Campus do IPB. Realizou-se cálculos matemáticos e confecção de gráficos, manuseando o *software* Excel.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da área de estudo e da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença foi realizada através da utilização de SIG, a partir do manuseio dos dados disponibilizados pelo IPB e a imagem *DEM N041007* (através da agência JAXA). Além dos dados oficiais disponibilizados pelo SNIG e IGeoE, referentes ao território de Portugal; e CNIG, referentes aos territórios fronteiriços com a Espanha ou territórios espanhóis.

Para utilização das imagens de satélite, utilizou--se a ferramenta *Basemap* do próprio ArcGis, disponibilizadas a partir da *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*. Já para análise da rede de pontos de amostragem, a partir da dinâmica hidrológica (atmosférica e freática) foi obtida através dos tubos piezométricos e da Sonda *PR2*, juntamente com o leitor *HH2* para mensuração, e do *software ReadHH2 2.8* para transferência dos dados.

### 4.1 Caracterização do Lameiro do Campus do IPB

O Lameiro do Campus do IPB está totalmente inserido no Campus do Instituto Politécnico de Bragança, o qual foi classificado como Área Diretamente Afetada. O Campus do IPB está localizado no concelho de Bragança, sendo este o maior concelho do Distrito de Bragança, justificando assim o seu nome, pela importância que este possui para o Distrito. O Distrito de Bragança, juntamente com outros 17 Distritos, compõe Portugal (República Portuguesa), país que está localizado na Península Ibérica, sendo limítrofe ao Oceano Atlântico e a Espanha.

Observa-se que tal lameiro apresenta-se em área totalmente urbanizada, sendo uma singularidade para tal tipologia uma vez que estão associados a ruralidade. A área de estudo apresenta originalidade por estar em uma área de desenvolvimento urbano e social, possui elevada valoração sentimental pela resiliência apresentada no progresso urbanístico, além da potencialidade ambiental.

O Lameiro do Campus do IPB possui grande valor eco hidrológico, manteve-se adaptável quanto as interações socioambientais e culturais; até o presente momento, este estudo demonstrou-se o único para tal lameiro (não há registros e dados para o Lameiro do Campus do IPB). A valoração de tal ecossistema, serviços e influências foram obtidas através da caracterização hidrológica e da dinâmica hídrica, a partir dos resultados obtidos.

A **Figura 12** apresenta vários pontos da área do Lameiro do Campus do IPB e a urbanização limítrofe a ele. É possível observar a presença residencial através de edifícios

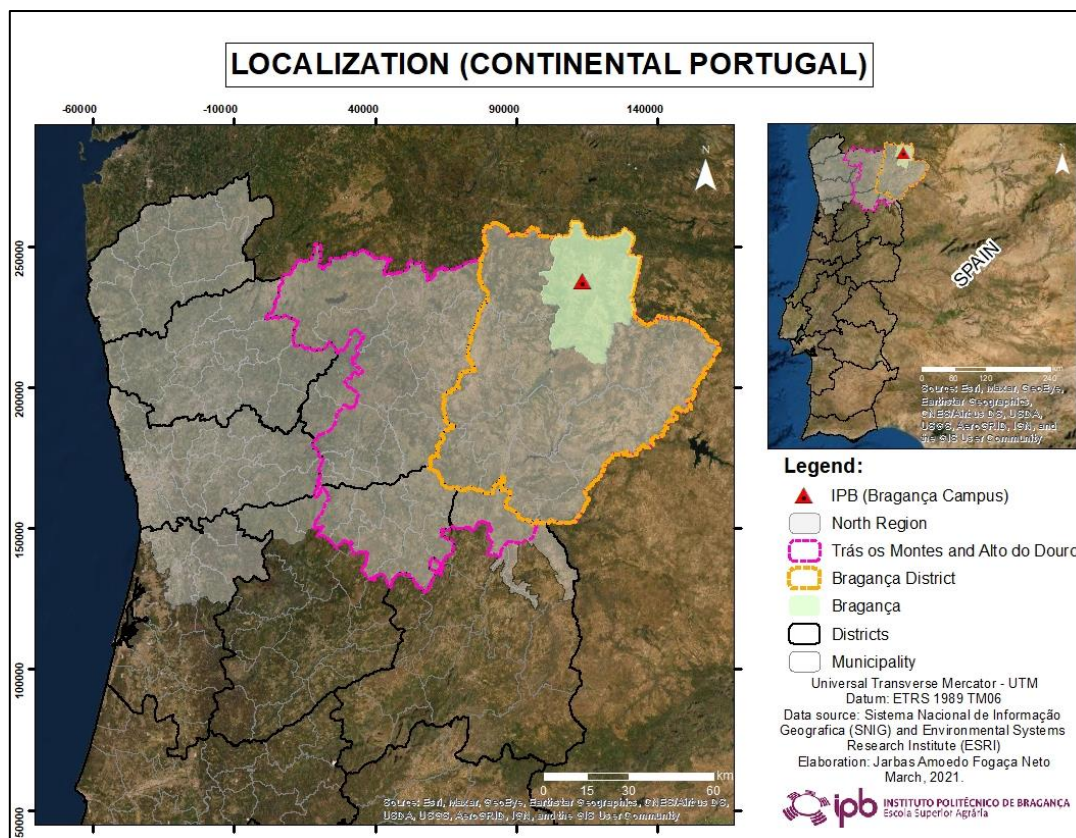
em **A**, **B** e **F**. Ainda que esteja inserido em área urbanizada, as características de lameiro estão mantidas, com a presença do curso de água (Rio Fervença), elevada faixa de pastagem e topografia.



**Figura 12:** Lameiro do Campus do IPB e a visível urbanização limítrofe.  
Fonte: autor, 2022.

Para **A** e **B**, área a qual possui os pontos S01 e S02; para **C** a área do lameiro onde foram instalados os pontos S03, S04 e S05; **D** e **E** onde o ponto S06 foi mensurado e para **F** onde foram realizadas as mensurações para S07.

A **Figura 13** apresenta as Unidade de Níveis, Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), em que a Área de Estudo está inserida. Para NUTS I, a Área de Estudo está classificada como Portugal Continental; Para NUTS II está locada na Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) Norte; na Entidade Intermunicipal (NUTS III) Trás-os-Montes; no Distrito de Bragança, Conselho de Bragança, no Campus do IPB.



**Figura 13: localização continental da área de estudo.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG e ESRI, 2021.**

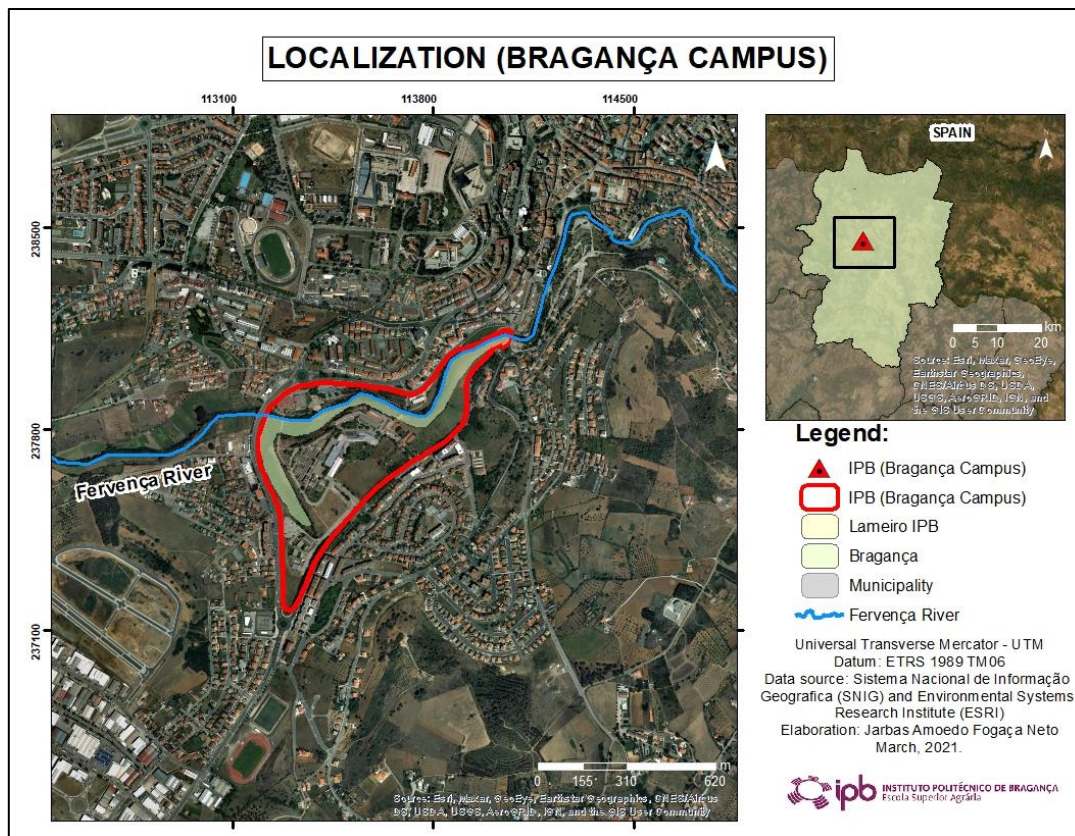
#### 4.1.1 Localização

Em *Calculate Geometry* (a partir de *Open Attribute Table*), obteve-se para o Campus 0,303 km<sup>2</sup> de Área e 3,019 km de Perímetro; já o Lameiro do Campus do IPB possui 0,054 km<sup>2</sup> de Área e 2,891 km de Perímetro.

Através da mesma metodologia, o Rio Fervença possui extensão total de aproximadamente de 20,5 km, já na área do Campus do IPB possui 1,041 km de extensão, e pode ser classificado como perene quanto ao seu constante escoamento, de acordo com a **Tabela 2**.

O Lameiro do Campus do IPB pode ser classificado através da disponibilidade de água como Lameiro de Regadio, por aproveitamento da área como Lameiros de Erva (Segadeiros), já de acordo com a localização pode ser classificado como Lameiro de Meia Encosta (**Tabela 5**).

A área de estudo (**Figura 14**) é o Lameiro do Campus do IPB, inserido na área urbanizada de Bragança, apresenta elevado elance cultural para o Campus e para a sociedade, por meio das hortas comunitárias e por apresentar Espaços Verdes (ainda que não seja utilizado com essa finalidade).



**Figura 14:** área do lameiro inserido no Campus do IPB.  
**Fonte:** autor, 2021; adaptado de SNIG e ESRI, 2021.

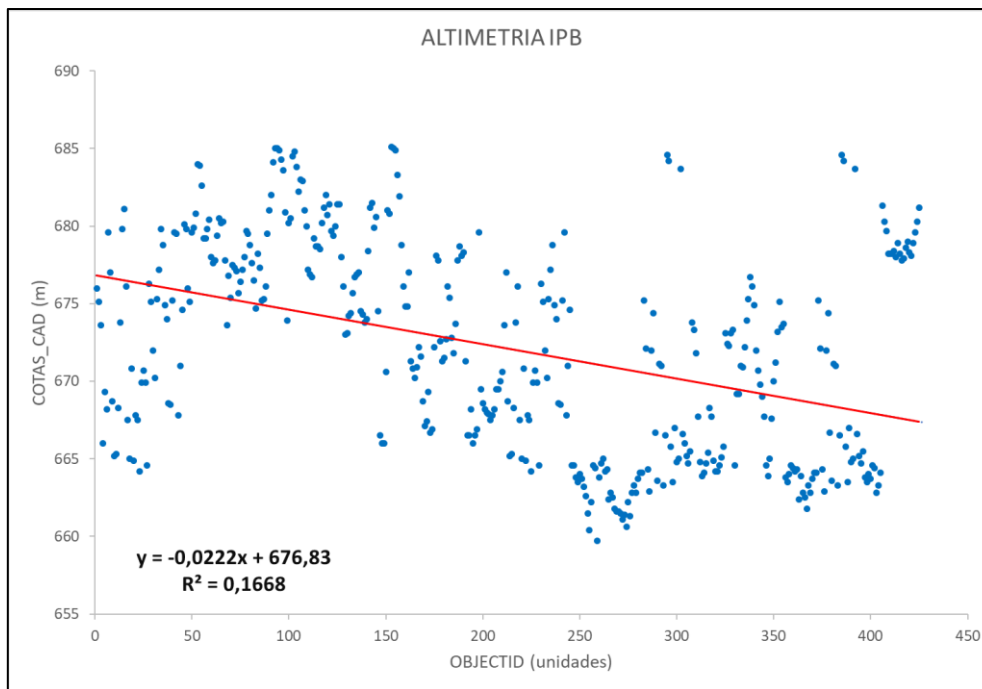
Inserido em uma área já urbanizada (caracterizada com solos impermeáveis), o Lameiro Campus do IPB apresenta-se como uma área de desafogo ambiental, promovendo a interação hídrica reguladora superficial e sub superficial, entre seus solos qualificados e ricos em matéria orgânica, com o Rio Fervença; além do seu grande valor paisagístico.

#### 4.1.2 Altimetria

Para caracterização altimétrica do Lameiro do Campus do IPB, através de *Attribute Table* do arquivo original disponibilizado pelo IPB, têm-se em **Anexo 1** a partir de OBJECTID, 425 pontos para dados altimétricos inseridos na área do Campus, altimetria mínima igual a 659,7 m e máxima igual a 685,1 m.

A **Figura 15** apresenta o Gráfico de Dispersão relacionando OBJECTID e COTAS\_CAD, os quais correspondem a quantidade de altimetrias (unidades) e as altimetrias (em metros), respectivamente. Assim, obteve-se para o gráfico a equação para a linha de tendência do tipo linear, com valor do Fator de Correlação ( $R^2$ ) igual a 0,1668.

$$y = -0,0222x + 676,83 \quad \text{Equação (18)}$$

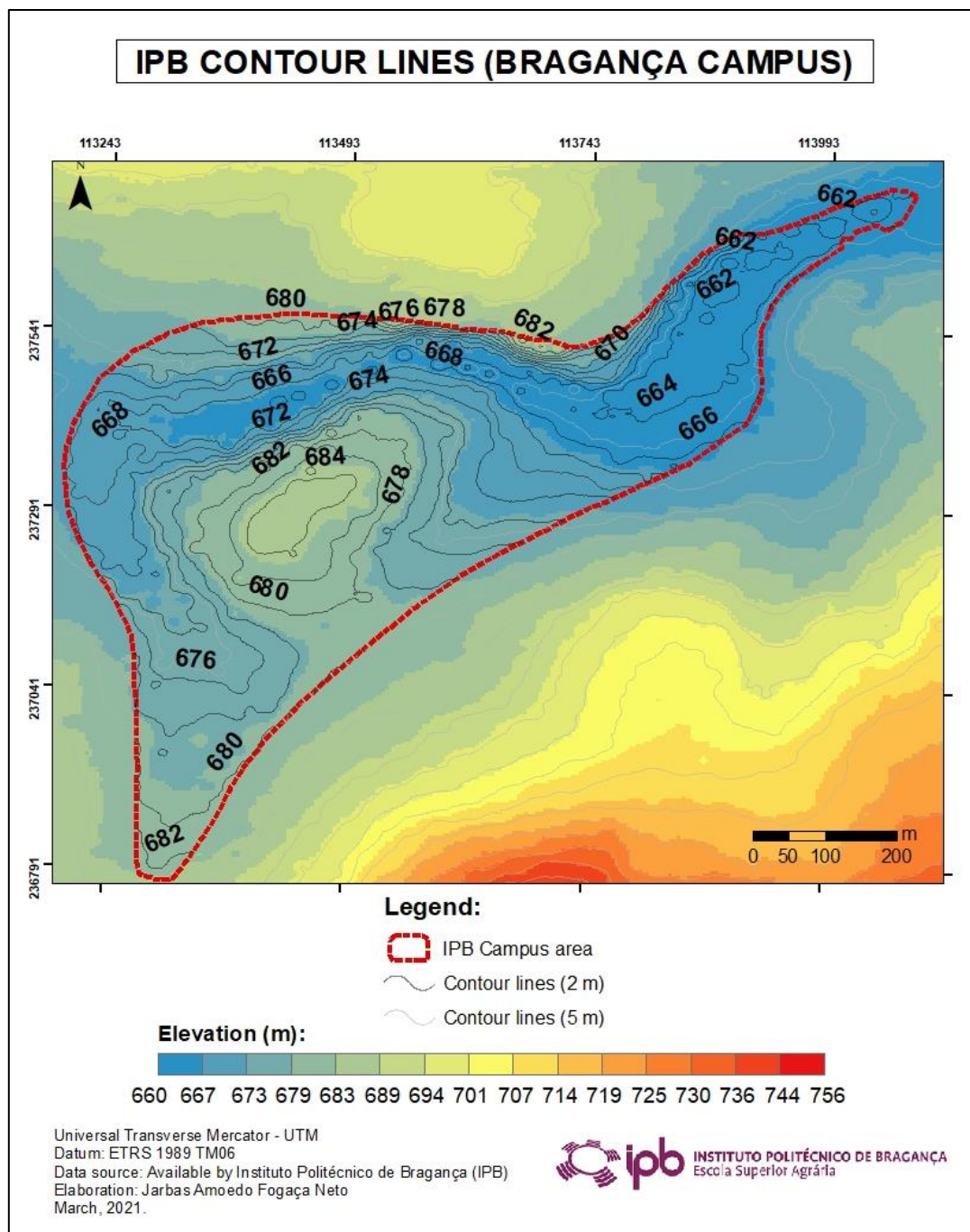


**Figura 15:** gráfico de Dispersão para os pontos altimétricos disponibilizados pelo IPB.  
**Fonte:** autor, 2021; disponibilizado e adaptado de IPB, 2000; a partir do *software* Excel.

O **Anexo 2** apresenta os parâmetros presentes no arquivo *.CSV* calculados pelo *software* RStudio, referente a altimetria em metros (a partir de COTAS\_CAD) da área do Campus do IPB, demonstrando que não há falhas entre 425 dados presentes. Possui média da análise igual a  $672,10 \pm 6,68$  m de altitude, com coeficiente de variação igual a 0,99%.

A partir dos pontos do Campus do IPB foi gerado o mapa Curva de Níveis para a área do Campus, relacionando uma diferenciação de 2 m para as curvas de níveis. Observa-se através do Mapa de Curva de Nível (**Figura 16**), onde a maior curva de nível do terreno possui 684 m e menor possui 660 m de altimetria. As curvas de níveis mais baixas do terreno apresentam-se no curso do Rio Ferverença; a montante apresenta 666 m e a jusante com 660 m.

Observa-se que o Campus do IPB está localizado em uma depressão relativa, favorecendo e caracterizando assim o Lameiro do Campus do IPB. O **Anexo 3** apresenta o gráfico de caixa da altimetria para o Campus do IPB.



**Figura 16: curva de nível para o Campus do IPB.**  
**Fonte: autor, 2021; disponibilizado e adaptado de IPB, 2000.**

Confirma-se (**Figura 16**) a maior incidência de aparições corresponde a Curva de Nível com altimetria igual a 662 m. A **Tabela 7** atesta a maior incidência na área total para tal altimetria, correspondendo a 18,33 % da área total do Campus, seguida da 666 m com 13,33 % e 664 m com 11,67 %. Tais altimetrias estão inclusas na área do Rio Fervença, influenciadoras do Lameiro em estudo.

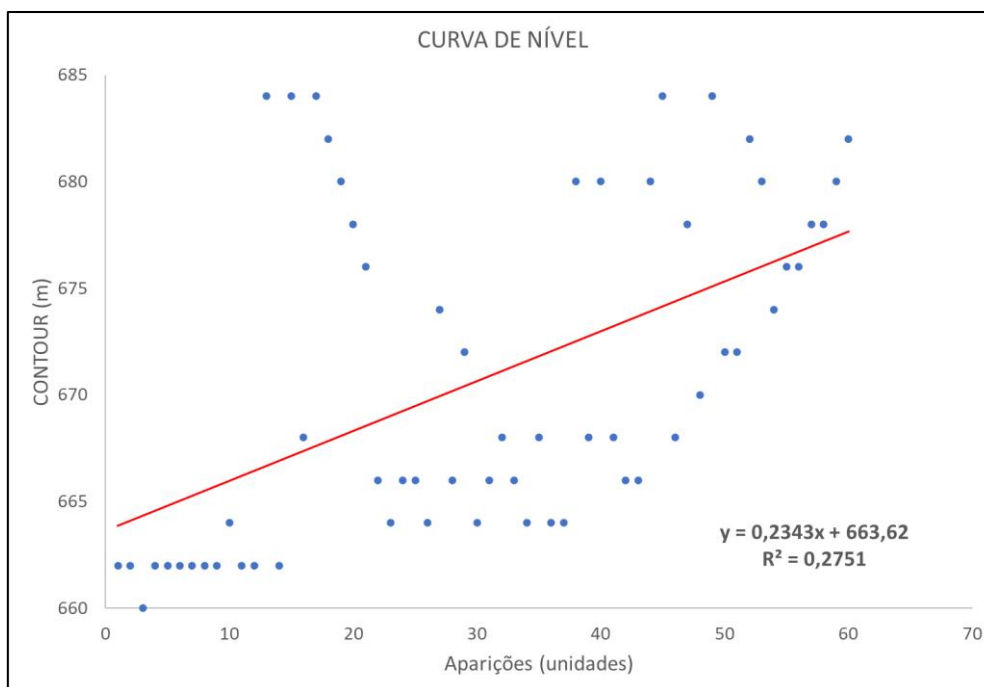
**Tabela 7: relação entre a altimetria do Campus do IPB e a composição da área.**

<b>ALTIMETRIAS (m)</b>	<b>APARIÇÕES</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
660	1	0,005	1,67
662	11	0,056	18,33
664	7	0,035	11,67
666	8	0,040	13,33
668	6	0,030	10,00
670	1	0,005	1,67
672	3	0,015	5,00
674	2	0,010	3,33
676	3	0,015	5,00
678	4	0,020	6,67
680	6	0,030	10,00
682	3	0,015	5,00
684	5	0,025	8,33
<b>SOMATÓRIA</b>	<b>60</b>	<b>0,303</b>	<b>100</b>

Fonte: autor, 2021; adaptado de IPB, 2000; a partir do *software* Excel.

A **Figura 17** apresenta o Gráfico de Dispersão relacionando as aparições e CONTOUR, os quais correspondem a quantidade de vezes em que as curvas de nível se fizeram presentes (mensuradas em unidades) e as altimetrias das curvas de nível (em m), respectivamente. Assim, obteve-se para o gráfico a equação para a linha de tendência do tipo linear, com valor do Fator de Correlação ( $R^2$ ) igual a 0,2751. O **Anexo 4** corresponde os resultados estatísticos calculados pelo *software* RStudio.

$$y = 0,2343x + 663,62 \quad \text{Equação (19)}$$



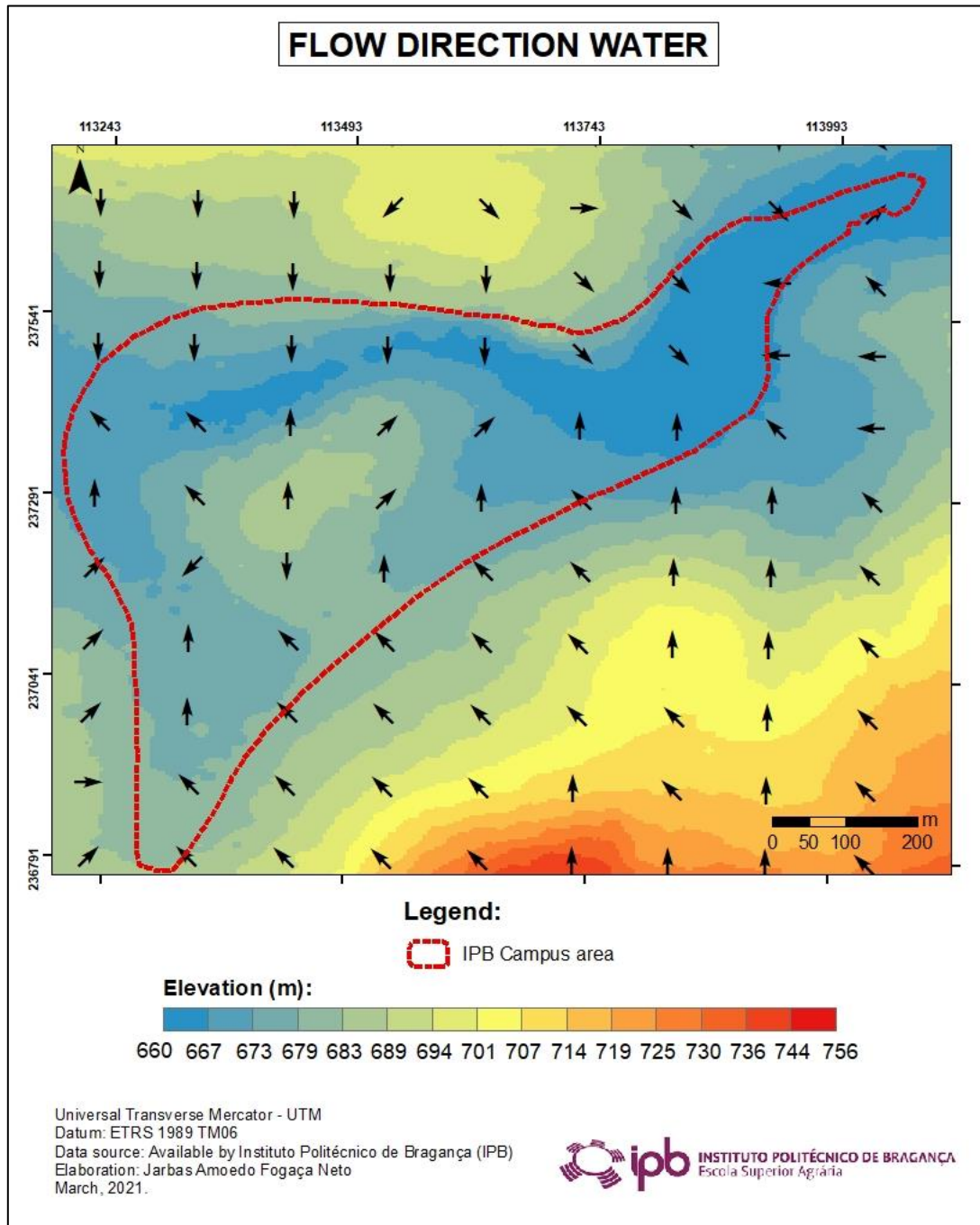
**Figura 17: Gráfico de Dispersão quanto as aparições das Curvas de Nível.**

Fonte: autor, 2021; adaptado de IPB (sem data); a partir do *software* Excel.

Observa-se o arquivo não apresenta falhas e possui 60 pontos de curvas de níveis para o Campus do IPB. O parâmetro CONTOUR (correspondente a altimetria das curvas

de níveis), possui média da análise igual a  $670,767 \pm 7,803$  m, com coeficiente de variação igual a 1,163 %. O **Anexo 5** apresenta o gráfico de caixa das curvas de níveis do Campus.

Relacionando a altimetria com o fluxo de direção das águas quando ocorre a precipitação, observamos o Mapa de Direção do Fluxo de Águas (**Figura 18**) o qual demonstra que a direção do fluxo de águas do Campus do IPB converge para as áreas de menores altitudes, o que corresponde para o curso de águas do Rio Fervença, propiciando e caracterizando a área do Lameiro do Campus do IPB.



**Figura 18:** direção do fluxo de águas do Campus do IPB.  
**Fonte:** autor, 2021; adaptado de IPB,2000.

### 4.1.3 Geologia

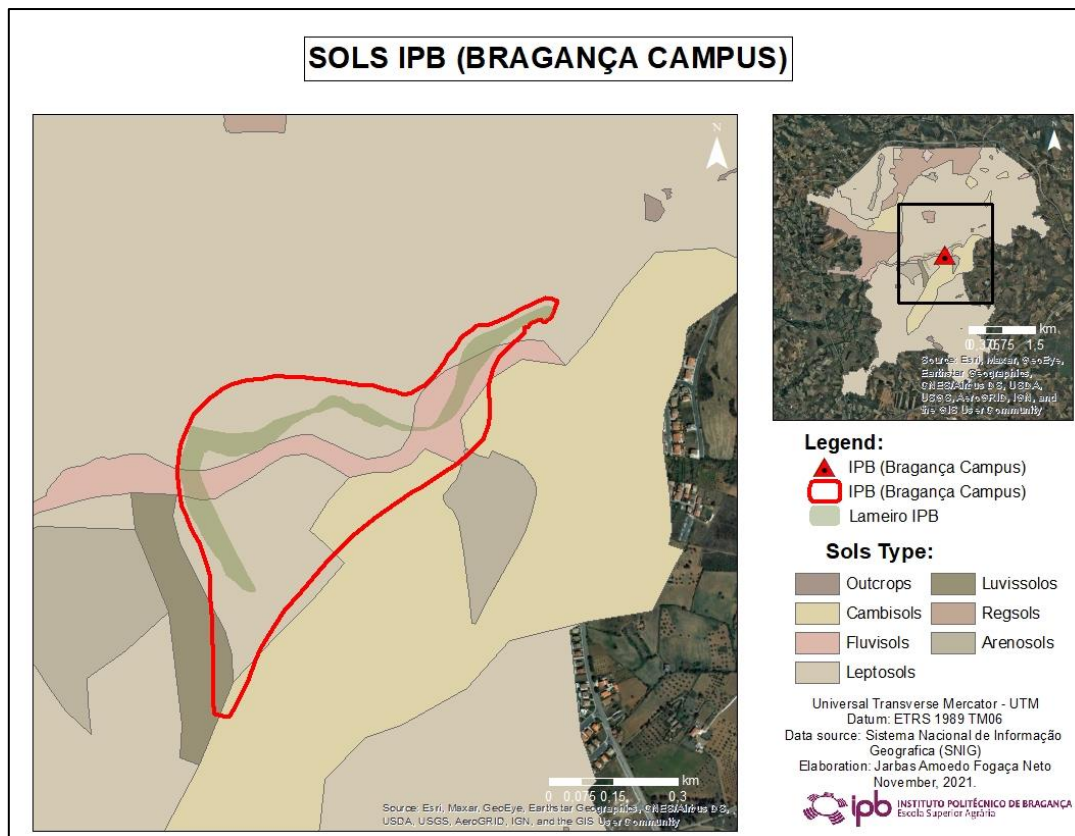
Para a caracterização geológica, o Campus do IPB (e o Lameiro do Campus do IPB inserido nesta área) pode ser caracterizado por ano e litologia. O Mapa da Era Geológica (**Anexo 6**) demonstra que a área está inserida na era Neoproterozóico-Paleozóico, categorizado pelo código NPA1, o que corresponde a uma faixa de transição entre dois éons: Proterozóico e Fanerozóico.

O Éon Proterozóico possui um intervalo entre 2500 e 542 megaano (ma); já o Eón Fanerozóico possui um intervalo entre 542 e 251 ma (Brandão & Freitas, 2014).

Para o **Anexo 7**, correspondente ao mapa de litologia da geologia, o Campus do IPB encontra-se totalmente inserido na litologia Peridotito com código (NPA1), correspondendo ao sistema Neoproterozóico- Câmbrico, apresentando Metaperidotitos com granada, granulitos máficos e gnaisses quartzofeldspáticos, pertencendo ao sistema Neoproterozóico- Câmbrico (SNIG, 2010).

### 4.1.4 Solos

Para a tipologia de solos o Campus do IPB (**Figura 19**) apresenta 5 tipos: Cambissolos (CM), Fluvisolos (FL), Leptosolos (LP), Luvisolos (LV) e Regossolos col (RG c).



**Figura 19:** solos do Campus do IPB e de seu Lameiro.  
**Fonte:** autor, 2021 adaptado de SNIG, 2010.

Para o Lameiro, observa-se a predominância de 2 tipologias: Fluvissolos (FL) e Leptossolos (LP). Portanto, os solos presentes no Lameiro do Campus o caracterizam, demonstrando a sua contínua presença na área inserida. A **Tabela 8** sintetiza a presença dos solos para o Campus do IPB, onde há a predominância do Leptossolos com significativos 65,63% de incidência para a área total do Campus.

**Tabela 8: incidência de solos para o Campus do IPB.**

TIPO DE SOLOS	SIGLAS	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Cambissolos	CM	0,038702643	12,77
Fluvissolos	FL	0,05732717	18,92
Leptossolos	LP	0,198850841	65,63
Luvisolos	LV	0,007949356	2,62
Regossolos col	RG c	0,000164939	0,05

Fonte: autor, 2021 adaptado de SNIG, 2010; a partir do *software* Excel.

Já para a litologia dos solos (**Anexo 8**) o Campus do IPB (bem como o Lameiro do Campus do IPB) possui litologia dos solos com: xistos, anfibolitos, micaxistos, grauvaques quartzitos, rochas carbonatadas e gnaises. Apresenta composição litológica das Formações Sedimentares e Metamórficas, correspondendo ao período geológico Pré-Câmbrico (SNIG, 2010).

Desse modo, apresenta litologia provinda de sedimentos de outras rochas e a partir de suas transformações, podendo assim originar novos tipos de rochas, quando estas expostas a alterações de ambientes em longos períodos.

#### 4.1.5 Relevô

Utilizando o *DEM* disponibilizado pelo *AW3D*, foi possível observar as incidências de elevação do terreno e as altitudes hipsométricas.

##### 4.1.5.1 Modelo Digital de Elevação

O Modelo de Elevação Digital apresenta 4 parâmetros, onde o parâmetro *grid\_code* refere-se à inclinação para o Campus do IPB (**Anexo 9**). O parâmetro *grid\_code* não apresenta observações faltantes, mas há uma alerta quanto ao coeficiente de variação, com valor igual a 70,175 %.

O Modelo de Elevação Digital apresenta média de análise igual a  $10,699 \pm 7,508\%$ , com 410 dados sobre elevação digital. O **Anexo 10** apresenta o gráfico *boxplot* para o Modelo de Elevação Digital do Campus do IPB.

A partir do Mapa do Modelo de Elevação Digital (**Figura 20**) observa-se que a área de estudo não pode ser classificada como uma área Montanhosa e Forte Montanhosa, pois não possui relevo com declividade superior a 45%. Destaca-se que o distrito de Bragança apresenta em sua maioria relevo com inclinações superiores as apresentadas no Campus do IPB.

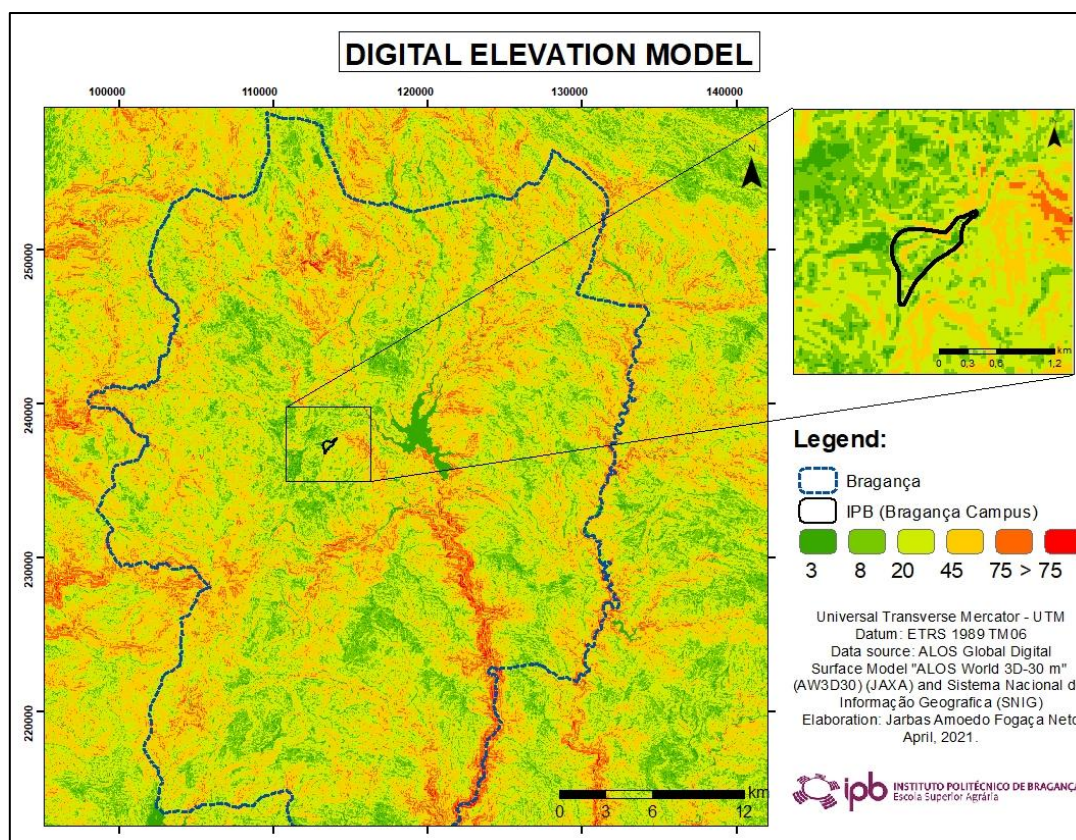


Figura 20: Modelo de Elevação Digital (DEM) do Distrito de Bragança destacando o Campus do IPB. Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020.

A Tabela 9 apresenta que a maior incidência do relevo no Campus do IPB é o Ondulado com 38,54 % da área total, seguido por Suave-Ondulado com 34,63 %, Forte-Ondulado com 13,90 % e Plano com 12,93 %.

Tabela 9: classificação e incidências de relevo para o Campus do IPB.

