



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UNIRIO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOTURISMO E CONSERVAÇÃO – PPGE

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS EM TRILHAS DE VISITANTES ATRAVÉS DE
IMAGENS DIGITAIS COMO ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO**

IGOR BASILIO SILVA

Rio de Janeiro
2021

Igor Basilio Silva

**Avaliação de impactos em trilhas de visitantes através de imagens digitais
como estratégia de conservação**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecoturismo e Conservação do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da UNIRIO, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: André Scarambone Zaú
Coorientador: Richieri Antonio Sartori

Rio de Janeiro
2021

Catálogo informatizada pelo(a) autor(a)

S24	<p>Silva, Igor Basilio Avaliação de impactos em trilhas de visitantes através de imagens digitais como estratégia de conservação / Igor Basilio Silva. -- Rio de Janeiro, 2021. 147 p.</p> <p>Orientador: André Scarambone Zaú. Coorientador: Richieri Antonio Sartori. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ecoturismo e Conservação, 2021.</p> <p>1. Fotografias hemisféricas. 2. Áreas protegidas. 3. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca. I. Zaú, André Scarambone, orient. II. Sartori, Richieri Antonio, coorient. III. Título.</p>
-----	--

Igor Basilio Silva

**Avaliação de impactos em trilhas de visitantes através de imagens digitais
como estratégia de conservação**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecoturismo e Conservação do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da UNIRIO, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Aprovada em ___/___/___

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Scarambone Zaú. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO

Prof. Dr. Bruno Francisco Teixeira Simões. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO

Prof. Dr. Rogério Ribeiro de Oliveira. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Profa. Dra. Ana Luiza Coelho Netto. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof. Dr. Reiner Olíbano Rosas. Universidade Federal Fluminense - UFF

Resumo

A utilização de trilhas em áreas naturais pode ser considerada a principal ligação entre o visitante e o ambiente natural. Porém, a pressão que essa atividade exerce nessas áreas podem causar impactos não só na trilha, como na estrutura florestal e no microclima local. O presente trabalho objetivou avaliar a estrutura florestal e padrões de luminosidade através da utilização da técnica de análise de fotografias hemisféricas, além de investigar a relação desses parâmetros com o uso de trilha de caminhantes. O trabalho foi realizado na trilha do Morro da Urca, localizada no Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro (22°57'05.79"S - 43° 09'50.62"W). Foram obtidos atributos estruturais do dossel florestal e parâmetros de luminosidade na trilha e dentro da mata, utilizando uma câmera fotográfica acoplada a uma lente Fisheye, orientada para cima e mantida a 1 metro acima do solo. Foram analisadas 35 parcelas de 20 metros de comprimento, totalizando 700 metros de trilha, onde também foram analisados atributos biofísicos da trilha, como largura e profundidade. Os resultados das análises indicaram diferenças significativas entre os ambientes “trilha” e “mata” (essa a 30 metros das margens da trilha), além de possíveis impactos causados pela trilha na mata. Os atributos biofísicos nas condições de análise influenciam a estrutura florestal e apresentaram relação com os índices de luminosidade. Esse conjunto de correlações apontam para um efeito de borda, pois a abertura do dossel na trilha influencia padrões estruturais e de luminosidade dentro da mata. Nossa proposta é auxiliar os gestores dessas áreas na tomada de decisões, além de elaborar totens interpretativos, com códigos digitais (QR-Codes), contendo fotografias informativas e dados ecológicos que possam ser interessantes para visitantes e frequentadores. Através dessa análise esperamos elaborar e implementar novas ferramentas que contribuam para a conscientização de visitantes em áreas protegidas, em especial no que tange às ações preventivas e corretivas para a conservação de áreas protegidas abertas ao público.

Palavras-Chave: Fotografias hemisféricas. Áreas protegidas. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca.

Abstract

The use of trails in natural areas can be considered the main link between the visitor and the natural environment. However, the pressure that this activity exerts in these areas can cause impacts not only on the trail, but also on the forest structure and the local microclimate. The present work aimed to evaluate the forest structure and light patterns using the technique of analysis of hemispheric photographs, in addition to investigating the relationship of these parameters with the use of a walker trail. The work was carried out on the Morro da Urca trail, located in the Natural Monument of the Pão de Açúcar and Urca Hills, Rio de Janeiro (22°57'05.79"S - 43°09'50.62"W). Structural attributes of the forest canopy and luminosity parameters were obtained on the trail and inside the forest, using a camera coupled to a fisheye lens, oriented upwards and kept 1 meter above the ground. 35 plots of 20 meters in length were analyzed, totaling 700 meters of trail, where biophysical attributes such as width and depth were also analyzed. The results of the analyzes indicated significant differences between the "trail" and "forest" environments, in addition to possible impacts caused by the trail in the forest. The biophysical attributes under the conditions of analysis influence the forest structure and were related to the luminosity indices. This set of correlations point to an edge effect, as the opening of the canopy on the trail influences structural and light patterns within the forest. Our proposal is to assist managers in these areas in decision-making, in addition to preparing interpretive totems, with digital codes (QR-Codes), containing informative photographs and ecological data relevant to visitors or frequenters interested. Through this analysis, we hope to develop and implement new tools that contribute to the awareness of visitors to protected areas, especially with regard to preventive and corrective actions for the conservation of protected areas open to the public.

Keywords: Hemispherical photography. Protected areas. Natural Monument of the Pão de Açúcar and Urca Hills.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO DOSSEL FLORESTAL. RESERVA ECOLÓGICA DE GUAPIAÇU - REGUA. CACHOEIRAS DE MACACU, RJ.	4
FIGURA 2 - CARACTERÍSTICAS DA TRANSFORMAÇÃO DE UMA PROJEÇÃO HEMISFÉRICA NO PLANO EM TRÊS DIMENSÕES SOBRE UM PLANO EM DUAS DIMENSÕES.....	10
FIGURA 3 - FOTOGRAFIA HEMISFÉRICA ILUSTRATIVA, MOSTRANDO UMA ABERTURA DE DOSSEL. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	11
FIGURA 4 – IMAGEM PANORÂMICA DO MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	18
FIGURA 5 - MORRO DO PÃO DE AÇÚCAR. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	19
FIGURA 6 - MORRO DA URCA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	20
FIGURA 7 - INAUGURAÇÃO DA PLACA COMEMORATIVA DA DATAÇÃO GEOCRONOLÓGICA DO MORRO DO PÃO DE AÇÚCAR, COM A PRESENÇA DA COMISSÃO ORGANIZADORA DO 31º CONGRESSO GEOLÓGICO INTERNACIONAL E REPRESENTANTES DA UNIÃO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS GEOLÓGICAS (IUGS), RIO DE JANEIRO.	21
FIGURA 8 - SINALIZAÇÃO DE SETA NO MORRO DA URCA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	27
FIGURA 9 - SINALIZAÇÃO INTERPRETATIVA NO MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DA URCA E DO PÃO DE AÇÚCAR, RIO DE JANEIRO, RJ.	28
FIGURA 10 - QR-CODE DE ACESSO PARA O SITE DO PROJETO DE PESQUISA.	29
FIGURA 11 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA TRILHA DO MORRO DA URCA EM AZUL, COM OS LIMITES DO MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA RIO DE JANEIRO EM VERMELHO E O LIMITE DA SUA ZONA DE AMORTECIMENTO EM AMARELO. RIO DE JANEIRO, RJ.....	31
FIGURA 12 - (A) PISTA CLAUDIO COUTINHO, CAMINHO DE ACESSO PARA A TRILHA DO MORRO DA URCA, (B) ENTRADA DA TRILHA DO MORRO DA URCA. RIO DE JANEIRO, RJ.....	32
FIGURA 13 - MAPA HIPSOMÉTRICO (ALTITUDE) DA ÁREA DE ESTUDO COM A DELIMITAÇÃO DA TRILHA DO MORRO DA URCA EM AZUL. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	32

FIGURA 14 - PERFIL TOPOGRÁFICO DA TRILHA DO MORRO DA URCA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	33
FIGURA 15 - TRECHO DA TRILHA DO MORRO DA URCA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	33
FIGURA 16 - ETAPAS DO PROJETO DE TRABALHO.	34
FIGURA 17 - CÂMERA CANON EOS 6D ACOPLADA A UMALENTE FISHEYE 8MM, COM SUPORTE DE TRIPÉ, UTILIZADA NO REGISTRO DAS IMAGENS HEMISFÉRICAS. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	35
FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS NA TRILHA DO MORRO DA URCA E DO TRANSECTO NA MATA, DISTÂNCIA DE 30 METROS DA TRILHA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	37
FIGURA 19 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE OBSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS, PARCELA DE 20M SUBDIVIDIDA À CADA 2M, COM A MARCAÇÃO DENTRO DA MATA A DIREITA E MEDIÇÕES DENDROMÉTRICAS AO CENTRO. AS MARCAS VERMELHAS REPRESENTAM AS MEDIÇÕES BIOFÍSICAS DA TRILHA, A CADA 10M.	38
FIGURA 20 – REGISTRO DE FOTOGRAFIA HEMISFÉRICA CAPTURADA COM AUXÍLIO DE NÍVEL DE BOLHA E BÚSSOLA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	39
FIGURA 21 - MARCAÇÃO DOS PONTOS DE CAPTURA DAS FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS NA ÁREA DE ESTUDO E DELIMITAÇÃO DA TRILHA DO MORRO DA URCA EM VERMELHO. FOTOGRAFIAS REGISTRADAS NO PERCURSO DA TRILHA EM AZUL E FOTOGRAFIAS REGISTRADAS NA ÁREA DA MATA EM AMARELO. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	40
FIGURA 22 - EXEMPLO DE FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS OBTIDAS COMLENTE HEMISFÉRICA 8 MM, CÂMERA CANON EOS 6D. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	41
FIGURA 23 - ETAPA DE REGISTRO E DEFINIÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES DA IMAGEM ATRAVÉS DO SOFTWARE GLA 2.0.	42
FIGURA 24 - DETERMINAÇÃO DO LIMIAR DE COR ATRAVÉS DO SOFTWARE RGBFISHEYE.	43
FIGURA 25- FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS APÓS A TRANSFORMAÇÃO EM IMAGENS BINÁRIAS.	43
FIGURA 26- ÚLTIMA ETAPA DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS ATRAVÉS DO SOFTWARE GLA 2.0.	44

FIGURA 27- RELATÓRIO DE CÁLCULO OBTIDO ATRAVÉS DO SOFTWARE GLA 2.0.....	46
FIGURA 28 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA ABERTURA DO DOSSEL (%) RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS. SHAPIRO WILK ($W = 0,944$, $p < 0,005$), MEDIANA = 11,44%. TESTES ELABORADOS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO), “CAMPUS 458”, URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	50
FIGURA 29 - BOXPLOT DA ABERTURA DO DOSSEL (%) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DO VALOR DE EXPOSIÇÃO (EV), COM AS VARIAÇÕES: -1, 0 E 1, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p = 0,018$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	51
FIGURA 30 - BOXPLOT DA ABERTURA DO DOSSEL (%) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE ABERTURA DALENTE (F), COM AS VARIAÇÕES: 4, 5,6 E 9, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p < 0,005$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	52
FIGURA 31 - BOXPLOT DA ABERTURA DO DOSSEL (%) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DA VELOCIDADE ISO, COM AS VARIAÇÕES:100, 200, 400, 800 E AUTO, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p < 0,005$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	53
FIGURA 32 - BOXPLOT DA ABERTURA DO DOSSEL (%) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DO GRAU DE EXPOSIÇÃO (GE), COM AS VARIAÇÕES: ALTA, BAIXA, NORMAL E OFF, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p = 0,752$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	54
FIGURA 33 - BOXPLOT DA ABERTURA DO DOSSEL (%) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DA VELOCIDADE DO OBTURADOR (S), COM AS VARIAÇÕES: 1/200, 1,500 E AUTO, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p = 0,116$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	55
FIGURA 34 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M^2/M^2) RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS. SHAPIRO WILK ($W = 0,944$, $p < 0,005$), MEDIANA = 2,66 (M^2/M^2). TESTES ELABORADOS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO), CAMPUS URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	57
FIGURA 35 - BOXPLOT DO ÍNDICE ÁREA FOLIAR (M^2/M^2) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DO VALOR DE EXPOSIÇÃO (EV), COM AS VARIAÇÕES: -1, 0 E +1, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p < 0,005$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	58
FIGURA 36 - BOXPLOT DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M^2/M^2) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DO DIÂMETRO DE ABERTURA DALENTE (F), COM AS VARIAÇÕES: 4, 5,6 E 9, RESULTANTE DA ANÁLISE	

DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p < 0,005$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	59
FIGURA 37 - BOXPLOT DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M^2/M^2) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DA VELOCIDADE ISO, COM AS VARIAÇÕES: 100, 200, 400, 800 E AUTO, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p < 0,005$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	60
FIGURA 38 - BOXPLOT DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M^2/M^2) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DO GRAU DE EXPOSIÇÃO (GE), COM AS VARIAÇÕES: ALTA, BAIXA, NORMAL E OFF, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p = 0,779$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	61
FIGURA 39 - BOXPLOT DO ÍNDICE DE ÁREA (M^2/M^2) FOLIAR EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE VELOCIDADE DO OBTURADOR (S), COM AS VARIAÇÕES: 1/200, 1/500 E AUTO, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p = 0,104$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	62
FIGURA 40 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL (MOLS M-2 D-1), RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS. SHAPIRO WILK ($W = 0,834$, $p < 0,005$), MEDIANA = 4,08 (MOLS M-2 D-1). TESTES ELABORADOS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO), “CAMPUS458”, URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	64
FIGURA 41 - BOXPLOT DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL (MOLS M-2 D-1) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DO VALOR DE EXPOSIÇÃO (EV), COM AS VARIAÇÕES: -1, 0 E 1, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p = 0,054$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	65
FIGURA 42 - BOXPLOT DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL (MOLS M-2 D-1) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE ABERTURA DA LENTE (F), COM AS VARIAÇÕES: 4, 5,6 E 9, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p < 0,005$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	66
FIGURA 43 - BOXPLOT DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL (MOLS M-2 D-1) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE VELOCIDADE ISO, COM AS VARIAÇÕES: 100, 200, 400, 800, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS ($p < 0,005$). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	67
FIGURA 44 - BOXPLOT DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL (MOLS M-2 D-1) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DO GRAU DE EXPOSIÇÃO (GE), COM AS VARIAÇÕES: ALTA, BAIXA, NORMAL	

E OFF, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS (P = 0,899). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	68
FIGURA 45 - BOXPLOT DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL (MOLS M-2 D-1) EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE VELOCIDADE DO OBTURADOR (S), COM AS VARIAÇÕES: 1/200, 1/500 E AUTO, RESULTANTE DA ANÁLISE DE 132 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. KRUSKAL-WALLIS (P = 0,131). RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	69
FIGURA 46 - FOTOGRAFIAS REGISTRADAS DURANTE O PROCESSO DE TESTE. CONFIGURAÇÕES: (A) F:5,6 / EV: 1, (B) F:5,6/EV:0, (C) F:5,6: EV:-1, (D) F: 4/EV:-1, (E) F:4/EV:0, (F) F:4/EV:1. CÂMERA: CANON EOS6D, LENTE: FISHEYE 8MM. RIO DE JANEIRO, RJ.	72
FIGURA 47 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA ABERTURA DE DOSSEL (%) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	74
FIGURA 48 - GRÁFICO BOXPLOT DA ABERTURA DE DOSSEL (%) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	74
FIGURA 49 - FOTOGRAFIA HEMISFÉRICA CAPTURADA NA PARCELA 15 DO PERCURSO DA TRILHA DO MORRO DA URCA, COM GRANDE ABERTURA DE DOSSEL. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA. RIO DE JANEIRO, RJ.	75
FIGURA 50 - GRÁFICO BOXPLOT LOGARITIMIZADO DA ABERTURA DE DOSSEL NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	76
FIGURA 51 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M ² /M ²) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	77
FIGURA 52 - GRÁFICO BOXPLOT DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M ² /M ²) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	78
FIGURA 53 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA (MOLS M-2 D-1) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	79
FIGURA 54 - GRÁFICO BOXPLOT PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA (MOLS M-2 D-1) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	80

FIGURA 55 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA (MOLS M-2 D-1) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	81
FIGURA 56 - GRÁFICO BLOXPOT PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA (MOLS M-2 D-1) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	82
FIGURA 57 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL (MOLS M-2 D-1) NOS DOIS AMBIENTES DA ÁREA DE ESTUDO, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	83
FIGURA 58 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA A PROFUNDIDADE DA TRILHA (CM) DO MORRO DA URCA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	83
FIGURA 59 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA A LARGURA DA TRILHA (M) DO MORRO DA URCA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	84
FIGURA 60 - MATRIZ DE DISPERSÃO DOS PARÂMETROS DO DOSSEL NA ÁREA DE ESTUDO. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	86
FIGURA 61 - GRÁFICO COM PERCENTAGEM DAS EXPLICAÇÕES EM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES NO AMBIENTE DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	87
FIGURA 62 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS A=ALTURA, AD=ABERTURA DE DOSSEL, DAP=DÍAMETRO A ALTURA DO PEITO, IAF=ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, L=LARGURA, P=PROFUNDIDADE, TD= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA E TF= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA, NA PRIMEIRA DIMENSÃO, NO AMBIENTE DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	88
FIGURA 63 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS A=ALTURA, AD=ABERTURA DE DOSSEL, DAP=DÍAMETRO A ALTURA DO PEITO, IAF=ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, L=LARGURA, P=PROFUNDIDADE, TD= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA E TF= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA, NA SEGUNDA DIMENSÃO, NO AMBIENTE DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	88
FIGURA 64 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS INDICANDO O COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS E DAS RESPECTIVAS PARCELAS NO AMBIENTE DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	89

FIGURA 65 - GRÁFICO COM PERCENTAGEM DAS EXPLICAÇÕES EM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES NO AMBIENTE DA MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	90
FIGURA 66 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS A=ALTURA, AD=ABERTURA DE DOSSEL, DAP=DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, IAF=ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, TD= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA E TF= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA, NA PRIMEIRA DIMENSÃO, NO AMBIENTE DA MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	91
FIGURA 67 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS A=ALTURA, AD=ABERTURA DE DOSSEL, DAP=DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, IAF=ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, TD= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA E TF= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA, NA SEGUNDA DIMENSÃO, NO AMBIENTE DA MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	91
FIGURA 68 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS INDICANDO O COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS E DAS RESPECTIVAS PARCELAS NO AMBIENTE DA MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	92
FIGURA 69 - GRÁFICO COM A PERCENTAGEM DAS EXPLICAÇÕES EM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES NOS DOIS AMBIENTES, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	93
FIGURA 70 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS A=ALTURA, AD=ABERTURA DE DOSSEL, DAP=DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, IAF=ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, TD= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA E TF= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA, NA PRIMEIRA DIMENSÃO, NOS DOIS AMBIENTES, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	94
FIGURA 71 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS A=ALTURA, AD=ABERTURA DE DOSSEL, DAP=DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO, IAF=ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, TD= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA E TF= TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA, NA SEGUNDA DIMENSÃO, NOS DOIS AMBIENTES, TRILHA E MATA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	94
FIGURA 72 - GRÁFICO COM NÚMERO IDEAL DE GRUPOS PARA DIVIDIR AS PARCELAS HIERARQUICAMENTE. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.....	95

FIGURA 73 - GRÁFICO COM AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO DAS PARCELAS NA TRILHA DO MORRO DA URCA, ELABORADO ATRAVÉS DO ALGORITMO SIMPLE-LINK. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	96
FIGURA 74 - ESQUEMA ILUSTRATIVOS DAS INTERAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS NA ÁREA DE ESTUDO. A = ALTURA DAS ESPÉCIES ARBÓREAS, AD = ABERTURA DE DOSSEL, DAP = DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS, IAF = ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, IL= INCIDÊNCIA LUMINOSA, L = LARGURA DA TRILHA E P = PROFUNDIDADE DA TRILHA. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA. RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	97
FIGURA 75 – MAPA COM SIMBOLOGIAS PERSONALIZADAS DA ABERTURA DO DOSSEL NA TRILHA DO MORRO DA URCA E NO TRANSECTO PARALELO A 30 METROS. RIO DE JANEIRO, RJ.	98
FIGURA 76 – MAPA COM SIMBOLOGIAS PERSONALIZADAS DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NA TRILHA DO MORRO DA URCA E NO TRANSECTO PARALELO A 30 METROS. RIO DE JANEIRO, RJ.	99
FIGURA 77 – MAPA COM SIMBOLOGIAS PERSONALIZADAS DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA NA TRILHA DO MORRO DA URCA E NO TRANSECTO PARALELO A 30 METROS. RIO DE JANEIRO, RJ.	100
FIGURA 78 - DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS REALIZADOS NA ÁREA DE ESTUDO. MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	101
FIGURA 79 – LOCALIZAÇÃO DA TRILHA DO MORRO DA URCA E SUA ÁREA DE INFLUÊNCIA, COM OS PONTOS DE REGISTRO DAS FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS.	102
FIGURA 80 - ANÁLISE GEOESTATÍSTICA, ATRAVÉS DA TÉCNICA DE KRIGAGEM, DA ABERTURA DE DOSSEL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	103
FIGURA 81 -ANÁLISE GEOESTATÍSTICA, ATRAVÉS DA TÉCNICA DE KRIGAGEM, DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	104
FIGURA 82 - ANÁLISE GEOESTATÍSTICA, ATRAVÉS DA TÉCNICA DE KRIGAGEM, DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	105
FIGURA 83 - ANÁLISE GEOESTATÍSTICA, ATRAVÉS DA TÉCNICA DE KRIGAGEM, DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	106

FIGURA 84 - ANÁLISE GEOESTATÍSTICA, ATRAVÉS DA TÉCNICA DE KRIGAGEM, DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA TOTAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	107
FIGURA 85 - LAYOUT DA PÁGINA INICIAL DA PLATAFORMA ONLINE.....	109
FIGURA 86 - LAYOUT DO GRUPO DE VISITANTES NA PLATAFORMA ONLINE.....	110
FIGURA 87 - LAYOUT DA PLATAFORMA ONLINE, CONTENDO A SESSÃO DE CONTATO COM O GRUPO DE PESQUISA.	111
FIGURA 88 - LAYOUT DA PLATAFORMA ONLINE CONTENDO INFORMAÇÕES DA DISTÂNCIA PERCORRIDA ATÉ O TRECHO 23 E DA DISTÂNCIA RESTANTE PARA COMPLETAR O PERCURSO DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	112
FIGURA 89 - LAYOUT DA PLATAFORMA ONLINE CONTENDO O VÍDEO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA ATÉ O TRECHO 23 E DA DISTÂNCIA RESTANTE PARA COMPLETAR O PERCURSO DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO RJ.	113
FIGURA 90 - LAYOUT DA PLATAFORMA ONLINE CONTENDO FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS DO TRECHO 23 DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.	114
FIGURA 91 - LAYOUT DA PLATAFORMA ONLINE CONTENDO INFORMAÇÕES AMBIENTAIS E BIOFÍSICAS DO TRECHO 23 DA TRILHA DO MORRO DA URCA E A MÉDIA DO TRAJETO DA TRILHA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	115
FIGURA 92 - LAYOUT DA PLATAFORMA ONLINE CONTENDO A LEGENDA DOS GRÁFICOS.	116
FIGURA 93 - LAYOUT DA PLATAFORMA ONLINE CONTENDO MAPAS E IMAGENS DA ÁREA DE ESTUDO.....	116
FIGURA 94 - QR-CODE DA PLATAFORMA ONLINE, REFERENTE AO TRECHO 23 DA TRILHA DO MORRO DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ.....	117