DECLIVIDADES (%)	TIPOLOGIA	APARIÇÕES	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
0 - 3	Plano	53	0,039	12,93
3 - 8	Suave-Ondulado	142	0,105	34,63
8 - 20	Ondulado	158	0,117	38,54
20 - 45	Forte-Ondulado	57	0,042	13,90
45 - 75	Montanhoso	0	0	0
>75	Forte-Montanhoso	0	0	0
<b>SOMATÓRIO</b>		<b>410</b>	<b>0,303</b>	<b>100</b>

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

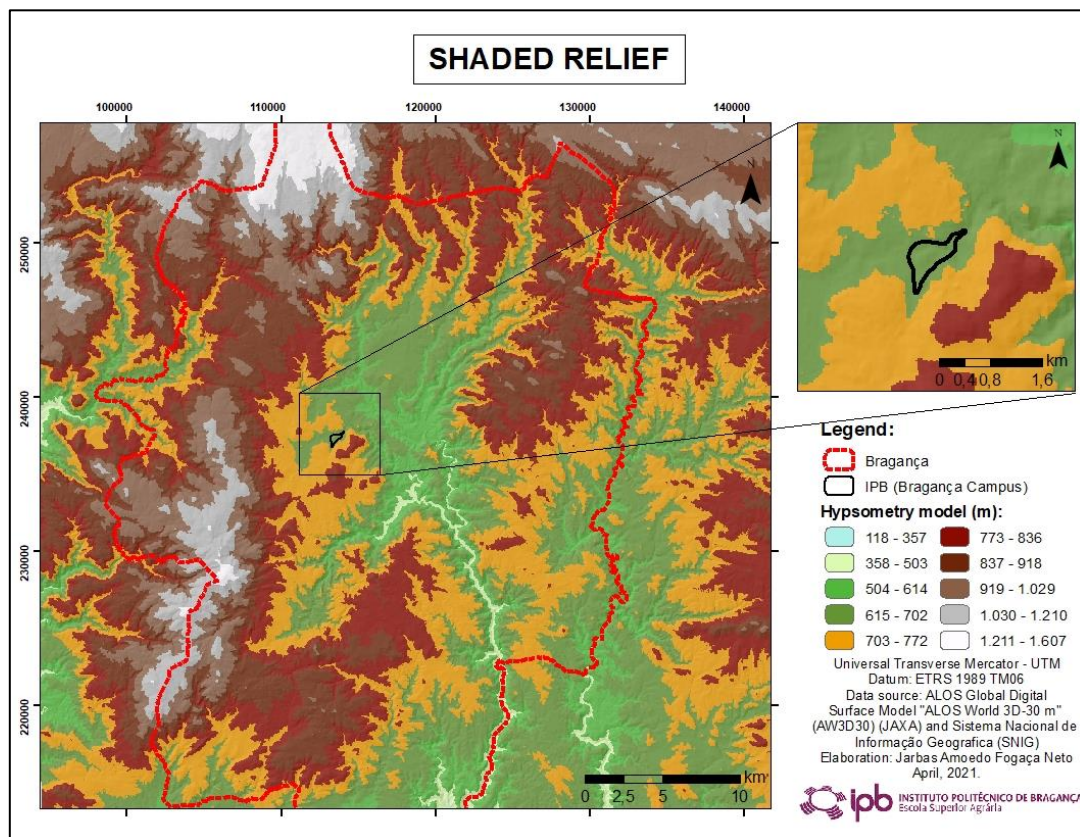
Observa-se a predominância de relevos como Suave-Ondulado e Ondulado propiciam com que os fluxos de águas convirjam para as partes mais baixas do terreno, encaminhando assim para o Rio Fervença, favorecendo a concentração destas para o Lameiro do Campus.

#### 4.1.5.2 Altitude Hipsométrica

O Anexo 11 demonstra a partir do *software* RStudio a média da análise com  $677,824 \pm 7,082$  m, com altura hipsométrica mínima de 665 m e máxima de 694 m, e

coeficiente de variação com 1,044 %. O **Anexo 12** apresenta o gráfico *boxplot* para a altimetrias hipsométricas segundo o *DEM*, para o Campus do IPB.

Quanto a hipsometria da área do estudo a partir da **Figura 21**, observa-se que encontra-se no intervalo entre 615 e 702 m de altitude. Para melhor caracterização da área e a incidência sobre as altitudes detalhadas utilizou-se os dados, a partir do *DEM* disponibilizado pela JAXA.



**Figura 21:** mapa de Relevo Sombreado (hipsometria) do Campus do IPB.  
**Fonte:** autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020.

A incidência de altura hipsométrica pode ser observado através do **Anexo 13**, onde varia de 665 m a 694 m. A altura hipsométrica de maior incidência é a de 683 m, possuindo 8,05 % da área total com 33 incidências, seguido por 681 m com 21 incidências correspondendo a 5,12 % da área total e altura hipsometria de 682 m com 20 incidências, equivalente a 4,88 % da área do Campus do IPB.

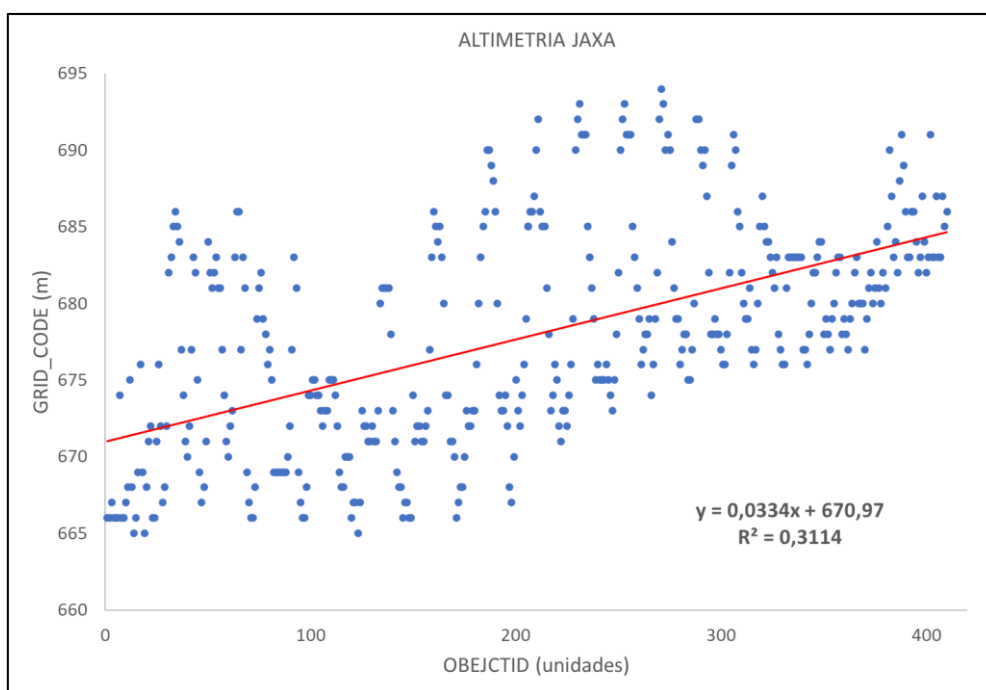
Diferentemente do que já apresentado no tópico **4.1.2**, para 425 pontos altimétricos, apresentou média de análise igual a  $672,10 \pm 6,68$  m. Uma possível justificativa para tal diferença é a definição do *DEM*, que possui 30 m de resolução.

Atenta-se que para a área de estudo, segundo o *DEM*, não ocorreu alturas hipsométricas inferiores a 665 m, diferente do apresentado para a altimetria e curvas de níveis, onde apresentaram valores mínimos iguais a 659,7 m e 660 m, respectivamente,

provindas dos dados disponibilizados pelo IPB, com melhor precisão de acordo com a análise no tópico **4.1.2 (Anexo 2 e Anexo 4)**.

A **Figura 22** apresenta o Gráfico de Dispersão relacionando OBJECTID\_1 e gride\_code, os quais correspondem a quantidade de altimetrias (unidades) e as altitudes hipsométricas dos pontos (em m), respectivamente. Assim, obteve-se para o gráfico a equação para a linha de tendência do tipo linear, com valor do Fator de Correlação ( $R^2$ ) igual a 0,3114.

$$y = 0,0334x + 670,97 \quad \text{Equação (20)}$$



**Figura 22: gráfico de Dispersão para altitude hipsométrica.**

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

#### 4.1.6 Hidrologia

A hidrologia é fortemente influenciada pela altitude, cobertura vegetal, tipologia climática, quantidade de precipitação, tipologia de relevo e pelas correntes atmosféricas.

##### 4.1.6.1 Precipitação

De acordo com a caracterização altimétrica, altura hipsometria e com as curvas de níveis, o Lameiro do Campus do IPB apresenta-se acima de 659m chegando até a 699 m.

A precipitação é a responsável direta pela alimentação do curso de água, tratando-se para a área de estudo sobre o Rio Ferverça e pode ser caracterizada pela quantidade de precipitação em milímetros (mm) e pela quantidade de dias que ocorre precipitações.

O **Anexo 14** apresenta que o Lameiro do Campus do IPB está inserido na faixa de precipitação entre 800 mm e 1000 mm. Já para o **Anexo 15** o Campus do IPB está

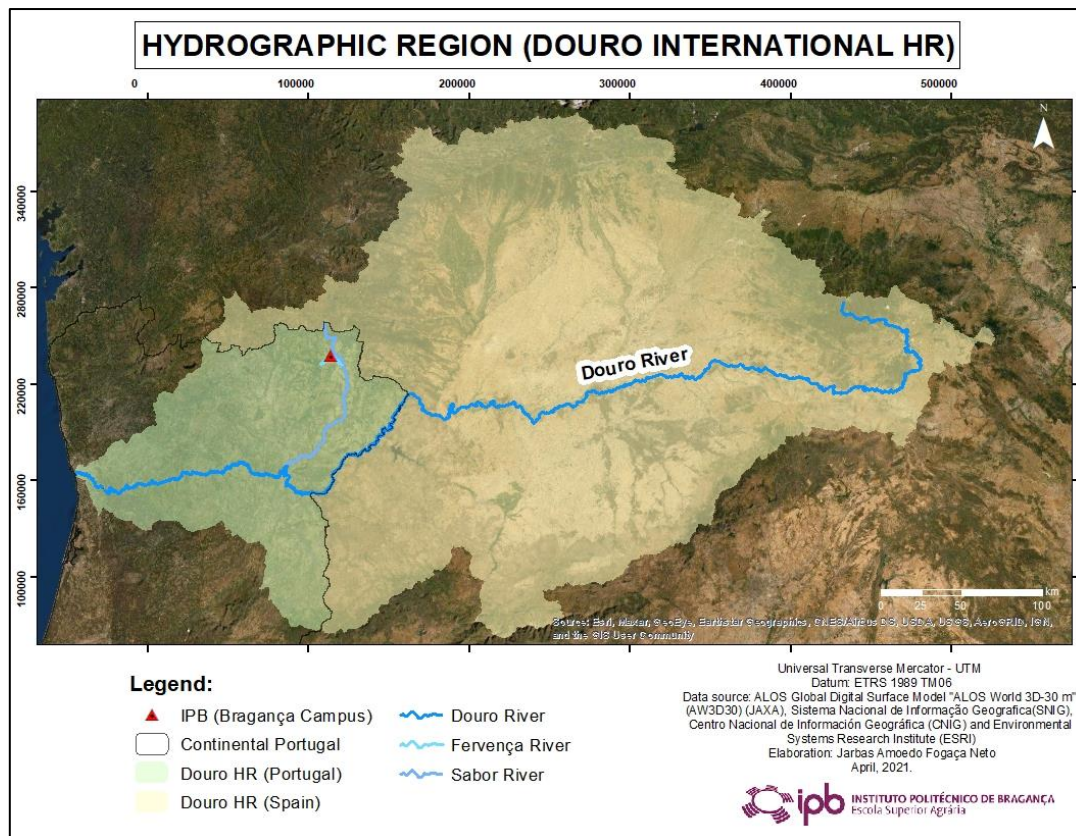
localizado na faixa com 50 e 75 dias de precipitação ao ano, portanto, haverá precipitações entre 13,6% e 20,55% dos dias em um ano.

#### 4.1.6.2 Região Hidrográfica Douro Internacional

O Lameiro do Campus do IPB está inserido na Região Hidrográfica Internacional do Douro, ou seja, está inserido em uma Região Hidrográfica em dois diferentes países. A Região Hidrográfica Douro Internacional tem uma área total de 97.477,66 km<sup>2</sup>, onde 18.587,85 km<sup>2</sup> (cerca de 19,07%) em Portugal e 78.889,00 km<sup>2</sup> (cerca de 80,93%) na Espanha, sendo a maior em área de bacia entre os rios peninsulares (APA, 2016).

Ao longo do seu curso (927 km), o Rio Douro atravessa o território espanhol com 597 km de extensão, e serve de fronteira ao longo de 122 km, sendo os últimos 208 km percorridos em Portugal até à foz no Oceano Atlântico (APA, 2012).

A **Figura 23** representa a extensão territorial da Região Hidrográfica Douro Internacional, onde a parcela referente a área espanhola da Região Hidrográfica está representada na coloração amarela, já a parcela referente a área portuguesa está representada pela coloração verde. O curso de água serve como divisor territorial em uma porção de sua extensão e apresenta deságue no Oceano Atlântico, entre as cidades do Porto e de Gaia.



**Figura 23: Região Hidrográfica Douro Internacional.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de AW3D, SNIG, CNIG, 2013.**

O Rio Douro nasce na serra de Urbión (Cordilheira Ibérica), a cerca de 1.700 m de altitude; e possui o terceiro maior curso de água entre os rios da Península Ibérica, depois do Tejo e do Ebro (APA, 2016).

#### 4.1.6.3 Região Hidrográfica Douro Portugal

O Lameiro do Campus do IPB está inserido na RH Douro Nacional, é uma RH com elevada extensão, onde em um cenário nacional, Portugal possui 10 Regiões Hidrográficas, sendo 8 destas para Portugal Continental e 2 para as Regiões Autônomas (Açores e Madeira).

As Regiões Hidrográficas (RH) são organizadas em números, com a abreviatura antes de sua numeração. A **Tabela 10** demonstra como são organizadas e identificadas de acordo com os números para o Decreto Lei nº 112/2002 de 17 de abril.

**Tabela 10: Regiões Hidrográficas de Portugal.**

CÓDIGO	NOME DA RH
RH1	Minho e Lima
RH2	Cávado, Ave e Leça
RH3	Douro
RH4	Vouga, Mondego e Lis
RH5	Tejo e ribeiras do Oeste
RH6	Sado e Mira
RH7	Guadiana
RH8	Ribeiras do Algarve
RH9	Açores
RH10	Madeira

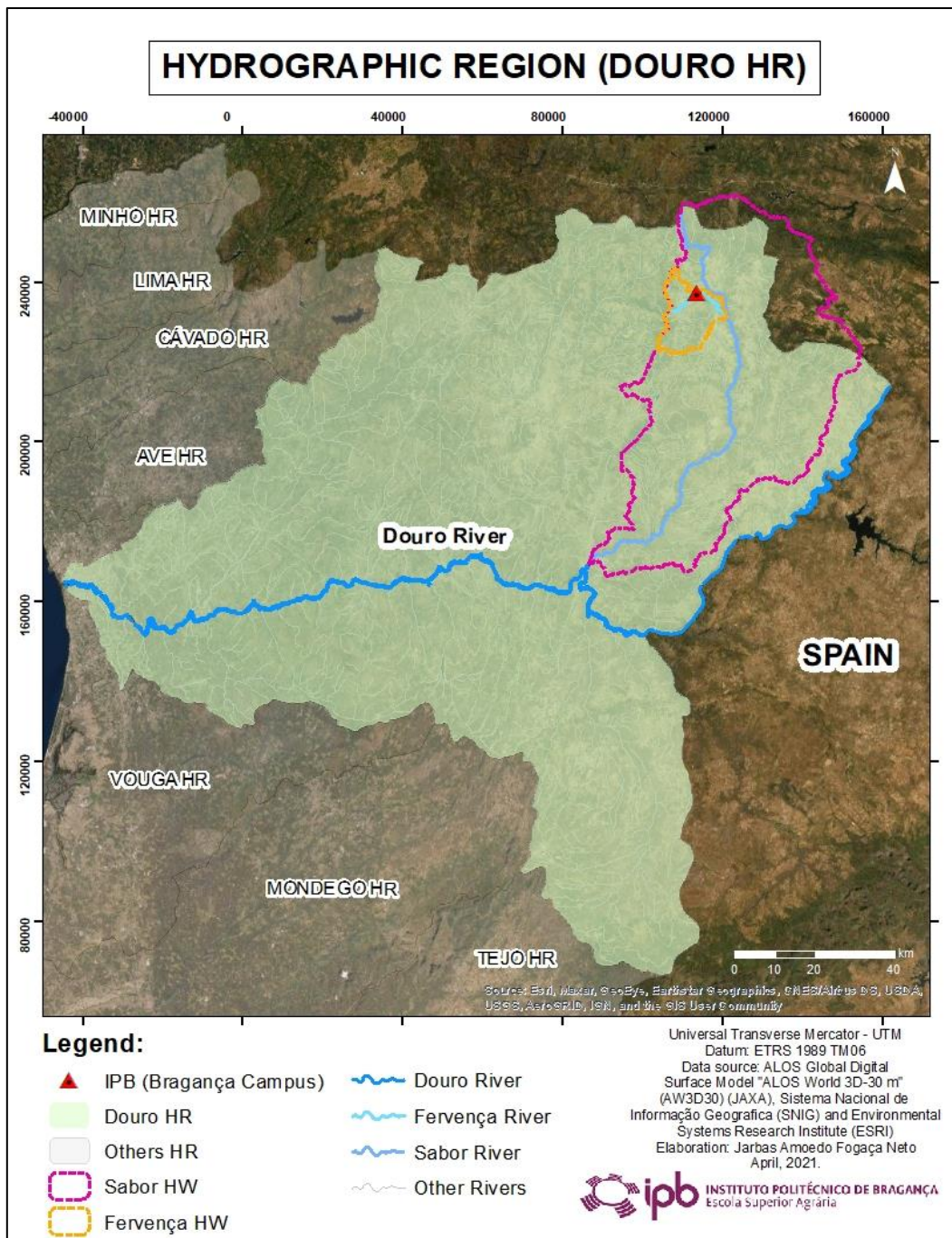
Fonte: autor, 2021; adaptado de Decreto Lei nº 112/2002.

De acordo com o Decreto Lei nº 112/2002, onde no Capítulo IV apresenta a identificação e a designação para a Região Hidrográfica do Rio Douro:

*“RH3 — Douro, correspondente ao âmbito geográfico do PBH do Douro, integra a bacia hidrográfica do rio Douro e as bacias hidrográficas das ribeiras de costa (no prolongamento da Região Hidrográfica Douro, de Espanha), incluindo as respectivas águas subterrâneas e águas costeiras adjacentes;”*

As principais linhas de água afluentes da RH Rio Douro são: Douro, Águeda, Côa, Paiva, Rabaçal, Tuela, Maçãs, Sabor, Tâmega e Tua, e ainda, as bacias costeiras associadas a pequenas linhas de água que drenam diretamente para o Oceano Atlântico (APA, 2016).

A **Figura 24** apresenta a Região Hidrográfica do Douro para o território de Portugal, o qual é limítrofe a Espanha, RH Minho e Lima, RH Cávado, Ave e Leça, RH Vouga, RH Mondego, Vouga e Lis e a RH Tejo e ribeiras do Oeste. Possui cerca de 208 km de extensão no território português, e deságua no Oceano Atlântico.



**Figura 24: Região Hidrográfica Douro Nacional.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de AW3D e SNIG, 2013.**

A **Tabela 11** apresenta em síntese dados geológicos, geomorfológicos, solos, vegetação e fauna, sendo estes parâmetros influentes e caracterizantes para a Região Hidrográfica do Rio Douro Nacional

**Tabela 11: caracterização da Região Hidrográfica do Rio Douro Nacional.**

PARÂMETRO	CARACTERÍSTICAS
GEOLOGICO	- Constituída por unidades geológicas do Maciço Hespérico, constituído, essencialmente, por um substrato rochoso de idade paleozóica e proterozóica superior, relacionado com o Orógeno Varisco, e possivelmente, com o Orógeno Cadomiano
GEOMORFOLÓGICO	- Marcada pelas falhas de Régua-Verín e de Vilaríça-Bragança, em atividade sísmica até ao presente, que segmentam a região nos sectores oriental, central e ocidental.
HIDROGEOLOGIA	- Insere-se na unidade hidrogeológica Maciço Antigo Indiferenciado, caracterizada por sistemas de natureza fissurada, sustentados por rochas granitóides e metassedimentares do Maciço Hespérico.
SOLOS	- Predominam os leptossolos, ocupando cerca de 53% da superfície total; - Em geral apresentam espessura e fertilidade reduzidas.
CLIMA	- Segundo a classificação de Koppen: clima temperado com Verão e Inverno bem definidos e em que a estação seca ocorre no Verão; - Segundo a classificação de Thornthwaite, o clima na região hidrográfica em estudo varia, de forma significativa, entre o litoral e a fronteira leste com Espanha.
VEGETAÇÃO	-Composta por matas de carvalhos, castanheiros e sardoais, alternando com lameiros - prados de composição florística variada e matorrais densos; - Em zonas planálticas ocorrem frequentemente comunidades de herbáceas vivazes associadas aos campos agrícolas, com sebes arbóreas de carvalho-negral.
FAUNA	- Merecem destaque as rapinas planadoras, que encontram um dos seus <i>habitats</i> preferenciais na região do Douro Internacional

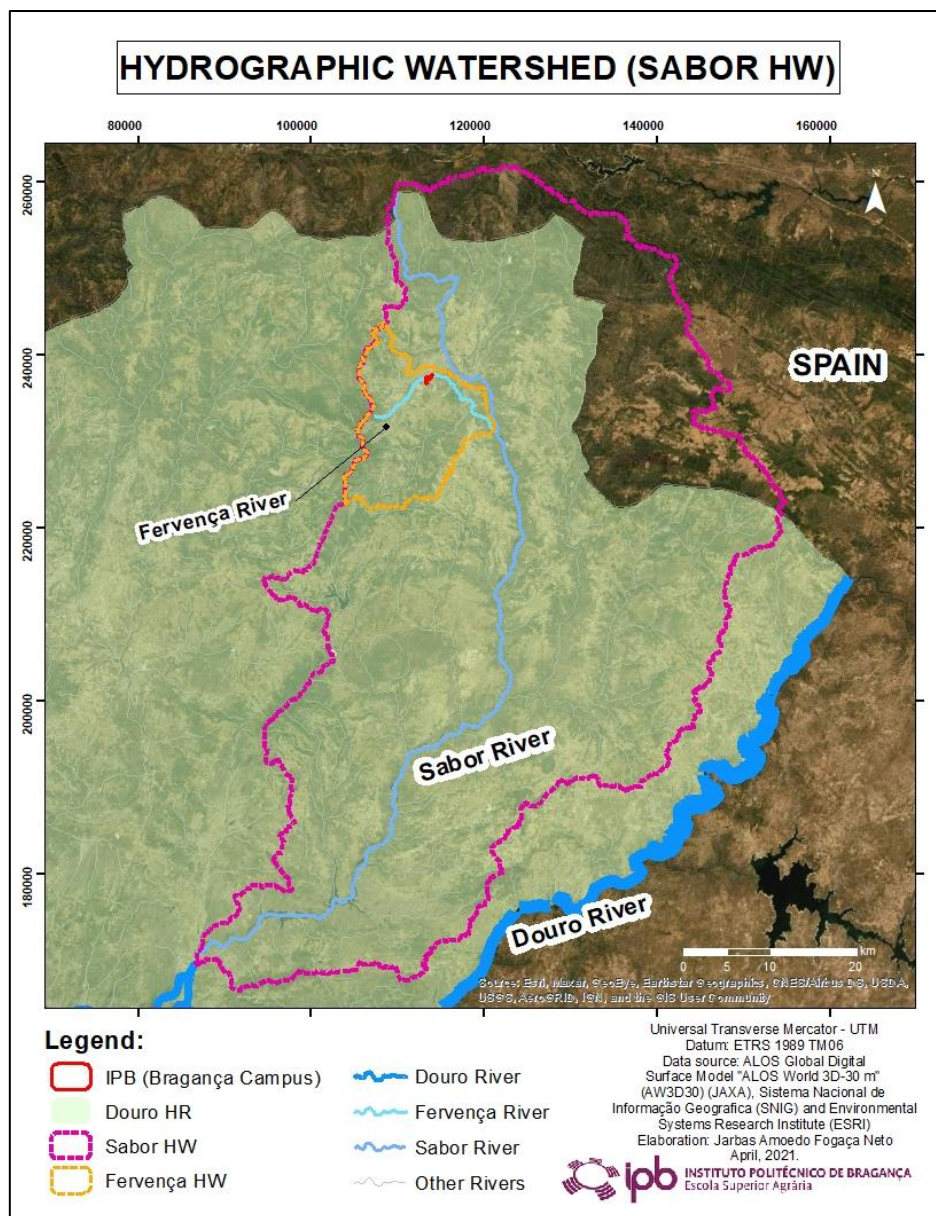
Fonte: autor, 2021; adaptado de APA, 2012 e APA, 2016.

#### 4.1.6.4 Bacia Hidrográfica Rio Sabor

O Lameiro do Campus do IPB está inserido na Bacia Hidrográfica (BH) Rio Sabor, com aproximadamente 200 km, com nascente na Espanha (província de Zamora) e deságue no rio Douro, no distrito de Bragança (APA, 2012).

Ainda segundo APA (2012), a BH Rio Sabor possui 3.297 km<sup>2</sup> de área, densidade populacional de 20 habitantes por km<sup>2</sup>, composta por 66 massas de água e abrange 12 concelhos. Tal BH deságua no Rio Douro, através do Rio Sabor, corpo de água mais importante desta BH, possuindo aproximadamente 133 km de extensão em território português (calculada a partir da ferramenta *Attribute Table*), justificando assim o nome da BH.

Por sua elevada extensão, apresenta importantes afluentes, onde estes são consideradas Sub-Bacias Hidrográficas. A **Figura 25** representa a disposição da BH Rio Sabor, onde a partir de *Attribute Table* foi possível calcular a sua extensão total (englobando o território pertencente a Espanha) com 3.504,70 km<sup>2</sup>.

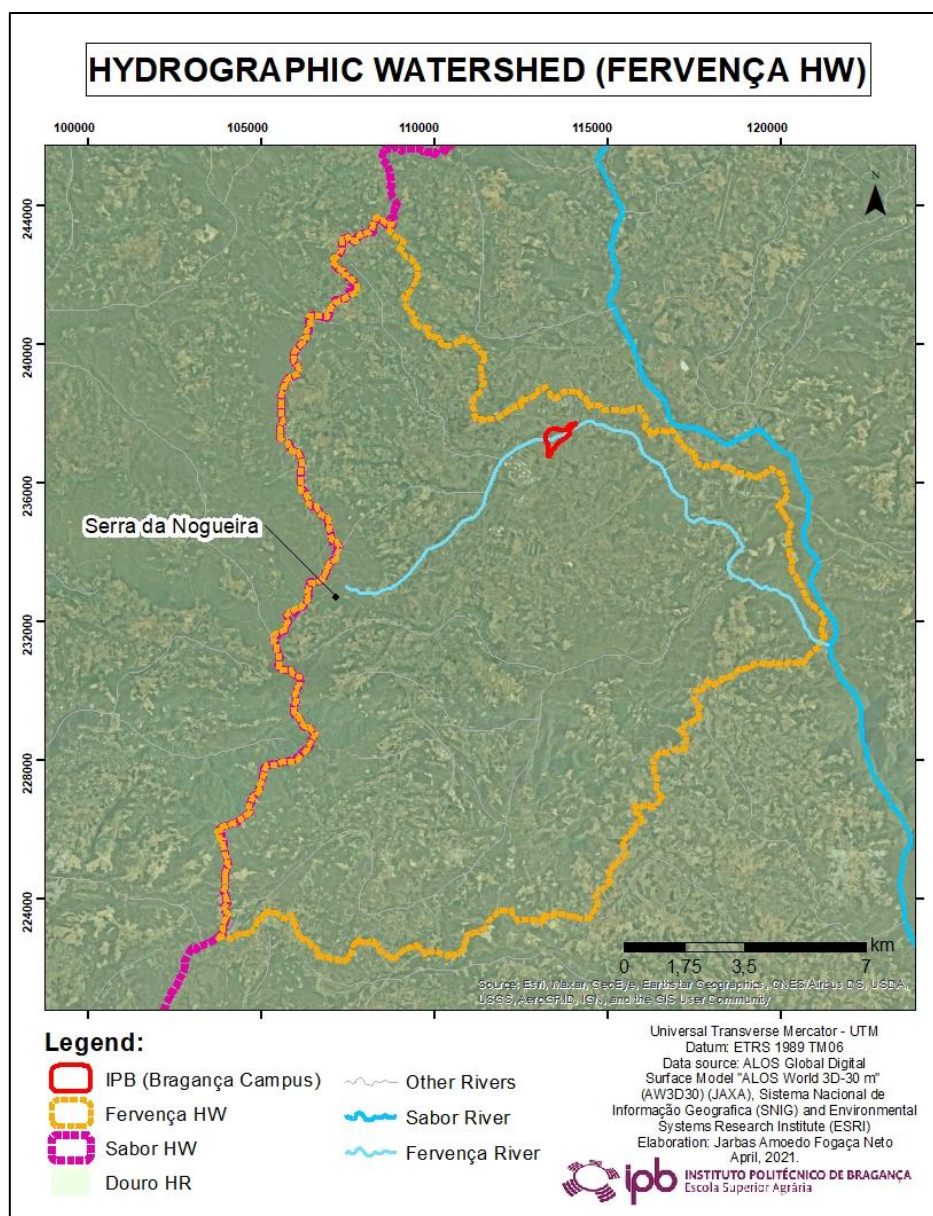


**Figura 25: Bacia Hidrográfica Rio Sabor.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de AW3D e SNIG, 2013.**

#### 4.2 Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença

A Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença é uma das Sub BH que compõem a Bacia Hidrográfica Rio Sabor, onde os cursos de águas deságuam no Rio Sabor. O Lameiro do Campus do IPB está locado na Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença, tendo como principal curso de água o Rio Fervença.

Observa-se a importância de tal Sub BH e para melhor caracterização do Lameiro do Campus do IPB, realiza-se a sua caracterização. A **Figura 26** representa a Sub BH Rio Fervença, demonstrando o seu principal corpo de água, com nascente na Serra da Nogueira com 1070 m de altitude, e uma temperatura média anual de 11.6 °C (Rego, Guerra, Torres & Teixeira, 1990).



**Figura 26: Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferveça.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de AW3D e SNIG, 2013.**

A **Tabela 12** sintetiza as características da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferveça: Área, Perímetro, Coordenada X e Y para o centróide, a extensão total do Rio Ferveça e a sua extensão no Campus do IPB.

**Tabela 12: dados sobre a Área de Estudo e a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferveça.**

PARÂMETROS	VALOR	UNIDADES
Área	205,53	km <sup>2</sup>
Perímetro	82,78	km
Coordenada X para o centroide	111,55	km
Coordenada Y para o centroide	231,62	km
Extensão total do Rio Ferveça	20,5	km
Rio Ferveça no Lameiro do IPB	1,041	km

**Fonte: autor, 2021; disponibilizado e adaptado de IPB 2000.**

#### 4.2.1 Caracterização Fisiográfica da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença

A partir do tópico **2.1.4**, realizou-se a Caracterização Fisiográfica da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença, utilizando as equações no tópico listadas para: geometria, drenagem e relevo.

##### 4.2.1.1 A Geometria

Observa-se a partir da **Tabela 13** a geometria para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença, com a Área, Perímetro, Comprimento Axial (X), Índice de Compacidade e Fator de Forma.

**Tabela 13: características geométricas da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA RIO FERVENÇA		
PARÂMETRO	VALOR	EQUAÇÃO
A (km <sup>2</sup> )	205,53	-
P (km)	82,78	-
Comp. Axial X (km)	111,55	-
K <sub>c</sub>	1,617	Equação (1)
K <sub>f</sub>	0,017	Equação (2)
I <sub>c</sub>	0,377	Equação (3)

Para “-” considerar valores calculados a partir do *software* ArcGis, em *Attribute Table*.

**Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.**

A Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença possui Fator de Compacidade igual a 1,617, Fator de Forma igual a 0,017 e Índice de Circularidade igual a 0,377; sendo estes parâmetros adimensionais. Assim, a partir da **Tabela 13**, pode-se classificar geometricamente a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença com formato alongada, com baixa tendência a enchentes segundo o K<sub>c</sub>.

Para K<sub>f</sub> e I<sub>c</sub>, trata-se de uma Sub-Bacia Hidrográfica estreita e cumprida, desse modo sem tendências a enchentes (tende a conservação). A partir destes resultados, afirma-se que a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença é uma Sub BH oblonga, estreita e sem tendências a enchentes.

##### 4.2.1.2 A Drenagem

Referente aos Sistemas de Drenagem, observou-se a partir da **Tabela 14** a drenagem para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença, com: Comprimento das Linhas de Águas, Densidade de Drenagem e o Percurso Médio do Terreno.

**Tabela 14: características de drenagem da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**

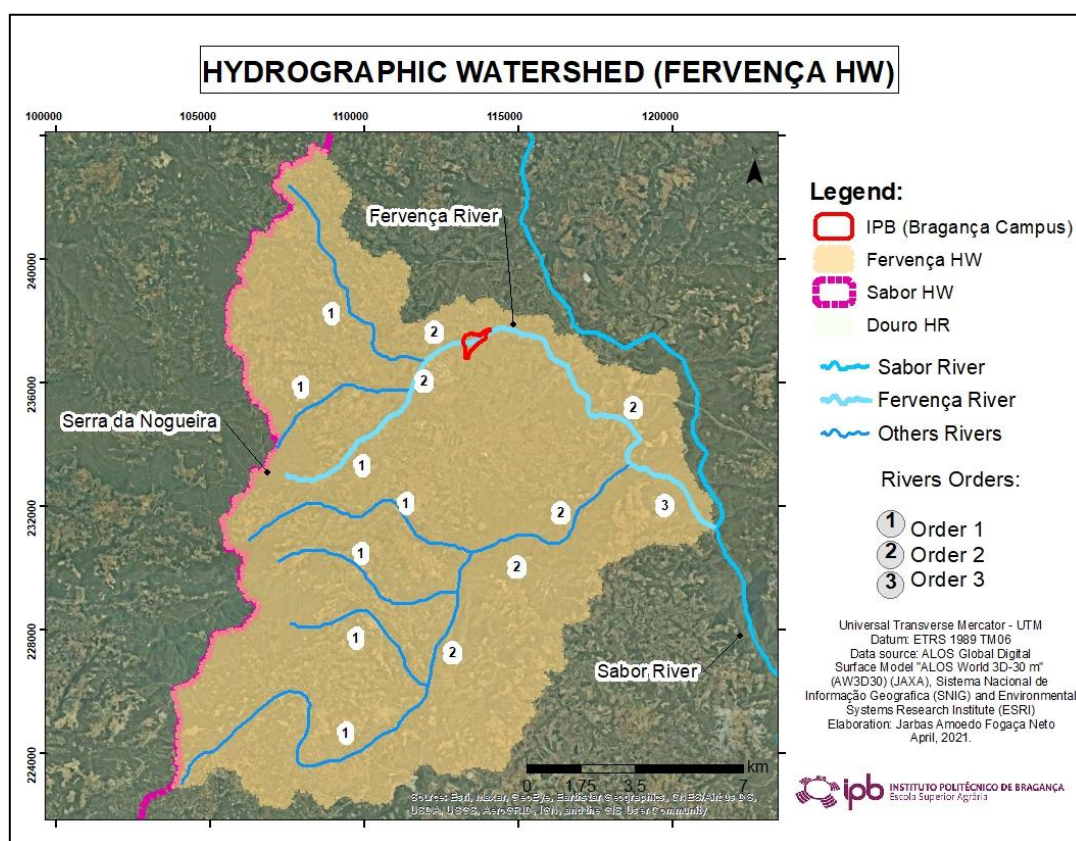
SUB-BACIA HIDROGRÁFICA RIO FERVENÇA		
PARÂMETRO	VALOR	EQUAÇÃO
L <sub>t</sub> (km)	79,421	-
D <sub>r</sub> (km <sup>-1</sup> )	0,386	Equação (4)
L <sub>p</sub> (km)	2,588	Equação (5)

Para “-” considerar valores calculados a partir do *software* ArcGis, em *Attribute Table*.

**Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.**

O Comprimento das Linhas de Águas da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença corresponde a totalidade das linhas de cursos de águas presentes na Sub BH, com somatória igual a 79,421 km. A Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença possui Percurso Médio do Terreno de 2,588 km em seu território.

A partir da **Tabela 4** pode-se classificar quanto a ordem segundo a Classificação de Horton-Strabler, onde com o auxílio da **Figura 27**, pode-se classificar como de ordem 3 em seu exutório para o Rio Sabor. Desse modo, o Rio Fervença apresenta afluentes de ordem 1 e ordem 2.



**Figura 27: Classificação segundo Horton - Strabler, para o Rio Fervença.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de Guimarães, 2017; de AW3D e SNIG, 2013.**

Para a **Tabela 2**, o Rio Fervença é classificado como curso de água perene, com escoamento durante todo o ano, possuindo nascente na Serra da Nogueira a qual possui 1070 m de altitude e exutório com 532 m, com o nível de água subterrânea abaixo do leito do curso de água, mesmo em períodos de secas.

Para a **Tabela 3**, quanto a Densidade de Drenagem a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença pode ser classificada com baixa, uma vez que possui valor inferior a  $1,5 \text{ km}^{-1}$ , correspondendo que a Sub-Bacia Hidrográfica possui densidade de drenagem com um baixo escoamento superficial e maior infiltração.

#### 4.2.1.3 O Relevo

Quanto ao relevo, a Caracterização Fisiográfica da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença foi calculada a partir do apoio do **Anexo 16**. Determinou-se: Valores Máximos e Mínimos de Altitude para a Sub BH (a montante e a jusante), Aparições, Pontos Médios de Altitude (a partir da média entre os intervalos de cotas), Área (razão entre o produto da área e quantidade de aparições das cotas pela quantidade total de cotas), Área Acumulada (somatório das áreas de acordo com a produto entre o ponto médio de altitude), Área Acumulada em porcentagem (produto entre 100 e a razão da área acumulada com a área total), o produto entre o Ponto Médio e a Área e para o Índice de Declividade global a somatória para as determinadas altitudes e áreas.

A Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença apresenta na **Tabela 15** as características fisiográficas: Altitude Média, Altura Média Índice de Declividade Global, Comprimento do Retângulo Equivalente e a Largura do Retângulo Equivalente.

**Tabela 15: características de relevo da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA RIO FERVENÇA		
PARÂMETRO	VALOR	EQUAÇÃO
$\bar{Z}$ (m)	1012,73	Equação (6)
$\bar{H}$ (m)	555,73	Equação (7)
$I_d$	0,0528	Equação (8)
$L_c$ (km)	35,620	Equação (9)
$l_e$ (km)	5,770	Equação (10)

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

A **Tabela 16** demonstra demais parâmetros calculados para a caracterização fisiográfica para o relevo da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença. A partir da determinação da Área da Altitude Mediana, observa-se para a Área Acumulada a escolha de A1 e A2 com as respectivas altitudes Z1 e Z2 (jusantes), onde a Área da Altitude Mediana estará entre as Áreas Acumuladas.

**Tabela 16: área da Altitude Mediana e a Altitude Mediana para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA RIO FERVENÇA					
ÁREA DA ALTITUDE MEDIANA (m)	ALTITUDE MEDIANA (m)	INTERPOLAÇÃO			
		A2 (km <sup>2</sup> )	Z2 (m)	A1(km <sup>2</sup> )	Z1 (m)
102,77	1032,70	130,31	1000	46,08	1100
Equação (14)		Equação (15)			

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

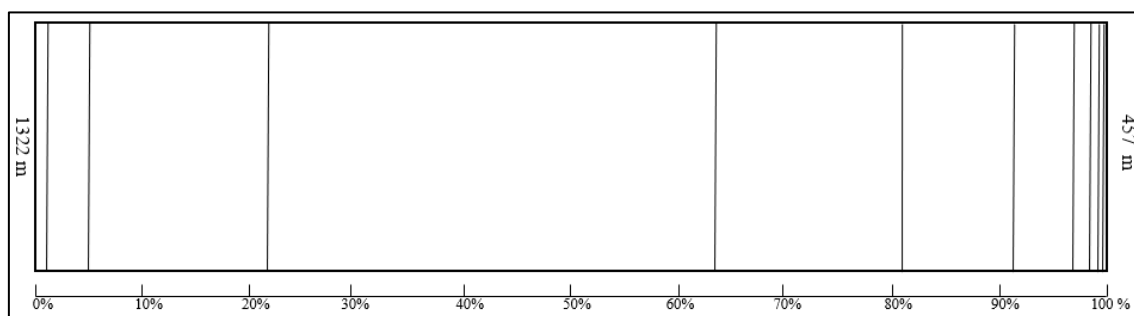
Quanto a Distância que Separam Duas Retas de Altitudes, observa-se através da **Tabela 17**, calculada através da **Equação (11)**.