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CONFIGURAÇÕES DA CÂMERA MAIS ADEQUADAS PARA ESTIMATIVA DA ABERTURA DO DOSSEL (%) EM AMBIENTES DE FLORESTA OMBRÓFILA Densa. CÂMERA: CANON EOS6D, LENTE: FISHEYE 8MM. RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	56
TABELA 2 - CONFIGURAÇÕES DA CÂMERA MAIS ADEQUADAS PARA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M ² /M ²) EM AMBIENTES DE FLORESTA OMBRÓFILA Densa. CÂMERA: CANON EOS6D, LENTE: FISHEYE 8MM. RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	63
TABELA 3 – CONFIGURAÇÕES DA CÂMERA MAIS ADEQUADAS PARA ESTIMATIVA DA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA (MOLS M ⁻² D ⁻¹) EM AMBIENTES DE FLORESTA OMBRÓFILA Densa. CÂMERA: CANON EOS6D, LENTE: FISHEYE 8MM. RIO DE JANEIRO, RJ. 2020.	70
TABELA 4 - MELHORES CONFIGURAÇÕES DA CÂMERA PARA ESTUDOS AMBIENTAIS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa, ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS. CÂMERA: CANON EOS6D, LENTE: FISHEYE 8MM. RIO DE JANEIRO, RJ.	71
TABELA 5 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN.	85

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Objetivos.....	3
3	Referencial teórico	4
3.1	Estrutura florestal	4
3.2	Luminosidade.....	6
3.3	Fotografias hemisféricas	8
3.4	A câmera digital e o equipamento fotográfico.....	13
3.5	Geotecnologias, geociências e elaboração cartográfica.....	15
3.6	Fragmentos florestais urbanos	16
3.7	Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca.....	18
3.8	Utilização de trilhas	24
3.9	Sinalização de trilhas.....	26
3.10	QR-Codes	29
4	Métodos.....	30
4.1	Descrição da área de estudo.....	30
4.2	Descrição das etapas de estudo	34
4.3	Preparação e calibragem dos equipamentos	35
4.4	Coleta de dados em campo.....	39
4.5	Processamento de imagens.....	42
4.6	Análise estatística.....	46
4.7	Análise geoestatística	47
4.8	Elaboração cartográfica.....	48
4.9	Elaboração de Qr-Codes	48
4.10	Elaboração de totens interpretativos	49
5	Resultados e Discussão	49

6	Aplicação da pesquisa.....	118
7	Conclusão.....	119

1 Introdução

A utilização de trilhas em áreas naturais tem sido uma das práticas de turismo mais procuradas por visitantes que visam ter um contato maior com a natureza; sendo um dos principais indutores de lazer, contemplação, ecoturismo e educação ambiental em unidades de conservação (AZEREDO e ZAÚ, 2017). As trilhas em áreas naturais são a principal ligação entre o visitante e o ambiente natural, e esse uso vem se tornando cada vez mais intenso e constante (BALMFORD *et al.*, 2009). Elas podem conduzir o visitante aos atrativos, ou ainda, ser o próprio atrativo. Porém, o aumento dessa procura pode causar diversos impactos às áreas protegidas (EISENLOHR *et al.*, 2013).

Devido a maior pressão que o uso das trilhas pode promover em Unidades de Conservação (UCs), alguns estudos apontam que o uso direto dessas áreas pode causar alterações significativa no ambiente, apesar da contribuição para a promoção da conscientização da população, no que se refere à conservação desses ambientes (e.g. FIGUEIRÓ e COELHO NETO, 2009; REZENDE e CUNHA, 2014). Existem alguns danos decorrentes da utilização de trilhas que são mais comuns. Dentre esses, podemos citar a compactação do solo, a erosão, a criação de pontos de alagamento e a expansão excessiva da sua largura. Esses elementos são considerados os tipos mais comuns de impactos negativos em trilhas (COLE e LANDRES, 1995; MONZ, 1999). Ainda nessa linha, a utilização de trilhas para caminhantes também pode afetar a estrutura florestal (ZAÚ *et al.*, 2015), pelo menos nas imediações da mesma (SILVA, 2017).

Um das maneiras de avaliar a estrutura florestal e seus componentes é através da captura e análise de fotografias hemisféricas¹. Nesse método de avaliação, as fotografias são processadas através de softwares específicos, fornecendo vários atributos da estrutura florestal, tais como regime de radiação solar, abertura do dossel e índice de área foliar (BEAUDET e MESSIER, 2002). Os resultados obtidos através desse processo podem ser analisados conjuntamente com análises das condições biofísicas da trilha (ex. largura e profundidade da calha), assim como análises físicas da vegetação (DAP² e altura) e florísticas do local, fornecendo informações que

¹ Fotografias obtidas através de uma câmera fotográfica acoplada a uma lente Fisheye, orientada para cima, fornecendo um campo de visão de até 180°.

² . Diâmetro da árvore a 1,30 metros de altura em relação ao nível do solo.

possibilitam quantificar o impacto gerado na estrutura florestal através do uso de trilhas em UCs e áreas de visitação (SILVA, 2017).

Excluindo-se casos de trilhas em locais mais remotos (BRADFORD, 2019), via de regra, para que as trilhas tenham uso adequado e causem o mínimo impacto, realizando seu papel integralizador entre visitante e ambiente natural, a sinalização torna-se um agente essencial. Em muitas UCs e áreas de uso público visitantes não contam com o auxílio de guias. Especialmente nesse sentido, as placas servem como principal meio de comunicação entre o visitante e os gestores da área (OLIVEIRA e BLOOMFIELD, 1999). A sinalização pode se restringir a oferecer informações sobre localização, acesso, alertas sobre áreas de risco, regras e proibições ou ainda, servir como instrumento para a interpretação ambiental e educação ambiental (MENEZES, 2014). Nesse contexto, estudos de percepção e interpretação de elementos da paisagem podem ser importantes ferramentas para os gestores de áreas protegidas, para o ecoturismo e para as pesquisas sobre educação ambiental, tendo a paisagem como ambiente cognitivo através de experiências ambientais.

Dentro do cenário da educação, ressaltamos a importância de uma educação ambiental (EA) comprometida socialmente, que contribua para a compreensão de relações entre ambiente, sociedade e sentido de valores humanos, possibilitando assim, uma nova lógica para se olhar e compreender o mundo e os fenômenos em busca por soluções relacionadas aos problemas ambientais. Dessa maneira, a EA é essencial para elaboração e implementação de uma gestão participativa em UCs (ANDRADE e SORRENTINO, 2013; DIAS, 2004; LOUREIRO, 2004). Dentre as estratégias relevantes adotadas para a EA em UCs, estão as placas informativas, desde que devidamente enquadradas ao perfil ambiental da área sinalizada e considerando sua dinâmica de uso (MURTA e GOODEY, 1995; NEIMAN, 2012).

A proposição de placas interpretativas no âmbito deste trabalho se dá por meio de QR-Codes³, que disponibilizam acesso à uma plataforma digital com diversas imagens e informações ambientais do ambiente local. É uma nova e complementar ferramenta de EA, além de auxiliar gestores de áreas protegidas em tomadas de decisões. Essa plataforma disponibiliza informações e dados ambientais em diferentes níveis de complexidade, de acordo com o interesse de cada turista.

Neste trabalho avaliamos e quantificamos eventuais impactos da Trilha do Morro da Urca na área ao seu entorno, caracterizando esse processo como um efeito de borda. Esperamos ainda

³ Código de barras bidimensional, que pode ser facilmente escaneado usando a maioria dos telefones celulares equipados com câmera.

disponibilizar as informações para eventuais visitantes e frequentadores interessados de uma maneira inovadora, contribuindo assim, para uma postura ambiental mais consciente por partes dos usuários, de forma a amenizar tais impactos no local.

2 Objetivos

➤ Geral

Elaborar e implementar ferramentas de análise de parâmetros ambientais, que contribuam com gestores de áreas protegidas na tomada de decisões e para a conscientização de visitantes em áreas protegidas, em especial no que tange às ações preventivas e corretivas para a conservação de ambientes naturais de uso público.

➤ Específicos:

1. Caracterizar a estrutura florestal do percurso da Trilha do Morro da Urca;
2. Consolidar as informações a respeito de dados biofísicos da trilha;
3. Avaliar possíveis impactos causados na estrutura florestal devido à trilha de caminhantes no Morro da Urca;
4. Buscar contribuir para a divulgação de informações acerca de temas biológicos, ecológicos e geológicos pertinentes, em relação a área de estudo;
5. Ampliar a divulgação e o aperfeiçoamento da técnica de utilização de fotografias hemisféricas para estudo ambientais.
6. Elaborar material cartográfico, a partir de técnicas geoestatísticas, com base nas avaliações efetuadas;
7. Gerar conteúdo digital para a elaboração de uma plataforma online, que disponibilize informações técnicas e fotografias informativas.
8. Elaborar modelos de totens interpretativos, contendo códigos digitais (QR-Codes) que dão acesso a plataforma. Avaliando a possibilidade da implementação dos totens ao longo da trilha do Morro da Urca.

3 Referencial teórico

3.1 Estrutura florestal

Floresta é o termo popularmente utilizado para definir qualquer vegetação que apresente predominância de indivíduos lenhosos, tendo como um dos principais componentes da sua estrutura o “Dossel” (RUSSEL *et al.*, 1989; GUARIGUATA e OSTERTAG, 2001). Esse, é o nome atribuído à cobertura superior de uma floresta (Figura 1), sendo formado pelas copas das árvores (LOWMAN, 2009). A variação dessa estrutura varia em diferentes níveis de escala, como, fração de segundos/minutos (vento, água etc.), estações (fenologia, restrições ambientais) ou até anos (dinâmica do ecossistema) (WEISS *et al.*, 2004). Diversos processos locais como ciclagem de nutrientes, hidrologia, polinização e herbivoria estão diretamente interligados com seus componentes (COXCON e NADKARNI, 1995).

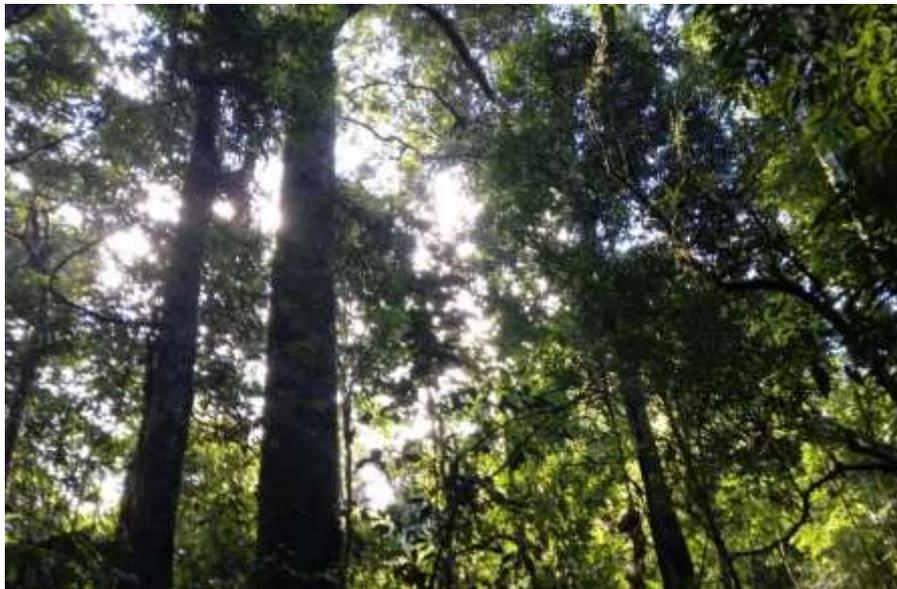


Figura 1 – Representação do dossel florestal. Reserva Ecológica de Guapiaçu - REGUA. Cachoeiras de Macacu, RJ. Fonte: Silva (2017).

Diversos fatores climáticos como o comportamento do vento e intensidade luminosa são influenciados diretamente pela arquitetura do dossel, contribuindo para definir o espectro de

microclimas florestais encontrados dentro de determinado ambiente (MENDES, 2008). “O microclima florestal pode ser entendido como o espaço entre o topo do solo e a copa das árvores, possuindo características climáticas diferenciadas” (D’ARROCHELLA *et al.*, 2009, p. 3). Esses espaços possuem áreas reduzidas em termos de escala, variando de alguns centímetros, até algumas dezenas de metros quadrados (GEIGER, 1961). Os microclimas são habitats complexos sendo compostos pela flora local e por diversos outros organismos, como, insetos, fauna vertebrada e seres humanos (WELLES, 1990).