**Tabela 17: dados referentes ao Retângulo Equivalente da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA RIO FERVENÇA					
MONTANTE (m)	JUSANTE (m)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	ÁREA ACUMULADA (%)	L <sub>ei</sub> (km)
1322	1300	2,21	1,073	1,07	0,38
1300	1200	13,06	6,35	7,42	2,26
1200	1100	30,82	14,993	22,42	5,34
1100	1000	84,23	40,98	63,40	14,60
1000	900	36,94	17,973	81,37	6,40
900	800	19,97	9,72	91,09	3,46
800	700	12,38	6,021	97,11	2,14
700	600	4,46	2,17	99,28	0,77
600	500	1,40	0,683	99,96	0,24
500	457	0,07	0,04	100	0,01
SOMATÓRIO		205,53	100		35,620

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

Assim, a **Figura 28** apresenta a área do Retângulo Equivalente para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença, onde a maior incidência de altitude para esta Sub-Bacia Hidrográfica é a 1100 m a 1000 m de altitude com cerca de 40,98 % de área. Observa-se que a Altitude Média está inserida neste intervalo de altitude com 1012,73 m, bem como a Altitude Mediana com 1032,70 m.



**Figura 28: área do Retângulo Equivalente para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

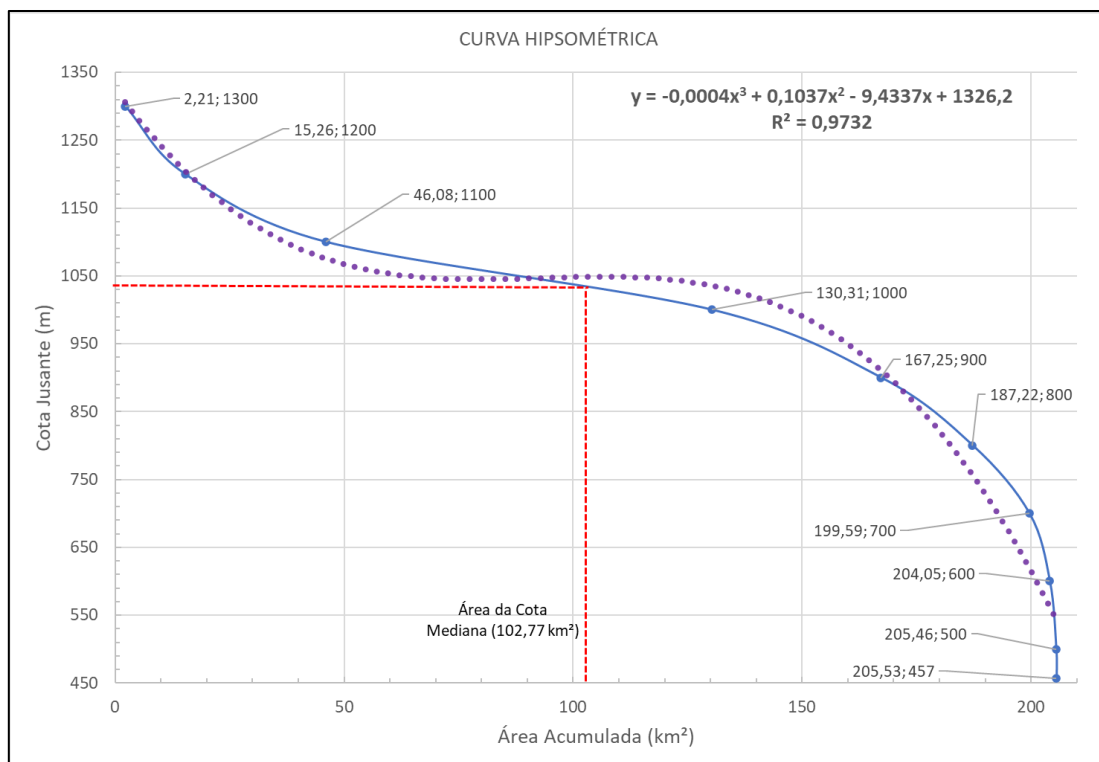
#### 4.2.2 Relevo

Utilizando o *DEM* disponibilizado pelo *AW3D*, foi possível observar as incidências de elevação do terreno e as altitudes hipsométricas.

##### 4.2.2.1 Altitude Hipsométrica

A Curva Hipsométrica da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença representa graficamente o relevo médio da Sub-Bacia, através da relação altitude em metros e área representada por km<sup>2</sup> ou em porcentagem.

A **Figura 29** apresenta a Curva Hipsométrica relacionando a Altitude a Jusante em metros e a Área Acumulada em km<sup>2</sup> para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença com Área Mediana correspondendo a 50 % , ou seja, 107,77 km<sup>2</sup> da área total da Sub BH, e Altitude Mediana igual a 1032,7 m, calculado na **Tabela 16**



**Figura 29: Curva Hipsométrica, relacionando a Altitude a Jusante e a Área acumulada em km<sup>2</sup> para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

Assim, obteve-se para a Curva Hipsométrica da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença a equação para a linha de tendência do tipo polinomial grau 3, com valor do Fator de Correlação ( $R^2$ ) igual a 0,9732.

$$y = -0,0004x^3 + 0,1037x^2 - 9,4337x + 1326,2 \quad \text{Equação (21)}$$

Para efeitos comparativos, a partir do documento tipo .CSV para a altimetria da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença (**Anexo 17**) apresentando 276.248 dados para altimetria, onde não há observações faltantes para o parâmetro correspondente a altimetria (*grid\_code*). A partir do *software* RStudio obteve-se média de análise com  $787,332 \pm 139,318$  m e coeficiente de variação com 17,69 %.

O **Anexo 18** apresenta gráfico *boxplot* para a análise estatística obtida através do *software* RStudio. A **Figura 30** apresenta o Mapa de Hipsometria para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença, com classes hipsométricas de acordo com a **Tabela 17**.

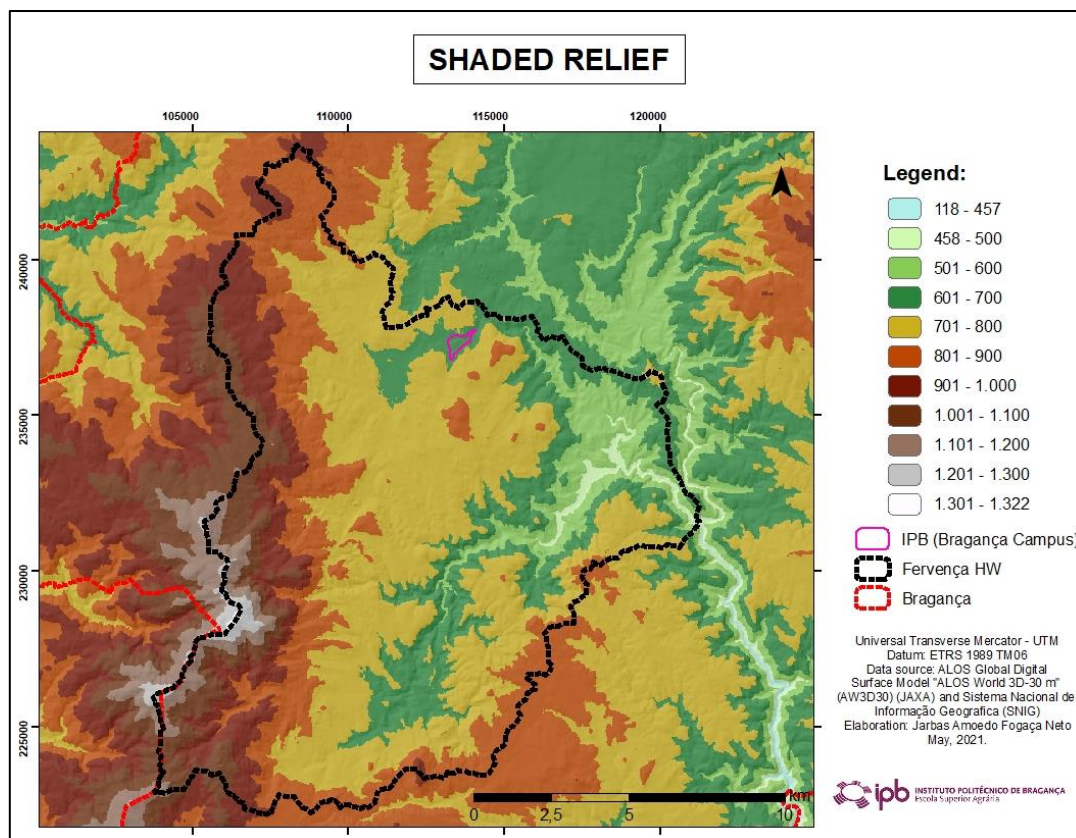


Figura 30: altitude Hipsométrica para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.  
 Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020 e SNIG, 2013.

#### 4.2.2.2 Modelo Digital de Elevação

Para a declividade da Sub-Bacia Hidrográfica (**Anexo 19**) apresentando 276.248 dados, para o parâmetro *grid\_code* (correspondente a declividade) não apresenta observações faltantes, mas há uma alerta quanto ao coeficiente de variação.

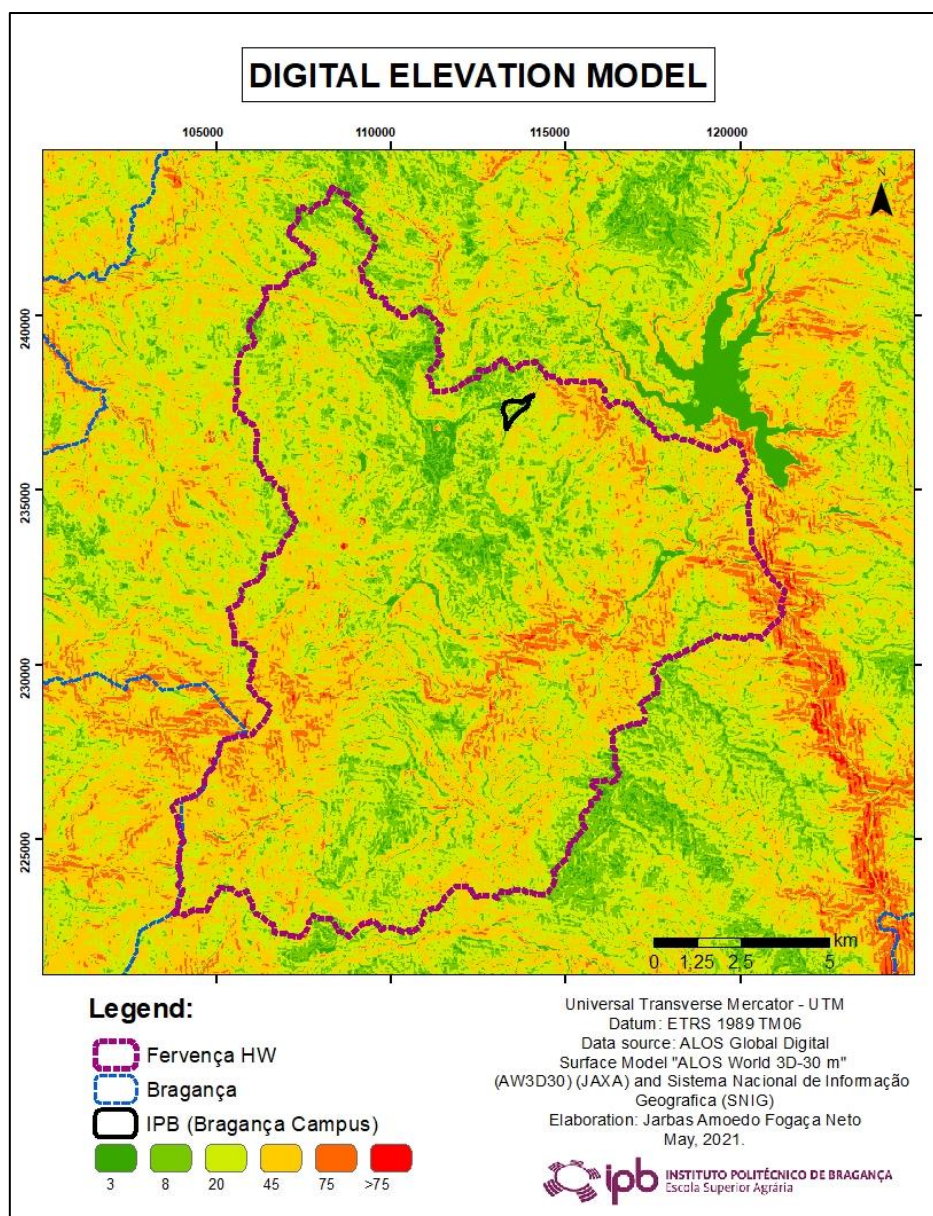
A partir do *software* RStudio obteve-se média de análise com  $19,529 \pm 13,295$  % e coeficiente de variação com 68,08 %. A **Tabela 18** apresenta a maior incidência de declive para o terreno é do tipo Ondulado, seguido pelo Forte- Ondulado com 40,42 % e 34,73 %, respectivamente.

**Tabela 18: classificação e incidências de relevo para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.**

DECLIVIDADES (%)	TIPOLOGIA	APARIÇÕES	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
0-3	Plano	10569	7,863	3,83
3 a 8	Suave- Ondulado	43666	32,488	15,81
8 a 20	Ondulado	111652	83,070	40,42
20 a 45	Forte- Ondulado	95930	71,372	34,73
45 a 75	Montanhoso	14082	10,477	5,10
> 75	Forte- Montanhoso	349	0,260	0,13
<b>SOMATORIO</b>		<b>276248</b>	<b>205,53</b>	<b>100</b>

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

A **Figura 31** apresenta o Mapa do Modelo Digital de Elevação para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença, onde apresenta predominação entre 8 e 45%, consistindo na variação entre o tipo de relevo Ondulado e Forte Ondulado.



**Figura 31: Mapa Modelo Digital de Elevação para Sub BH Rio Fervença.**  
 Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020 e SNIG, 2013.

#### 4.2.3 Geologia

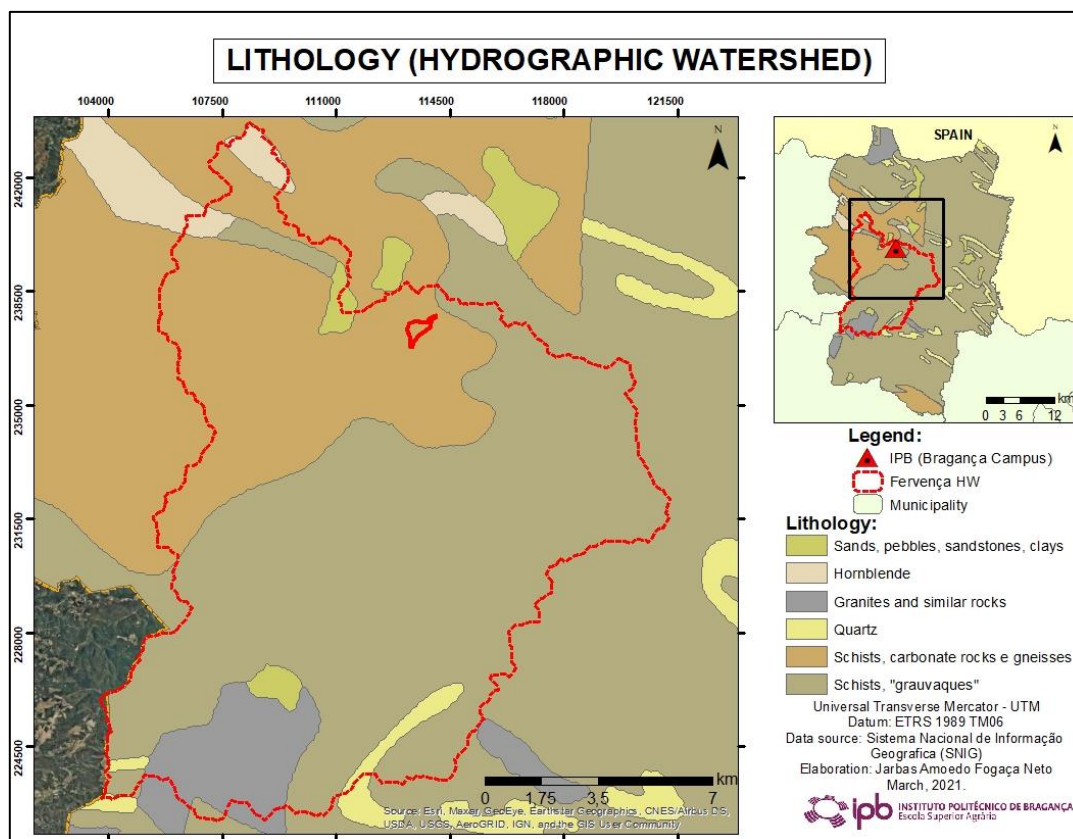
Para a geologia (**Anexo 20**), a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença apresenta-se entre os Éons: Proterozóico e Fanerozóico, categorizado pela era Neoproterozóico-Paleozóico, mas apresentando ainda a era Cenozóica.

Há incidências dos períodos: Devoniano, Siluriano, Carbonífero e Neogêneo, variando assim entre as formações geológicas de 1000 ma até 2,28 ma.

O **Anexo 21** corresponde ao mapa de litologia geológica, a Sub-Bacia Hidrográfica apresenta Filito (ODP) em maioria de sua área, especificamente na parte centro-sul da sub BH, junto com Granitos (g1\_a). Há incidência de Peridotites na parcela centro-norte (NPA1), além de Rochas Clásticas (DA), Arenitos (N1c) e Gnaiss (NPA2).

#### 4.2.4 Litologia dos Solos

É possível observar a partir da **Figura 32**, representando visualmente a predominância da cobertura de Xistos e Grauvaques para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença



**Figura 32: litologia dos solos da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.**  
**Fonte: autor, 2021 adaptado de SNIG, 2010.**

A **Tabela 19** apresenta cobertura de área para Litologia da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença, onde há destaque para a cobertura de Xistos e Grauvaques os quais abrangem cerca de 62,11% da área da Sub-Bacia Hidrográfica, seguido por Xistos, Anfibolitos, Micaxistos, Grauvaques Quartzitos, Rochas Carbonatadas, Gnaises com 27,13 %.

**Tabela 19: litologia dos solos da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.**

LITOLOGIA (DESIGNAÇÃO)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Areias, Calhaus Rolados, Arenitos Pouco Consolidados, Argilas	2,71	1,32
Dioritos Piroxenitos Ou Horneblenditos	2,37	1,15
Granitos E Rochas Afins	14,11	6,86
Quartzitos	2,92	1,42
Xistos, Anfibolitos, Micaxistos, Grauvaques Quartzitos, Rochas Carbonatadas, Gnaises	55,76	27,13
Xistos, Grauvaques	127,66	62,11
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>205,53</b>	<b>100</b>

**Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG, 2010; a partir do software Excel.**

### 4.3 Rede de Pontos de Amostragem

Para valorizar as funções hídricas e as áreas influenciadas pelo Lameiro do Campus do IPB, observou-se a urbanização para fatores históricos através do uso e ocupação do solo (a partir da utilização de SIG), e avaliação do funcionamento hidrológico a partir da umidade do solo (segundo a rede de pontos de amostragem), através das mensurações da sonda *PR2 Moisture* com o leitor *HH2* e piezômetros.

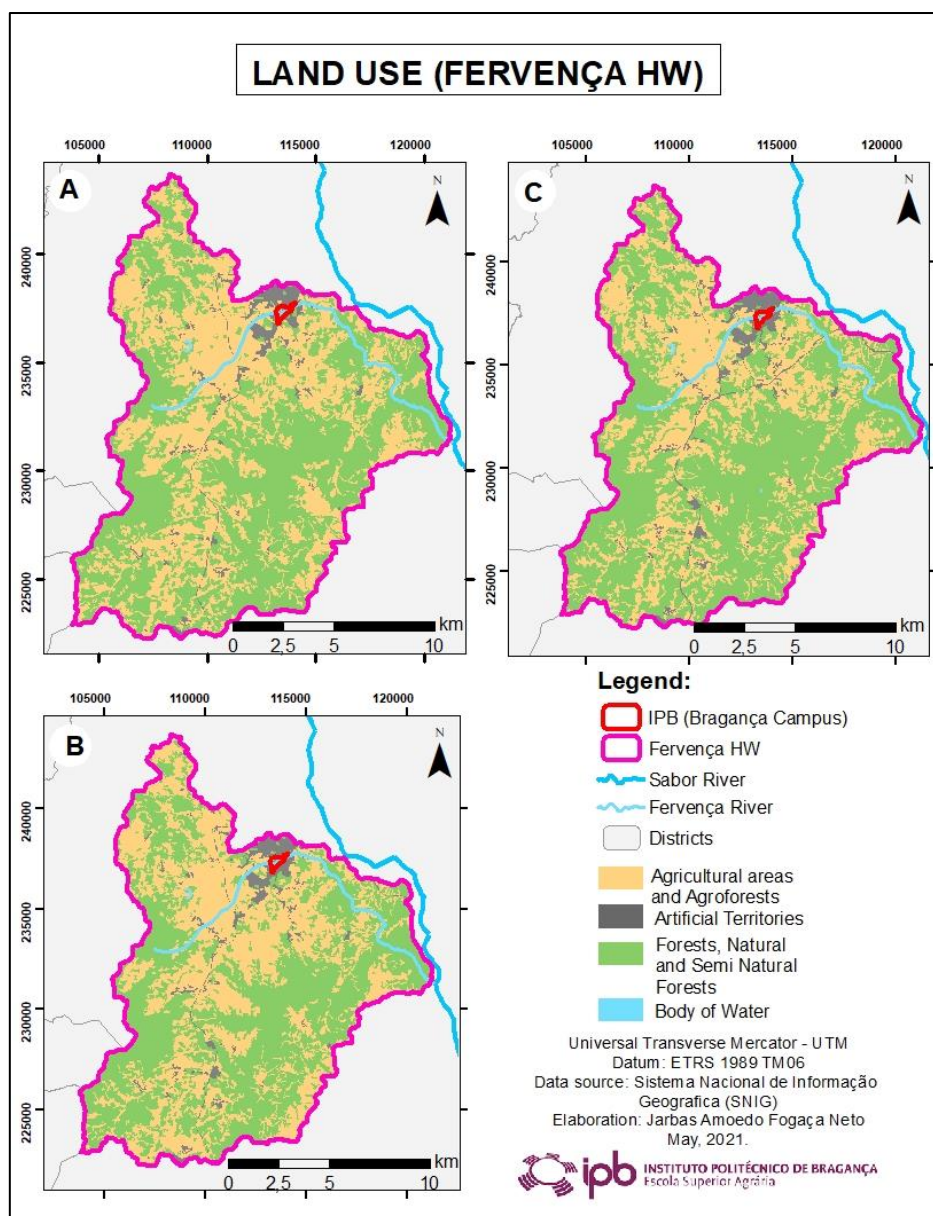
#### 4.3.1 Evolução Urbanística

A caracterização da evolução urbanística do Lameiro do Campus do Instituto Politécnico de Bragança realizou-se a partir de arquivos do tipo *shapefile* para o Uso e Ocupação dos Solos, relacionando o *shapefile* COS para os anos: 1995, 2007 e 2015.

Para o Nível 1, considerou-se Territórios Artificializados a coloração cinza, para as Áreas Agrícolas e Agroflorestais a coloração bege, para Florestas e Meios Naturais e Seminaturais a cor verde.

Considerou-se o Campus do IPB a Área Diretamente Afetada (ADA), apresentando as influências diretamente significativas para o Lameiro do Campus do IPB. Para Área de Influência Direta (AID) considerou-se as freguesias Santa Maria e Sé, tratando-se de uma área mais abrangente do que a ADA, e ainda assim passível de influir nos impactos diretos. Já a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença designada como a Área de Influência Indireta (AII), área que engloba ADA e AID, por receber ações indiretas e pelo curso de água nomear a Sub-Bacia Hidrográfica.

A **Figura 33** apresenta AII, onde para **A** o uso e ocupação do solo para o ano de 1995; a situação **B** corresponde o uso e ocupação do solo para o ano de 2007; já a situação **C** corresponde para o ano de 2015. Foram analisados a partir do Nível 1 para a nomenclatura da Carta de uso e ocupação dos solos para Portugal Continental.



**Figura 33: COS 1995, 2007 e 2015 sobre área da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferrença.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG 1995, 2007 e 2015.**

A partir da análise de SIG, observa-se um aumento na urbanização (Territórios Artificiais) com o passar dos anos. Para as Áreas Agrícolas e Agroflorestais ocorreu aumento visual de tal atividade, e para os anos 2007 e 2015 houve a diminuição, com o aumento das áreas Florestas e Meios Naturais e Seminaturais.

Assim, ocorre o aumento gradativo quando comparado os anos 1995, 2007 e 2015, referente aos Territórios Artificiais correspondente a construções, criação de comércios e evolução industrial, acometendo o aumento populacional para os centros urbanos.

A **Tabela 20** apresenta a evolução das áreas para Uso e Ocupação dos Solos da Sub BH Rio Ferrença, para os anos de: 1995, 2007 e 2015 (Nível 1 do *shapefile* COS).

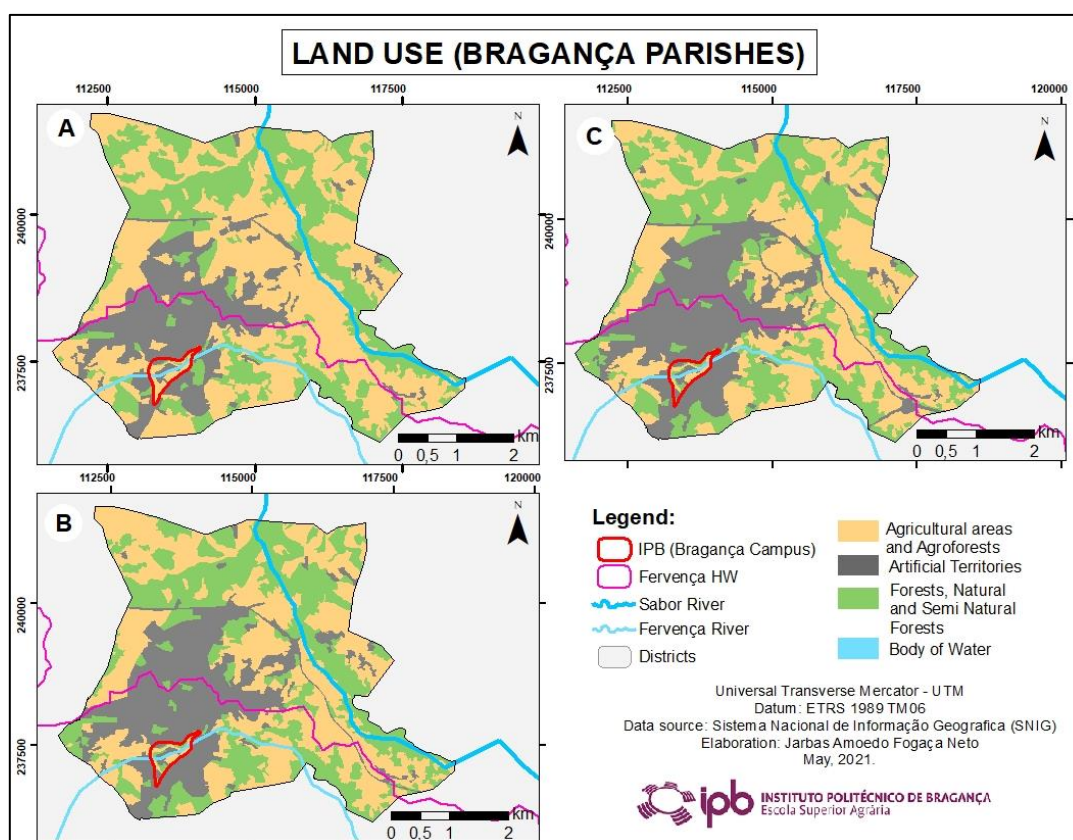
**Tabela 20: evolução da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença para uso e ocupação do solo.**

PARÂMETROS COS (NÍVEL 1)	ANOS					
	1995		2007		2015	
	AREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	AREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	AREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
TERRITÓRIOS ARTIFICIAIS	6,96	3,39	8,25	4,01	9,32	4,54
ÁREAS AGRÍCOLAS E AGROFLORESTAIS	86,48	42,08	87,47	42,56	72,25	35,15
FLORESTAS E MEIOS NATURAIS E SEMINATURAIS	11,95	54,47	109,67	53,36	123,80	60,24
CORPO DE ÁGUA	0,14	0,07	0,14	0,07	0,16	0,08
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>205,53</b>	<b>100</b>	<b>205,53</b>	<b>100</b>	<b>205,53</b>	<b>100</b>

Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG, 1995, 2007 e 2015; a partir do software Excel.

Referente as Florestas e Meios Naturais e Seminaturais ocorreu oscilações: diminuição entre 1995 e 2007; e aumento para 2007 e 2015. Observou-se constância para as áreas dos Corpos de Águas entre os anos 1995 e 2007, com aumento da área referente aos anos 2007 e 2015, em uma atividade que costumeiramente não há variação.

A **Figura 34** apresenta a AID, com **A** representando o uso e ocupação do solo para o ano de 1995; a situação **B** corresponde o uso e ocupação do solo para o ano de 2007; já a situação **C** corresponde para o ano de 2015. Foram analisados a partir do Nível 1 para a nomenclatura da Carta de uso e ocupação dos solos para Portugal Continental.



**Figura 34: COS 1995, 2007 e 2015 sobre as freguesias urbanas de Bragança.**

Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG 1995, 2007 e 2015.

A partir de arquivos do tipo *shapefile* foi possível observar o aumento da urbanização, considerando as freguesias urbanas para o concelho de Bragança, determinadas como Área de Influência Indireta. As freguesias urbanas consideradas como AID foram: Santa Maria e Sé; e assim, relacionou-se a partir do *shapefile* COS para os anos: 1995, 2007 e 2015 para a obtenção da evolução urbanística. A junção das freguesias urbanas de Bragança (Santa Maria e Sé), possui área igual a 24,21 km<sup>2</sup> calculada através de *Attribute Table* no ArcGis.

A **Tabela 21** apresenta a evolução da área urbanizada do concelho de Bragança para os anos 1995, 2007 e 2015, com o uso e ocupação dos solos para nível

**Tabela 21: evolução da área urbanizada de Bragança para uso e ocupação do solo.**

PARÂMETROS COS (NÍVEL 1)	ANOS					
	1995		2007		2015	
	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
TERRITÓRIOS ARTIFICIAIS	4,98	20,57	6,04	24,94	6,51	26,87
ÁREAS AGRÍCOLAS E AGROFLORESTAIS	11,70	48,30	7,27	30,04	9,39	38,76
FLORESTAS E MEIOS NATURAIS E SEMINATURAIS	7,54	31,12	10,90	45,03	8,32	34,37
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>24,21</b>	<b>100</b>	<b>24,21</b>	<b>100</b>	<b>24,21</b>	<b>100</b>

Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG, 1995, 2007 e 2015; a partir do *software* Excel.

Ocorreu aumento gradativo dos Territórios Artificiais, com o passar dos anos. Para as Áreas Agrícolas e Agroflorestais ocorreu um brusco decaimento para os anos 1995 e 2007. Para as Florestas e Meios Naturais e Seminaturais ocorreu aumento significativo para uso e ocupação dos solos para os anos 1995 e 2007; quando comparado os anos de 2007 e 2015, ocorreu um decréscimo do uso e ocupação dos solos.

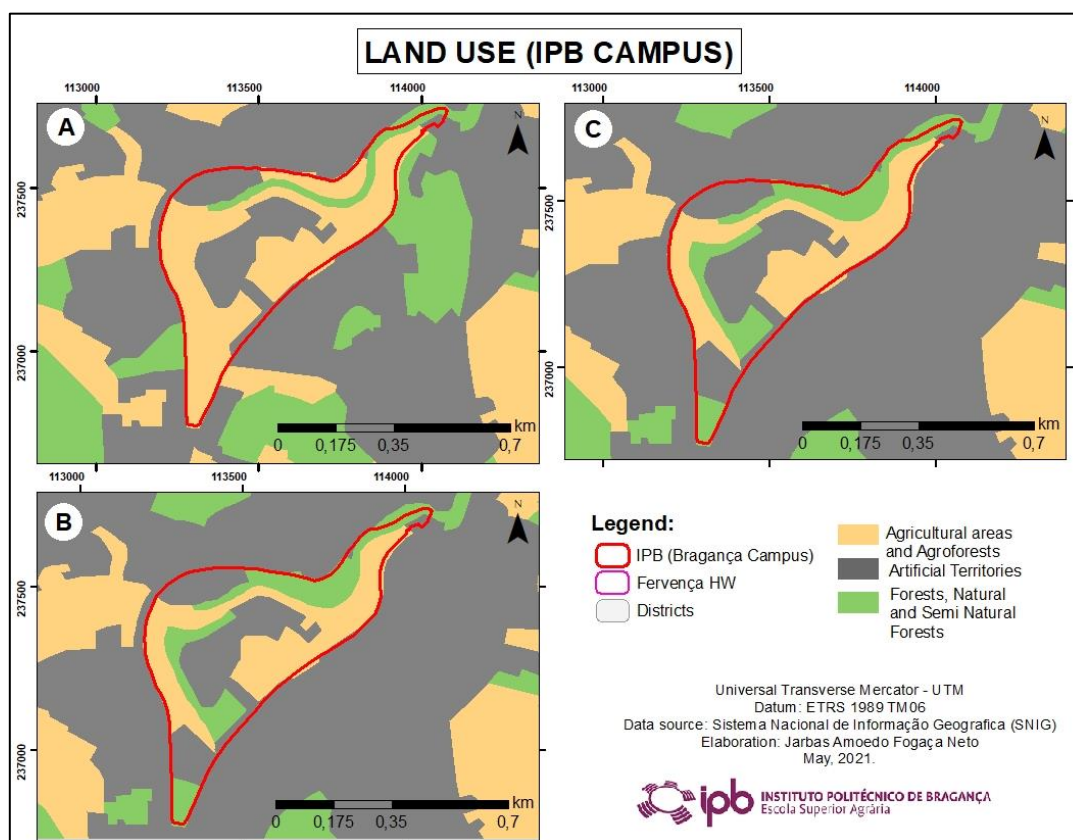
A partir do tópico **4.1**, referente ao Campus do IPB (considerada a Área Diretamente Afetada), obteve-se a **Tabela 22**, com dados sintetizados para ADA.

**Tabela 22: dados sobre a Área de Estudo e a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.**

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Área do Campus do IPB	0,303	km <sup>2</sup>
Perímetro do Campus do IPB	3,019	km
Área do Lameiro do IPB	0,054	km <sup>2</sup>
Perímetro do Lameiro do IPB	2,891	km
Extensão do Rio Fervença no Campus	1,041	km
Altitude Máxima (pontos originais)	659,7	m
Altitude Mínima (pontos originais)	685,1	m
Altitude Máxima (DEM)	665	m
Altitude Mínima (DEM)	694	m
Curva de Nível Máxima	684	m
Curva de Nível Mínima	660	m
Altitude Máxima do Rio Fervença	666	m
Altitude Mínima do Rio Fervença	660	m

Fonte: autor, 2021; disponibilizado e adaptado de IPB, 2000.

A **Figura 35** refere-se a urbanização da ADA, para o nível 1 de classificação. Entre as situações **A** e **B** é possível observar modificações, já para a situação **C** mantêm-se com as mesmas características de **B**.



**Figura 35: COS 1995, 2007 e 2015 para o Campus do IPB.**

Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG 1995, 2007 e 2015.

A partir de *Attribute Table* (**Tabela 23**) foi possível quantificar as alterações sofridas para a ADA. Ocorreu aumento para os Territórios Artificiais entre os anos 1995 e 2007 e diminuição das Áreas Agrícolas e Agroflorestais, o que implica diretamente na área do Lameiro do Campus do IPB. Não ocorreram modificações entre os anos de 2007 e 2015 para qualquer dos parâmetros apresentados.

**Tabela 23: evolução Campus do IPB para uso e ocupação do solo.**

PARÂMETROS COS (NÍVEL 1)	ANOS					
	1995		2007		2015	
	AREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	AREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	AREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
TERRITÓRIOS ARTIFICIAIS	0,090	29,756	0,109	35,824	0,109	35,824
ÁREAS AGRÍCOLAS E AGROFLORESTAIS	0,190	62,801	0,120	39,731	0,120	39,731
FLORESTAS E MEIOS NATURAIS E SEMINATURAIS	0,023	7,433	0,074	24,446	0,074	24,446
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>0,303</b>	<b>100</b>	<b>0,303</b>	<b>100</b>	<b>0,303</b>	<b>100</b>

Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG, 1995, 2007 e 2015; a partir do *software* Excel.

### 4.3.2 Sonda PR2 Moisture

Foram realizadas mensurações com a finalidade de observar a umidade na rede de pontos de amostragem, para cada data e o acúmulo em cada profundidade de solo, uma vez que a sonda PR2 possui sensores a 10, 20, 30,40, 60 e 100 cm. A **Tabela 24** relaciona as datas das mensurações com as cores designadas.