Estima-se que a maior biodiversidade das florestas se encontra na área do dossel florestal, contendo, segundo estimativas, até 70% das formas de vida das florestas tropicais (SCHMINK e GARCÍA, 2016). Um dos melhores exemplos são as epífitas, muitas das quais fazem pequenos ecossistemas próprios. Além disso, dez por cento de todas as espécies de plantas vasculares habitam a região do dossel (KRESS, 1986). A configuração tridimensional do dossel contribui diretamente para essa grande diversidade, oferecendo condições de nichos e estratificação vertical (OZANNE *et al.*, 2003). O padrão e a intensidade de luz abaixo do dossel também são fortemente influenciados pelas espécies que habitam essa região (VÁZQUEZ, 1990), conseqüentemente, elas afetam a temperatura superficial do solo, a germinação e o estabelecimento de espécies (GUARIGUATA e OSTERTAG, 2001). Por sua vez, a produção primária, transpiração, troca de energia e outros atributos relevantes para uma série de processos ecossistêmicos são controlados pela área foliar do dossel (ASNER *et al.*, 2003).

Mesmo com as tecnologias atuais, pesquisas em torno do dossel florestal ainda são dificultadas por conta de questões envolvendo logística, altura das árvores e processos de amostragem mais custosos ou mais complexos devido à acessibilidade em áreas mais densas (LOWMAN e MOFFETT, 1993; LOWMAN, 2009). Nesse sentido, a utilização de câmeras digitais e os chamados Veículos Aéreos não Tripulados (Vants), permitem aumentar a capacidade de avaliação no tempo e espaço de áreas experimentais, além de auxiliar no manejo e na tomada de decisões (HERWITZ *et al.*, 2004; ZHANG e KOVACS, 2012). Sistemas de aquisição e análise de imagens usando Vants já foram descritos e utilizados, por exemplo, na estimativa do índice de área foliar (BALLESTEROS *et al.*, 2014; CÓRCOLES *et al.*, 2013).

Questões de extrema importância ambiental como mudanças climáticas, conservação da biodiversidade e as interações da floresta, necessitam de coleta de dados do dossel, tanto acima como abaixo, sendo assim, as abordagens de pesquisa se tornaram mais voltadas para a orientação experimental e preditiva (LOWMAN, *op.cit.*; WINKLER *et al.*, 2005).

3.2 Luminosidade

A relação entre o dossel florestal, com sua estrutura formada por uma séria de camadas de folhas e a sua capacidade de absorção de incidência luminosa, segue o princípio da Lei de Lambert–Beer (BEAUDET e MESSIER, 2002), que estabelece uma relação entre a absorvência de uma solução e a sua concentração, quando atravessada por uma radiação luminosa monocromática colimada (raios luminosos paralelos). É uma medida da capacidade que uma espécie química tem de absorver a radiação para um determinado comprimento de onda (LIMA, 2013).

Interações entre a radiação incidente e elementos do dossel são extremamente complexos e descritos por três principais mecanismos físicos: reflexão, absorção e transmissão. A radiação solar refletida no domínio óptico é comumente utilizada em estudos da vegetação, de modo que a reflectância de dosséis depende de propriedades radiativas das folhas, outros elementos não fotossintéticos do dossel e da sua organização espacial (GENDRON *et al.*, 1998). Mecanismos que influenciam a reflectância da folha são bem compreendidos, porém, em nível de dossel continua sendo um desafio, devido a múltiplas interações entre elementos e sua estrutura (KABAKOFF e CHAZDON, 1996). Nesse sentido, a estimativa mais utilizada para caracterizar a estrutura do dossel, é o Índice de Área Foliar (IAF)⁴, tal índice pode descrever amplamente os efeitos da sua estrutura (MACFARLANE *et al.*, 2007).

De acordo com Jones e Vaughan (2010), a reflexão da radiação eletromagnética de dosséis depende das propriedades radiativas dos componentes individuais da vegetação, da orientação da encosta, latitude, época do ano, condições atmosféricas, fitossanidade, bem como, folhas, galhos, troncos, água e sombra, e ainda, da arquitetura da copa. A interpretação de dados de dosséis florestais exige conhecimento de fatores internos e externos, o qual são considerados o tamanho da área de visão do sensor, ângulos de iluminação, nebulosidade e velocidade do vento, além das propriedades ópticas da superfície do solo e arquitetura do dossel (GUYOT *et al.*, 1989). Além disso, a organização e arranjo espacial das folhas no dossel afeta diretamente a quantidade de luz absorvida pelo sistema (KÜPPERS, 1994; WOODGATE *et al.*, 2015).

A distribuição de propriedades ópticas também pode ser considerada como parte integrante da estrutura do dossel (WEISS *et al.*, 2004). A distribuição de luz dentro do dossel influencia um grande número de funções fisiológicas, como fotossíntese, transpiração e abertura estomática

⁴ Estimativa da biomassa de toda a parte vegetativa de planta.

(EVANS e COOMBE, 1959). Essas interações entre luz e vegetação têm sido amplamente estudadas por suas implicações na fisiologia das plantas e sensoriamento remoto (SINOQUET *et al.*, 1998). Dentro das florestas, a variação da vegetação associada à variação da transmissão de luz afeta o crescimento e a mortalidade de mudas de árvores e plantas (MONTGOMERY e CHAZDON, 2002). Por outro lado, a composição das espécies da copa pode influenciar significativamente a transmitância de luz, principalmente em áreas de abertura ou ausência de dossel (KABAKOFF e CHAZDON, 1996).

O estudo da intensidade luminosa pode ser aplicado em diversos aspectos ambientais mais específicos, entre eles, polinização, cultivo de mudas e regeneração vegetal de áreas degradadas. No caso da polinização, a intensidade luminosa é um fator determinante. Verifica-se, por exemplo, que a polinização por abelhas, um dos principais polinizadores conhecidos, entre 11h e 14h15min é elevada, e que a atividade máxima ocorre em torno de 11h. Nas primeiras horas do período da manhã constata-se a frequência reduzida, como também durante o final da tarde. Possivelmente, devido a temperaturas mais baixas e umidade mais elevada no início da manhã e a diminuição da temperatura e luminosidade ao entardecer (TAURA e LAROCA, 2004).

No caso da produção de mudas, a otimização dos fatores que influenciam a germinação das sementes, o estabelecimento, o crescimento e o desenvolvimento das mudas devem possuir luminosidade particularmente adequadas de acordo com a espécie específica (LIMA *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2010). Em se tratando de recuperação de áreas degradadas, além da luminosidade, características locais devem ser consideradas, como: composição do solo, relevo e umidade, essa por sua vez influenciada pela intensidade luminosa, para determinar quais espécies deverão ser selecionadas para cada caso específico (ISERNHAGEN *et al.*, 2009).

A luminosidade também exerce um papel fundamental na evapotranspiração da água no solo florestal, até mesmo como consequência do efeito de borda, influenciando assim, nos múltiplos processos hidrológicos da área; além de influenciar nas alterações de temperatura e na umidade do ar (CANHAM *et al.*, 1990; LAURENCE e YENSEN, 1991; MURCIA, 1995).

Podemos considerar assim, a luminosidade como um fator determinante nos processos ecológicos e fisiológicos de um ambiente florestal, podendo influenciar de forma positiva ou negativa (DENSLOW *et al.*, 1990; LIMA JR. *et al.*, 2006). Sua variação proporciona grande diversidade de micro-habitats dentro de uma floresta, e a maior causa dessa variação está relacionada com a abertura de clareiras, a complexidade estrutural do dossel e a sua deciduidade (BIANCHINI *et al.*, 2001). Informações sobre a luminosidade no sub-bosque são essenciais em estudos de florestas tropicais (ENGELBRECHT e HERZ, 2001). O dossel fechado e as clareiras não influenciam somente na incidência da luz e sua composição espectral, mas também a

temperatura e umidade relativa do ar e do solo (RINCON e HUANTE, 1993). Esses parâmetros podem explicar as diferentes formações em um sub-bosque de uma floresta, bem como determinar a dinâmica na regeneração e recrutamento de novas espécies (LAMB *et al.*, 1997). O tipo de estrutura do dossel também pode causar outras consequências indiretas, como as variações nos processos de fotossíntese, de transpiração e de alongamento das células vegetais, infecção por patógenos, multiplicação de insetos e competição na comunidade de plantas (CAMPBELL e NORMAN, 1989).

3.3 Fotografias hemisféricas

As técnicas de utilização de fotografias hemisféricas foram desenvolvidas na década de 20 com o intuito de estudar a formação de nuvens (RICH, 1990). As primeiras aplicações de fotografias hemisféricas em estudos ecológicos ocorreram anos depois, em meados dos anos 60, em trabalhos sobre silvicultura (EVANS e COOMBE, *op. cit.*). Posteriormente as fotografias hemisféricas começaram a ter aplicações mais amplas, utilizadas para estimar as propriedades do dossel florestal (ANDERSON, 1964; CHAN *et al.*, 1986).

O precursor dessa técnica é o densímetro florestal ou esferodensímetro, um equipamento que possibilita mensurar a porcentagem de abertura do dossel (LEMMON, 1956). Esse aparelho verifica a relação entre a porcentagem de interceptação de luz e a densidade das copas, fornecendo a porcentagem de claros do dossel florestal (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Devido às complexidades dos processos com máquinas de filme da época, a aplicação de fotografias hemisféricas serviu de impedimento para uma adoção mais ampla para estudos ambientais e ecológicos (BRÉDA, 2003; MACFARLANE *et al.*, 2007). Os avanços tecnológicos na área fotográfica e desenvolvimento de novos softwares de processamento de imagens levaram a um elevado interesse em fotografias hemisféricas digitais, como forma indireta de quantificar as propriedades do dossel florestal (JARČUŠKA *et al.*, 2010; MACFARLANE, *op. cit.*). Câmeras digitais simplificaram bastante o processo de captura e processamento de imagens (MACFARLANE, 2011). Nos últimos anos, inúmeros pacotes comerciais de softwares específicos para análise do dossel foram desenvolvidos, alguns deles de domínio público, elevando o interesse pela adoção dessa ferramenta (FRAZER *et al.*, 1999; JONCKHEERE *et al.*, 2005). Vários estudos constataram a precisão e a alta potencialidade das fotografias hemisféricas digitais na estimativa das propriedades do dossel florestal (ENGLUND *et al.*, 2000; LEBLANC *et al.*, 2005).

A técnica de utilização de fotografias hemisféricas possui uma ampla aplicabilidade e pode ser usada de variadas formas para se estudar as propriedades do dossel e o comportamento do espectro luminoso (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002). Através desse método, praticamente qualquer dossel vegetal pode ser estudado, variando de sistemas de cultivo até as florestas naturais (RICH, *op. cit.*). Mapas de luz podem ser elaborados através da aquisição e processamento de fotografias hemisféricas, para avaliação da variabilidade espacial e temporal da luz sob copa das plantas (GENDRON *et al.*, 1998). Ao estudar relações de frequência e o ângulo zenital (ângulo formado entre a vertical do lugar, zênite, e a linha de visada) em fotografias hemisféricas, é possível estimar várias propriedades de copas de árvores, tais como: índice de área foliar, ângulo das folhas, e o tamanho e espaçamento das plantas (GALVANI e LIMA, 2014; ORIGO *et al.*, 2017). Para o estudo de dinâmica de comunidades, as fotografias do dossel podem ser usadas como um meio para documentar e quantificar a formação e fechamento de clareiras (NOBIS e HUNZIKER, 2005). Possuem também, uma importante aplicabilidade para medir mudanças sazonais na densidade de folhagem (CHIANUCCI *et al.*, 2014).

Fundamentalmente, as fotografias hemisféricas produzem uma projeção hemisférica e mapeiam um plano em três dimensões, transformando as informações para um plano em duas dimensões, seguindo a geometria ilustrada (Figura 2). A projeção pode variar de acordo com a lente que é utilizada, bem como de outros fatores, como ângulo e direção (ANDERSON, 1964).