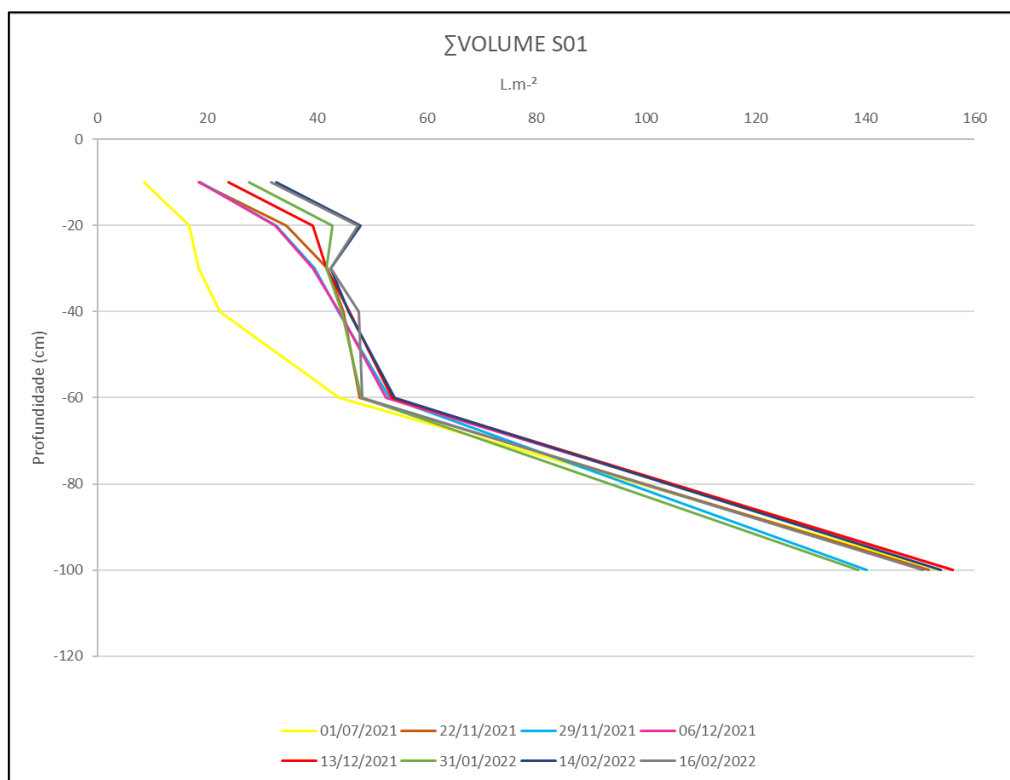
**Tabela 24: relação cores e datas para as mensurações a partir da sonda PR2 e Leitor HH2.**

DATA	COR
01/07/2021	Amarelo
22/11/2021	Marrom
29/11/2021	Azul Claro
06/12/2021	Lilás
13/12/2021	Vermelho
31/01/2022	Verde
14/02/2022	Azul Escuro
16/02/2022	Cinza

Fonte: autor, 2022 a partir da Sonda PR2 e Leitor HH2.

Do **Anexo 22** até o **Anexo 28** apresentam-se as sínteses para cada ponto de amostragem da rede determinado no Lameiro do Campus do IPB; cada anexo contém: data da mensuração, profundidades, médias de umidade obtidas, profundidades espaçadas, volume obtido através do produto entre a média de umidade e profundidades espaçadas, o cálculo do volume de umidade e o volume de umidade acumulado.

Para o ponto S01, a jusante e em proximidade ao Rio Ferverença, obteve-se o acúmulo de umidade no solo (**Figura 36**).



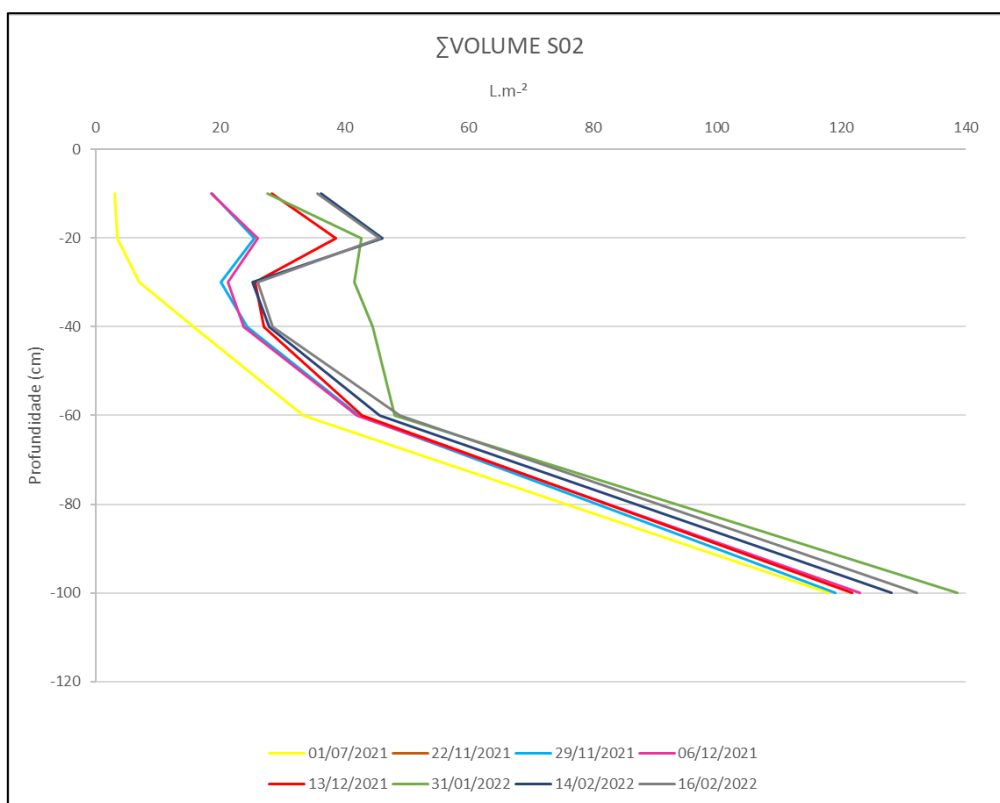
**Figura 36: volume de umidade acumulado para S01 em L/m<sup>2</sup>.**

Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.

Tal ponto apresentou acúmulo de umidade com consideráveis diferenças até o perfil 40 cm; a partir desta profundidade observa-se o comportamento para as profundidades posteriores (60 e 100 cm) como uniforme, independente da data e estação a qual se encontra. Assume-se a existência de interferência direta do rio para S01 quanto a camada freática, a qual promove a uniformidade da umidade do solo. O **Anexo 29** apresenta a umidade para S01 (em  $m^3/m^3$ ) para as datas e profundidades abrangidas pela sonda *PR2*.

Para S02, ponto a jusante porém mais afastado do Rio Ferverença quando comparado com S01, apresentou uniformidade apenas a partir do perfil 60 cm (**Figura 37**). Demonstrou sofrer influências quanto ao acúmulo de umidade no solo pelo longo período sem precipitação (dia 31/01/2022), o que se trata de um evento inesperado e fora da normalidade para Portugal.

Ainda que seja caracterizada por ser uma mensuração na estação verão apresenta baixos valores para acúmulo de umidade, o dia 01/07/2021 apresenta tendência de uniformização após o perfil 60 cm. O **Anexo 30** apresenta a umidade para S02 (em  $m^3/m^3$ ) para as datas e profundidades abrangidas pela sonda *PR2*.

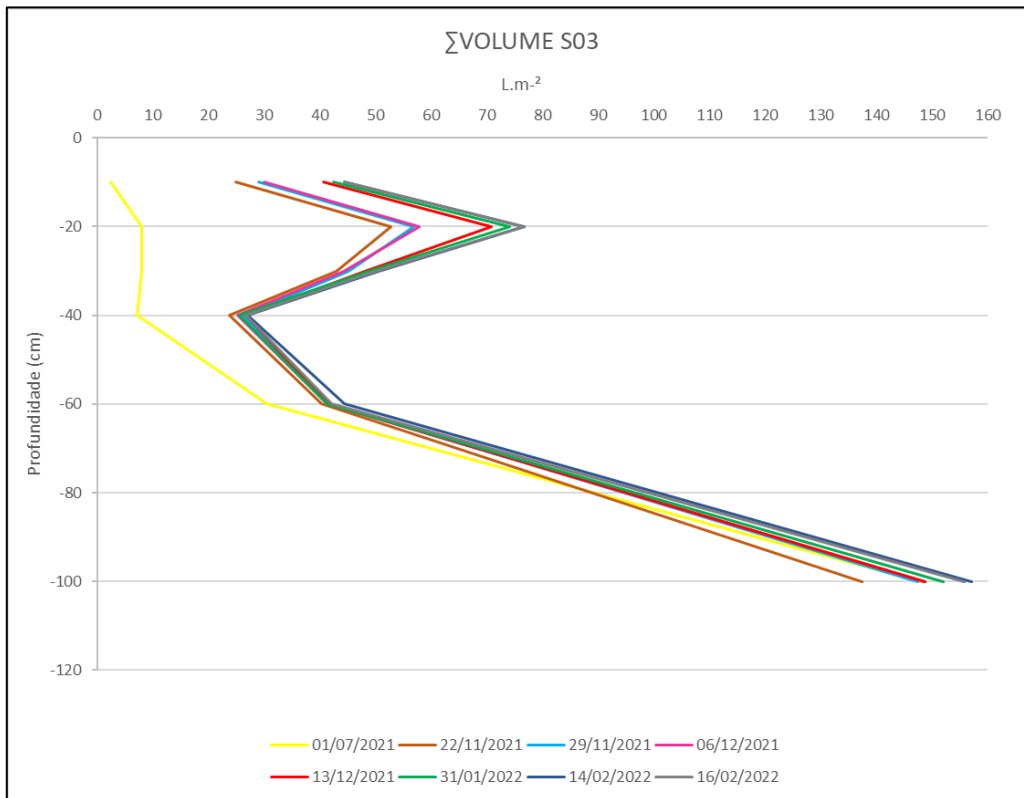


**Figura 37:** volume de umidade acumulado para S02 em  $L/m^2$ .

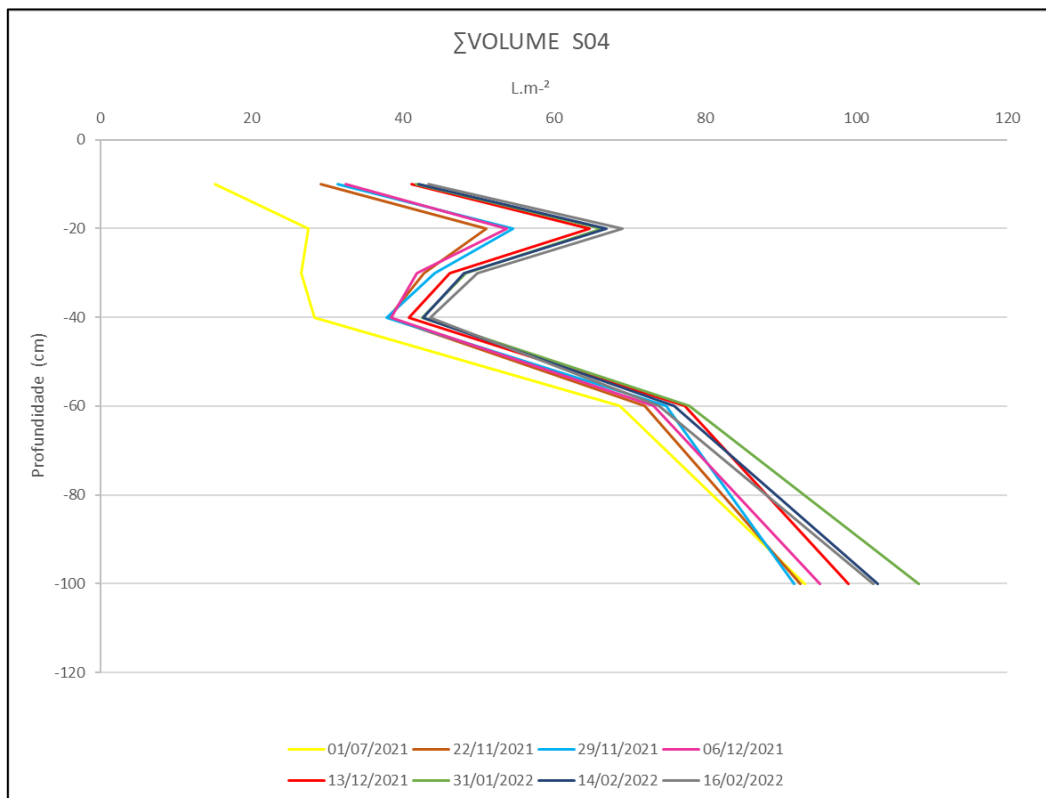
Fonte: autor, 2022 a partir da sonda *PR2* no *software* Excel.

Para S03 (**Figura 38**), o volume acumulado de umidade no solo apresenta uniformidade a partir do perfil de profundidade 40 cm, independentemente da estação em

que se encontra. A partir da uniformização do acúmulo de umidade a partir de tal perfil, assume-se que há alimentação de umidade no solo realizada pelo Rio Ferverença.



**Figura 38:** volume de umidade acumulado para S03 em  $L/m^2$ .  
Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.

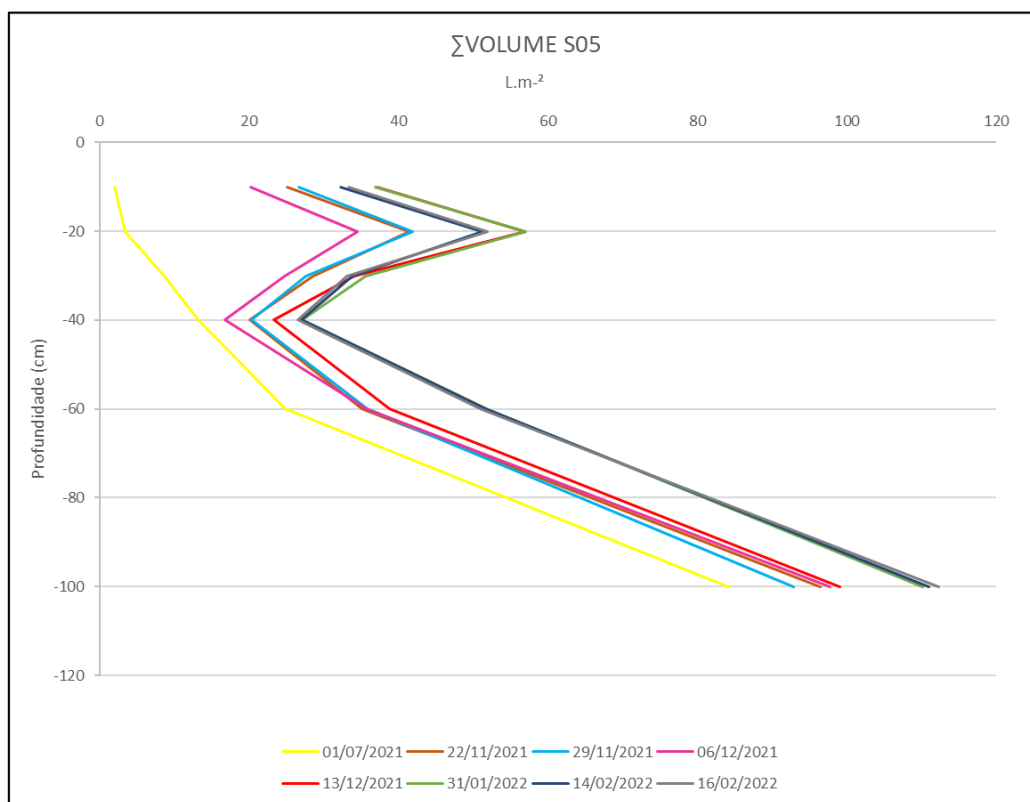


**Figura 39:** volume de umidade acumulado para S04 em  $L/m^2$ .  
Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.

S04 está locado intermediariamente entre S03 e S05 (os quais encontram-se em proximidade a horta do Campus do IPB, assim, podem sofrer influências de nutrientes e do aproveitamento de água de maneira direta), e obteve valores padronizados para os perfis de solo a partir da camada 20 cm.

Para a mensuração do dia 01/07/2021, há equivalência de valores a partir do perfil de profundidade 40 cm. O **Anexo 32** apresenta a umidade para S04 (em  $m^3/m^3$ ) para as datas e profundidades abrangidas pela sonda *PR2*.

Para S05 (**Figura 40**), ponto mais próximo a Horta Comunitária do IPB, observa-se a influencia de tal atividade. Ainda que possua um padrão de disposição no solo, será influenciada desde a camada mais superficial até o alcance máximo da sonda *PR2* *Moisture* (100 cm). O **Anexo 33** apresenta a umidade para S05 (em  $m^3/m^3$ ) para as datas e profundidades abrangidas pela sonda *PR2*.



**Figura 40: volume de umidade acumulado para S05 em  $L/m^2$ .**

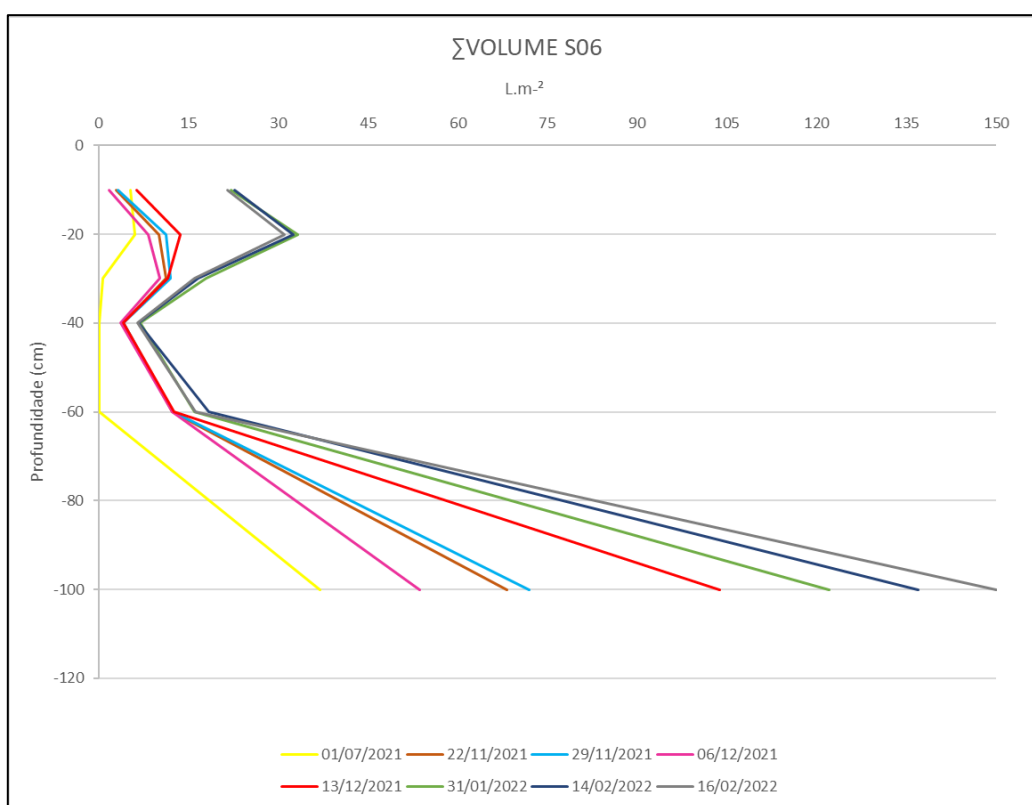
**Fonte: autor, 2022 a partir da sonda *PR2* no software Excel.**

Já para S06, ponto locado em área de difícil acesso, apresentou-se diferente dos demais pela tipologia de solo encontrado durante a instalação do ponto de coleta. Trata-se de um solo rico em pequenas rochas, e ainda que em proximidade ao Rio Ferverça, caracterizou-se com solo seco.

O perfil de profundidade 40 cm apresentou valor igual a 0 em todas as mensurações, uma vez indicado pela sonda *PR2* e leitor *HH2* erro *L*, onde segundo o manual de

instruções sinaliza o erro do tipo *L* como valores abaixo da capacidade de medição para a sonda *PR2*, e assim não pode-se atribuir valores para tal profundidade. Excepcionalmente para o a mensuração realizada dia 01/07/2021 possui valor de acúmulo de umidade igual a 0 para o perfil 60 cm, acometido pelo mesmo erro *L*. Tal erro influenciou diretamente na análise da umidade em S06 (**Anexo 34**)

A **Figura 41** apresenta o volume de umidade acumulado de S06 para os perfis de profundidade. Tanto para umidade mensurada quanto para o volume acumulado de umidade do solo, a partir do perfil de profundidade 60 cm ocorreu grande variação entre os valores obtidos, caracterizando como um local com grande variação de perfil subterrâneo.

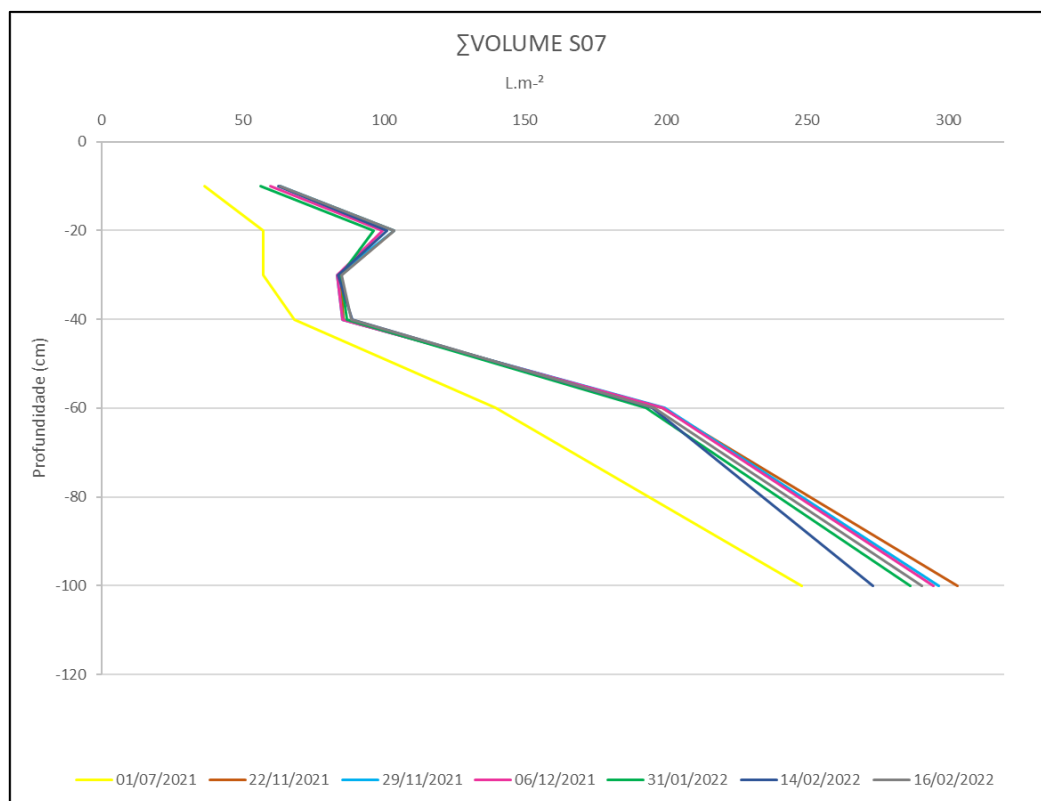


**Figura 41: volume de umidade acumulado para S06 em L/m<sup>2</sup>.**  
**Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.**

O ponto S07 está a montante e é mais distante do Rio Ferverença. Encontra-se em uma área visivelmente encharcada durante o outono e o inverno, já durante o verão mostra-se encharcado a partir da profundidade 10 cm.

Não há mensuração para o dia 13/12/2021, pois o ponto encontrou-se submerso; justifica-se a não realização da mensuração visando a integridade da sonda, e assim, não comprometendo dados futuros. Enquanto os demais pontos da rede de amostragem apresentaram valor máximo aproximado a 0,4 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> para profundidade 100 cm, S07 (**Anexo 35**) apresentou em sua maioria valores aproximados ainda para perfil 10 cm.

S07 (**Figura 42**) apresentou valores de umidade do solo com maior regularidade, com pequenas variações para o perfil de profundidade 100 cm, o que difere quando comparado aos demais pontos, visto a tendência de uniformização e aproximação para as camadas mais profundas.



**Figura 42:** volume de umidade acumulado para S07 em L/m<sup>2</sup>.

Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.

O Anexo 35 e a Figura 42 para a mensuração do dia 01/07/2021, apresentaram valoração inconstantes para umidade do solo; os valores em L/m<sup>2</sup>, não apresentam grande divergência, seguindo um padrão de perfil de profundidade, mas grandes intervalos entre os valores apresentados.

#### 4.3.3 Piezômetros

Utilizou-se dados obtidos através da Sonda PR2 Moisture e tubos piezométricos instalados no Lameiro do Campus do IPB.

Os dados para a análise da influência atmosférica são da Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolônia, disponibilizados pelo Engenheiro Arsênio Araújo, Técnico Superior do Departamento de Ambiente e Recursos Ambientais ESA/IPB. Para escala global quanto a relação piezométrica e datas de mensurações, a Tabela 25 demonstra o balanço hídrico atmosférico.

Tabela 25: balanço hidrológico Estação Meteorológica da Quinta de Santa Apolónia.

MÊS	PRECIPITAÇÃO (P)	EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ETP)	P-ETP
NOV	7,80 L/m <sup>2</sup>	40,24 L/m <sup>2</sup>	-32,4
DEZ	55,60 L/m <sup>2</sup>	25,71 L/m <sup>2</sup>	29,9
JAN	8,60 L/m <sup>2</sup>	33,82 L/m <sup>2</sup>	-25,2
FEV	9,40 L/m <sup>2</sup>	44,67 L/m <sup>2</sup>	-35,3

Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022; a partir do *software* Excel.

O maior índice de precipitação ocorre em dezembro de 2021, já o maior índice de evapotranspiração ocorre em fevereiro de 2022. Ainda que dezembro seja caracterizado pela passagem da estação outono para o inverno, Portugal encontra-se em um ano atípico para os níveis de precipitação, com baixos índices para janeiro e fevereiro. As relações mensais hídricas atmosféricas encontram-se entre o **Anexo 36** e o **Anexo 39**.

Considerou-se a análise a partir do dia 01/11/21 até o dia 28/02/22 (**Figura 43**), considerando tal faixa temporal como a mais incidente para o balanço hídrico (entre o outono e o inverno).

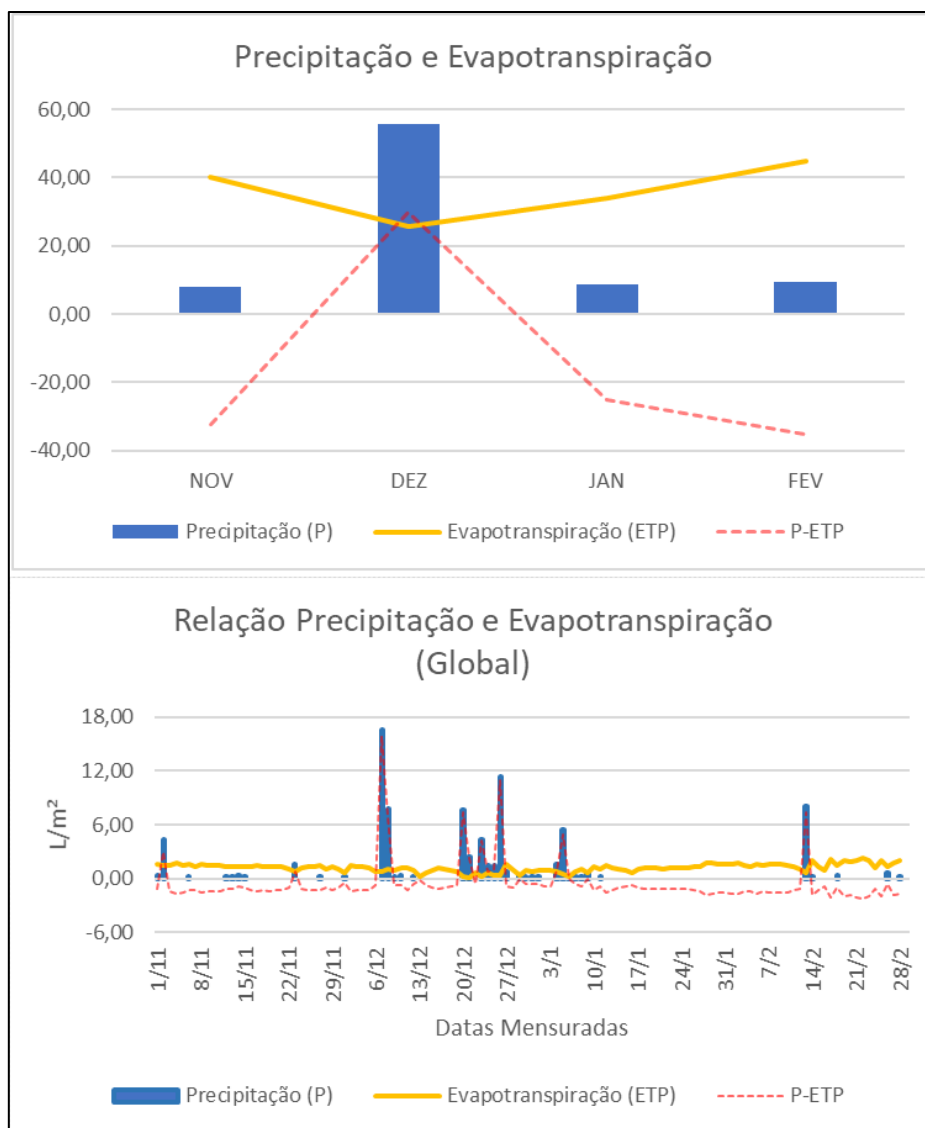


Figura 43: precipitação, evapotranspiração e balanço hidrológico.

Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022; a partir do *software* Excel.

Comparando balanço hídrico com a umidade do solo (obtida através da sonda *PR2 Moisture*) observa-se para o perfil de profundidade até 20 cm, a influência de entrada e saída de água para o Lameiro do Campus do IPB.

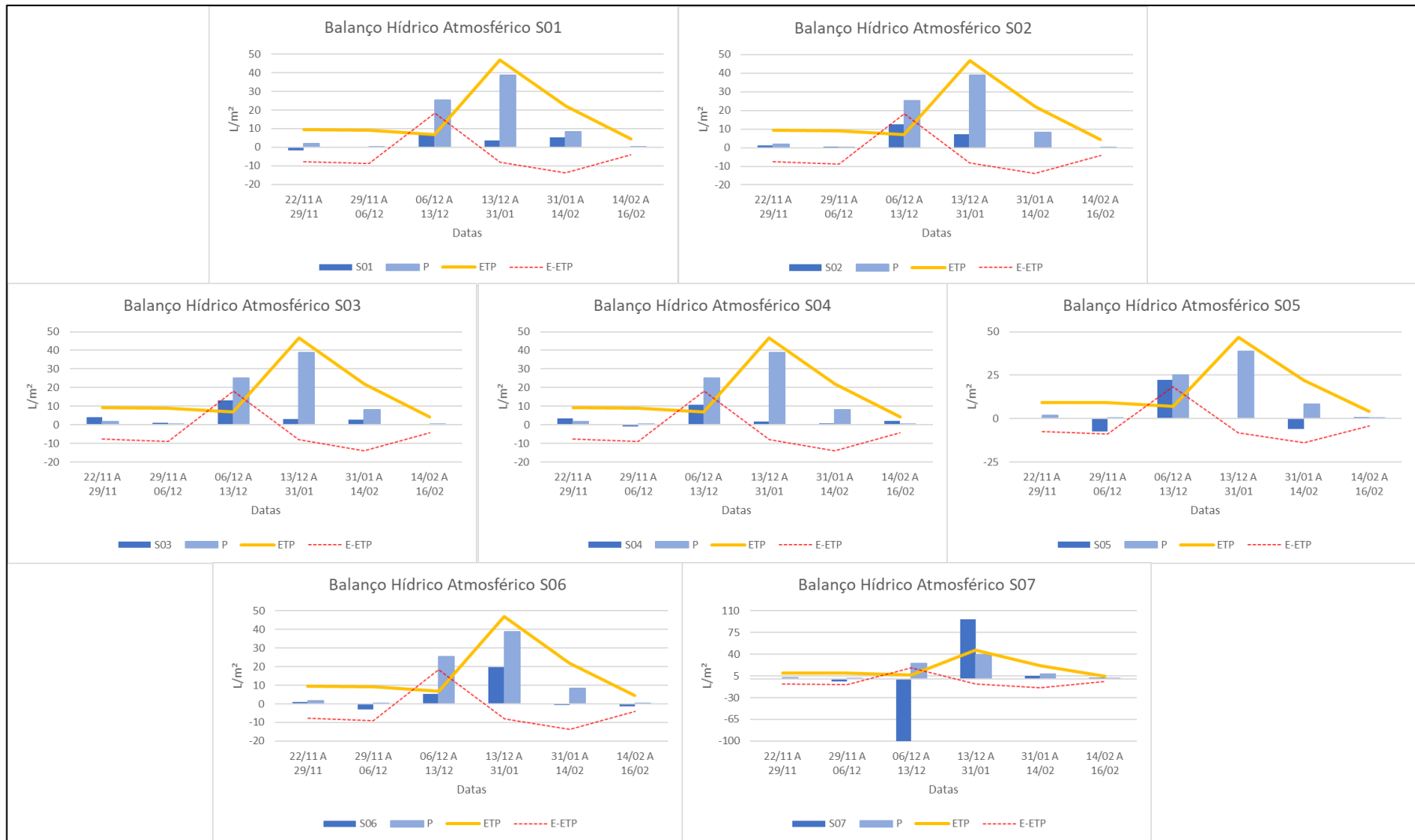
A **Tabela 26** relaciona as datas das mensurações para umidade no solo, a partir do tempo de intervalo de dias entre as medições para cada ponto pertencente a rede de amostragem do Lameiro do Campus do IPB. Ainda que para todos os pontos os dados quanto a precipitação, evapotranspiração e o balanço ( $P - ETP$ ) sejam os mesmos, a variável umidade do solo (em  $L/m^2$ ) é singular para cada ponto. Há discrepância de umidade do solo para o ponto S07, quando comparado aos demais pontos.

**Tabela 26: relação umidade do solo e influências hídricas atmosféricas.**

RELAÇÕES	P	ETP	E-ETP	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07
22/11 A 29/11	1,80	9,36	-7,56	-1,87	1,18	3,98	3,58	0,4	1,14	0,04
29/11 A 06/12	0,20	9,08	-8,88	-0,23	0,53	1	-0,87	-7,28	-2,87	-4,03
06/12 A 13/12	25,20	6,94	18,26	6,82	12,62	13,04	10,95	22,33	5,34	-99,63
13/12 A 31/01	38,80	46,83	-8,03	3,53	7,3	3,22	1,66	0,15	19,55	96,56
31/01 A 14/02	8,20	22,02	-13,82	5,15	0,1	2,63	0,64	-5,87	-0,61	4,63
14/02 A 16/02	0,20	4,36	-4,16	-0,48	-0,41	-0,13	2,15	0,71	-1,50	2,46

Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022; a partir do *software* Excel.

A quantidade de umidade no solo acompanha o balanço hídrico ( $P - ETP$ ) de maneira direta, com exceção do ponto S07, onde não apresenta relação para tais parâmetros, assim, afirma-se que não sofre com as intervenções atmosféricas (**Figura 44**).

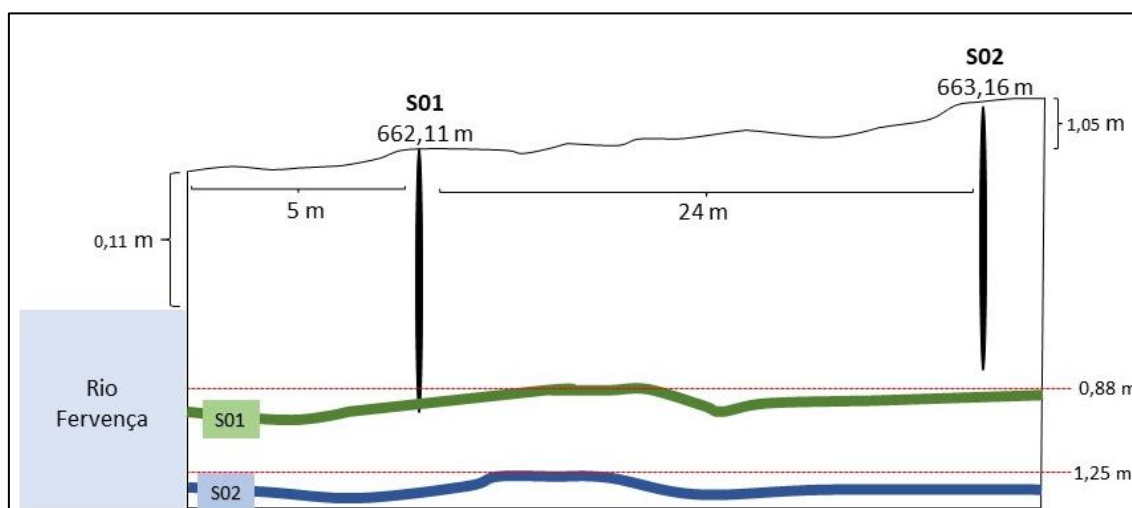


**Figura 44: balanços hidrológicos relacionado a umidade do solo mensurado na sonda PR2 Moisture.**  
**Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022; a partir do software Excel.**

Para a influência subterrânea do Lameiro do Campus do IPB, a partir do **Anexo 40** pode-se obter as alturas do lençol freático; atenta-se a não presença para ponto S06, uma vez que não foi instalado tubo piezométrico para obtenção dos dados.

Determinou-se a partir de SIG as distâncias entre os pontos e a alturas para melhor análise do perfil do lençol freático; mesclando com captações de dados dos piezômetros (**Equação (16)**) obteve-se a altura do perfil do lençol freático e realizou-se a comparação quanto a distância entre os pontos.

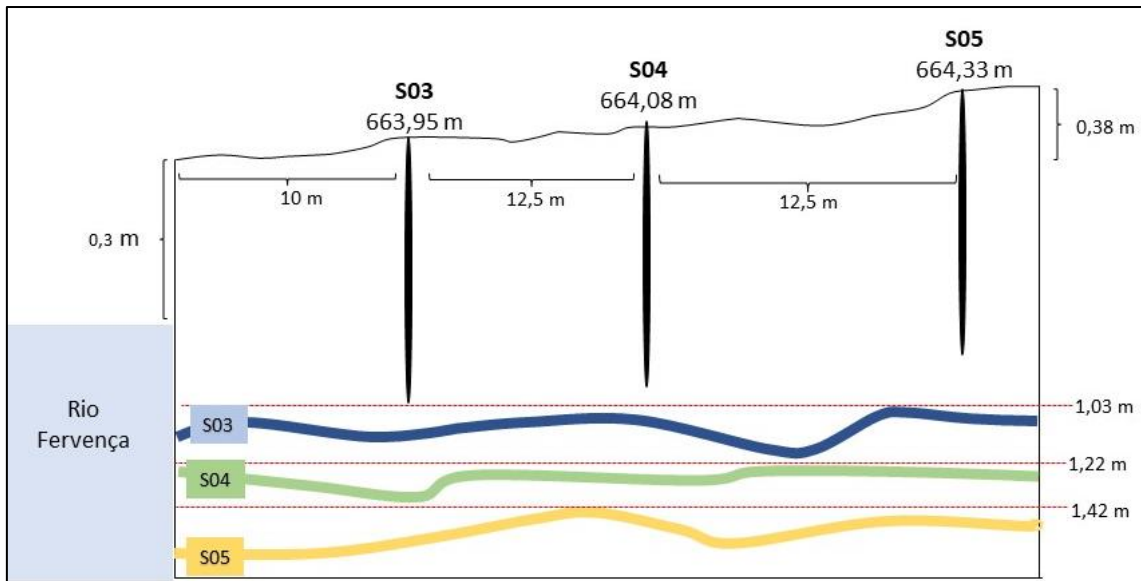
Obteve-se aproximadamente 5 m para a distância entre o Rio Ferverença e o ponto S01, com 0,11 m de diferença entre as respectivas altimetrias. Já S01 dista aproximadamente 24 m de S02, com diferença de 1,05 m de altimetria. O Lençol freático para S01 dista 0,88 m do solo; já para S02 dista 1,25 m (**Figura 45**).



**Figura 45: perfil freático para os pontos S01 e S02.**

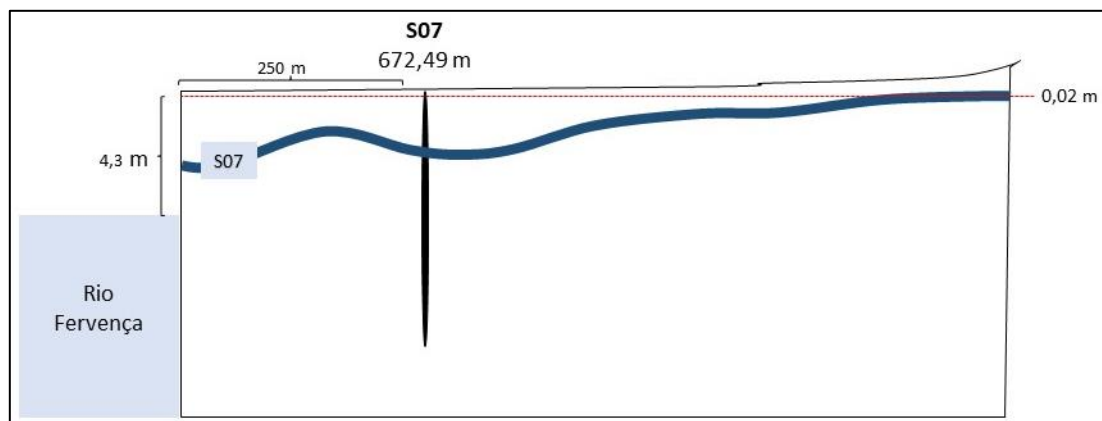
Fonte: autor, 2022; a partir do *software* Excel.

Já a **Figura 46** apresenta a relação entre os pontos S03, S04 e S05. O ponto S03 dista 10 m do Rio Ferverença, e possuem diferença altimétrica de aproximadamente 0,3 m. S03 dista 12,5 m do ponto S04, a qual possui a mesma distância para o ponto S05. Os pontos estão em altimetrias distintas, onde S03 a S05 apresenta diferença altimétrica de 0,38 m. O Lençol freático para S03 dista 1,03 m do solo, para S04 cerca de 1,22 m, já para S05 aproximadamente 1,42 m.



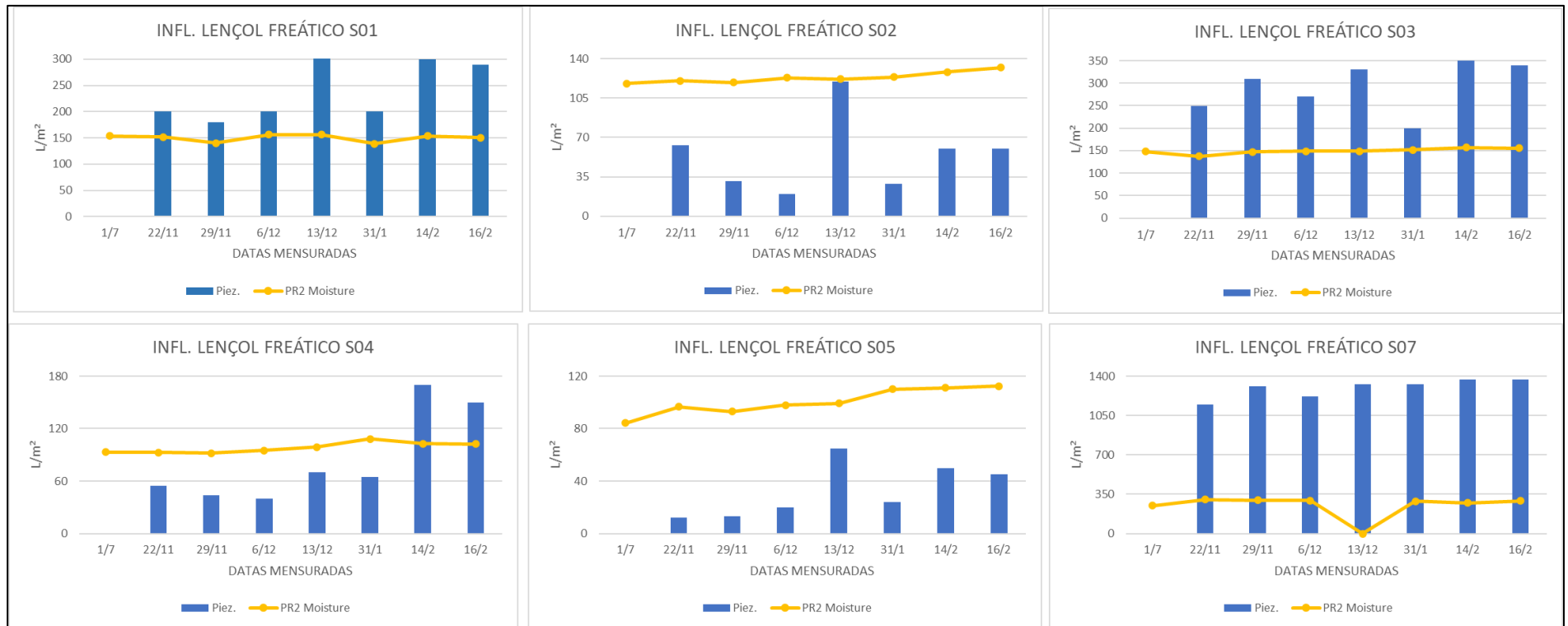
**Figura 46: perfil freático para os pontos S03, S04 e S05.**  
**Fonte: autor, 2022; a partir do software Excel.**

Para S07, apresentou 250 m de distância até o curso de água e diferença altimétrica de 4,3 m. Ainda que esteja locado em uma superfície mais elevada que o curso de água, este ponto apresentou-se encharcado, justificando o nome lameiro. O perfil freático apresentou-se raso, com cerca de 2 cm de profundidade.



**Figura 47: perfil freático para os pontos S07.**  
**Fonte: autor, 2022; a partir do software Excel.**

Já para a caracterização do lençol freático para a quantidade umidade do solo, relacionou-se os dados mensurados da sonda *PR2 Moisture* e tubos piezométricos (a partir da **Equação (17)**). Admitindo o raio de cobertura igual a 0,564 m e a altura para determinação de volume como a altura de água no subsolo (*ha*) mensurada para os piezômetros, pode-se observar a alimentação direta do lençol freática, para a quantidade de umidade no solo acumulada até o perfil 100 cm, caracterizada pela intersecção dos dados (**Figura 48**).



**Figura 48: avaliação hidrológica relacionando o volume freático para a rede de amostragem do Lameiro do Campus do IPB.**  
**Fonte: autor, 2022; a partir do software Excel.**

Os pontos em proximidades ao Rio Ferverença (S01 e S03) apresentam interseções entre os valores dos piezômetros e os mensurados na sonda *PR2 Moisture*, indicando a alimentação do rio ao solo de maneira direta, sendo o principal responsável pela quantidade de umidade no solo, caracterizando assim influência hídrica freática.

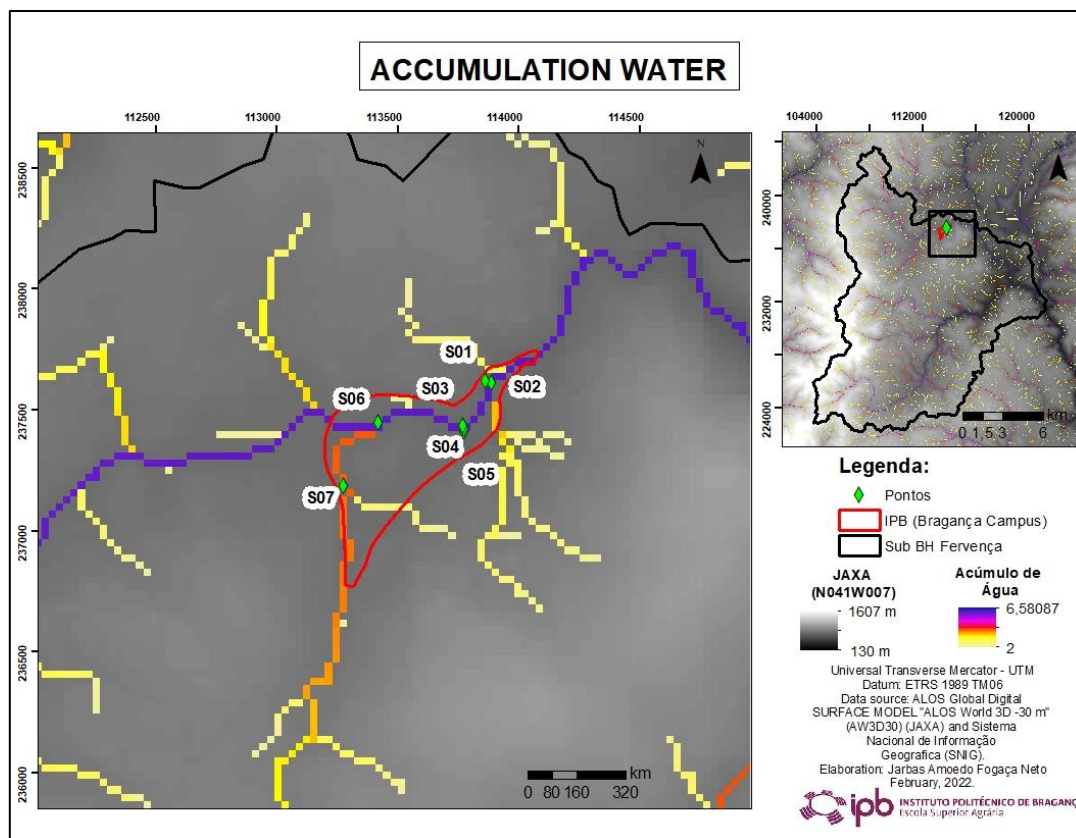
Os pontos S02 e S05 comportaram-se de maneira similar quanto aos valores obtidos para umidade do solo, o que pode ser acometido por possuírem de maneira aproximada a mesma distância até o corpo hídrico; não apresentam indícios de alimentação freática para a presença de umidade no solo. O ponto S05 encontra-se em proximidade com a Horta Comunitária, fazendo com que ocorra a diminuição do valor de umidade no solo, uma vez que não há atividades de horticultura para o ponto S02.

Ponto S04 está locado entre o S03 e S05, apresentando pequenas variações quanto ao volume de umidade acumulado. Apenas para as datas 14/02/2022 e 16/02/2022 ocorrem intersecções para influências freáticas no ponto S04, o que pode ser justificado pela elevação do nível freático para as respectivas mensurações.

Ainda que possuam proximidade ao rio, o ponto S06 apresenta divergências quanto as características obtidas para umidade no solo, quando comparado aos pontos S01 e S03. A diferença da tipologia de solo pode ser um fator que intercede, uma vez que para o ponto S06 esteja locado em um solo extremamente compactado e com grande quantidade de rochas, apresentou os menores valores para umidade do solo. Utilizando a sonda *PR2 Moisture* não obteve-se valores para perfil de profundidade igual a 40 cm independentemente do período de mensuração para o ponto S06.

Ainda que o ponto S07 possua maior distância do Rio Ferverença, encontra-se em uma área por muitas vezes alagada e demonstra que há intervenções hídricas freáticas não apenas para o perfil 100 cm, mas para todos os perfis de solo, sendo confirmada através da relação da altura freática e o volume de umidade. Não foi realizada mensuração para o dia 13/12/2021 uma vez que o tubo de acesso para sonda *PR2 Moisture* encontrou-se submerso.

A **Figura 49** apresenta a disposição da rede de pontos de amostragem do Lameiro do Campus do IPB relacionado ao acúmulo de água a qual o lameiro encontra-se. Os pontos de amostragem S01, S02, S03, S04, S05 e S06 encontram-se em áreas com maiores propensões para acúmulo de água, diferentemente do ponto S07, o qual está em uma área com menor tendência para tal parâmetro.



**Figura 49: Fluxo de Acúmulo de Água para percepção do Lameiro do IPB.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020.**

Ainda assim, os maiores valores para umidade do solo para a rede de amostragem é o ponto S07. Apresenta-se em uma área com menor declividade dos demais pontos, ou seja, ainda que S07 esteja locado em uma área caracterizada com acúmulo de água inferior aos demais pontos de amostragem, está sendo favorecida pela declividade local.

O ponto S07 (**Anexo 42**) encontra-se em uma área com declividade inferior a 3%, segundo a **Tabela 6** considerada Plana. Enquanto S01 possui entre 8 e 20% de declividade, sendo assim, classificada como Ondulada. Os demais pontos (S02, S03, S04, S05 e S06) possuem declividade entre 3 e 8%, estão classificadas com Suave Ondulada.

Há importância para Lameiro do Campus do IPB para diversos aspectos: sociais, acadêmicos, ambientais e até mesmo afetivos. O elevado valor eco hídrico do Lameiro do Campus do IPB faz com que ocorra fortes intervenções para ADA, AID e AII, enaltecendo assim a importância de tal ecossistema para o Nordeste de Portugal.

## 5 CONCLUSÕES

A emigração populacional das áreas rurais para as áreas urbanizadas, atrelada a descaracterização das atividades base, são a somatória para o movimento de abandono para o ecossistema agrícola tradicional de montanha em Portugal. Com o deslocamento comum e natural da sociedade aos grandes centros, a introdução de novas culturas nos lameiros está gerando a descaracterização das áreas e a destruição destes solos de qualidade elevada, originando problemas socioambientais.

Tais problemas são promovidos através da modificação cultural e agrícola proporcionadas pelos lameiros, o que pode ser observada pelo aumento da erodibilidade local, deixando os solos expostos e alterando o ecossistema como um todo. Diretamente para o Lameiro do Campus do IPB, observa-se que a ausência de matas ciliares, a variação da vazão durante as estações do ano e a falta do manejo do Rio Fervença está afetando a área do Lameiro, ocorrendo a diminuição gradativa de sua área através do surgimento de pontos de erosão.

Ainda que a temática Lameiros esteja associada a ruralidade, exalta-se a resiliência e a adaptação quanto as interações socioambientais do Lameiro do Campus do IPB, tratando-se de um lameiro singular ainda que esteja inserido em um ambiente urbano caracterizado pela impermeabilização da superfície, exalta-se a sua função mediadora hídrica, funcionando como um filtro biológico para pressão humana, tratando-se de um ecossistema regulador.

A existência do lameiro e a sua utilização já é considerada um elance cultural ativo, ainda assim, enalta-se o Lameiro do Campus do IPB por possuir elevado valor eco hidrológico e afetivo. Observa-se que não fora mencionado a barragem existente que encontra-se antes do Campus do Instituto Politécnico de Bragança, a qual interfere diretamente na vazão do Rio Fervença para o Campus, o que influencia o seu curso, a pressão aquática e a qualidade hídrica local.

Não foram encontrados históricos e dados sobre a análise do Lameiro do Campus do IPB, sendo este trabalho o percussor para tal área.

A caracterização a partir de SIG facilitou o reconhecimento e a valorização das funções influenciadoras, possibilitando vincular as funções eco hidrológicas do Lameiro do Campus do IPB. Ainda que a imagem *DEM N041007* (disponibilizado pela agência JAXA) possua resolução igual a 30 m, apresentou resultados significativos, realistas e satisfatórios.

O Lameiro do Campus do IPB foi caracterizado como: Lameiro de Regadio (pela disponibilidade de água), Lameiros de Erva (aproveitamento da área) e Lameiro de Vale (por sua localização).

A partir da altimetria, curvas de níveis, fluxos de direções de águas, fluxo do acúmulo de águas e o modelo digital de elevação, observou-se para área do Lameiro do Campus do IPB que as águas convergem para o Rio Ferverença (principal eixo de drenagem natural de Bragança), enfatizando e favorecendo o ecossistema.

A Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença foi classificada como: oblonga, estreita e sem tendências a enchentes (para a geometria); de ordem 3, com baixo escoamento superficial e maior infiltração (para drenagem); ondulada e forte-ondulada (para o relevo). Através da Curva Hipsométrica observou-se que a tipologia de relevo condiz com a uniformidade da curva, onde a maior incidência de altimetria é apresentada entre as cotas 1100 m a montante e 1000 m a jusante, coincidindo com a tipologia Forte-Ondulado, o mais incidente para a sub-bacia hidrográfica.

O crescimento da área urbana do concelho de Bragança foi atrelado a evolução do Campus do IPB e das suas atividades, sendo este primordial para o desenvolvimento. Já o conglomerado urbano deu-se em proximidades ao Rio Ferverença, demonstrando a importância do curso de água para o desenvolvimento citadino e social. O aumento das áreas Florestais e Meios Naturais e Semi Naturais, implicou na diminuição das áreas Agrícolas e Agroflorestais e, conseqüentemente, na diminuição das áreas dos lameiros inseridos na Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.

O balanço hidrológico intervém as camadas superiores, sendo está a principal forma de alimentação de umidade do solo. Já o nível freático é influenciado diretamente pelo Rio Ferverença, sendo este a principal forma reguladora de umidade. A compactação do solo, tipologia, declividade e atividades exercida na área ou em proximidades, são fatores influentes e devem ser levados em consideração para a valoração eco hídrica.

Portanto, o Lameiro do Campus do IPB é um ecossistema regulador com elevada valoração eco hídrica, a qual propõe a estabilidade ambiental promovendo a interação entre corpo hídrico e seus qualificados solos. A sua degradação ou até mesmo a sua destruição acometeria um forte desequilíbrio socioambiental, e até mesmo afetivo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Douro (RH3). Relatório Técnico – Comissão Europeia.

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2016). Plano de Gestão de Região Hidrográfica. Parte 2 – Caracterização e Diagnóstico. Região Hidrográfica do Douro (RH3).

ArcGisPro. How Flow Direction Works. Disponível em < <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>>. Acessado em 11 de maio de 2021.

Brandão, R. D. L., & FREITAS, L. C. B. (2014). Geodiversidade do estado do Ceará.

Brasil. (1997). Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Brasília, DF.

Bellette, S., & Lee, G. (eds) 2003. NT Waterwatch Education Kit. Part 1: The Water Cycle and Water Properties, Department of Infrastructure, Planning and Environment, Darwin.

Bertocco, T. (2021). Caudais de ponta de cheia em bacias de drenagem de lameiros do Parque Natural de Montesinho: estimativas pelo método Soil Conservation Service (SCS) sob cenários de mudança global (Doctoral dissertation).

Brutsaert, W. (2005). Hydrology: an introduction. Cambridge University Press.

Camargo, Â. P. D., & Camargo, M. B. P. D. (2000). Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, 59 (2), 125-137.

Dantas, A. S., Taco, P. W. G., & Yamashita, Y. (1996). Sistemas de informação geográfica em transportes: o estudo do estado da arte. In Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes ANPET (Vol. 10).

Decreto Lei n.º 112/2002, 17/04/2002, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Aprova o planeamento dos recursos hídricos nacionais.

de Matos, A. S., Rocha, C. R., & de Oliveira, M. A. (2018). Bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos: o caso da região hidrográfica atlântico leste. *Geopauta*, 2(2), 5-16.

Dobos, E. (2003). Albedo. Universidade de Miskolc. Miskolc-Egyetemváros, Hungria.

Driessen, P., Deckers, J., Spaargaren, O., & Nachtergaele, F. (2000). Lecture notes on the major soils of the world (No. 94). Food and Agriculture Organization (FAO).

Edwards, P.J.; Williard, K.W.; Schoonover, J.E. (2015). Fundamentals of watershed hydrology. *J. Contemp. Water Res. Educ.*, 154, 3–20.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1979). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula. Rio de Janeiro. 83p.

Fernandes, F. (2020). Efeito do abandono em propriedades físico-químicas do solo em lameiros do Parque Natural de Montesinho (Doctoral dissertation).

Ferreira, C., Lima, C., Cavalcanti, L., & Santos, A. (2017). Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Açude Cachoeira II, no município de Serra Talhada-PE, Brasil. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física-Tema.

Figueiredo, T. D. (2012). Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial.

Figueiredo, T. D. (2013). 84-Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano.

Garcez, L. N., & Alvarez, G. A. (1988). Hidrologia. Editora Blucher.

Gonçalves, Dionísio; Figueiredo, Tomás de; Ribeiro, A.C.; Leite, Solange Mendonça (2016). A geografia e o clima das montanhas ibéricas. In Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: Realidades e Desafios. Bragança: Instituto Politécnico. p. 39-57. ISBN 978-972-745-220-0

Guimarães, R. C. (2017). Capítulo 2 - Bacia Hidrográfica. In: Guimarães, R. C., Shahidian, S. e Rodrigues, C. M. (Editores). Hidrologia Agrícola, 2ª edição. ISBN: 978-989-8550-40-8. ECT e ICAAM. Évora, 5-22.

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). (2000). - ALOS Global Surface Model “ALOS World 3D – 30 m” (AW3D30).

Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric engineering and remote sensing, 54(11), 1593-1600.

Lei n.º 58/2005, 29/12/2005, Assembleia da República. Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Lencastre A. e Franco F. M. (2003). Lições de Hidrologia, Fundação Armando Lencastre, ISBN 972-8152-59-0, Lisboa.

Machado, P. D. O., & Torres, F. T. P. (2012). Introdução à hidrogeografia. São Paulo: Cengage Learning.

Mascarenhas, A. C. M. (2008). Conflitos e gestão de águas: o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2003). Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) n° 32 de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Brasília, DF.

Moreira, N.; Aguiar, C.; Pires, J.M. (2001). Lameiros e outros prados e pastagens de elevado valor florístico. Pastagens de Montanha. Direcção Geral de Desenvolvimento Rural. Lisboa. 47pp.

Oki, T., Entekhabi, D., & Harrold, T. I. (1999). The global water cycle. *Global energy and water cycles*, 10, 27.

Pereira, L. S., & Sousa, V. S. (2006). Lameiros e prados de lima. Evaluación de los Usos del Agua en Tierras Secas de Iberoamerica. Mendoza: CYTED e Inst. Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas, 191-202.

Pires, J., Pinto, P. A., & Moreira, N. (1994). Lameiros de Trás-os-Montes: perspectivas de futuro para estas pastagens de montanha. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária.

PNM (2007a). Estudos de Caracterização. Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Conservação da Natureza. Parque Natural de Montesinho. Bragança, 2007

Pôças, I., Cunha, M., & Pereira, L. S. (2006). Pastagens seminaturais de montanha: Lameiros, sistemas ancestrais no século XXI. Taller CYTED XVII, El agua en Ibero-América: Tecnologías apropiadas y tecnologías ancestrales. Lima: Universidad Nacional de Piura-Perú.

Ranzan, A. P. (2020). Caracterização das bacias de drenagem dos lameiros da Alta Lombada e Onor, Parque Natural de Montesinho (Doctoral dissertation).

Rego, F.; Guerra, T.; Torres, F.; Teixeira, A. (1990). O pastoreio em áreas de carvalhal. Um ensaio na serra de Nogueira. *Pastagens e Forragens*. ISSN 0870-6263. 11:1, p. 73-77

Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Hidrología I. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

Silveira, A. L. L. (2001). Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: Tucci, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. 35-51.

Souza, Milena Caramori B. (2012). Influência da mata ciliar na qualidade da água detrecho do Rio Jararecica - Maceió/AL. 2012. 195 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

USGS. Aquíferos. Disponível em: < [water.usgs.gov/edu/watercycle.html](http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html) >. Acessado em 29 de abril de 2021.

Vieira, J.; Fernandes, A.; Bernardo, A.; Martins, V.; Moreira, N. 2000. Os lameiros e a sustentabilidade dos sistemas de produção agro-pecuários de montanha em Trás-os-Montes. In: II Congresso de Estudos Rurais – “Periferias e Espaços Rurais”, Angra do Heroísmo – Açores, 29 de Setembro a 3 de Outubro (publicado em CR-ROM – tema Ilhas, Montanhas e Outros Territórios) 12pp.

Villela, H. A. S., & Matos, A. (1975). Editora McGraw-Hill. São Paulo.

Wenzel, D. A., Uliana, E. M., de Almeida, F. T., de Souza, A. P., Mendes, M. A. D. S. A., & da Silva Souza, L. G. (2017). Características fisiográficas de sub-bacias do médio e alto Rio Teles Pires-MT. Revista de Ciências Agroambientais, 15(2), 123-131.

Yu, X., & Duffy, C. J. (2018). Watershed hydrology: scientific advances and environmental assessments.

## ANEXOS

```

> summary(altimetria_ipb)
OBJECTID      fid_1      handle      block      etype
Min.   : 1    Min.   : 479  Min.   :284672  Min.   :-1  Min.   :45
1st Qu.:107  1st Qu.: 753  1st Qu.:285862  1st Qu.:-1  1st Qu.:45
Median :213  Median : 918  Median :286127  Median :-1  Median :45
Mean   :213  Mean   :1011  Mean   :287193  Mean   :-1  Mean   :45
3rd Qu.:319  3rd Qu.:1366  3rd Qu.:288635  3rd Qu.:-1  3rd Qu.:45
Max.   :425  Max.   :1783  Max.   :294094  Max.   :-1  Max.   :45

      space      layer      olinetype  linetype      color
Min.   :0    altimetria:425  continuous:425  Mode:logical  0,0,0,255:425
1st Qu.:0
Median :0
Mean   :0
3rd Qu.:0
Max.   :0

      ocolor      color24      transparen  lweight      linewidth  ltscale
Min.   :256    Min.   :-1    Min.   :0    Min.   :-1    Min.   :0    Min.   :1
1st Qu.:256    1st Qu.:-1    1st Qu.:0    1st Qu.:-1    1st Qu.:0    1st Qu.:1
Median :256    Median :-1    Median :0    Median :-1    Median :0    Median :1
Mean   :256    Mean   :-1    Mean   :0    Mean   :-1    Mean   :0    Mean   :1
3rd Qu.:256    3rd Qu.:-1    3rd Qu.:0    3rd Qu.:-1    3rd Qu.:0    3rd Qu.:1
Max.   :256    Max.   :-1    Max.   :0    Max.   :-1    Max.   :0    Max.   :1

      visible  thickness      ext      height      text
Min.   :1    Min.   :0    (3:0,0,1):425  Min.   :2.4  664.6 : 10
1st Qu.:1    1st Qu.:0                                1st Qu.:2.4  676.1 : 7
Median :1    Median :0                                Median :2.4  662.8 : 6
Mean   :1    Mean   :0                                Mean   :2.4  664.1 : 6
3rd Qu.:1    3rd Qu.:0                                3rd Qu.:2.4  664.2 : 6
Max.   :1    Max.   :0                                Max.   :2.4  665.0 : 6
                                           (Other):384

      angle      widthscale  oblique      style      textgen  alignh
Min.   :0    Min.   :1    Min.   :0    ITALICT:425  Min.   :0    Min.   :4
1st Qu.:0    1st Qu.:1    1st Qu.:0                                1st Qu.:0    1st Qu.:4
Median :0    Median :1    Median :0                                Median :0    Median :4
Mean   :0    Mean   :1    Mean   :0                                Mean   :0    Mean   :4
3rd Qu.:0    3rd Qu.:1    3rd Qu.:0                                3rd Qu.:0    3rd Qu.:4
Max.   :0    Max.   :1    Max.   :0                                Max.   :0    Max.   :4

      alignv  interlin  cota      COTAS_CAD
Min.   :0    Min.   :-1  Min.   :0    Min.   :659.7
1st Qu.:0    1st Qu.:-1  1st Qu.:0    1st Qu.:665.4
Median :0    Median :-1  Median :0    Median :672.0
Mean   :0    Mean   :-1  Mean   :0    Mean   :672.1
3rd Qu.:0    3rd Qu.:-1  3rd Qu.:0    3rd Qu.:678.0
Max.   :0    Max.   :-1  Max.   :0    Max.   :685.1

```

Anexo 1: altimetria com dados originais disponibilizados pelo IPB.

Fonte: autor, 2021; adaptado de IPB (sem data); a partir do *software* RStudio.

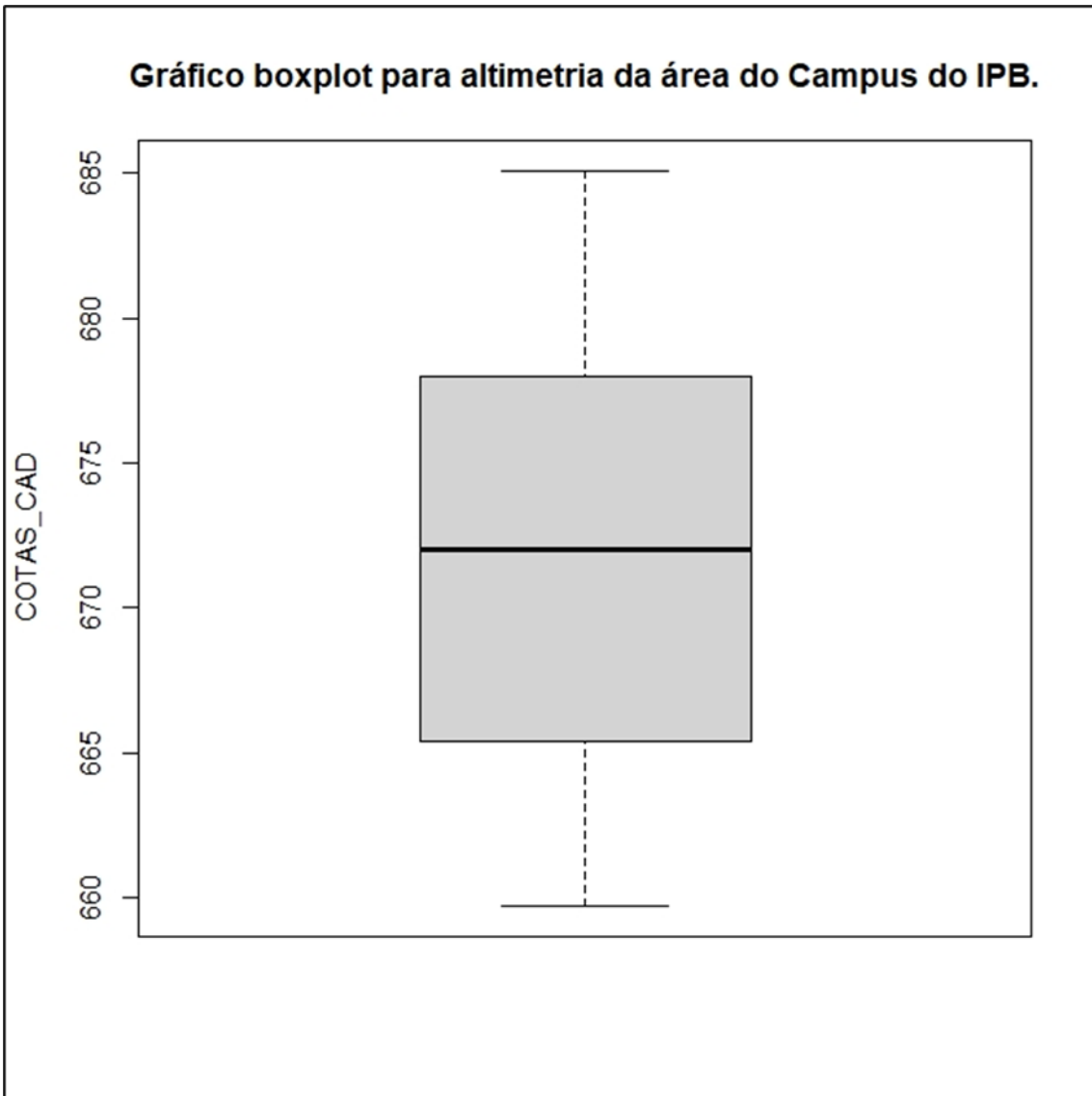
```

> sapply(altimetria_ipb, function(x)(sum(is.na(x)))) # NA counts
OBJECTID   fid_1   handle   block   etype   space   layer   olinetype   linetype
0          0         0         0         0         0         0         0         425
color      ocolor   color24   transpar  lweight linewidth ltscale   visible   thickness
0          0         0         0         0         0         0         0         0
ext        height   text      angle   widthscale  oblique   style     textgen     alignh
0          0         0         0         0         0         0         0         0
alignv     interlin cota      COTAS_CAD
0          0         0         0
> numSummary(altimetria_ipb[,"COTAS_CAD", drop=FALSE], statistics=c("mean", "sd", "cv", "IQR", "quantiles"),
+           quantiles=c(0,.25,.5,.75,1))
  mean      sd  IQR      cv    0%   25%  50%  75%  100%  n
672.1 6.680544 12.6 0.009939807 659.7 665.4 672 678 685.1 425

```

**Anexo 2: caracterização estatística simples para os pontos altimétricos do Campus do IPB.**

Fonte: autor, 2021; adaptado de IPB (sem data); a partir do *software* RStudio.



**Anexo 3: gráfico de caixa (boxplot) para a altimetria das curvas de níveis do Campus do IPB.**

Fonte: autor, 2021; a partir do *software* RStudio.

```

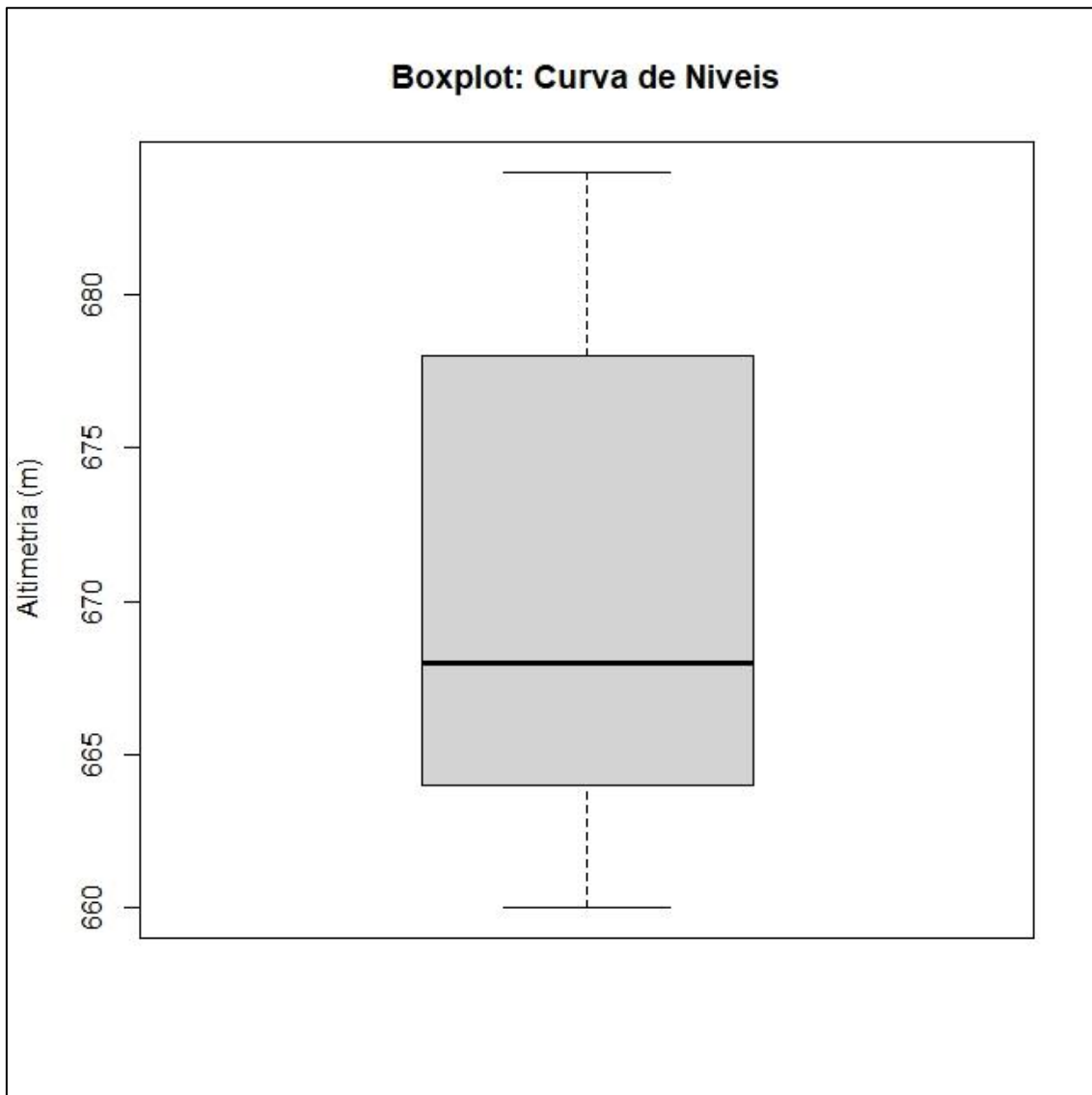
> summary(curva_nivel)
  OBJECTID      ID      CONTOUR      Shape_Length
Min.   : 1.00   Min.   : 21.00   Min.   :660.0   Min.   : 0.862
1st Qu.:15.75   1st Qu.: 63.75   1st Qu.:664.0   1st Qu.: 22.034
Median :30.50   Median : 84.00   Median :668.0   Median : 41.248
Mean   :30.50   Mean    : 81.57   Mean    :670.8   Mean    :281.718
3rd Qu.:45.25   3rd Qu.:103.25  3rd Qu.:678.0   3rd Qu.:387.511
Max.   :60.00   Max.    :135.00  Max.    :684.0   Max.    :1798.287

> sapply(curva_nivel, function(x){sum(is.na(x))}) # NA counts
  OBJECTID      ID      CONTOUR      Shape_Length
         0         0         0         0

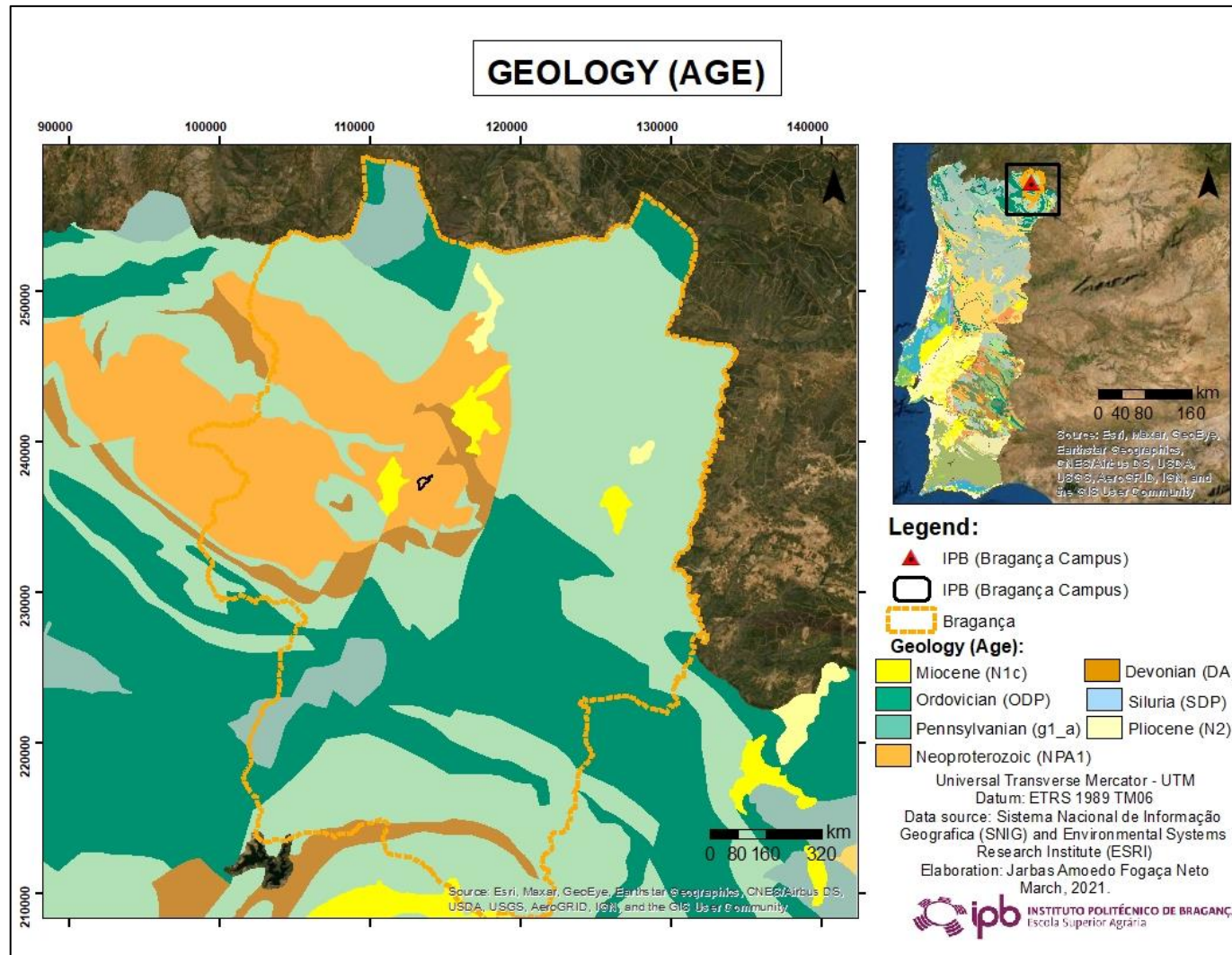
> numSummary(curva_nivel[, "CONTOUR", drop=FALSE], statistics=c("mean", "sd",
  "IQR", "quantiles"),
  quantiles=c(0,.25,.5,.75,1))
  mean      sd IQR  0% 25% 50% 75% 100%  n
670.7667 7.803447 14 660 664 668 678 684 60