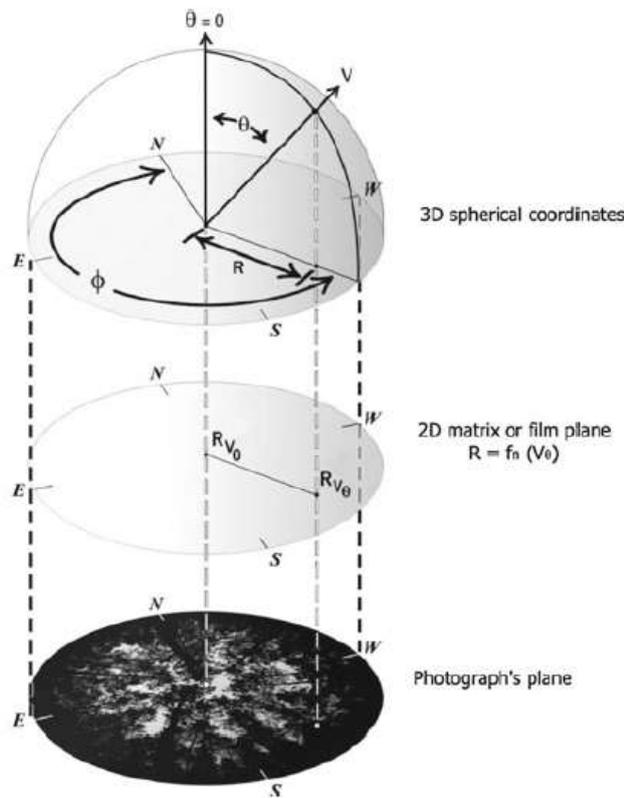


Figura 2 - Características da transformação de uma projeção hemisférica no plano em três dimensões sobre um plano em duas dimensões.
Fonte: Rich (1989).

Na imagem circular resultante, o zênite é localizado no centro e os horizontes na direção das bordas, o ângulo zenital é proporcional ao longo de um raio (R), que representa o total da projeção resultante da fotografia. Em uma projeção perfeita o campo de visão é de 180° , mostrando uma visão completa de todas as direções do céu (RICH, 1989). Dois vetores são fundamentais para compreender a geometria da fotografia hemisférica: a direção de visualização, vetor (V) e vetor raio (R), que vai do ponto central a um anel correspondendo a um ângulo zenital entre 0° e 90° .

V representa o caminho reverso que o raio de luz viaja até o ponto na fotografia. V_θ e V_ϕ , portanto, representam o ângulo zenital (θ) e ângulo de azimute (Φ) da direção de visualização para o ponto na fotografia. Todos os pontos da fotografia com o mesmo V_θ formando um círculo com raio R . V_θ varia de 0° no centro para $V_\theta \text{ max.} = 90^\circ$, nas bordas da fotografia (em $R \text{ max.}$). As distâncias entre os círculos para V_θ em intervalos regulares de θ caracterizam a projeção. O vetor R representa a distância entre o ponto central da fotografia, que corresponde à projeção de o vetor em direção ao zênite ($V_\theta = 0^\circ$), e o anel na imagem que corresponde a um ângulo de visão constante. A projeção fornece a relação matemática entre R e V para valores de θ entre 0° e 90° (HERBERT, 1987; MITCHELL e WHITMORE 1993; FRAZER *et al.*, 1997).

A captura da fotografia hemisférica requer uma série de procedimentos padronizados, entre os principais, devem ser tomadas apontando a câmera diretamente para cima, direcionada para o zênite, e com a parte superior da câmera voltada para o norte (Figura 3).



Figura 3 - Fotografia hemisférica ilustrativa, mostrando uma abertura de dossel. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2019).

Parte da radiação solar incidente é bloqueada pela folhagem do dossel e outra passa diretamente pela abertura existente no mesmo. Ressaltando que ao longo do dossel existem extratos arbóreos, logo, a interceptação da luz é dada para cada extrato. A radiação transmitida através da folha não é considerada nesse processo. A análise da penetração de luz através das aberturas do dossel considera em primeiro lugar a transmitância luminosa direta, ou seja, a quantidade de luz solar direta que chega ao solo e, depois, a transmitância difusa, que é a quantidade de luz que chega indiretamente no ambiente (RICH, 1989). A luz solar direta para um determinado local depende da posição relativa do sol, da posição do relevo, orientação do terreno, latitude e condições climáticas (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002). Assim, para um determinado período de tempo, a radiação total que atinge um determinado local sob um dossel florestal, é a soma da luz solar direta e a indireta que penetram através das aberturas de dossel (RICH, *op. cit.*).

A fotografia depende de luz, ou seja, a câmera só consegue captar aquilo que reflete algum tipo de luz, por isso é tão importante compreender o conceito de exposição. Para facilitar o cálculo da quantidade de luz necessária para iluminar determinada cena, foi criada a escala de valor de exposição, que expressa os níveis de exposição de uma cena à luz, através de valores determinados

(ZHANG *et al.*, 2005). O controle da exposição é de extrema importância, uma vez que a exposição pode influenciar em estimativas confiáveis da fração de dossel e de luminosidade (CHEN *et al.*, 1991; MACFARLANE *et al.*, 2007). Imagens tiradas com configurações automáticas subestimam a fração de luz em dossel aberto, enquanto superestimam a fração de luminosidade em copas de média e alta densidade (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002; ZHANG e KOVACS., 2012); como consequência, as configurações precisam ser configuradas manualmente.

A padronização das configurações da câmera para cada ambiente específico é recomendado por vários autores, devido a particularidade dos diferentes ambientes (JONCKHEERE *et al.*, 2005, NOBIS e HUNZIKER, 2005). A aplicação da técnica, utilizando fotografias hemisféricas para estudos ambientais, é amplamente empregada em ambientes onde a diversidade de espécies arbóreas é pequena, como as florestas temperadas, ou para auxiliar na silvicultura, porém, ainda é incipiente estudos sobre as configurações dos equipamentos para a utilização dessa técnica para ambientes onde a diversidade de espécies é maior, como as florestas tropicais (JONCKHEERE *et al.*, 2004; GIUNTI NETO *et al.*, 2015). Assim, a padronização das configurações deve permitir uma boa separação de pixels⁵ de céu e vegetação no resultado da fotografia.

Vários estudos publicados sobre a padronização das configurações em fotografias hemisféricas apontam que se a exposição é muito baixa, as fotografias resultantes são mais escuras, dessa maneira, os pixels da vegetação se tornam muito semelhantes para serem separados. Se a exposição for muito alta, as fotos resultantes são mais claras, a vegetação que faz fronteira com as lacunas do dossel fica superexposta, portanto, as lacunas parecem maiores do que elas realmente são (RICH, 1990; ZHANG *et al.*, 2005). Isso significa que uma exposição ideal, para utilização de fotografias hemisféricas em dosséis florestais, é a que faz o céu ficar mais claro quanto possível e o dossel mais escuro quanto possível (ZHANG *et al.*, op. cit.).

Ao contrário das câmeras de filme, sensores de imagem de câmeras digitais têm a vantagem de responder linearmente à luz (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002). Contudo, para simular o comportamento não linear do olho humano, o software nas câmeras digitais aplica uma transformação logarítmica por meios da função gama (CESCATTI, 2007). A função gama descreve a relação entre a intensidade da luz real durante a fotografia e o valor de brilho resultante de um pixel (WAGNER, 1998). Para fotografias hemisféricas, um valor gama de 1.0 denota uma imagem que reproduz com precisão a intensidade da luz real (MACFARLANE *et al.*, 2007). As câmeras digitais geralmente possuem o efeito dessa correção para aliviar os tons médios,

⁵ Menor unidade que compõe uma imagem.

resultando em uma alteração da estimativa do dossel e transmitância luminosa (CESCATTI, op. cit). Estudos mostram que uma correção na função gama afeta fortemente as propriedades do dossel florestal em câmeras digitais, evitando o efeito de aberração cromática, onde borrões em azul podem ocorrer (LEBLANC *et al.*, 2005).

3.4 A câmera digital e o equipamento fotográfico

Uma câmera digital é composta pela lente, o mecanismo de foco, o diafragma, o obturador, o sensor e os comandos para operá-los. Através da lente, a luz que chega ao sensor, previamente regulada pelo diafragma e obturador, os quais são controlados com a abertura da lente e velocidade do obturador, respectivamente (JACOBSON, 2010). O sensor é composto por células com fotodiodos⁶ sensíveis ao espectro eletromagnético visível e infravermelho. As células são organizadas em duas dimensões, de modo que cada uma delas forme a unidade mínima que compõe a imagem digital, o “pixel”. Para gerar imagens coloridas, uma vez que o sensor é monocromático, um mosaico de filtros é colocado de modo que cada fotodiodo é estimulado por uma única cor. Assim, para que cada pixel contenha informações sobre todas as cores, um processo de interpolação conhecido como “demosaicing”⁷ é necessário (JACOBSON, op. cit.).

As câmeras digitais possuem diversos elementos que atuam durante o processo de captura da imagem, influenciando diretamente na qualidade e nas características do resultado. Dentre esses elementos estão o diâmetro de abertura da lente (F), valor de exposição (EV), velocidade ISO, grau de exposição (GE) e velocidade do obturador (S) (CANON, 2017). Assim, ressaltamos a importância em conhecer tais elementos, sobre tudo, pelo fato de se trabalhar com fotografias científicas.

O diâmetro de abertura, refere-se ao tamanho da abertura que o diafragma disponibiliza para a entrada de luz na câmera até alcançar o sensor. Na prática, quanto maior a abertura da lente, menor será as distâncias focadas. Por outro lado, quanto menor a abertura, maior será a distância que estará em foco. Assim, além do controle da luminosidade, a abertura do diafragma possibilita

⁶ Dispositivo semiconductor que converte luz em corrente elétrica.

⁷ Processo de imagem digital usado para reconstruir uma imagem colorida a partir de amostras de cores incompletas produzidas por um sensor.

controle da profundidade de campo (área focada). Cada lente possui limites diferentes (CANON, op. cit.).

O valor de exposição se refere a quantidade de luz que penetra no sensor da câmera. Basicamente, é o quanto as fotos ficarão escuras ou claras. Se o resultado for uma imagem muito clara, está superexposta, ou seja, "muita luz", se estiver muito escura está subexposta, ou seja, "pouca luz". A exposição é medida em stops, "1/?". Quando a abertura é alterada, o "f-stop", altera-se o tamanho da abertura do diafragma da lente. Quanto mais alto o "f-stop", menor é a abertura, uma abertura f/32, por exemplo, resulta em uma pequena abertura, enquanto uma abertura f/1.4 resultará em uma grande abertura do diafragma (CANON, op. cit.).

O valor de ISO está relacionado com a sensibilidade do sensor que captura a imagem à luz. Quanto maior o valor, mais luz o sensor irá captar, porém, a imagem pode apresentar "ruído", ou seja, perda de qualidade da imagem. Os valores da escala do ISO são: 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 e 12800. Conforme o valor de ISO é aumentado, a imagem vai perdendo a qualidade de imagem, ou seja, aumenta-se o ruído. Porém, em casos de baixa quantidade de luz emitida no ambiente de captura da imagem, o aumento do ISO pode se fazer necessário, aumentando assim, a sensibilidade do sensor à luz. Somente em situações com pouquíssima luz é indicado usar valores altos de ISO, evitando ruídos na imagem obtida (CANON, op. cit.).

O grau de exposição corresponde a compensação da exposição padrão definida pela câmera para mais clara (exposição aumentada), ou mais escura (exposição reduzida). O valor do grau de exposição pode variar entre -2 até +2. Dependendo do motivo, é possível estabelecer diretrizes nos ajustes, para obter uma imagem subexposta (mais escura, EV menor que 0) ou superexposta (mais clara, EV maior que 0) (CANON, op. cit.).

A velocidade do obturador indica o tempo que o sensor irá utilizar para capturar a imagem. Os valores da velocidade de obturador são: 1", 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000 e 1/8000. Por exemplo, uma menor velocidade do obturador, 1 segundo, nos permite fotografar objetos que estão imóveis, enquanto velocidades maiores nos permite congelar desde objetos com alguma variação de movimento, velocidade 1/125, até objetos em altíssima variação de movimento, 1/8000 (CANON, op. cit.).

A abertura da lente tem uma relação estreita com a velocidade do obturador e a sensibilidade do sensor (ISO). Quando priorizamos uma destas medidas, as outras devem ser ajustadas para que a imagem não fique clara demais (superexposta) ou escura demais (subexposta). Assim, diversos estudos apontam que, para cada tipo de aplicação e ambiente é necessária uma configuração específica (JACOBSON, op. cit.; GIUNTI NETO *et al.*, 2015; SCHWALBE, 2005).