```

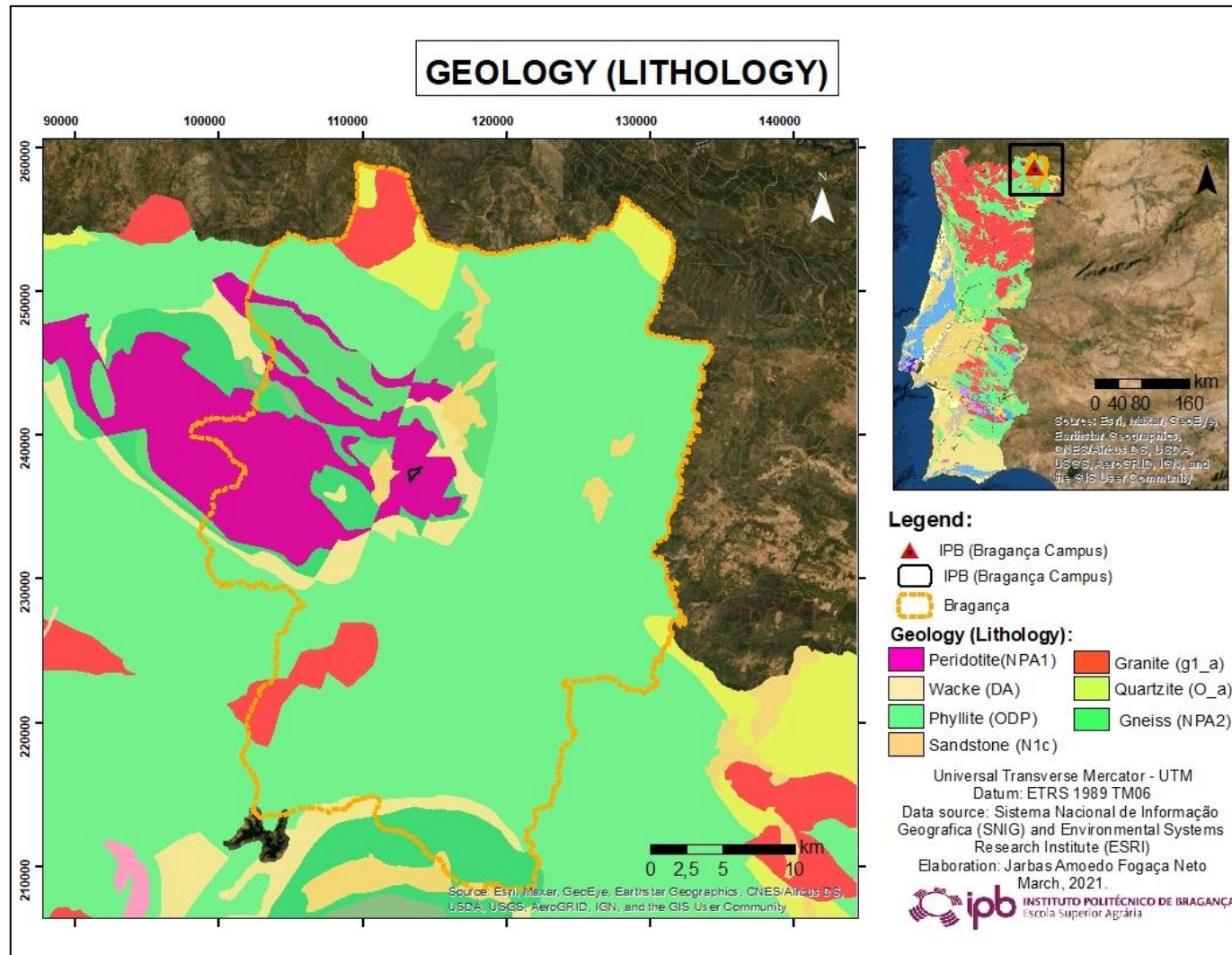
Anexo 4: resultados apresentados para altimetria a partir do arquivo em .CSV  
 Fonte: autor, 2021; adaptado de IPB (sem data); a partir do *software* RStudio.



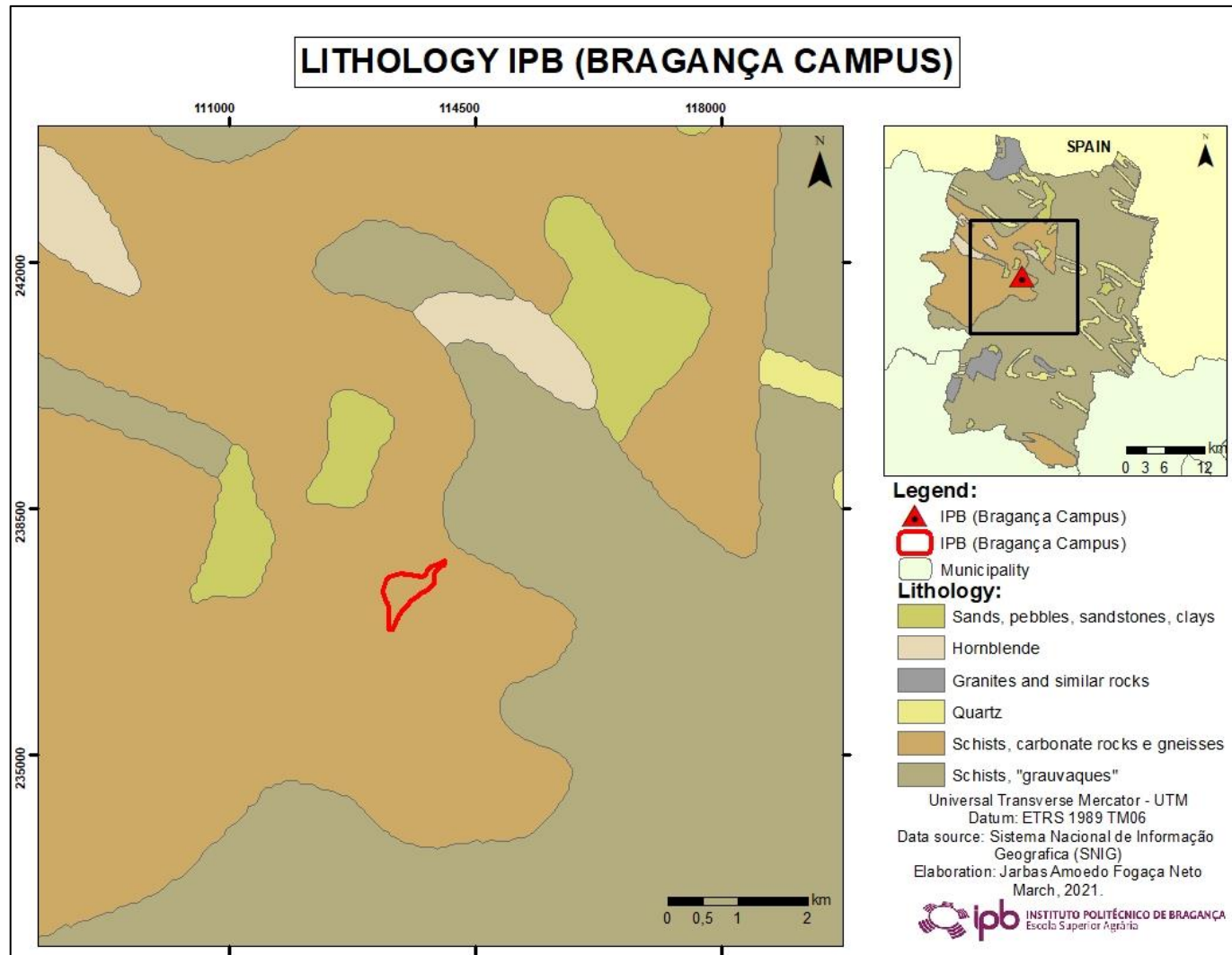
Anexo 5: gráfico de caixa (*boxplot*) para a altimetria das curvas de níveis do Campus do IPB.  
 Fonte: autor, 2021; a partir do *software* RStudio.



**Anexo 6: Era da geologia para o Campus do IPB.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG e ESRI, 2010.**



**Anexo 7: Litologia geológica para o Campus do IPB.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG e ESRI, 2010.**



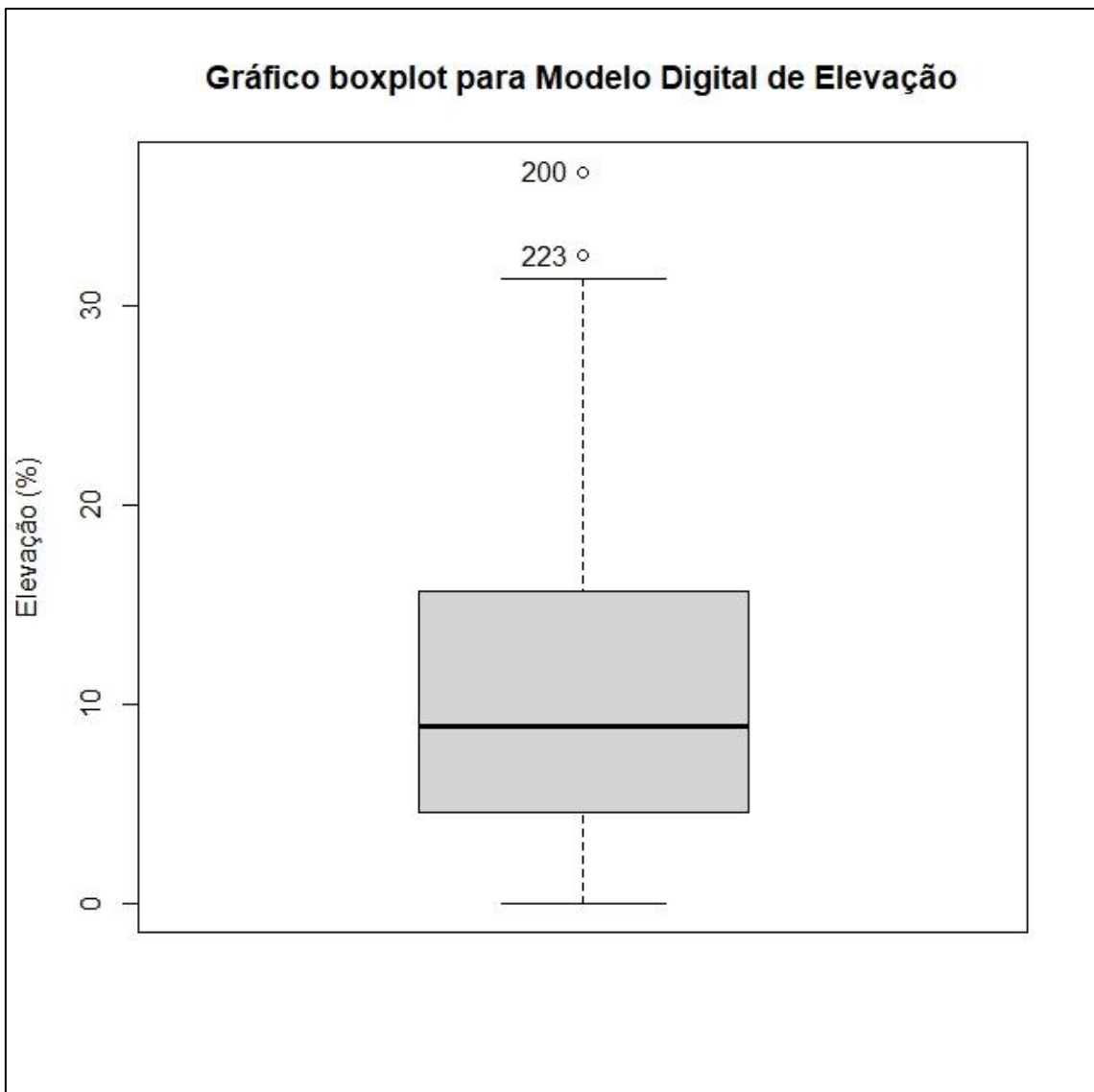
Anexo 8: litologia dos solos do Campus do IPB.  
 Fonte: autor, 2021 adaptado de SNIG, 2010.

```

> summary(elevacao)
  OBJECTID_1  OBJECTID      pointid      grid_code
Min.   : 1.0    Min.   :2332121  Min.   :2332121  Min.   : 0.000
1st Qu.:103.2  1st Qu.:2333376  1st Qu.:2333376  1st Qu.: 4.583
Median :205.5  Median :2333888  Median :2333888  Median : 8.861
Mean   :205.5  Mean   :2333994  Mean   :2333994  Mean   :10.699
3rd Qu.:307.8  3rd Qu.:2334532  3rd Qu.:2334532  3rd Qu.:15.662
Max.   :410.0  Max.   :2336447  Max.   :2336447  Max.   :36.714
> sapply(elevacao, function(x)(sum(is.na(x)))) # NA counts
OBJECTID_1  OBJECTID  pointid  grid_code
0           0         0          0
> numSummary(elevacao[, "grid_code", drop=FALSE], statistics=c("mean", "sd", "cv", "IQR", "quantiles"),
+            quantiles=c(0, 25, 5, 75, 1))
Warning in cv(x) : not all values are positive
  mean      sd      IQR      cv 0%      25%      50%      75%      100%     n
10.6986  7.507761 11.0792  0.7017518  0 4.58275  8.861485 15.66195 36.7136 410

```

**Anexo 9: análise estatística para a elevação da área de estudo.**  
 Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA; a partir do *software* RStudio.



**Anexo 10: gráfico *boxplot* para o Modelo de Elevação Digital do Campus do IPB.**  
 Fonte: autor, 2021; a partir do *software* RStudio.

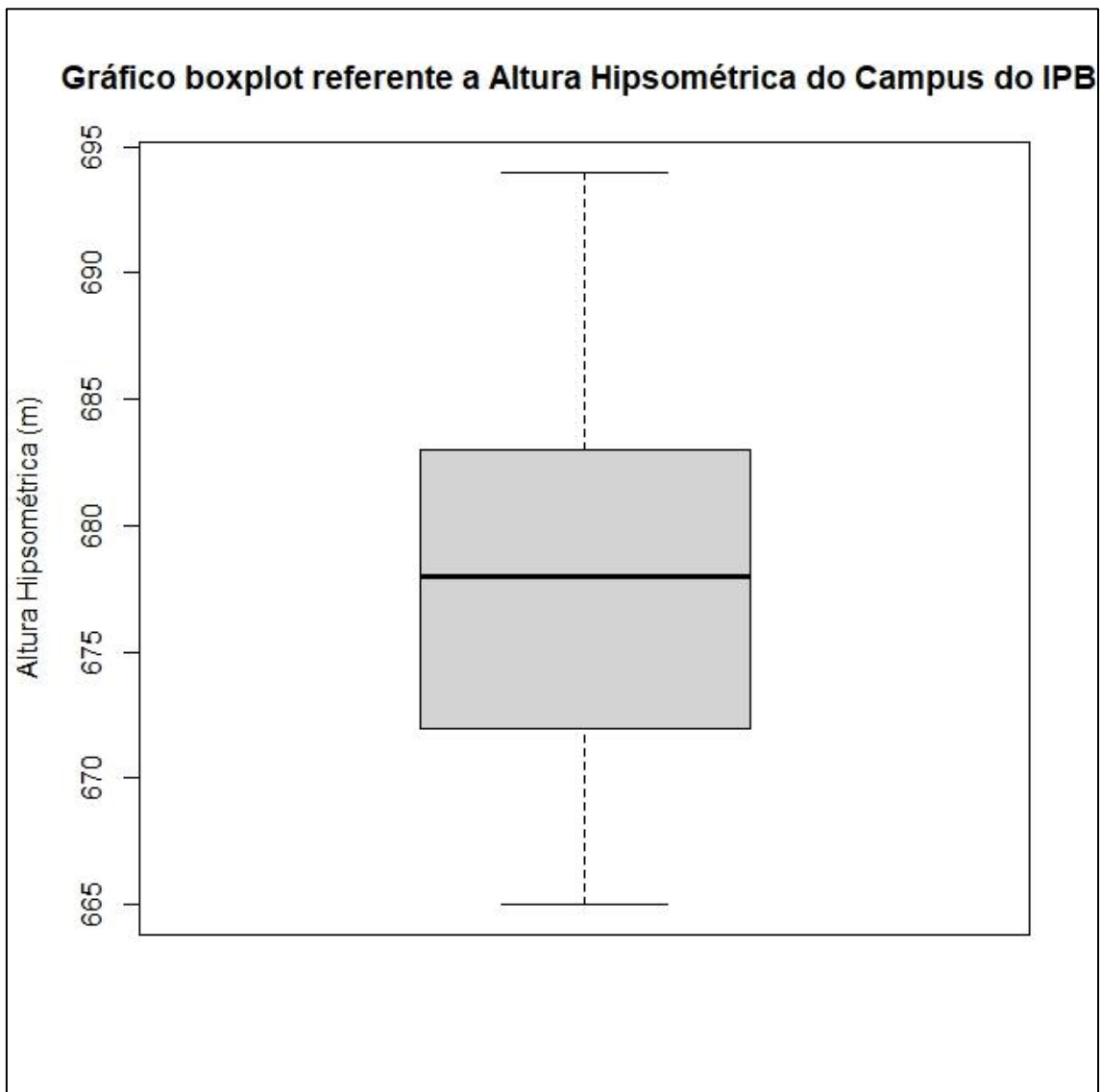
```

> summary(hipsometria)
  OBJECTID_1  OBJECTID  pointid  grid_code
Min.   : 1.0    Min.   :37786  Min.   :2332121  Min.   :665.0
1st Qu.:103.2  1st Qu.:39041  1st Qu.:2333376  1st Qu.:672.0
Median :205.5  Median :39553  Median :2333888  Median :678.0
Mean   :205.5  Mean   :39659  Mean   :2333994  Mean   :677.8
3rd Qu.:307.8  3rd Qu.:40197  3rd Qu.:2334532  3rd Qu.:683.0
Max.   :410.0  Max.   :42112  Max.   :2336447  Max.   :694.0
> sapply(hipsometria, function(x) sum(is.na(x))) # NA counts
OBJECTID_1 OBJECTID pointid grid_code
0          0          0      0
> numSummary(hipsometria[, "grid_code", drop=FALSE], statistics=c("mean", "sd",
+
+               "IQR", "quantiles", "cv"),
+             quantiles=c(0,.25,.5,.75,1))
  mean      sd IQR      cv 0% 25% 50% 75% 100%  n
677.8244 7.082358 11 0.01044866 665 672 678 683 694 410

```

Anexo 11: caracterização estatística para hipsometria do Campus do IPB.

Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA; a partir do *software* RStudio.

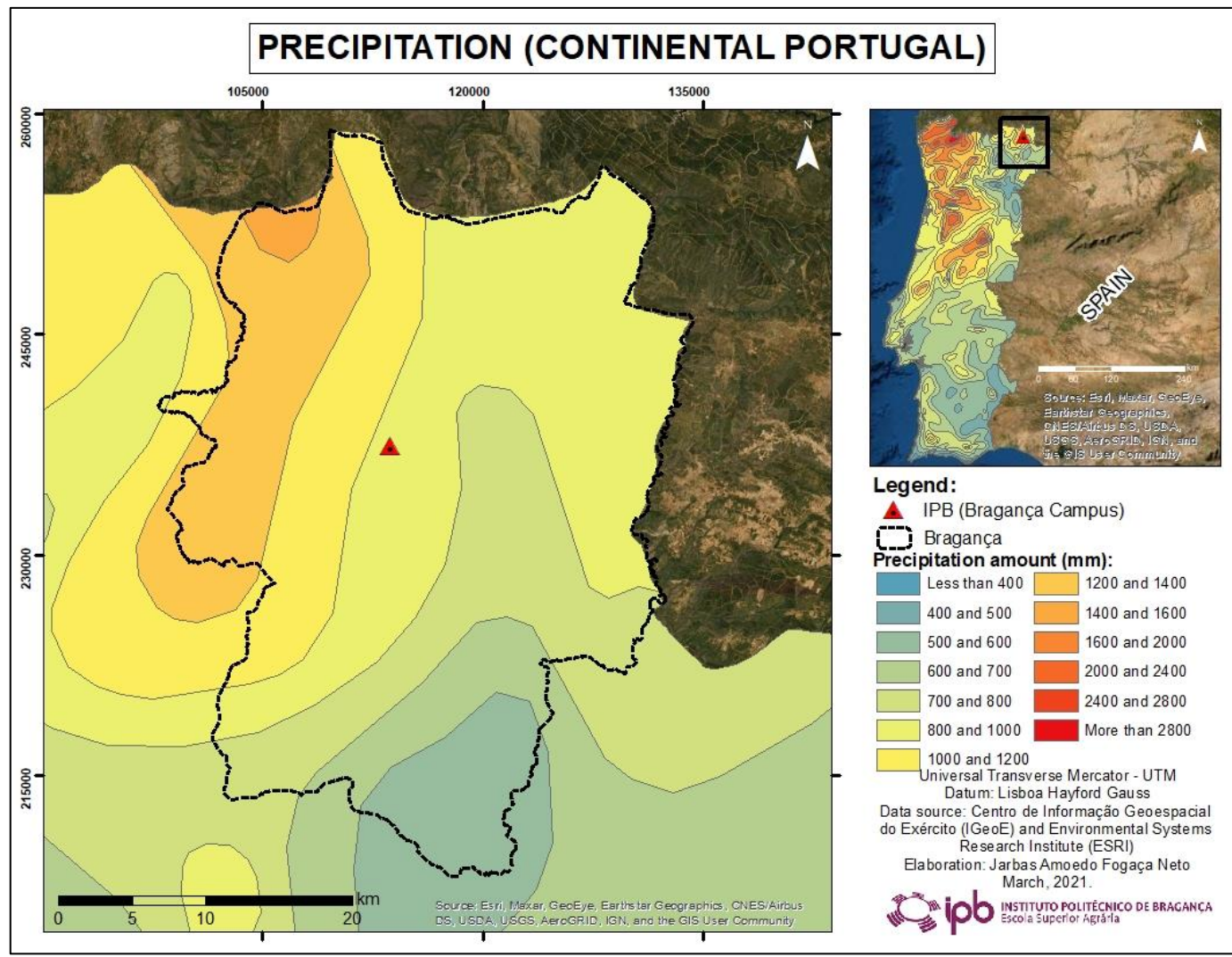


Anexo 12: gráfico de caixas (*boxplot*) referente às alturas hipsométricas do Campus do IPB.

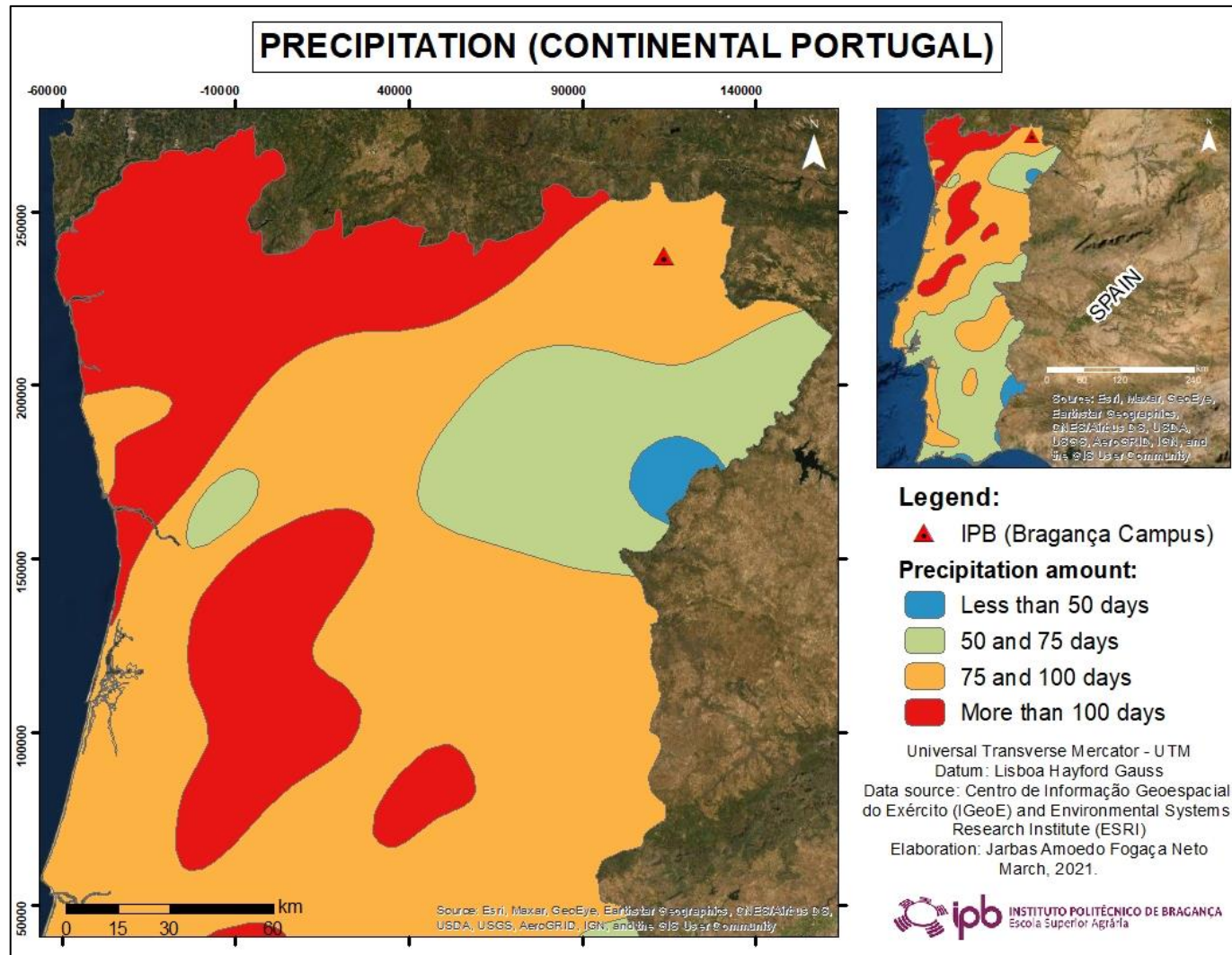
Fonte: autor, 2021; a partir do *software* RStudio.

<b>ALTIMETRIAS (m)</b>	<b>APARICOES</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
665	3	0,002	0,73
666	19	0,014	4,63
667	13	0,010	3,17
668	14	0,010	3,41
669	14	0,010	3,41
670	9	0,007	2,20
671	16	0,012	3,90
672	20	0,015	4,88
673	18	0,013	4,39
674	18	0,013	4,39
675	18	0,013	4,39
676	18	0,013	4,39
677	19	0,014	4,63
678	19	0,014	4,63
679	18	0,013	4,39
680	15	0,011	3,66
681	21	0,016	5,12
682	20	0,015	4,88
683	33	0,024	8,05
684	12	0,009	2,93
685	15	0,011	3,66
686	14	0,010	3,41
687	7	0,005	1,71
688	2	0,001	0,49
689	4	0,003	0,98
690	11	0,008	2,68
691	10	0,007	2,44
692	6	0,004	1,46
693	3	0,002	0,73
694	1	0,001	0,24
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>410</b>	<b>0,303</b>	<b>100</b>

**Anexo 13: caracterização da área em porcentagem para alturas hipsométricas do Campus do IPB.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.**



Anexo 14: precipitação para o distrito de Bragança com destaque para a área de estudo.  
 Fonte: autor, 2021; adaptado de IGeoE, 2010.



Anexo 15: mapa de precipitação para Portugal Continental, caracterizado em dias de precipitação.  
Fonte: autor, 2021; adaptado de IGeoE, 2010.

COTAS			PARÂMETROS				ÍNDICE DE DECLIVIDADE GLOBAL	
MONTANTE	JUSANTE	APARIÇÕES	PONTO MÉDIO	ÁREA	ÁREA ACUMULADA	ÁREA ACUMULADA	PMÉDIO*	$\sum[(Z_i - Z_{i-1}) / (A_i / A)]$
(m)	(m)		(m)	(km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )	(%)	(m*km <sup>2</sup> )	
1322	1300	2964	1311,00	2,21	2,21	1,07	2891,06	0,24
1300	1200	17547	1250,00	13,06	15,26	7,42	16318,83	6,35
1200	1100	41418	1150,00	30,82	46,08	22,42	35437,50	14,99
1100	1000	113215	1050,00	84,23	130,31	63,40	88444,20	40,98
1000	900	49649	950,00	36,94	167,25	81,37	35092,17	17,97
900	800	26843	850,00	19,97	187,22	91,09	16975,64	9,72
800	700	16634	750,00	12,38	199,59	97,11	9281,84	6,02
700	600	5990	650,00	4,46	204,05	99,28	2896,78	2,17
600	500	1888	550,00	1,40	205,46	99,96	772,58	0,68
500	457	100	478,50	0,07	205,53	100,00	35,60	0,02
<b>TOTAL</b>		<b>276248</b>		<b>205,53</b>			<b>208146,19</b>	<b>99,14</b>

Anexo 16: tabela auxiliar para cálculos da Caracterização Fisiográfica da Sub BH.

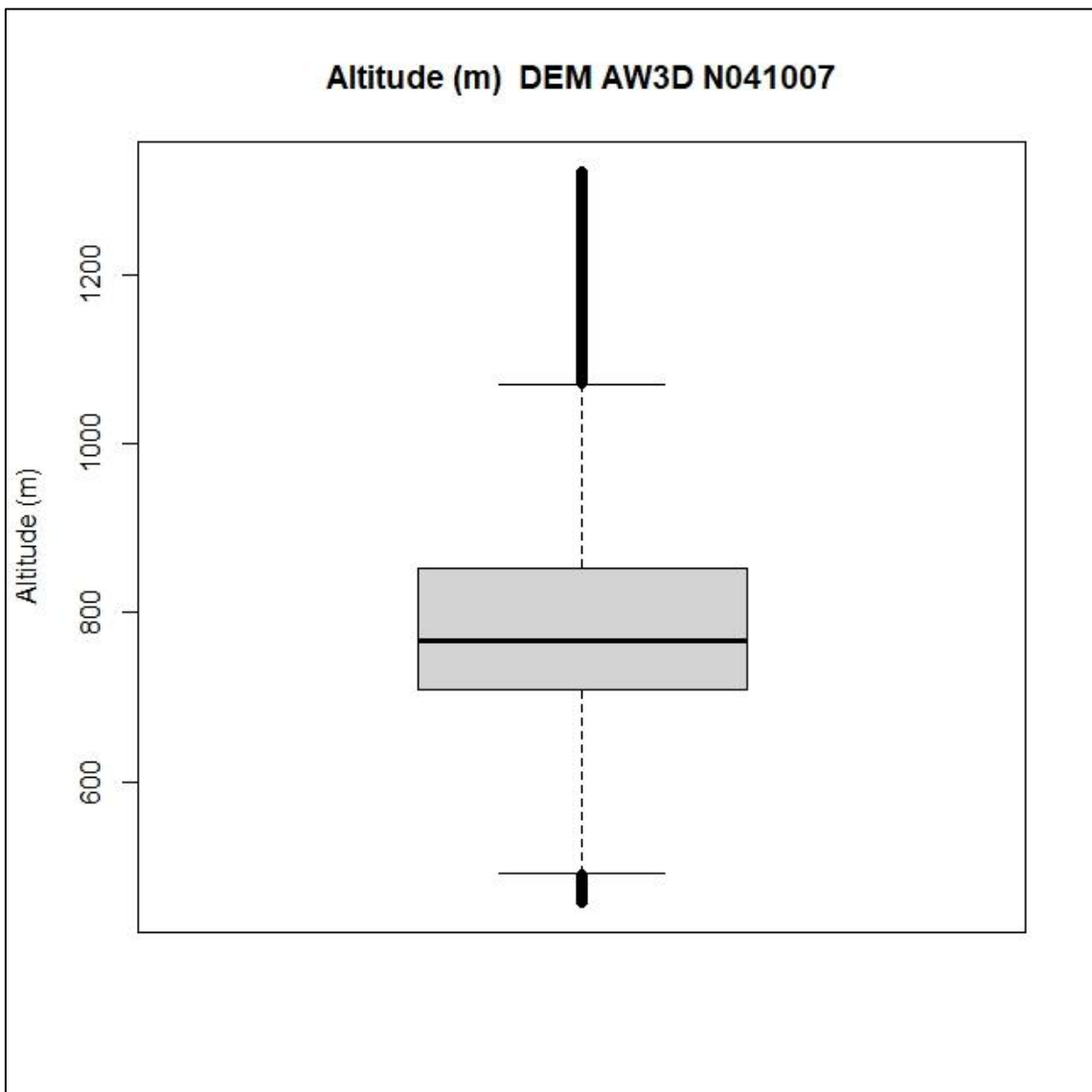
Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* Excel.

```

> summary(altimetria_bh)
  FID      OBJECTID      pointid      grid_code
Min.   :    0      Min.   :    1      Min.   :1900676      Min.   : 457.0
1st Qu.: 69062      1st Qu.: 69063      1st Qu.:2711485      1st Qu.: 708.0
Median :138124      Median :138125      Median :3104672      Median : 766.0
Mean   :138124      Mean   :138125      Mean   :3084435      Mean   : 787.3
3rd Qu.:207185      3rd Qu.:207186      3rd Qu.:3495809      3rd Qu.: 853.0
Max.   :276247      Max.   :276248      Max.   :4257935      Max.   :1322.0
> ##### Observa-se que nao ha observacoes faltantes para o ficheiro #####
> sapply(altimetria_bh, function(x)(sum(is.na(x)))) # NA counts
  FID OBJECTID pointid grid_code
    0         0         0         0
> numSummary(altimetria_bh[, "grid_code", drop=FALSE], statistics=c("mean",
+                           "sd", "IQR", "quantiles", "cv"),
+           quantiles=c(0,.25,.5,.75,1))
  mean      sd IQR      cv 0% 25% 50% 75% 100%  n
787.3323 139.3179 145.0 0.1769493 457 708 766 853 1322 276248

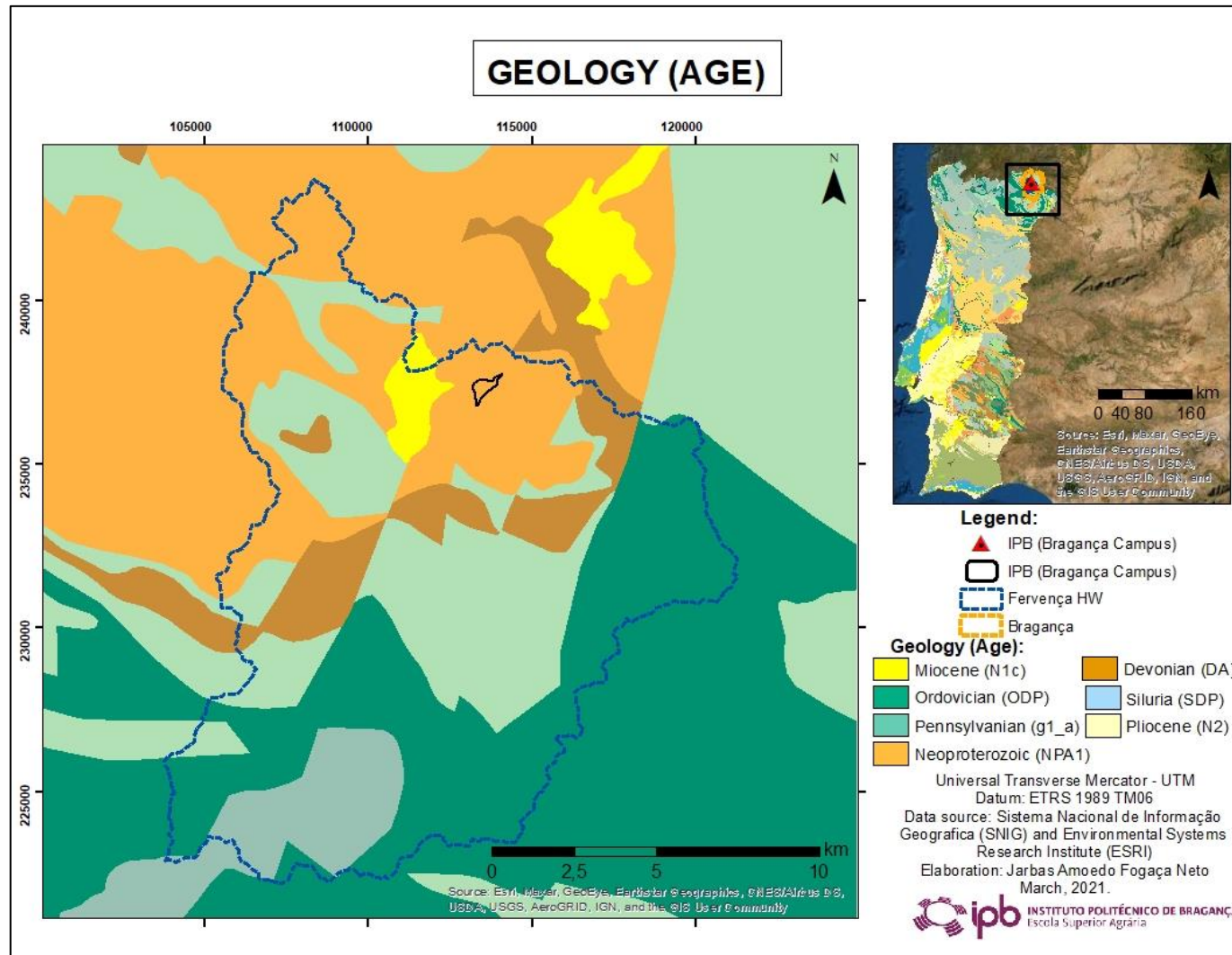
```

**Anexo 17: dados estatísticos para altimetria da Sub-Bacia Hidrográfica Rio Ferverença.**  
 Fonte: autor, 2021; adaptado de JAXA, 2020; a partir do *software* RStudio.