3.5 Geotecnologias, geociências e elaboração cartográfica

As geotecnologias são definidas como um conjunto de tecnologias (SIG, geoprocessamento, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global, etc.), com o objetivo de coletar, processar, analisar e visualizar informações com referência geográfica, possuindo em seu delineamento técnico-metodológico premissas de processamento digital de imagens de satélites, elaboração de bancos de dados georreferenciados, quantificação de fenômenos da natureza, entre outras análises, proporcionando uma visão mais abrangente do ambiente (NOVO, 1989; PINA e CRUZ, 2000).

Assim, as geociências utilizam de recursos cartográficos como método científico para representar graficamente e espacialmente objetos e fenômenos observados na superfície terrestre, que englobam todos os tipos de informações geográficas, bem como sua estrutura, suas funções e relações (OLIVEIRA, 1993). Dessa forma, a cartografia pode ser entendida como a arte, tecnologia e a ciência que se ocupa com o tratamento de informações gráficas de qualquer natureza (MENEZES e FERNANDES, 2013).

Segundo Câmara (1993), geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. A velocidade na obtenção, manipulação e exibição de dados e informações em conjunto com a necessidade de espacialização de fenômenos de diversas naturezas vêm se tornando, cada vez mais, elementos fundamentais no planejamento e gestão de diferentes propósitos nos mais variados segmentos da sociedade (MENEZES e FERNANDES, op. cit.). Além de aperfeiçoar a integração dos dados, o geoprocessamento também permite o aumento da complexidade das análises.

Uma das áreas dentro das geociências é a geoestatística, essa, reúne técnicas de estimativa e interpolação de valores de variáveis com posição definida no espaço (variáveis regionalizadas). As estimativas são calculadas a partir do conhecimento do comportamento espacial das variáveis regionalizadas, ou seja, as estimativas fazem uso, em seu cálculo, da relação que dados vizinhos possuem entre si. A variável regionalizada é uma função que, em cada local do espaço, possui um valor específico associado (MATHERON, 1963; WEBSTER e OLIVER, 2007). Assim, a oportunidade da aplicação da geoestatística em problemas com dados distribuídos espacialmente, ampliou a possibilidade de sua utilização em diversos domínios de estudos ambientais.

3.6 Fragmentos florestais urbanos

O rápido crescimento no processo de urbanização das cidades acelerou e acentuou diversas alterações na paisagem natural, tendo como consequência uma expressiva degradação das áreas florestais e da cobertura vegetal. Este fenômeno deu origem a um processo de fragmentação florestal bastante intenso, provocando consideráveis modificações na paisagem natural (SILVA *et al.*, 2019).

A fragmentação florestal consiste no processo de transformação de uma paisagem natural contínua em fragmentos de habitat. O processo inicia-se com a perda de parte do habitat original e a formação de fragmentos. Como consequência, esse processo pode causar uma redução na área dos habitats remanescentes, redução no tamanho do fragmento de habitat e aumento do isolamento de fragmentos de habitat, contribuindo assim, para a redução na diversidade biológica dentro do habitat original (ANDRÉN, 1994, 1999; WILCOX 1980, WILCOX e MURPHY 1985).

Os remanescentes florestais geralmente apresentam características distintas ao habitat original, sendo normalmente circundados por fatores adversos à maioria dos seus organismos característicos. As margens desses remanescentes estão sujeitas à uma série de alterações físicas e bióticas, que são definidas como efeito de borda (HARPER *et al.*, 2005). O efeito de borda nos remanescentes florestais pode ser definido como um conjunto de alterações sofridas pelo ecossistema na sua borda, em relação às condições do interior (NEWTON, 2007).

Os estudos relacionados ao efeito de borda são de extrema importância, uma vez que os processos biológicos ligados à fragmentação e degradação, geralmente se iniciam pela borda dos fragmentos (VIANA *et al.*, 1992). A borda possui um microambiente que pode influenciar no interior da floresta em alguns parâmetros como, radiação solar, temperatura, umidade, velocidade do vento e estrutura florestal, impactando diretamente na dinâmica das comunidades florestais e alterando a composição de espécies das áreas sob o efeito da borda (OOSTERHOORN e KAPPELLE, 2000).

Embora as bordas florestais tenham sido estudadas como um importante elemento no processo de fragmentação, uma teoria padronizada da influência das bordas ainda não foi desenvolvida (HARPER *et al.*, 2005). Muitos fatores controlam a magnitude e a distância do efeito de borda, variando consideravelmente para cada ecossistema, assim, as respostas da vegetação à criação de bordas são específicas do local (MURCIA, 1995).

As áreas de vegetação remanescentes localizadas no ambiente urbano, compõem as chamadas “infraestrutura verde” ou “áreas verdes”, composta também por praças, bosques, parques, cinturões verdes e demais estruturas de relevante interesse para o processo ecológico natural (BARGOS, 2011; CAMARGO *et al.*, 2013).

A Lei Federal nº 12.651/2012, que dispõe sobre a Proteção da Vegetação Nativa, em seu artigo 3º, inciso XX, define área verde urbana como: “*espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais*” (BRASIL, 2012).

As áreas verdes em espaços urbanos, promovem diversos benefícios ao seu entorno, essas áreas proporcionam a melhoria da qualidade de vida pela razão de garantir áreas destinadas ao lazer, paisagismo e preservação ambiental (LONDE e MENDES, 2014). São inúmeros os benefícios proporcionados pelas áreas verdes, dentre os quais podemos destacar: melhoria na composição atmosférica (purificação do ar e diminuição da poluição), regulação da umidade e temperatura (a vegetação contribui para conservar a umidade dos solos, atenuando sua temperatura, redução na velocidade dos ventos, mantém a permeabilidade e a fertilidade do solo e influencia no balanço hídrico), amortecimento dos ruídos de fundo sonoro contínuo e descontínuo de caráter estridente ocorrente nas grandes cidades e melhoria da estética urbana (GREY, 1978; CAVALHEIRO, 1992; DALCIN, 2000; ANDRADE, 2001).

Na região metropolitana do Rio de Janeiro a grande maioria das florestas existentes, se encontram cercadas por áreas com forte intervenção antrópica, causando efeitos em toda a composição daquele ecossistema (TANIZAKI e MOULTON, 2002). Uma das estratégias utilizada pelo município do Rio de Janeiro para proteger essas áreas foi a criação de Unidades de Conservação (UC). Dentre as categorias de Unidades geridas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC), pode-se destacar: Área de Proteção Ambiental (APA), Parque Natural Municipal (PNM) e Monumento Natural (MoNa) (SMAC, 2011).

O Monumento Natural (MoNa) é a categoria de unidade de conservação que tem como objetivo preservar a integridade de um elemento natural único, de extrema raridade ou beleza cênica. A visitação e as atividades científicas são permitidas, mas devem seguir as normas estabelecidas pelo órgão administrador da unidade, pelo Plano de Manejo e demais regras previstas no regulamento do monumento (LEUZINGER, 2017).

3.7 Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca

Situado no bairro da Urca, na zona sul do município do Rio de Janeiro, capital do estado do Rio de Janeiro, na entrada da baía de Guanabara, o Monumento Natural (MoNa) dos Morros da Urca e do Pão de Açúcar é um dos principais pontos turísticos da cidade, com visibilidade nacional e internacional. Além da extraordinária beleza cênica e importância deste sítio geológico, o MoNa conta com diversos atrativos de biodiversidade, atraindo uma média diária de 2.500 turistas de todas as partes do mundo (Figura 4) (FOLHA, 2009; Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, 2018; SILVA e RAMOS, 2002).



Figura 4 – Imagem panorâmica do Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Trilha & Cia (2015).

Os Morros do Pão de Açúcar e da Urca foram declarados como Monumento Natural através do Decreto n.º 26.578 de 1º de junho de 2006. Possui 91,5 ha de área, destinados à conservação, proteção e recuperação dos recursos naturais, preservando os bens naturais tombados e garantindo espaços de lazer em área natural (DETZEL, 2012).

O Morro do Pão de Açúcar, que dá nome ao complexo de morros, situa-se ao lado do Morro da Urca, possuindo 396 metros de altitude (Figura 5).



Figura 5 - Morro do Pão de Açúcar. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Alex Petrenko (2012).

O acesso ao topo do morro é dado exclusivamente pelo Bondinho do Pão de Açúcar, entretanto, o Pão de Açúcar é um ícone da cultura da prática de escalada, onde os praticantes de montanhismo podem realizar escaladas na face do morro. Junto com o Morro da Urca (Figura 6), existem mais de 150 vias de escalada no MoNa, que devido às características geológicas do local, oferecem variadas condições para a prática de escalada (DETZEL, *op. cit.*; LUCENA, 2006; Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, 2021).



Figura 6 - Morro da Urca. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Wikiwand (2014).

O Morro da Urca, possui aproximadamente 220 metros de altitude, é um dos morros que compõem o MoNa. O acesso ao seu topo é dado por dois meios: pelo Bondinho do Pão de Açúcar ou por uma trilha (“Trilha do Morro da Urca”). Entretanto, os praticantes de montanhismo também podem realizar escaladas na face do morro da Urca (DETZEL, op. cit.; Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, 2021).

O MoNa dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca é reconhecido como um dos principais e mais populares sítios geológicos mundiais, sendo caracterizado como Inselberg. Seu reconhecimento como um dos principais sítios geológicos mundiais, ocorreu durante o *31st International Geological Congress (julho/2000)* (Figura 7), quando foi descerrada a placa comemorativa no local. Assim, os Morros do Pão de Açúcar e da Urca são considerados o cartão postal geológico do Brasil (POREMBSKI, 2007; SILVA e RAMOS, 2002).



Figura 7 - Inauguração da placa comemorativa da datação geocronológica do Morro do Pão de Açúcar, com a presença da Comissão Organizadora do 31º Congresso Geológico Internacional e representantes da União Internacional das Ciências Geológicas (IUGS), Rio de Janeiro.

Fonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2013).

O termo “Inselberg” (do alemão, Insel = ilha e Berg = montanha) foi utilizado pela primeira vez em 1900 por Wilhelm Bornhardt, diretor da Escola de Minas de Berlim (Bergakademie Berlin) de 1907 a 1916, para se referir à afloramentos rochosos isolados que emergem subitamente da paisagem plana ao seu redor, consistindo-se principalmente de granito ou gnaiss (TWIDALE, 1995). Além disso, Porembski e Barthlott (2000) também utilizaram este termo com o mesmo conceito em seus estudos de Inselbergs graníticos em zonas tropicais e temperadas. Esses ambientes possuem características edáficas e microclimáticas tanto singulares quanto extremas, resultando em ambientes que abrigam uma vegetação com alto grau de biodiversidade e número elevado de espécies endêmicas (PHILLIPS, 1982; POREMBSKI, 2000).

O sudeste brasileiro é conhecido como uma das regiões de maior diversidade de Inselbergs no mundo, sendo que, todos os centros de diversidade de Inselbergs estão inseridos também em regiões de maiores biodiversidade global (POREMBSKI, 2007). Ainda que esses ambientes possuam grande relevância ecológica, existe uma lacuna na compreensão sobre aspectos florísticos e ecológicos dos Inselbergs em várias regiões do mundo (SCARANO, 2007).

O Pão de Açúcar no Rio de Janeiro é o exemplo mais famoso de um típico Inselberg monolítico de várzea em forma de cúpula, ele está inserido geologicamente na Província da Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1981). Essa província geológica é caracterizada por abundante granitogênese neopraterozóica, resultante da amalgamação do supercontinente Gondwana ao final

do Ciclo Orogênico Brasileiro/Pan-Africano (SILVA e RAMOS, op. cit.). O MoNa possui quase totalidade (98,86 %) da sua extensão composta por gnaisses da Unidade Gnaisse Facoidal e uma pequena porção (1,14%) por depósitos recentes da Unidade Sedimentos Quaternários (DETZEL, op. cit.).

Segundo Valeriano e Magalhães (1983), os Morros do Pão de Açúcar e da Urca são constituídos basicamente por rochas cristalinas representadas por paragnaisses de fácies goessinclinal, sendo parte com textura facoidal, assim como kingzitos que se interpõem entre a base do Morro do Pão de Açúcar e a parte central do Morro da Urca. Ainda segundo esse mapeamento, ocorre uma pequena área de granitos e um dique de diabásio no topo do Morro do Pão de Açúcar. Há, também, aterros associados às atividades antrópicas. Os afloramentos de rocha são predominantes com uma área de 64,65ha ou 70,65% da unidade. Os argissolos, única ocorrência pedológica da unidade de conservação, ocupam 25,71ha ou 28,10% do total da UC. As áreas urbanizadas representam 1,25% da área total da unidade, ocupando 1,14ha (SILVA *et al.*, 1991).