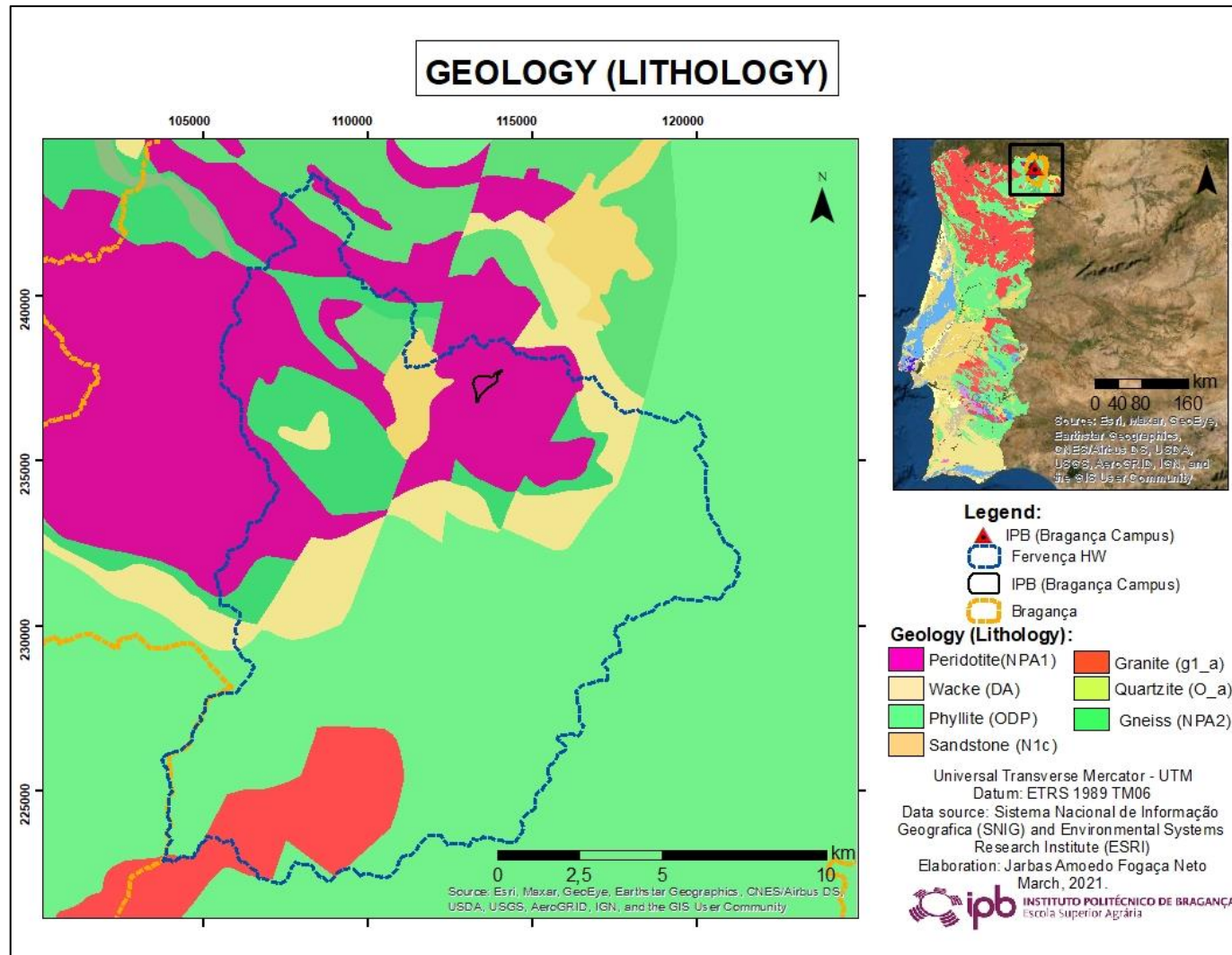


**Anexo 18: gráfico *boxplot* para a altitude hipsométrica da Sub BH Rio Ferverença segundo DEM N041007**  
 Fonte: autor, 2021; a partir do *software* RStudio.





**Anexo 20: Era da geologia para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG e ESRI, 2010.**



**Anexo 21: litologia geológica para a Sub-Bacia Hidrográfica Rio Fervença.**  
**Fonte: autor, 2021; adaptado de SNIG e ESRI, 2010.**

SÍNTESE UMIDADE DO SOLO (m <sup>2</sup> ) S01						
TIPO DE SOLO: MINERAL		APARELHO: PR2 MOISTURE METER			PROFUNDIDADE DA RAIZ 10 CM	
DATA	PROFUNDIDADE (m)	MÉDIA UMIDADE (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	PROF. ESPAÇADA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	VOLUME (L/m <sup>2</sup> )	ΣVOLUME (L/m <sup>2</sup> )
01/07/2021	10	0,056	0,15	0,0084	8,4	8,4
	20	0,083	0,1	0,0083	8,3	16,7
	30	0,101666667	0,1	0,010166667	10,16666667	18,46666667
	40	0,121333333	0,1	0,012133333	12,13333333	22,3
	60	0,106333333	0,3	0,0319	31,9	44,03333333
	100	0,48675	0,25	0,1216875	121,6875	153,5875
22/11/2021	10	0,122666667	0,15	0,0184	18,4	18,4
	20	0,161	0,1	0,0161	16,1	34,5
	30	0,257333333	0,1	0,025733333	25,73333333	41,83333333
	40	0,191333333	0,1	0,019133333	19,13333333	44,86666667
	60	0,0955	0,3	0,02865	28,65	47,78333333
	100	0,492	0,25	0,123	123	151,65
29/11/2021	10	0,124666667	0,15	0,0187	18,7	18,7
	20	0,139333333	0,1	0,013933333	13,93333333	32,63333333
	30	0,256666667	0,1	0,025666667	25,66666667	39,6
	40	0,182666667	0,1	0,018266667	18,26666667	43,93333333
	60	0,116333333	0,3	0,0349	34,9	53,16666667
	100	0,42125	0,25	0,1053125	105,3125	140,2125
06/12/2021	10	0,124	0,15	0,0186	18,6	18,6
	20	0,138	0,1	0,0138	13,8	32,4
	30	0,254333333	0,1	0,025433333	25,43333333	39,23333333
	40	0,185666667	0,1	0,018566667	18,56666667	44
	60	0,113666667	0,3	0,0341	34,1	52,66666667
	100	0,487333333	0,25	0,121833333	121,8333333	155,9333333
131/12/2021	10	0,159	0,15	0,02385	23,85	23,85
	20	0,153666667	0,1	0,015366667	15,36666667	39,21666667
	30	0,264333333	0,1	0,026433333	26,43333333	41,8
	40	0,194333333	0,1	0,019433333	19,43333333	45,86666667
	60	0,114333333	0,3	0,0343	34,3	53,73333333
	100	0,486666667	0,25	0,121666667	121,6666667	155,9666667
31/01/2022	10	0,184333333	0,15	0,02765	27,65	27,65
	20	0,151	0,1	0,0151	15,1	42,75
	30	0,265666667	0,1	0,026566667	26,56666667	41,66666667
	40	0,180333333	0,1	0,018033333	18,03333333	44,6
	60	0,100333333	0,3	0,0301	30,1	48,13333333
	100	0,4345	0,25	0,108625	108,625	138,725
14/02/2022	10	0,217333333	0,15	0,0326	32,6	32,6
	20	0,153	0,1	0,0153	15,3	47,9
	30	0,2715	0,1	0,02715	27,15	42,45
	40	0,185666667	0,1	0,018566667	18,56666667	45,71666667
	60	0,118666667	0,3	0,0356	35,6	54,16666667
	100	0,472666667	0,25	0,118166667	118,1666667	153,7666667
16/02/2022	10	0,210333333	0,15	0,03155	31,55	31,55
	20	0,158666667	0,1	0,015866667	15,86666667	47,41666667
	30	0,267	0,1	0,0267	26,7	42,56666667
	40	0,209	0,1	0,0209	20,9	47,6
	60	0,091	0,3	0,0273	27,3	48,2
	100	0,493	0,25	0,12325	123,25	150,55

Anexo 22: síntese de umidade do solo para o ponto S01.

Fonte: autor, 2022, a partir da sonda PR2 Moisture e do software Excel.

SÍNTESE UMIDADE DO SOLO (m <sup>2</sup> ) S02						
TIPO DE SOLO: MINERAL		APARELHO: PR2 MOISTURE METER			PROFUNDIDADE DA RAIZ 10 CM	
DATA	PROFUNDIDADE (cm)	MÉDIA UMIDADE (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	PROF. ESPAÇADA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	VOLUME (L/m <sup>2</sup> )	ΣVOLUME (L/m <sup>2</sup> )
01/07/2021	10	0,02	0,15	0,003	3	3
	20	0,004333333	0,1	0,000433333	0,433333333	3,433333333
	30	0,06625	0,1	0,006625	6,625	7,058333333
	40	0,092	0,1	0,0092	9,2	15,825
	60	0,081	0,3	0,0243	24,3	33,5
	100	0,374333333	0,25	0,093583333	93,58333333	117,8833333
22/11/2021	10	0,113666667	0,15	0,01705	17,05	17,05
	20	0,073333333	0,1	0,007333333	7,333333333	24,38333333
	30	0,1365	0,1	0,01365	13,65	20,98333333
	40	0,111333333	0,1	0,011133333	11,13333333	24,78333333
	60	0,098666667	0,3	0,0296	29,6	40,73333333
	100	0,363	0,25	0,09075	90,75	120,35
29/11/2021	10	0,124666667	0,15	0,0187	18,7	18,7
	20	0,068666667	0,1	0,006866667	6,866666667	25,56666667
	30	0,13275	0,1	0,013275	13,275	20,14166667
	40	0,110666667	0,1	0,011066667	11,06666667	24,34166667
	60	0,104333333	0,3	0,0313	31,3	42,36666667
	100	0,351	0,25	0,08775	87,75	119,05
06/12/2021	10	0,124	0,15	0,0186	18,6	18,6
	20	0,075	0,1	0,0075	7,5	26,1
	30	0,137333333	0,1	0,013733333	13,73333333	21,23333333
	40	0,101	0,1	0,0101	10,1	23,83333333
	60	0,106333333	0,3	0,0319	31,9	42
	100	0,364333333	0,25	0,091083333	91,08333333	122,9833333
131/12/2021	10	0,189	0,15	0,02835	28,35	28,35
	20	0,103666667	0,1	0,010366667	10,36666667	38,71666667
	30	0,153333333	0,1	0,015333333	15,33333333	25,7
	40	0,117666667	0,1	0,011766667	11,76666667	27,1
	60	0,104	0,3	0,0312	31,2	42,96666667
	100	0,362333333	0,25	0,090583333	90,58333333	121,7833333
31/01/2022	10	0,241	0,15	0,03615	36,15	36,15
	20	0,098666667	0,1	0,009866667	9,866666667	46,01666667
	30	0,156666667	0,1	0,015666667	15,66666667	25,53333333
	40	0,115	0,1	0,0115	11,5	27,16666667
	60	0,1135	0,3	0,03405	34,05	45,55
	100	0,358666667	0,25	0,089666667	89,66666667	123,7166667
14/02/2022	10	0,24175	0,15	0,0362625	36,2625	36,2625
	20	0,0985	0,1	0,00985	9,85	46,1125
	30	0,1545	0,1	0,01545	15,45	25,3
	40	0,125	0,1	0,0125	12,5	27,95
	60	0,110666667	0,3	0,0332	33,2	45,7
	100	0,379666667	0,25	0,094916667	94,91666667	128,1166667
16/02/2022	10	0,238	0,15	0,0357	35,7	35,7
	20	0,1	0,1	0,01	10	45,7
	30	0,1605	0,1	0,01605	16,05	26,05
	40	0,125	0,1	0,0125	12,5	28,55
	60	0,121666667	0,3	0,0365	36,5	49
	100	0,382666667	0,25	0,095666667	95,66666667	132,1666667

Anexo 23: síntese de umidade do solo para o ponto S02.

Fonte: autor, 2022, a partir da sonda PR2 Moisture e do software Excel.

SÍNTESE UMIDADE DO SOLO (m <sup>2</sup> ) S03						
TIPO DE SOLO: MINERAL		APARELHO: PR2 MOISTURE METER			PROFUNDIDADE DA RAIZ 10 CM	
DATA	PROFUNDIDADE (cm)	MÉDIA UMIDADE (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	PROF. ESPAÇADA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	VOLUME (L/m <sup>2</sup> )	ΣVOLUME (L/m <sup>2</sup> )
01/07/2021	10	0,016333333	0,15	0,00245	2,45	2,45
	20	0,056	0,1	0,0056	5,6	8,05
	30	0,024	0,1	0,0024	2,4	8
	40	0,047	0,1	0,0047	4,7	7,1
	60	0,086	0,3	0,0258	25,8	30,5
	100	0,48925	0,25	0,1223125	122,3125	148,1125
22/11/2021	10	0,165333333	0,15	0,0248	24,8	24,8
	20	0,28	0,1	0,028	28	52,8
	30	0,1495	0,1	0,01495	14,95	42,95
	40	0,088	0,1	0,0088	8,8	23,75
	60	0,10475	0,3	0,031425	31,425	40,225
	100	0,423666667	0,25	0,105916667	105,9166667	137,3416667
29/11/2021	10	0,193666667	0,15	0,02905	29,05	29,05
	20	0,277333333	0,1	0,027733333	27,73333333	56,78333333
	30	0,1735	0,1	0,01735	17,35	45,08333333
	40	0,088	0,1	0,0088	8,8	26,15
	60	0,10975	0,3	0,032925	32,925	41,725
	100	0,458	0,25	0,1145	114,5	147,425
06/12/2021	10	0,199666667	0,15	0,02995	29,95	29,95
	20	0,278333333	0,1	0,027833333	27,83333333	57,78333333
	30	0,164333333	0,1	0,016433333	16,43333333	44,26666667
	40	0,087666667	0,1	0,008766667	8,766666667	25,2
	60	0,1085	0,3	0,03255	32,55	41,31666667
	100	0,465	0,25	0,11625	116,25	148,8
131/12/2021	10	0,270333333	0,15	0,04055	40,55	40,55
	20	0,30275	0,1	0,030275	30,275	70,825
	30	0,1765	0,1	0,01765	17,65	47,925
	40	0,089666667	0,1	0,008966667	8,966666667	26,61666667
	60	0,1085	0,3	0,03255	32,55	41,51666667
	100	0,46475	0,25	0,1161875	116,1875	148,7375
31/01/2022	10	0,2825	0,15	0,042375	42,375	42,375
	20	0,31675	0,1	0,031675	31,675	74,05
	30	0,17	0,1	0,017	17	48,675
	40	0,085333333	0,1	0,008533333	8,533333333	25,53333333
	60	0,10925	0,3	0,032775	32,775	41,30833333
	100	0,477	0,25	0,11925	119,25	152,025
14/02/2022	10	0,295666667	0,15	0,04435	44,35	44,35
	20	0,323333333	0,1	0,032333333	32,33333333	76,68333333
	30	0,1815	0,1	0,01815	18,15	50,48333333
	40	0,089	0,1	0,0089	8,9	27,05
	60	0,1185	0,3	0,03555	35,55	44,45
	100	0,486	0,25	0,1215	121,5	157,05
16/02/2022	10	0,295666667	0,15	0,04435	44,35	44,35
	20	0,322	0,1	0,0322	32,2	76,55
	30	0,177	0,1	0,0177	17,7	49,9
	40	0,089	0,1	0,0089	8,9	26,6
	60	0,11075	0,3	0,033225	33,225	42,125
	100	0,49	0,25	0,1225	122,5	155,725

Anexo 24: síntese de umidade do solo para o ponto S03.

Fonte: autor, 2022, a partir da sonda PR2 Moisture e do software Excel.

SÍNTESE UMIDADE DO SOLO (m <sup>2</sup> ) S04						
TIPO DE SOLO: MINERAL		APARELHO: PR2 MOISTURE METER			PROFUNDIDADE DA RAZ 10 CM	
DATA	PROFUNDIDADE (cm)	MÉDIA UMIDADE (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	PROF. ESPAÇADA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	VOLUME (L/m <sup>2</sup> )	ΣVOLUME (L/m <sup>2</sup> )
01/07/2021	10	0,101	0,15	0,01515	15,15	15,15
	20	0,12325	0,1	0,012325	12,325	27,475
	30	0,143	0,1	0,0143	14,3	26,625
	40	0,14	0,1	0,014	14	28,3
	60	0,182333333	0,3	0,0547	54,7	68,7
	100	0,154	0,25	0,0385	38,5	93,2
22/11/2021	10	0,194666667	0,15	0,0292	29,2	29,2
	20	0,21825	0,1	0,021825	21,825	51,025
	30	0,21025	0,1	0,021025	21,025	42,85
	40	0,171333333	0,1	0,017133333	17,1333333	38,15833333
	60	0,183	0,3	0,0549	54,9	72,03333333
	100	0,151	0,25	0,03775	37,75	92,65
29/11/2021	10	0,209333333	0,15	0,0314	31,4	31,4
	20	0,232	0,1	0,0232	23,2	54,6
	30	0,2105	0,1	0,02105	21,05	44,25
	40	0,168666667	0,1	0,016866667	16,8666667	37,91666667
	60	0,193333333	0,3	0,058	58	74,86666667
	100	0,135	0,25	0,03375	33,75	91,75
06/12/2021	10	0,216333333	0,15	0,03245	32,45	32,45
	20	0,21275	0,1	0,021275	21,275	53,725
	30	0,20625	0,1	0,020625	20,625	41,9
	40	0,179	0,1	0,0179	17,9	38,525
	60	0,184333333	0,3	0,0553	55,3	73,2
	100	0,1595	0,25	0,039875	39,875	95,175
131/12/2021	10	0,2745	0,15	0,041175	41,175	41,175
	20	0,235	0,1	0,0235	23,5	64,675
	30	0,227	0,1	0,0227	22,7	46,2
	40	0,181666667	0,1	0,018166667	18,1666667	40,86666667
	60	0,197	0,3	0,0591	59,1	77,26666667
	100	0,1595	0,25	0,039875	39,875	98,975
31/01/2022	10	0,27875	0,15	0,0418125	41,8125	41,8125
	20	0,24525	0,1	0,024525	24,525	66,3375
	30	0,238	0,1	0,0238	23,8	48,325
	40	0,188333333	0,1	0,018833333	18,83333333	42,63333333
	60	0,197	0,3	0,0591	59,1	77,93333333
	100	0,1965	0,25	0,049125	49,125	108,225
14/02/2022	10	0,2805	0,15	0,042075	42,075	42,075
	20	0,249	0,1	0,0249	24,9	66,975
	30	0,232333333	0,1	0,023233333	23,2333333	48,13333333
	40	0,194666667	0,1	0,019466667	19,4666667	42,7
	60	0,188	0,3	0,0564	56,4	75,86666667
	100	0,186	0,25	0,0465	46,5	102,9
16/02/2022	10	0,2895	0,15	0,043425	43,425	43,425
	20	0,257	0,1	0,0257	25,7	69,125
	30	0,242	0,1	0,0242	24,2	49,9
	40	0,194	0,1	0,0194	19,4	43,6
	60	0,181666667	0,3	0,0545	54,5	73,9
	100	0,191	0,25	0,04775	47,75	102,25

Anexo 25: síntese de umidade do solo para o ponto S04.

Fonte: autor, 2022, a partir da sonda PR2 Moisture e do software Excel.

SÍNTESE UMIDADE DO SOLO (m <sup>2</sup> ) S05						
TIPO DE SOLO: MINERAL		APARELHO: PR2 MOISTURE METER			PROFUNDIDADE DA RAIZ 10 CM	
DATA	PROFUNDIDADE (cm)	MÉDIA UMIDADE (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	PROF. ESPAÇADA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	VOLUME (L/m <sup>2</sup> )	ΣVOLUME (L/m <sup>2</sup> )
01/07/2021	10	0,013	0,15	0,00195	1,95	1,95
	20	0,015	0,1	0,0015	1,5	3,45
	30	0,071666667	0,1	0,007166667	7,166666667	8,666666667
	40	0,06025	0,1	0,006025	6,025	13,19166667
	60	0,06275	0,3	0,018825	18,825	24,85
	100	0,2615	0,25	0,065375	65,375	84,2
22/11/2021	10	0,1675	0,15	0,025125	25,125	25,125
	20	0,16325	0,1	0,016325	16,325	41,45
	30	0,1225	0,1	0,01225	12,25	28,575
	40	0,078666667	0,1	0,007866667	7,866666667	20,11666667
	60	0,090666667	0,3	0,0272	27,2	35,06666667
	100	0,277333333	0,25	0,069333333	69,33333333	96,53333333
29/11/2021	10	0,177333333	0,15	0,0266	26,6	26,6
	20	0,1525	0,1	0,01525	15,25	41,85
	30	0,123666667	0,1	0,012366667	12,36666667	27,61666667
	40	0,079333333	0,1	0,007933333	7,933333333	20,3
	60	0,093	0,3	0,0279	27,9	35,83333333
	100	0,26	0,25	0,065	65	92,9
06/12/2021	10	0,135	0,15	0,02025	20,25	20,25
	20	0,14325	0,1	0,014325	14,325	34,575
	30	0,103666667	0,1	0,010366667	10,36666667	24,69166667
	40	0,063666667	0,1	0,006366667	6,366666667	16,73333333
	60	0,097666667	0,3	0,0293	29,3	35,66666667
	100	0,274	0,25	0,0685	68,5	97,8
13/12/2021	10	0,247666667	0,15	0,03715	37,15	37,15
	20	0,1975	0,1	0,01975	19,75	56,9
	30	0,143	0,1	0,0143	14,3	34,05
	40	0,090666667	0,1	0,009066667	9,066666667	23,36666667
	60	0,099333333	0,3	0,0298	29,8	38,86666667
	100	0,27725	0,25	0,0693125	69,3125	99,1125
31/01/2022	10	0,246	0,15	0,0369	36,9	36,9
	20	0,2015	0,1	0,02015	20,15	57,05
	30	0,154	0,1	0,0154	15,4	35,55
	40	0,117333333	0,1	0,011733333	11,73333333	27,13333333
	60	0,1335	0,3	0,04005	40,05	51,78333333
	100	0,280333333	0,25	0,070083333	70,08333333	110,13333333
14/02/2022	10	0,214666667	0,15	0,0322	32,2	32,2
	20	0,18975	0,1	0,018975	18,975	51,175
	30	0,148	0,1	0,0148	14,8	33,775
	40	0,1225	0,1	0,01225	12,25	27,05
	60	0,131333333	0,3	0,0394	39,4	51,65
	100	0,2865	0,25	0,071625	71,625	111,025
16/02/2022	10	0,222333333	0,15	0,03335	33,35	33,35
	20	0,185333333	0,1	0,018533333	18,53333333	51,88333333
	30	0,146	0,1	0,0146	14,6	33,13333333
	40	0,119	0,1	0,0119	11,9	26,5
	60	0,130333333	0,3	0,0391	39,1	51
	100	0,293	0,25	0,07325	73,25	112,35

Anexo 26: síntese de umidade do solo para o ponto S05.

Fonte: autor, 2022, a partir da sonda PR2 Moisture e do software Excel.

SÍNTESE UMIDADE DO SOLO (m <sup>2</sup> ) S06						
TIPO DE SOLO: MINERAL		APARELHO: PR2 MOISTURE METER			PROFUNDIDADE DA RAIZ 10 CM	
DATA	PROFUNDIDADE (cm)	MÉDIA UMIDADE (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	PROF. ESPAÇADA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	VOLUME (L/m <sup>2</sup> )	ΣVOLUME (L/m <sup>2</sup> )
01/07/2021	10	0,035	0,15	0,00525	5,25	5,25
	20	0,007	0,1	0,0007	0,7	5,95
	30	0	0,1	0	0	0,7
	40	0	0,1	0	0	0
	60	0	0,3	0	0	0
	100	0,148	0,25	0,037	37	37
22/11/2021	10	0,019	0,15	0,00285	2,85	2,85
	20	0,071666667	0,1	0,007166667	7,16666667	10,01666667
	30	0,041	0,1	0,0041	4,1	11,26666667
	40	0	0,1	0	0	4,1
	60	0,041	0,3	0,0123	12,3	12,3
	100	0,224	0,25	0,056	56	68,3
29/11/2021	10	0,0215	0,15	0,003225	3,225	3,225
	20	0,079333333	0,1	0,007933333	7,93333333	11,15833333
	30	0,040333333	0,1	0,004033333	4,03333333	11,96666667
	40	0	0,1	0	0	4,03333333
	60	0,041333333	0,3	0,0124	12,4	12,4
	100	0,2385	0,25	0,059625	59,625	72,025
06/12/2021	10	0,0115	0,15	0,001725	1,725	1,725
	20	0,065666667	0,1	0,006566667	6,56666667	8,29166667
	30	0,036333333	0,1	0,003633333	3,63333333	10,2
	40	0	0,1	0	0	3,63333333
	60	0,041	0,3	0,0123	12,3	12,3
	100	0,1655	0,25	0,041375	41,375	53,675
131/12/2021	10	0,042	0,15	0,0063	6,3	6,3
	20	0,073333333	0,1	0,007333333	7,33333333	13,63333333
	30	0,041333333	0,1	0,004133333	4,13333333	11,46666667
	40	0	0,1	0	0	4,13333333
	60	0,042	0,3	0,0126	12,6	12,6
	100	0,365	0,25	0,09125	91,25	103,85
31/01/2022	10	0,147666667	0,15	0,02215	22,15	22,15
	20	0,110333333	0,1	0,011033333	11,0333333	33,18333333
	30	0,068666667	0,1	0,006866667	6,86666667	17,9
	40	0	0,1	0	0	6,86666667
	60	0,053333333	0,3	0,016	16	16
	100	0,424666667	0,25	0,106166667	106,166667	122,166667
14/02/2022	10	0,1515	0,15	0,022725	22,725	22,725
	20	0,0985	0,1	0,00985	9,85	32,575
	30	0,066666667	0,1	0,006666667	6,66666667	16,51666667
	40	0	0,1	0	0	6,66666667
	60	0,061	0,3	0,0183	18,3	18,3
	100	0,475	0,25	0,11875	118,75	137,05
16/02/2022	10	0,1435	0,15	0,021525	21,525	21,525
	20	0,0955	0,1	0,00955	9,55	31,075
	30	0,064666667	0,1	0,006466667	6,46666667	16,01666667
	40	0	0,1	0	0	6,46666667
	60	0,053666667	0,3	0,0161	16,1	16,1
	100	0,536	0,25	0,134	134	150,1

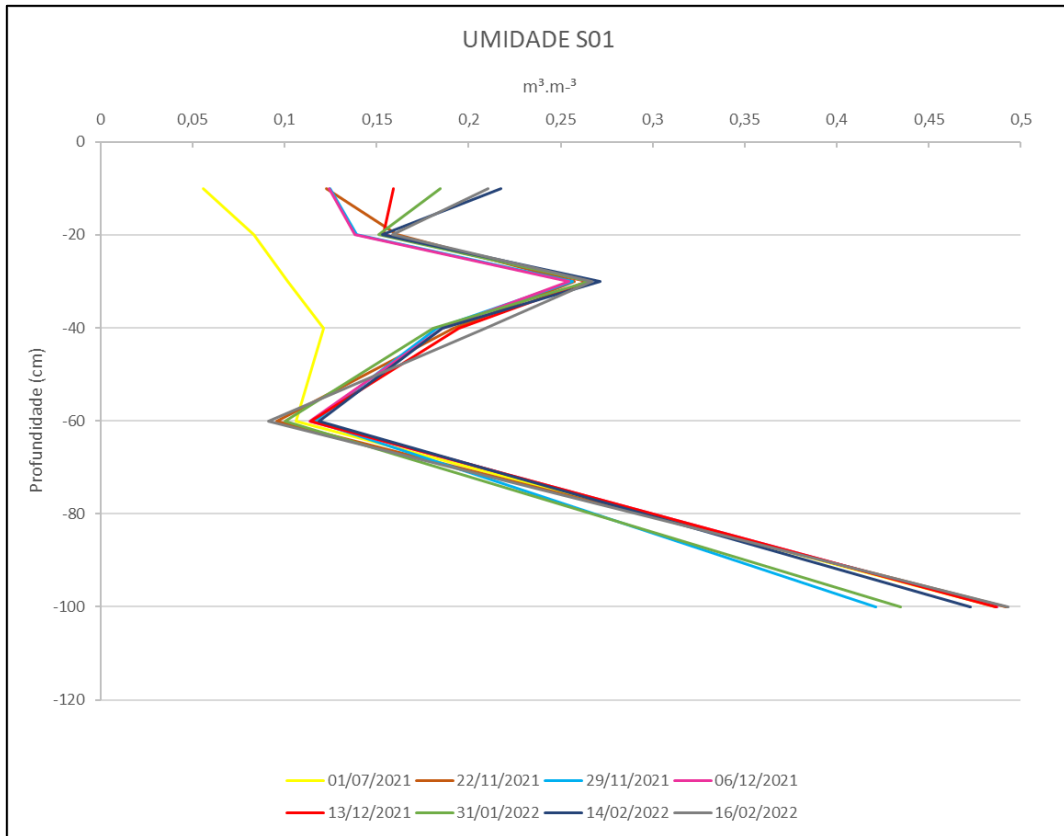
Anexo 27: síntese de umidade do solo para o ponto S06.

Fonte: autor, 2022, a partir da sonda PR2 Moisture e do software Excel.

SÍNTESE UMIDADE DO SOLO (m <sup>2</sup> ) S07							
TIPO DE SOLO: MINERAL		APARELHO: PR2 MOISTURE METER			PROFUNDIDADE DA RAIZ 10 CM		
DATA	PROFUNDIDADE (cm)	MÉDIA UMIDADE (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	PROF. ESPAÇADA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	VOLUME (L/m <sup>2</sup> )	ΣVOLUME (L/m <sup>2</sup> )	
01/07/2021	10	0,244	0,15	0,0366	36,6	36,6	
	20	0,2065	0,1	0,02065	20,65	57,25	
	30	0,367	0,1	0,0367	36,7	57,35	
	40	0,317666667	0,1	0,031766667	31,76666667	68,46666667	
	60	0,36	0,3	0,108	108	139,7666667	
	100	0,560666667	0,25	0,140166667	140,1666667	248,1666667	
22/11/2021	10	0,42025	0,15	0,0630375	63,0375	63,0375	
	20	0,40575	0,1	0,040575	40,575	103,6125	
	30	0,44075	0,1	0,044075	44,075	84,65	
	40	0,415	0,1	0,0415	41,5	85,575	
	60	0,523333333	0,3	0,157	157	198,5	
	100	0,585333333	0,25	0,146333333	146,3333333	303,3333333	
29/11/2021	10	0,423	0,15	0,06345	63,45	63,45	
	20	0,402	0,1	0,0402	40,2	103,65	
	30	0,432666667	0,1	0,043266667	43,26666667	83,46666667	
	40	0,420333333	0,1	0,042033333	42,03333333	85,3	
	60	0,5255	0,3	0,15765	157,65	199,6833333	
	100	0,556	0,25	0,139	139	296,65	
06/12/2021	10	0,398	0,15	0,0597	59,7	59,7	
	20	0,39925	0,1	0,039925	39,925	99,625	
	30	0,436333333	0,1	0,043633333	43,63333333	83,55833333	
	40	0,41725	0,1	0,041725	41,725	85,35833333	
	60	0,52425	0,3	0,157275	157,275	199	
	100	0,55	0,25	0,1375	137,5	294,775	
31/01/2022	10	0,37625	0,15	0,0564375	56,4375	56,4375	
	20	0,40125	0,1	0,040125	40,125	96,5625	
	30	0,4455	0,1	0,04455	44,55	84,675	
	40	0,425333333	0,1	0,042533333	42,53333333	87,08333333	
	60	0,501666667	0,3	0,1505	150,5	193,0333333	
	100	0,54475	0,25	0,1361875	136,1875	286,6875	
14/02/2022	10	0,41725	0,15	0,0625875	62,5875	62,5875	
	20	0,386	0,1	0,0386	38,6	101,1875	
	30	0,453333333	0,1	0,045333333	45,33333333	83,93333333	
	40	0,436666667	0,1	0,043666667	43,66666667	89	
	60	0,504666667	0,3	0,1514	151,4	195,0666667	
	100	0,4875	0,25	0,121875	121,875	273,275	
16/02/2022	10	0,4215	0,15	0,063225	63,225	63,225	
	20	0,40425	0,1	0,040425	40,425	103,65	
	30	0,448	0,1	0,0448	44,8	85,225	
	40	0,438	0,1	0,0438	43,8	88,6	
	60	0,506666667	0,3	0,152	152	195,8	
	100	0,5545	0,25	0,138625	138,625	290,625	

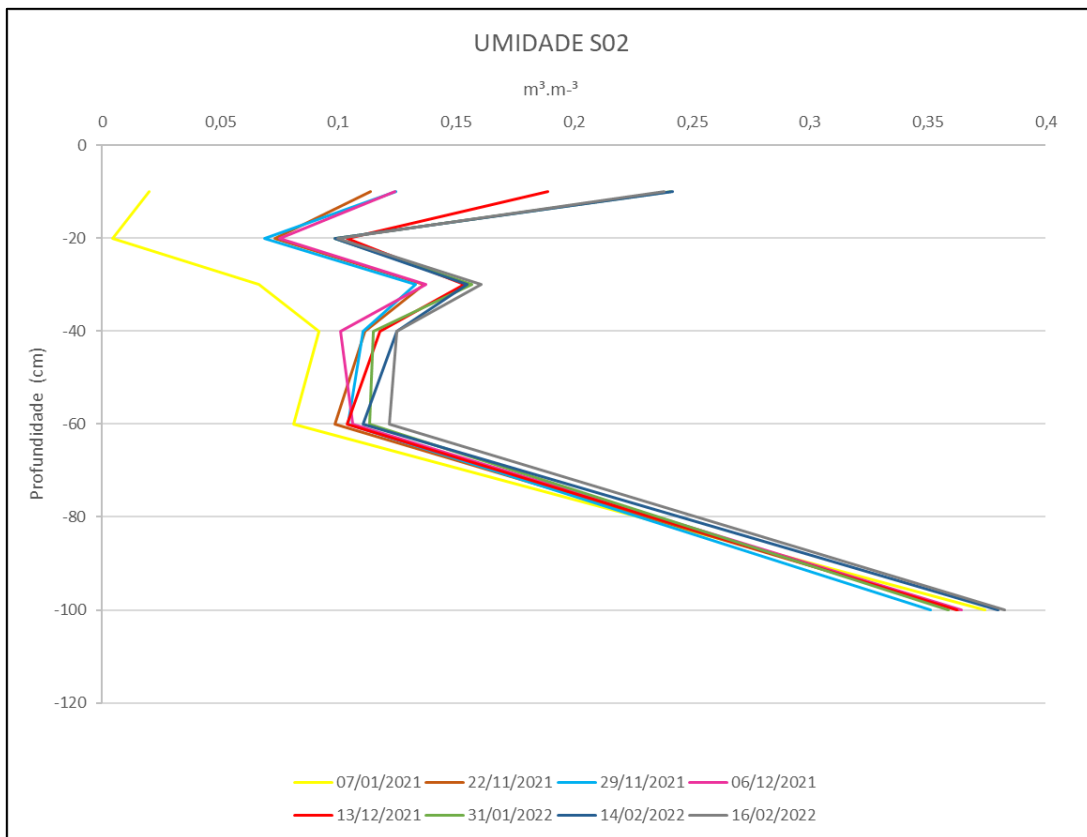
Anexo 28: síntese de umidade do solo para o ponto S07.

Fonte: autor, 2022, a partir da sonda PR2 Moisture e do software Excel.



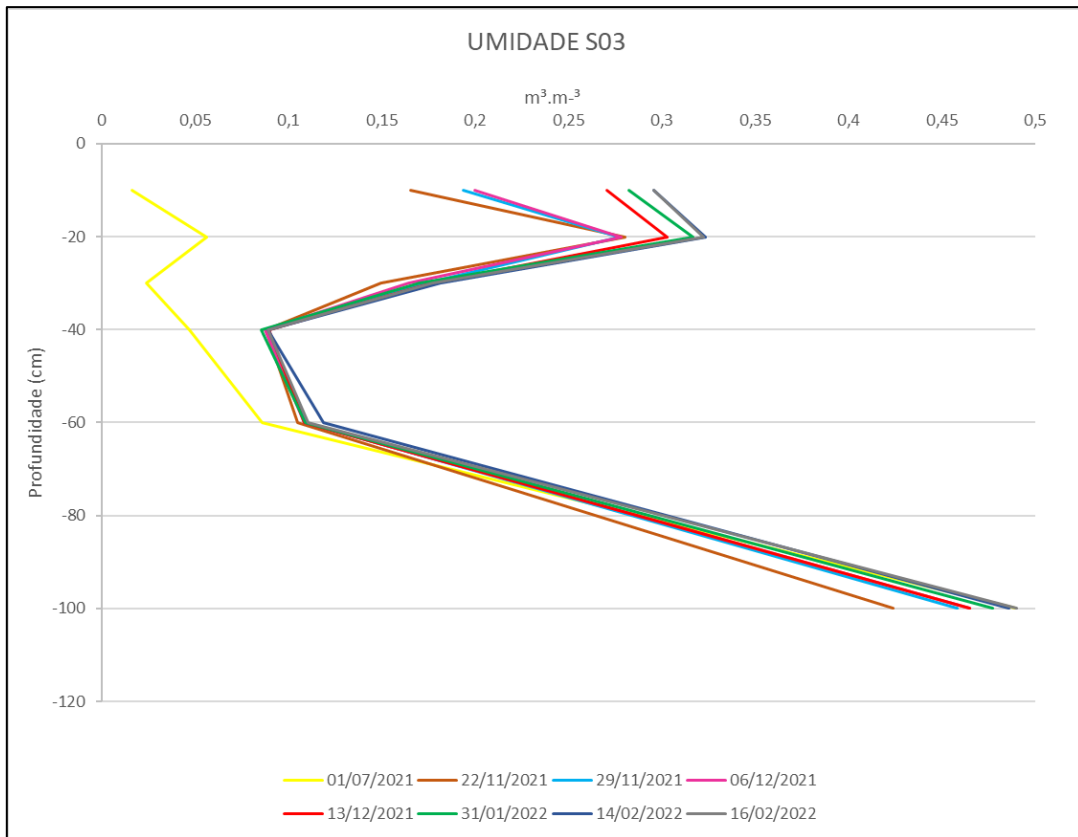
**Anexo 29: umidade a partir da Sonda PR2 para o ponto S01 em  $m^3/m^3$ .**

Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no *software* Excel.