O MoNa encontra-se inserido no bioma Mata Atlântica, Floresta Ombrófila Densa nas suas formações de terras baixas até a cota de 100 metros e submontana acima da cota de 100 metros, caracterizado por refúgios vegetacionais (campos e vegetação rupestre) nos costões rochosos e nas porções mais íngremes do conjunto. Essas características, aliadas à topografia irregular das rochas, contribuem para uma grande diversidade de micro-habitats e grande riqueza de vegetação (OLIVEIRA FILHO e FONTES, 2000; VELOSO *et al.*, 1991).

Deste modo, são encontradas na área do MoNa plantas herbáceas como *Phyllanthus submarginatus*, arbustos como *Tibouchina corymbosa*, palmeiras como *Syagrus romanzoffiana*, árvores como *Ceiba speciosa*, epífitas como *Tillandsia stricta* e trepadeiras como *Smilax rufescens* (DETZEL, op. cit.). O mesmo autor aponta que, embora a localidade apresente espécies com distribuição ampla, algumas plantas são endêmicas das montanhas rochosas dos Inselbergs do Rio de Janeiro, entre elas muitas raras ou ameaçadas de extinção.

Nos afloramentos rochosos dos morros da Urca e do Pão de Açúcar ocorrem esparsamente vegetação de porte herbáceo-arbustivo e eventualmente arbóreo, representada predominantemente por bromeliáceas (*Vriesea* e *Nidularium* spp.), velloziáceas (*Vellozia candida* e *Barbacenia purpurea*), orquidáceas (*Brassavola tuberculata*, *Epidendrum* spp. e *Cyrtopodium* spp.), melastomatáceas, euforbiáceas, asteráceas (*Baccharise* spp., *Vernonia* spp.), ciperáceas, poáceas e a cactácea (*Cephalocereus fluminensis*) destacando-se na paisagem. (CARAUTA e OLIVEIRA, 1984).

A “cebola-da-mata” (*Clusia fluminensis*) é o representante arbóreo mais expressivo, ocorrendo isolado ou formando aglomerações até mesmo nos paredões mais verticalizados. A ocupação por fases iniciais de sucessão representa 4,95% de sua superfície, sendo que em alguns locais sofrem processo de invasão biológica por capim-colonião (*Panicum maximum*) (DETZEL, op. cit.).

Entre os morros do Pão de Açúcar e da Urca, e estendido principalmente na face sul do primeiro, encontra-se o tipo de vegetação mais expressivo da unidade, classificado como estágio avançado da sucessão vegetal. Embora se trate de uma floresta secundária, é certamente a formação vegetal mais desenvolvida e diversificada, dominada por árvores com até 15 ou mais metros de altura, formando um dossel heterogêneo e denso, representado por espécies características da formação submontana da floresta atlântica regional (DETZEL, op. cit.). Destacam-se as figueiras (*Ficus* spp. e *Coussapoa* spp.), maçaranduba (*Brosimum* spp.), guariúba (*Clarisia racemosa*), guapeva (*Pouteria* cf. *torta*), pau-d’alho (*Gallesia integrifolia*), quaresmeiras, embaúbas e palmeiras como o gerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e o airí (*Astrocarium aculeatissimum*). Seu interior é pouco iluminado, onde habitam um diversificado conjunto de outras plantas, amplamente descritas no trabalho de Carauta e Oliveira (1984), essa floresta ocupa cerca de 24 ha ou 26% da unidade de conservação.

Em relação a fauna do MoNa, é confirmado o registro de 58 espécies de aves e mais 251 que são consideradas de provável ocorrência. Esse número correspondendo a 11 % da avifauna conhecida em todo o município do Rio de Janeiro e 16 % da riqueza registrada em todo o território brasileiro (GAGLIARDI, 2011). Destacam-se pássaros e aves como o gavião-de-cabeça-cinza (*Leptodon cayanensis*), a saíra-sete-cores (*Tangara seledon*), a coruja-buraqueira (*Athene cunicularia*) e o biguá (*Phalacrocorax brasilianus*) (SERPA, 2008).

A área do MoNa, não oferece condições favoráveis para a sobrevivência de populações de mamíferos de grande porte, porém, já foram registradas algumas espécies de pequenos mamíferos como gambás, tatus e morcegos. Dentre os répteis, destacam-se registros de lagartos, como o teiú (*Tupinambis merianae*) e o calango (*Tropidurus torquatus*). A comunidade de serpentes da região do MoNa, é caracterizada por formas predominantemente florestais, semi-arborícolas, diurnas e ovíparas, como a coral-verdadeira (*Micrurus corallinus*) e a jararaca (*Bothropoides jararaca*) (BERGALLO *et al.*, 2000; DETZEL, op. cit.).

Ainda sobre a fauna local, destaca-se no MoNa, a numerosa população do mico-estrela ou sagüi-de-tufo-preto (*Callithrix penicillata*). Originário do nordeste brasileiro, hoje é bastante comum na mata que circunda os morros da Urca e do Pão de Açúcar. Este animal é objeto de manejo para controle de população, já que ele influencia negativamente as populações de diversas

outras espécies animais, especialmente aves, em função do hábito alimentar de comer ovos (FAUSTO, 2009).

Apesar da sua importância ecológica, seu valor cênico e turístico, o MoNa dos Morros da Urca e do Pão de Açúcar vem sofrendo historicamente com impactos antrópicos, necessitando assim, de bases científicas que auxiliem trabalhos de monitoramento e manejo (DE PAULA *et al.*, 2020).

3.8 Utilização de trilhas

Entre as diferentes práticas de turismo, a utilização de trilhas em áreas naturais têm sido uma das mais procuradas por visitantes que buscam ter um contato mais intenso com a natureza. A utilização de trilhas em Unidades de Conservação proporciona a maior aproximação do homem com a natureza possibilitando a realização de diversas atividades, sendo assim, um dos principais indutores de contemplação, ecoturismo e educação ambiental em Unidades de Conservação (AZEREDO e ZAÚ, 2017; EISENLOHR, 2013 ; SOBRAL e SANTANA, 2007). Além disso, a utilização adequada dos recursos naturais, a preservação dos componentes bióticos e a integração do visitante com a natureza, estão previstos na Lei Federal 9.985/2000 – Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000).

As trilhas podem promover e facilitar o acesso a atrativos, criando e consolidando lugares e territorialidades; tanto para uso direto da visitação quanto para proteção do próprio patrimônio natural (MELLO, 2008). Por essas razões , o planejamento e manejo adequado das trilhas e seus roteiros, possibilitam a orientação e monitoramento da dispersão de visitantes, se convertendo numa importante ferramenta de gestão, e fundamental para que as Unidades de Conservação exerçam o seu papel de conservação e preservação do patrimônio natural, dentro dos padrões de sustentabilidade, assim como propiciar a apreciação e a qualidade da visitação por seus diferentes usuários (SOBRAL e SANTANA, 2007).

O segmento do ecoturismo pode ser entendido como uma alternativa econômica, sustentável e como um mecanismo para conservação dos recursos naturais e culturais, além de ser um instrumento que pode gerar diversos benefícios às comunidades locais (SONAGLIO, 2006). A apropriação de espaços naturais pelo turismo implica, quase sempre, em transformações espaciais relacionadas aos fatores de acessibilidade, e que em se tratando de Unidades de Conservação, algumas das transformações espaciais mais comuns decorrentes do uso turístico de

seus territórios diz respeito à abertura de trilhas ou a utilização de trilhas já pré-existentes (CRUZ, 2003).

As trilhas possuem diferentes classificações de acordo com critérios que são estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo que a Norma Brasileira (NBR) que traz a classificação de percursos é a NBR 15505-2:2019, Turismo de aventura - Caminhada Parte 2: Classificação de percursos (ABNT, 2019). A NBR 15505-2 determina que a classificação de trilhas deve levar em consideração diversos fatores, que vão desde a severidade do meio (refere-se aos perigos e outras atividades decorrentes do meio natural, como temperatura, pluviosidade, riscos de quedas, facilidade de resgate, entre outros fatores que podem ser encontradas ao longo do percurso), até as condições do terreno (refere-se aos aspectos encontrados no percurso em reação ao piso e às condições para percorrê-lo, como tipos de pisos, trechos com obstáculos, trechos com pedras soltas, entre outros) (ABNT, 2019).

Além disso, as trilhas podem ser classificadas quanto a sua função (vigilância, recreativa, educativa, interpretativa ou de travessia), o formato (circular, em forma de oito, linear ou atalho) e o grau de dificuldade (fácil, moderada ou difícil) (ANDRADE, 2003; ROCHA *et al.*, 2006). As trilhas podem ser guiadas (monitoradas) ou autoguiadas, essas, podem contar com diversos elementos e recursos que auxiliem os visitantes a realizar o percurso sem a presença de um guia, como, mapas temáticos de indicação do traçado e recursos gráficos e cartográficos (ANDRADE e ROCHA, 2008).

Devido à pressão que a utilização de trilhas pode promover em Unidades de Conservação, a exploração dessas áreas podem acarretar impactos, mesmo promovendo a conscientização da população quanto a conservação dos ambientes naturais (REZENDE e CUNHA, 2014). A necessidade da avaliação de possíveis impactos, consequentes de atividades de lazer e turismo em áreas naturais tem levantado cada vez mais interesse pelas ciências ambientais como um todo, principalmente em áreas protegidas (MELLO, 2008). Sales & Assis (2006) destacam que “há uma intensa relação entre turismo e espaço, uma vez que o primeiro se apropria do segundo, fazendo uma série de transformações para atender às suas exigências”. Deste modo as atividades de lazer e ecoturismo associadas à ausência de trilhas bem planejadas e estruturadas são particularmente um problema para áreas protegidas.

Existem diversos impactos ambientais relacionados a utilização de trilhas, de acordo com Guerra e Guerra (1997), “impacto ambiental é a expressão utilizada para caracterizar uma série de modificações causadas ao meio ambiente, influenciando na estabilidade dos ecossistemas. Os impactos ambientais podem ser negativos ou positivos, porém, quando a expressão é empregada,

já está mais ou menos implícito que os impactos são negativos, podendo comprometer a flora, fauna, rios, lagos, solos e a qualidade de vida do ser humano”.

A compactação do solo por pisoteio promove a perda de porosidade e permeabilidade, diminuindo a capacidade de infiltração da água e, quando não há vegetação, aumenta o escoamento superficial, o que causa a erosão. Além disso, o pisoteio fora da trilha pode causar a morte de plântulas, herbáceas, e a quebra de partes ou a morte de arbustos e arvoretas (COLE e BAYFIELD, 1993; SARAIVA, 2011; VASHCHENKO, 2006).

As trilhas também podem promover impactos na fauna local. A necessidade do estabelecimento da zona de pisoteio e manejo da vegetação lateral para manutenção do corredor das trilhas, pode promover a fragmentação de habitats, especialmente de micro habitats. Assim, uma faixa livre de vegetação e serrapilheira, mesmo que estreita como uma trilha, pode dificultar a dispersão de pequenos animais que possuam uma reduzida capacidade de locomoção (PONTES *et al.*, 2010). Os impactos como o efeito de borda, a perda e fragmentação de habitats, estão entre os principais problemas enfrentados pela fauna, levando diversas espécies ao declínio, especialmente os anfíbios (HERO e RIDGWAY, 2006).

No entanto, as diferentes espécies de animais não são impactadas da mesma forma pela fragmentação de habitats. Existem determinados grupos que têm suas populações reduzidas ou abandonam as áreas de reprodução, enquanto outros, podem ser favorecidas por estes impactos, estimulando sua reprodução com o rápido aumento populacional (GUILLAUMON e SING, 1977; OLIFIERS e CERQUEIRA, 2006).

Nesse sentido, muitos desses impactos podem ser reduzidos e até mesmo eliminados, com o conhecimento adequado dos processos que atuam na área de implementação e manejo da trilha (LECHNER, 2006).

3.9 Sinalização de trilhas

Em praticamente todos os processos de implementação de trilhas, existe a necessidade de algum tipo de sinalização. Além disso, deve haver um certo grau de uniformidade entre essas.