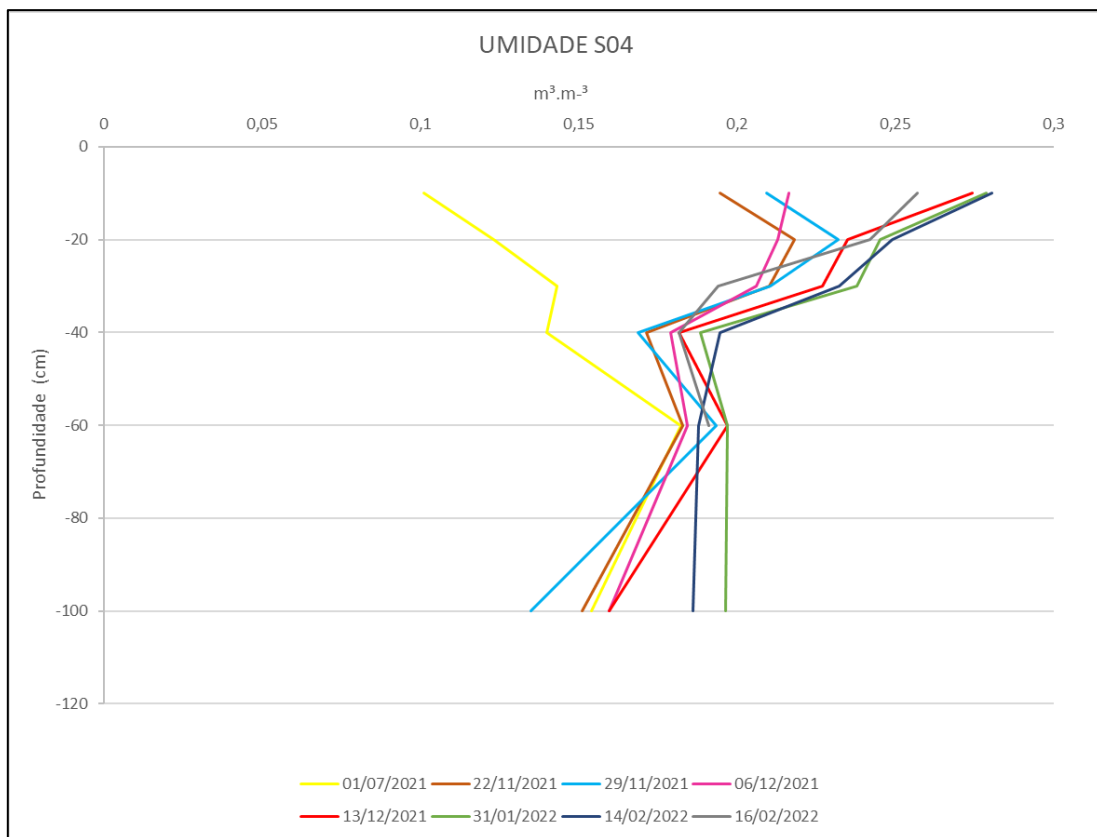


**Anexo 30: umidade a partir da sonda PR2 para o ponto S02 em  $m^3/m^3$ .**

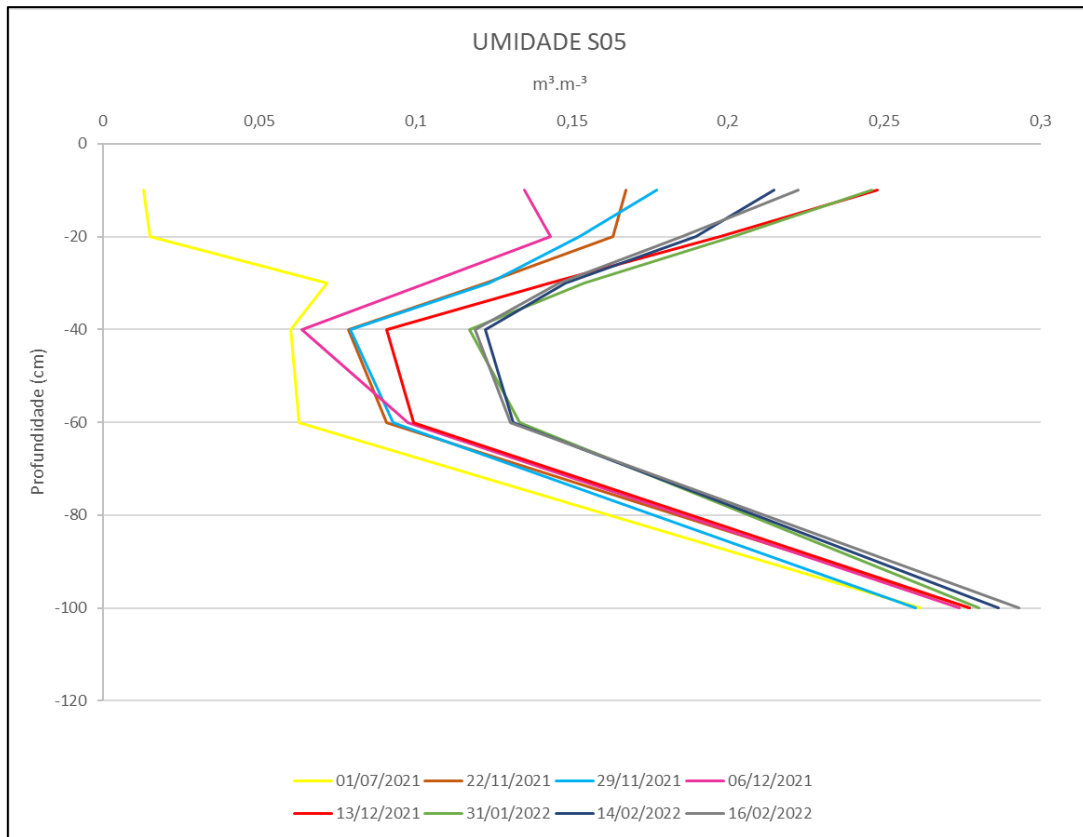
Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no *software* Excel.



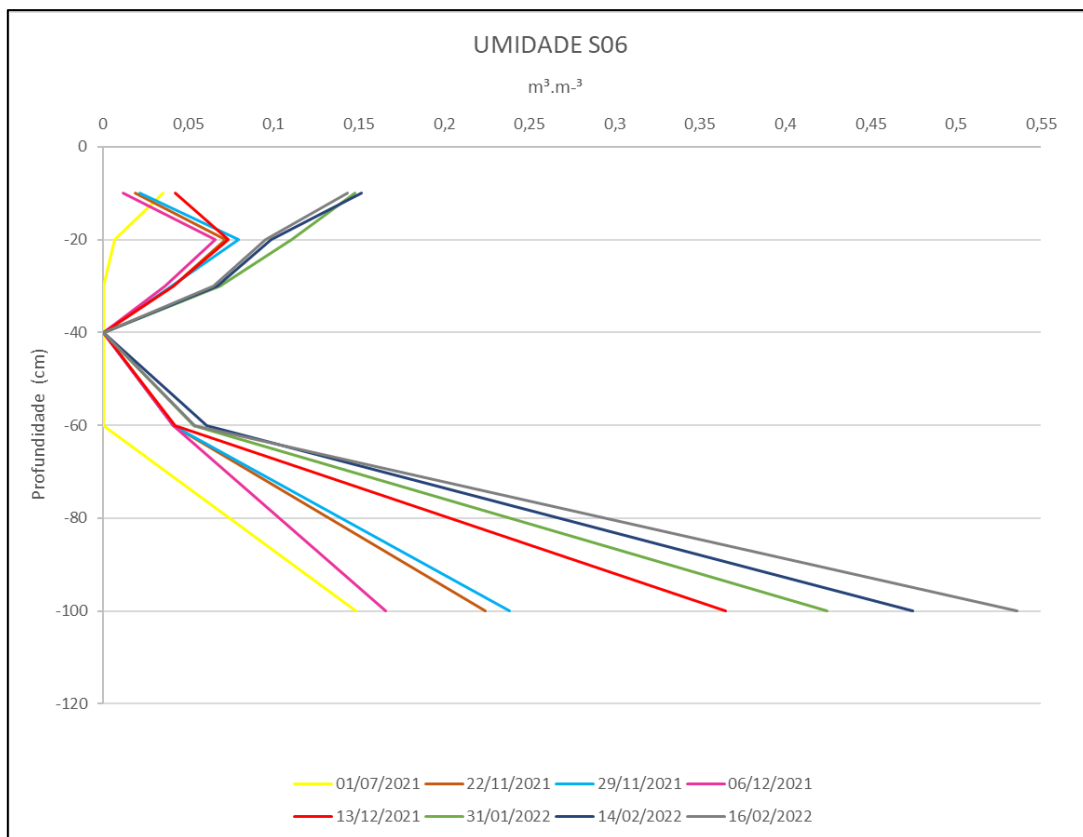
**Anexo 31: umidade a partir da sonda PR2 para o ponto S03 em  $m^3/m^3$ .**  
**Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.**



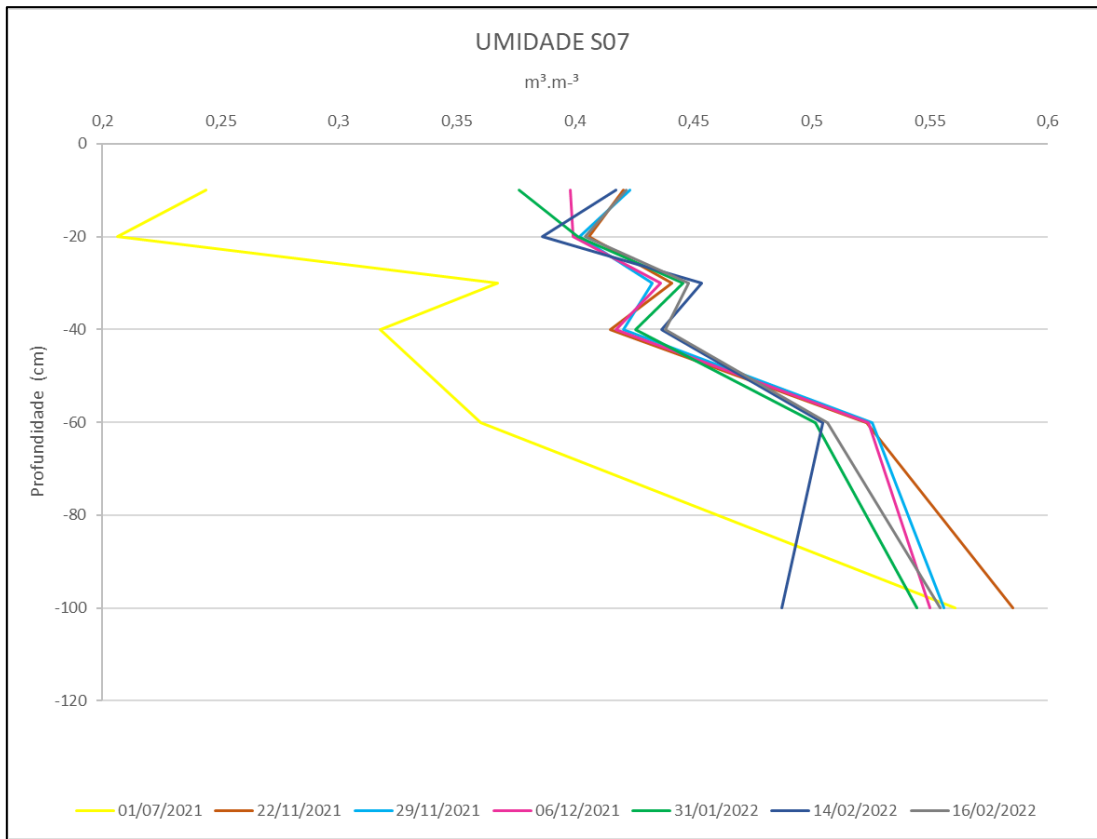
**Anexo 32: umidade a partir da sonda PR2 para o ponto S04 em  $m^3/m^3$ .**  
**Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.**



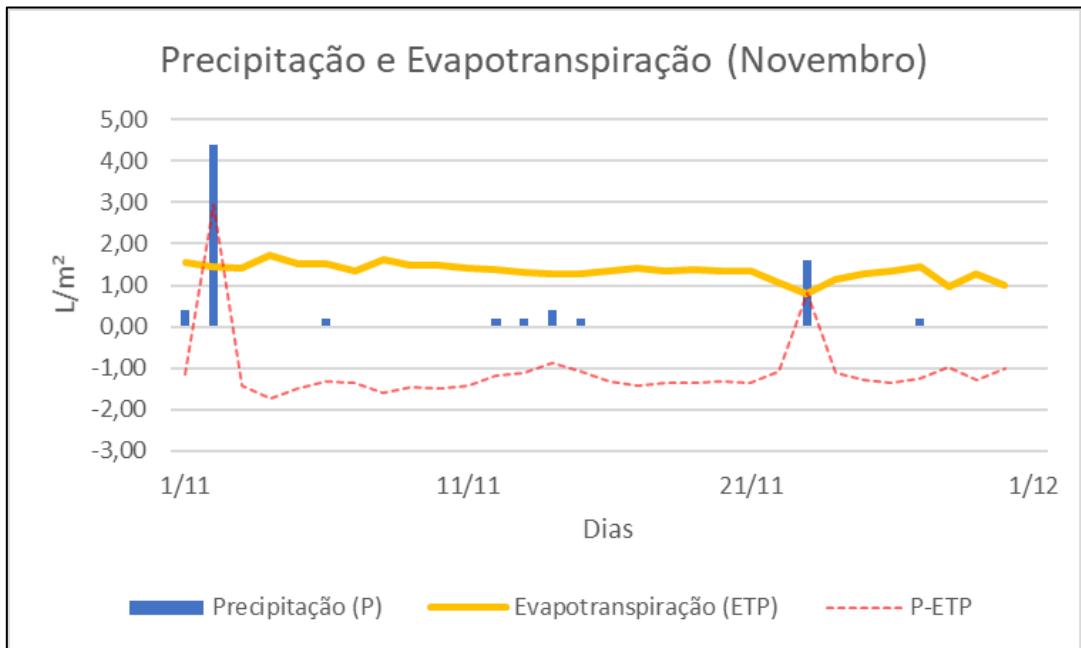
**Anexo 33: umidade a partir da sonda PR2 para o ponto S05 em m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.**  
**Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.**



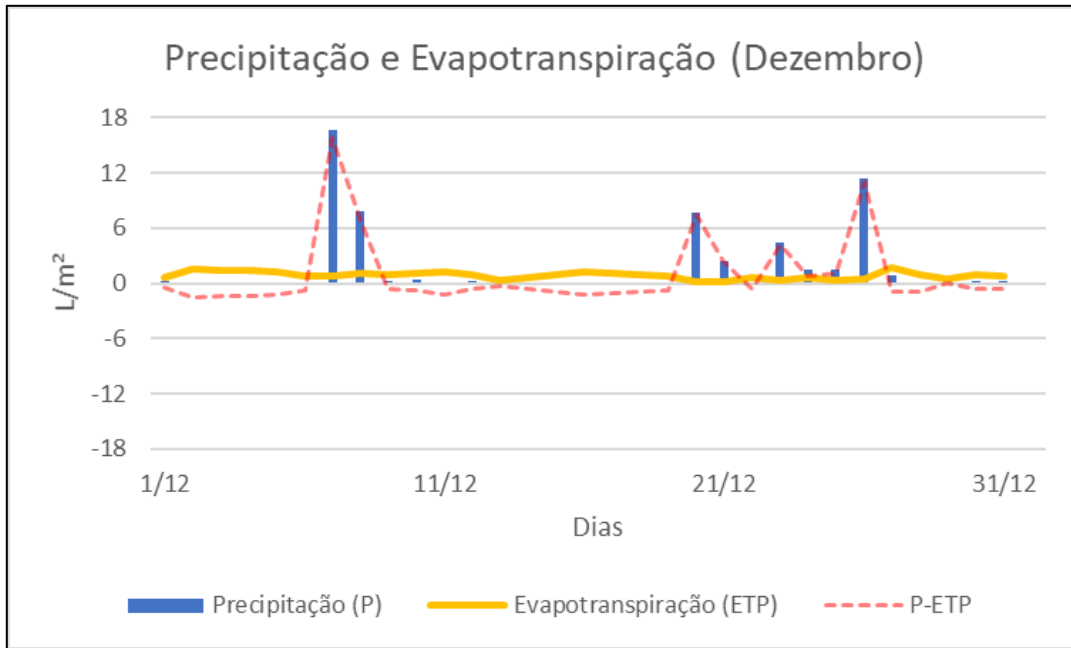
**Anexo 34: umidade a partir da sonda PR2 para o ponto S06 em m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.**  
**Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.**



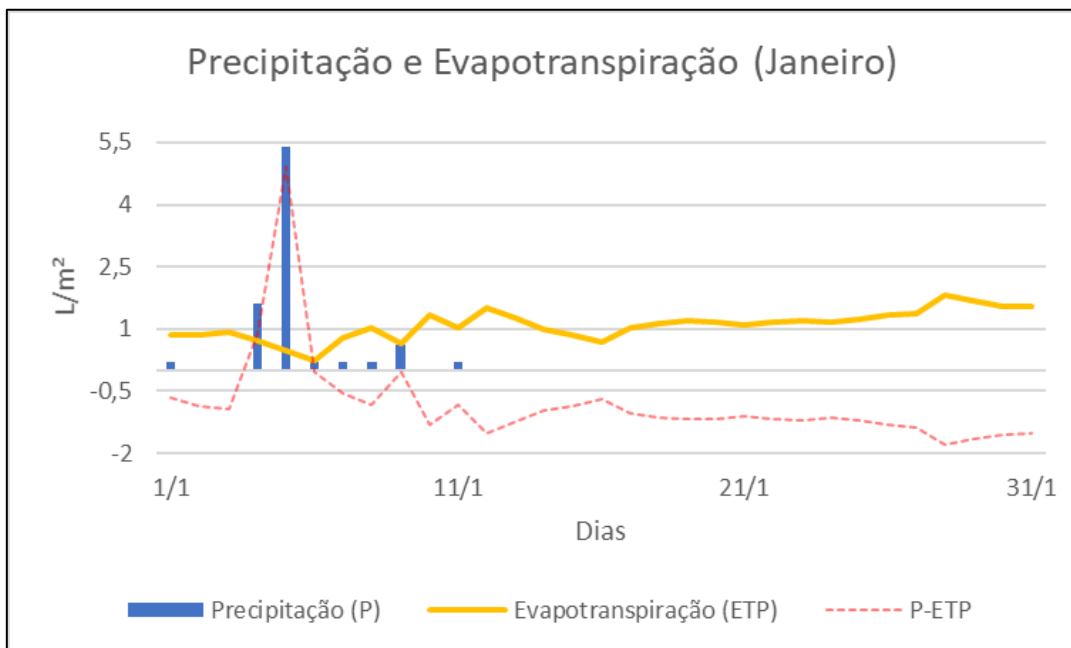
**Anexo 35: umidade a partir da sonda PR2 para o ponto S07 em m³/m³.**  
**Fonte: autor, 2022 a partir da sonda PR2 no software Excel.**



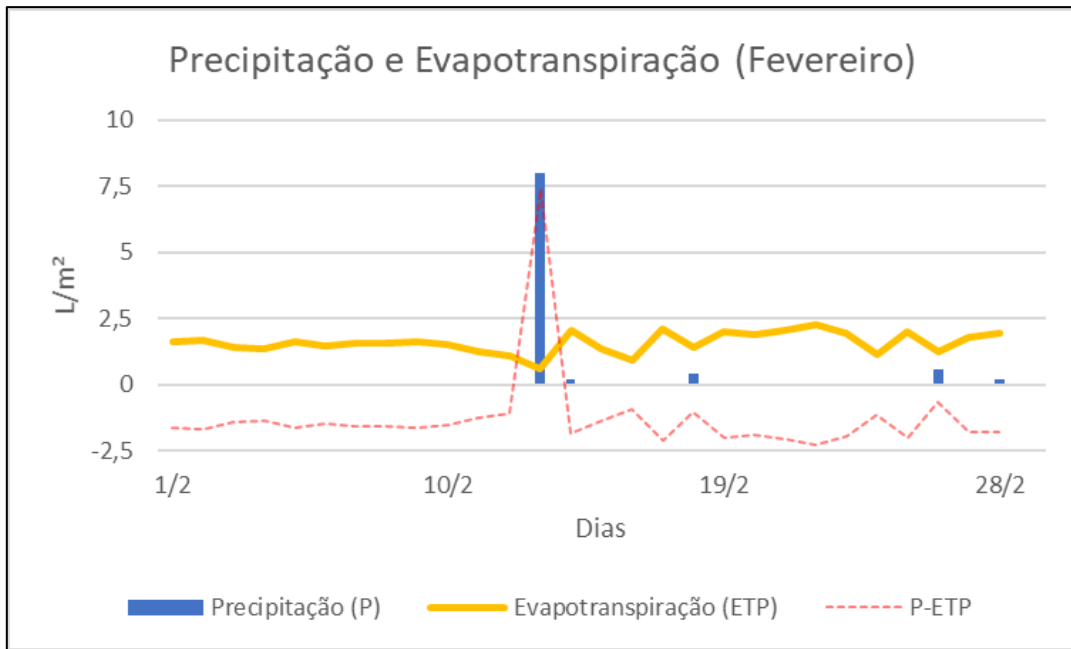
**Anexo 36: balanço hídrico para o mês de novembro de 2021.**  
**Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022.**



**Anexo 37: balanço hídrico para o mês de dezembro de 2021.**  
 Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022.



**Anexo 38: balanço hídrico para o mês de janeiro de 2022.**  
 Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022.



**Anexo 39: balanço hídrico para o mês de fevereiro de 2022.**  
**Fonte: autor, 2022; adaptado de ESAB, 2021 e 2022.**

DATA	HORA	PONTO	hs (cm)	hl+ha (cm)	ht (cm)	hss (cm)	ha (cm)	hl (cm)
22/11	11:00						20	-100
29/11	14:40						18	-102
6/12	10:05						20	-100
13/12	14:30	S01	16	120	14	134	32	-88
31/1	10:30						20	-100
14/2	14:50						30	-90
16/2	10:20						29	-91
22/11	11:00						6,3	-130,7
29/11	14:40						3,1	-133,9
6/12	10:05						2	-135
13/12	14:30	S02	13	-	137	0	12	-125
31/1	10:30						2,9	-134,1
14/2	14:50						6	-131
16/2	10:20						6	-131
22/11	11:00						25	-113
29/11	14:40						31	-107
6/12	10:05						27	-111
13/12	14:30	S03	12	-	138	0	33	-105
31/1	10:30						20	-118
14/2	14:50						35	-103
16/2	10:20						34	-104
22/11	11:00						5,5	-133,5
29/11	14:40						4,4	-134,6
6/12	10:05						4	-135
13/12	14:30	S04	11	-	139	0	7	-132
31/1	10:30						6,5	-132,5
14/2	14:50						17	-122
16/2	10:20						15	-124
22/11	11:00						1,2	-145,8
29/11	14:40						1,3	-145,7
6/12	10:05						2	-145
13/12	14:30	S05	3	-	147	0	6,5	-140,5
31/1	10:30						2,4	-144,6
14/2	14:50						5	-142
16/2	10:20						4,5	-142,5
22/11	11:00						115	-24
29/11	14:40						130,8	-8,2
6/12	10:05						122	-17
13/12	14:30	S07	11	-	139	0	133	-6
31/1	10:30						133	-6
14/2	14:50						137	-2
16/2	10:20						137	-2

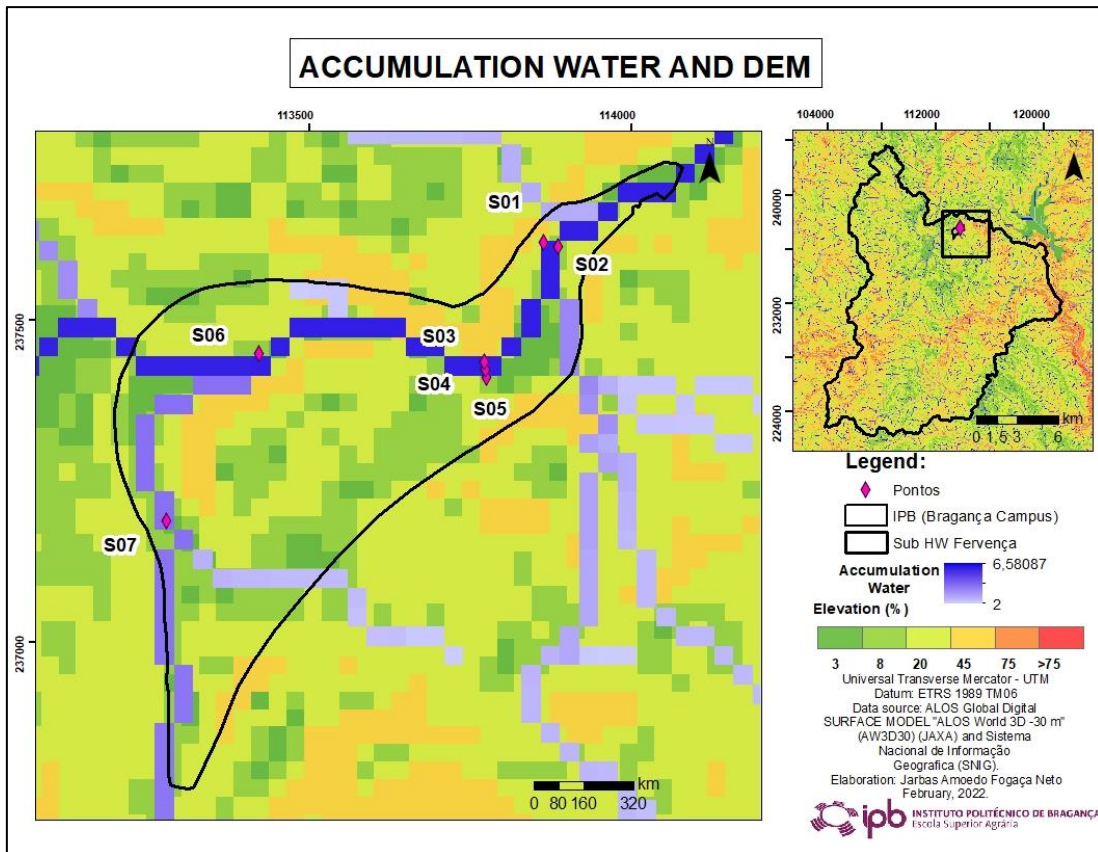
**Anexo 40: mensurações para relações da altura do lençol freático.**

**Fonte: autor, 2022; a partir do software Excel.**

DATA	S01		S02		S03		S04		S05		S07	
	Piez. (L/m <sup>2</sup> )	PR2 (L/m <sup>2</sup> )	Piez. (L/m <sup>2</sup> )	PR2 (L/m <sup>2</sup> )	Piez. (L/m <sup>2</sup> )	PR2 (L/m <sup>2</sup> )	Piez. (L/m <sup>2</sup> )	PR2 (L/m <sup>2</sup> )	Piez. (L/m <sup>2</sup> )	PR2 (L/m <sup>2</sup> )	Piez. (L/m <sup>2</sup> )	PR2 (L/m <sup>2</sup> )
1/7		153,5875		117,8833		148,1125		93,2		84,2		248,1667
22/11	199,8656	151,65	62,9576676	120,35	249,832	137,3417	54,96304	92,65	11,99194	96,53333	1149,227	303,3333
29/11	179,8791	140,2125	30,9791698	119,05	309,7917	147,425	43,97043	91,75	12,99126	92,9	1307,121	296,65
6/12	199,8656	155,9333	19,9865611	122,9833	269,8186	148,8	39,97312	95,175	19,98656	97,8	1219,18	294,775
13/12	319,785	155,9667	119,919367	121,7833	329,7783	148,7375	69,95296	98,975	64,95632	99,1125	1329,106	0
31/1	199,8656	138,725	28,9805136	123,7167	199,8656	152,025	64,95632	108,225	23,98387	110,1333	1329,106	286,6875
14/2	299,7984	153,7667	59,9596834	128,1167	349,7648	157,05	169,8858	102,9	49,9664	111,025	1369,079	273,275
16/2	289,8051	150,55	59,9596834	132,1667	339,7715	155,725	149,8992	102,25	44,96976	112,35	1369,079	290,625

**Anexo 41: influência freática relacionando tubos piezométricos e mensurações de umidade do solo Sonda PR2.**

**Fonte: autor, 2022; a partir da sonda PR2 Moisture; e do software Excel.**



**Anexo 42: Modelo Digital de elevação e acúmulo de água visando ponto de amostragem S07.**  
**Fonte: autor, 2022; adaptado de JAXA, 2020.**

```

#####
##### Script para RStudio para TESE #####
#####

##### Para altimetria original do IPB #####
##### a partir dos dados disponibilizados pelo IPB #####

## Utiliza-se atraves do Rcommander, a abertura do ficheiro em .CSV ##

library(Rcmdr)

altimetria_ipb <-
  readXL("C:/Users/Neto/Documents/IPB_C/TESE/SIG/ARCGIS_AMOEDO/EXCEL/
  ATTRIBUTE_TABLE/altimetria_pontos_original_ipb.xls",
         rownames=FALSE, header=TRUE, na="",
         sheet="altimetria_pontos_original_ipb", stringsAsFactors=TRUE)

## Atraves de Estatisticas> Resumo > Conjunto de dados ativos obtem-se ##
##### o resumo estatistico do ficheiro #####

summary(altimetria_ipb)

### Observa-se que nao ha observacoes faltantes para o ficheiro ###

sapply(altimetria_ipb, function(x)(sum(is.na(x)))) # NA counts

# Observa-se o resumo escolhendo apenas um parametro do ficheiro, neste
caso #
##### COTAS_CAD, referente as altimetrias #####

numSummary(altimetria_ipb[, "COTAS_CAD", drop=FALSE], statistics=c("mean",
"sd", "cv", "IQR", "quantiles"),
           quantiles=c(0, .25, .5, .75, 1))

### geracao do grafico boxplot para o parametro COTAS_CAD ###

Boxplot( ~ COTAS_CAD, data=altimetria_ipb, id=list(method="y"),
         main="Gráfico boxplot para altimetria da área do Campus do IPB.")

##### Para curva de nivel do Campus do IPB #####
##### a partir dos dados disponibilizados pelo IPB #####

### Utiliza-se atraves do Rcommander, a abertura do ficheiro em .CSV ###
library(Rcmdr)

CURVA_NIVEL <-
  readXL("C:/Users/Neto/Documents/IPB_C/TESE/SIG/ARCGIS_AMOEDO/EXCEL/
  ATTRIBUTE_TABLE/contour_lines_2m_altimetria_ipb.xls",
         rownames=FALSE, header=TRUE, na="",
         sheet="contour_lines_2m_altimetria_ipb", stringsAsFactors=TRUE)

## Atraves de Estatisticas> Resumo > Conjunto de dados ativos obtem-se ##
##### o resumo estatistico do ficheiro #####

summary(CURVA_NIVEL)

### Observa-se que nao ha observacoes faltantes para o ficheiro ###

```

**Anexo 43: Script RStudio, página 01.**

**Fonte: autor, 2022; a partir do *software* RStudio.**

```

sapply(CURVA_NIVEL, function(x) (sum(is.na(x)))) # NA counts

# Observa-se o resumo escolhendo apenas um parametro do ficheiro, neste
caso #
##### CONTOUR, referente as curvas de niveis #####

numSummary(CURVA_NIVEL[, "CONTOUR", drop=FALSE], statistics=c("mean", "sd",
"cv", "IQR", "quantiles"),
            quantiles=c(0, .25, .5, .75, 1))

##### geracao do grafico boxplot para o parametro CONTOUR #####

Boxplot( ~ CONTOUR, data=CURVA_NIVEL, id=list(method="y"),
        ylab="Altimetria (m)", main="Boxplot: Curva de Niveis")

##### Para modelo de elevação digital do Campus do IPB #####
##### a partir dos dados disponibilizados pela JAXA #####

# Utiliza-se atraves do Rcommander, a abertura do ficheiro em .CSV #

library(Rcmdr)

elevacao <-
  readXL("C:/Users/Neto/Documents/IPB_C/TESE/SIG/ARCGIS_AMOEDO/EXCEL/
ATTRIBUTE_TABLE/declividade_modelo_elevacao_ipb.xls",
        rownames=FALSE, header=TRUE, na="",
        sheet="declividade_modelo_elevacao_ipb", stringsAsFactors=TRUE)

## Atraves de Estatisticas> Resumo > Conjunto de dados ativos obtem-se ##
##### o resumo estatistico do ficheiro #####

summary(elevacao)

## Observa-se que nao ha observacoes faltantes para o ficheiro ##

sapply(elevacao, function(x) (sum(is.na(x)))) # NA counts

# Observa-se o resumo escolhendo apenas um parametro do ficheiro, neste
caso #
##### grid_code, referente a elevacao do terreno #####

numSummary(elevacao[, "grid_code", drop=FALSE], statistics=c("mean", "sd",
"cv", "IQR", "quantiles"),
            quantiles=c(0, .25, .5, .75, 1))

##### geracao do grafico boxplot para o parametro grid_code #####

Boxplot( ~ grid_code, data=elevacao, id=list(method="y"), ylab="Elevação
(%)",
        main="Gráfico boxplot para Modelo Digital de Elevação")

##### Para hipsometria do Campus do IPB #####
##### a partir dos dados disponibilizados pela JAXA #####

# Utiliza-se atraves do Rcommander, a abertura do ficheiro em .CSV ##

```

**Anexo 44: Script RStudio, página 02.**

**Fonte: autor, 2022; a partir do *software* RStudio.**

```

library(Rcmdr)

hipsometria <-
  readXL("C:/Users/Neto/Documents/IPB_C/TESE/SIG/ARCGIS_AMOEDO/EXCEL/
  ATTRIBUTE_TABLE/shade_relief_ipb_pontos.xls",
        rownames=FALSE, header=TRUE, na="",
        sheet="shade_relief_ipb_pontos",
        stringsAsFactors=TRUE)

### Atraves de Estatisticas> Resumo > Conjunto de dados ativos  obtem-se
###
##### o resumo estatistico do ficheiro #####

summary(hipsometria)

### Observa-se que nao ha observacoes faltantes para o ficheiro ###

sapply(hipsometria, function(x) (sum(is.na(x)))) # NA counts

# Observa-se o resumo escolhendo apenas um parametro do ficheiro, neste
caso #
##### gridcode, referente a elevacao do terreno #####

numSummary(hipsometria[, "grid_code", drop=FALSE], statistics=c("mean",
"sd",
                                                                    "IQR",
                                                                    "quantiles", "cv"),
           quantiles=c(0, .25, .5, .75, 1))

##### geracao do grafico boxplot para o parametro gridcode
#####

Boxplot( ~ gridcode, data=hipsometria, id=list(method="y"),
        ylab="Altura Hipsométrica (m)",
        main="Gráfico boxplot referente a Altura Hipsométrica do Campus do
IPB.")

#####
##### Caracterização da Sub Bacia Hidrográfica Rio Fervença #####
#####

## Para hipsometria da Sub Bacia Hidrografica Rio Fervença ##
##### a partir dos dados disponibilizados pela JAXA #####

## Utiliza-se atraves do Rcommander, a abertura do ficheiro em .CSV ##

library(Rcmdr)

altimetria_bh <-
  readXL("C:/Users/Neto/Documents/IPB_C/TESE/SIG/ARCGIS_AMOEDO/EXCEL/
  ATTRIBUTE_TABLE/altimetria_hw_fervenca_dem.xlsx",
        rownames=FALSE, header=TRUE, na="", sheet="Planilha",
        stringsAsFactors=TRUE)

## Atraves de Estatisticas> Resumo > Conjunto de dados ativos  obtem-se ##
##### o resumo estatistico do ficheiro #####

```

**Anexo 45: Script RStudio, página 03.**

**Fonte: autor, 2022; a partir do *software* RStudio.**

```

summary(altimetria_bh)

#### Observa-se que nao ha observacoes faltantes para o ficheiro ####
sapply(altimetria_bh, function(x) (sum(is.na(x)))) # NA counts

# Observa-se o resumo escolhendo apenas um parametro do ficheiro, neste
caso #
#### grid_code, referente a altitude da Sub Bacia Hidrografica ####
numSummary(altimetria_bh[, "grid_code", drop=FALSE], statistics=c("mean",
                                                                    "sd",
                                                                    "IQR", "quantiles", "cv"),
            quantiles=c(0, .25, .5, .75, 1))

### geracao do grafico boxplot para o parametro grid_code ###
Boxplot( ~ grid_code, data=altimetria_bh, id=list(method="identify"),
        ylab="Altitude (m)", main="Altitude (m) DEM AW3D N041007")

# Para Modelo de Elevacao Digital da Sub Bacia Hidrografica Rio Fervenca #
##### a partir dos dados disponibilizados pela JAXA #####

## Utiliza-se atraves do Rcommander, a abertura do ficheiro em .CSV ##

library(Rcmdr)

declividade.bh <-
  readXL("C:/Users/Neto/Documents/IPB_C/TESE/SIG/ARCGIS_AMOEDO/EXCEL/
  ATTRIBUTE_TABLE/declividade_modelo_elevacao_fervenca_hw_pontos.xlsx",
        rownames=FALSE, header=TRUE, na="",
        sheet="declividade_modelo_elevacao_fer", stringsAsFactors=TRUE)

##### o resumo estatistico do ficheiro #####

summary(declividade.bh)

## Observa-se que nao ha observacoes faltantes para o ficheiro ##
sapply(declividade.bh, function(x) (sum(is.na(x)))) # NA counts

# Observa-se o resumo escolhendo apenas um parametro do ficheiro, neste
caso #
#### grid_code, referente a declividade da Sub Bacia Hidrografica ###
numSummary(declividade.bh[, "grid_code", drop=FALSE], statistics=c("mean",
                                                                    "sd",
                                                                    "IQR",
                                                                    "quantiles",
                                                                    "cv"),
            quantiles=c(0, .25, .5, .75, 1))

```

**Anexo 46: Script RStudio, página 04.**

**Fonte:** autor, 2022; a partir do *software* RStudio.