No entanto, o Brasil é um dos poucos países do mundo em que até pouco tempo atrás as instituições responsáveis pela administração de áreas protegidas ainda não tinham uma sinalização de trilhas sistematicamente padronizada e dentro de regras pré-estabelecidas, assim, um amplo conjunto de atores tem trabalhado para implementar novas trilhas que seguem um mesmo padrão

de sinalização, conforme indicado no Manual de Sinalização de Trilhas, editado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio (BRASIL, 2018).

A sinalização de trilhas se subdivide essencialmente em dois grupos: direcional e interpretativa. A sinalização direcional utiliza, basicamente, setas (Figura 8). Em alguns casos também podem ser utilizados símbolos ou logomarcas (MENEZES, 2014).



Figura 8 - Sinalização de seta no Morro da Urca. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2019).

A sinalização direcional tem os objetivos de indicar a direção correta aos visitantes e de facilitar ações de manejo em Unidades de Conservação. Essas, se dividem em quatro tipos: direcional (aponta a direção e o sentido que o caminhante deve seguir), confirmatória (utilizada logo após uma bifurcação, confirmando que o caminhante escolheu a opção correta), calmante (utilizada de tempos em tempos, reassegurando ao caminhante de que está no caminho correto) e indutiva (utilizada para segurança ou manejo, induzindo o caminhante a seguir na direção que interessa à Unidade de Conservação) (MENEZES, 2014).

As sinalizações interpretativas, utilizam de placas educativas (Figura 9) e são uma forma de sinalização feita para estimular algum tipo de comportamento, passar informações ou até mesmo estabelecer a proibição de certas ações (ICMBIO, 2014), muitas vezes se enquadram no conceito de trilhas informativas.

NOVAS REGRAS DE VISITAÇÃO

- O USO DE MÁSCARA É OBRIGATORIO.
Devido às regras de prevenção, teste e controle da transmissão do Rio de Janeiro de acordo com o Decreto Nº 4223 de 26 de março 2020.
- Não é permitido aglomerações.
- Não é permitido piqueniques.
- Não é permitido comemoração de aniversário.
- Somente poderão visitar o Morro aquelas que estiverem saudáveis, que não tenham apresentado sinais e sintomas de COVID-19, nos últimos 14 dias, nem contato com pessoas com suspeita de contaminação.
- Manter o distanciamento de, pelo menos, 2 metros entre as pessoas. A distância deverá ser maior conforme aumenta o nível de esforço da atividade.
- Praticar a atividade de forma individual ou, no máximo, em duplas.
- Evite sentar-se em bancos, tocar no guarda-corpo, placas, lixeiras e outras estruturas.
- Realizar a higiene das mãos com álcool 70% (líquido ou gel) no fim da atividade.
- Adotar a respirar as medidas de etiqueta respiratória.^(*)
(*) Acesso ao espaço, entrar e sair a bordo com o máximo cuidado ao usar o passat. Evitar o contato com olhos, nariz e boca. Evitar a higiene das mãos com álcool e sabonete ou água 70%.

HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO DOS ATRATIVOS DO MONA:

Atrativos	Horários
Bondinho Pão de Açúcar® Morro Pão de Açúcar e Morro da Urca	De quinta a segunda-feira, das 10h às 19h, com entrada permitida até às 18h. Não haverá abertura do Bondinho Pão de Açúcar® às terças e quartas-feiras.
Costão do Pão de Açúcar Pista Cidade Costeira Trilha do Morro da Urca Vias de Escalada Área de Pesca	De segunda a sexta. Horário: das 6h às 19h.

Atenção

- Para evitar aglomerações, a acesso ao Bondinho Pão de Açúcar® pela trilha do Morro da Urca está limitado a 200 pessoas. Após este limite, a entrada será permitida apenas mediante o saldo de número equivalente de visitantes.
- Escaladores e Montanhistas devem atender aos novos horários de funcionamento do Bondinho Pão de Açúcar® para acessar os cumes dos morros.

Monumento Natural dos Morros da Urca e do Pão de Açúcar

ICMBIO

Bondinho Pão de Açúcar®

Figura 9 - Sinalização interpretativa no Monumento Natural dos Morros da Urca e do Pão de Açúcar, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: acervo ICMBIO (2016).

A utilização de trilhas informativas tem papel importante na interpretação do patrimônio para o turismo sustentável, utilizando a sinalização como ferramenta de interpretação do patrimônio, entre outros aspectos (MURTA e GOODEY, 1995). Neiman (2012) considera que este processo reflete a necessidade de desenvolver uma mentalidade preservacionista, difundida a partir de elementos concretos.

Desta maneira, a reflexão de educar para preservar a natureza pode ser viabilizada através da confecção e implementação de placas interpretativas, de variados modos e com diversos elementos gráficos e ilustrativos. Existe, atualmente, uma preocupação por parte de gestores de UC's quanto ao excesso de implementação de placas informativas nessas áreas, assim, é necessário cada vez mais buscar novas alternativas para contornar esse tipo de problema.

3.10 QR-Codes

As tecnologias da informação e da comunicação são componentes cruciais na estrutura da sociedade moderna, na medida que cada vez mais participam da nossa maneira de aprender e de se comunicar com a realidade. Com o surgimento de novas tecnologias, uma conectividade acentuada vem fazendo parte das diversas esferas do nosso cotidiano, revolucionando assim, as bases nas quais as relações sociais são construídas (ORLIKOWSKI, 2007).

Dentre os avanços tecnológicos nas áreas da informação e da comunicação, podemos destacar o QR-Code, ou código QR. O nome é a abreviação em inglês de "Quick Response Code", cujo significado é código de resposta rápida. QR-Code é um código de barras bidimensional que pode ser facilmente lido (escaneado) pela maioria dos telefones celulares equipados com câmera fotográfica e um aplicativo para reconhecimento do código (Figura 10). Assim, quando a câmera do dispositivo captura esse código em formato de imagem, é possível decodificar e compreender as informações contidas nele, que é então convertida em um texto informativo, um link para um site (endereço URL), um número de telefone, um e-mail, uma localização georreferenciada, um contato ou um SMS (DENSO WAVE, 2003; 2011).



Figura 10 - QR-Code de acesso para o site do projeto de pesquisa.
Fonte: Silva (2021).

O Qr-Code surgiu em 1994 no Japão e foi desenvolvido por uma empresa subsidiária da Toyota, para rastrear seus veículos durante a produção. O código como conhecemos hoje, são padronizados segundo as normas da International Organization for Standardization

(ISO)/International Electronics Community (IEC) 18004, o que contribui para a produção de geradores e leitores de códigos compatíveis. O uso de códigos QR é livre de qualquer licença, porém, os direitos de patente ainda pertencem à empresa (DENSO WAVE, 2003; WALSH, 2009).

O QR-Code pode ser classificado como uma realidade móvel aumentada, onde as informações presentes em determinada localidade, são visualizadas em um dispositivo móvel. Utiliza-se neste caso, um hiperlink chamado Mobile Augmented Reality Applications (MARA), que por meio de um celular, torna acessível informações que não estão disponíveis no local sobre o objeto etiquetado com o código (LEMOS, 2007).

Nesse sentido, observamos que a partir das mudanças desencadeadas por esses dispositivos tecnológicos, o potencial de utilização dos QR-Codes e suas aplicabilidades são inúmeras, podendo ser uma ótima alternativa para disponibilizar uma gama de informações e imagens, através de uma simples leitura de código de barras.

4 Métodos

4.1 Descrição da área de estudo

O presente trabalho foi realizado na trilha do Morro da Urca, localizada no Monumento Natural (MoNa) dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, Brasil (22°57'05.79" S - 43° 09' 50.62" W) (Figura 11).

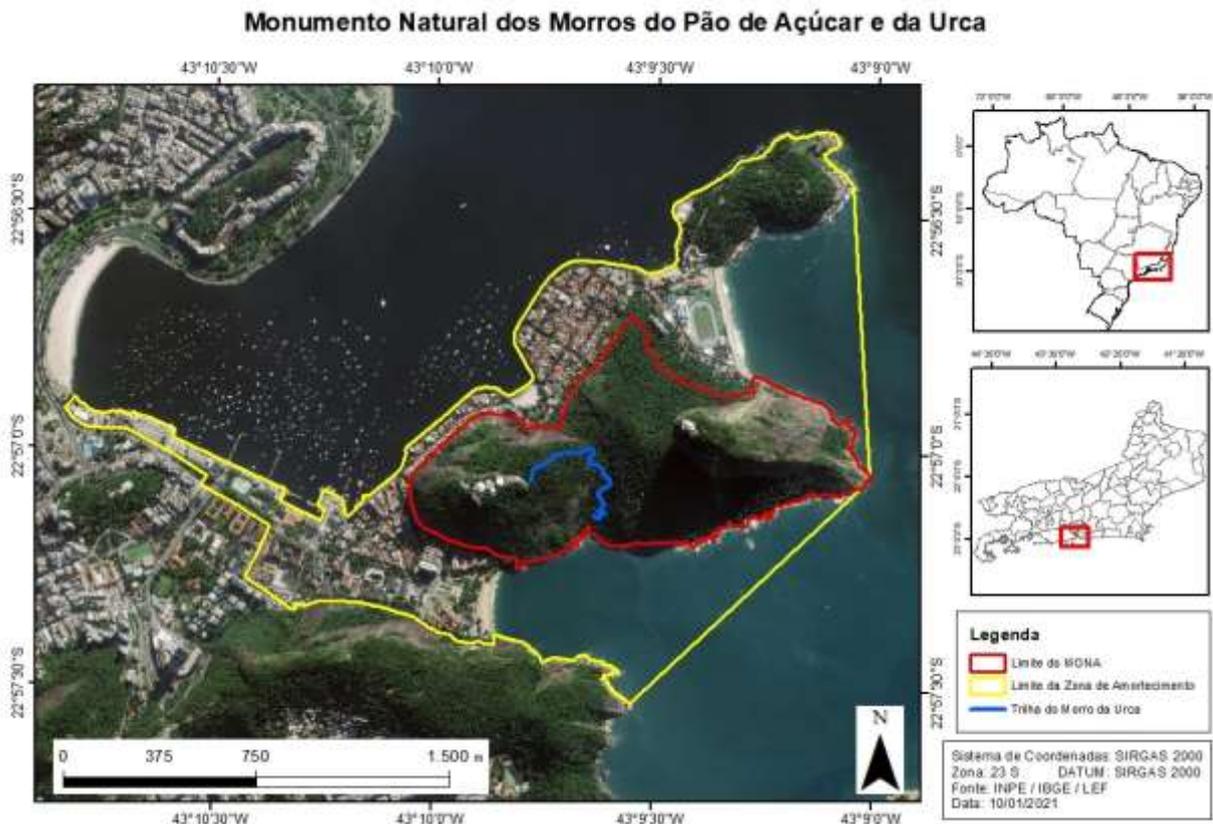


Figura 11 – Mapa de localização da trilha do Morro da Urca em azul, com os limites do Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca Rio de Janeiro em vermelho e o limite da sua zona de amortecimento em amarelo. Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Segundo dados da Prefeitura do Rio de Janeiro, a trilha do Morro da Urca é a mais visitada da cidade, chegando a atrair uma média mensal de 16.000 visitantes (DATA.RIO, 2020; VEJA.RIO, 2021). Com o alto fluxo de visitantes na trilha, a mesma sofreu constante degradação durante anos de uso desenfreado, necessitando assim, de ações de manejo e melhorias da sua estrutura (LIMA, 2016).

A trilha tem início à partir de um ponto da pista Cláudio Coutinho (um caminho pavimentado que segue em torno do Morro da Urca e Pão de Açúcar) subindo em direção ao cume Morro da Urca (Figura 12), onde fica a estação intermediária do bondinho do Pão de Açúcar (DETZEL, 2012).



Figura 12 - (A) Pista Claudio Coutinho, caminho de acesso para a trilha do Morro da Urca, (B) Entrada da trilha do Morro da Urca. Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2018).

Com aproximadamente 700 metros de extensão, a trilha do Morro da Urca chega ao final do seu trajeto a uma altitude de aproximadamente 200 metros, quase ao cume do Morro da Urca, que é de aproximadamente 220 metros de altitude (Figura 13).

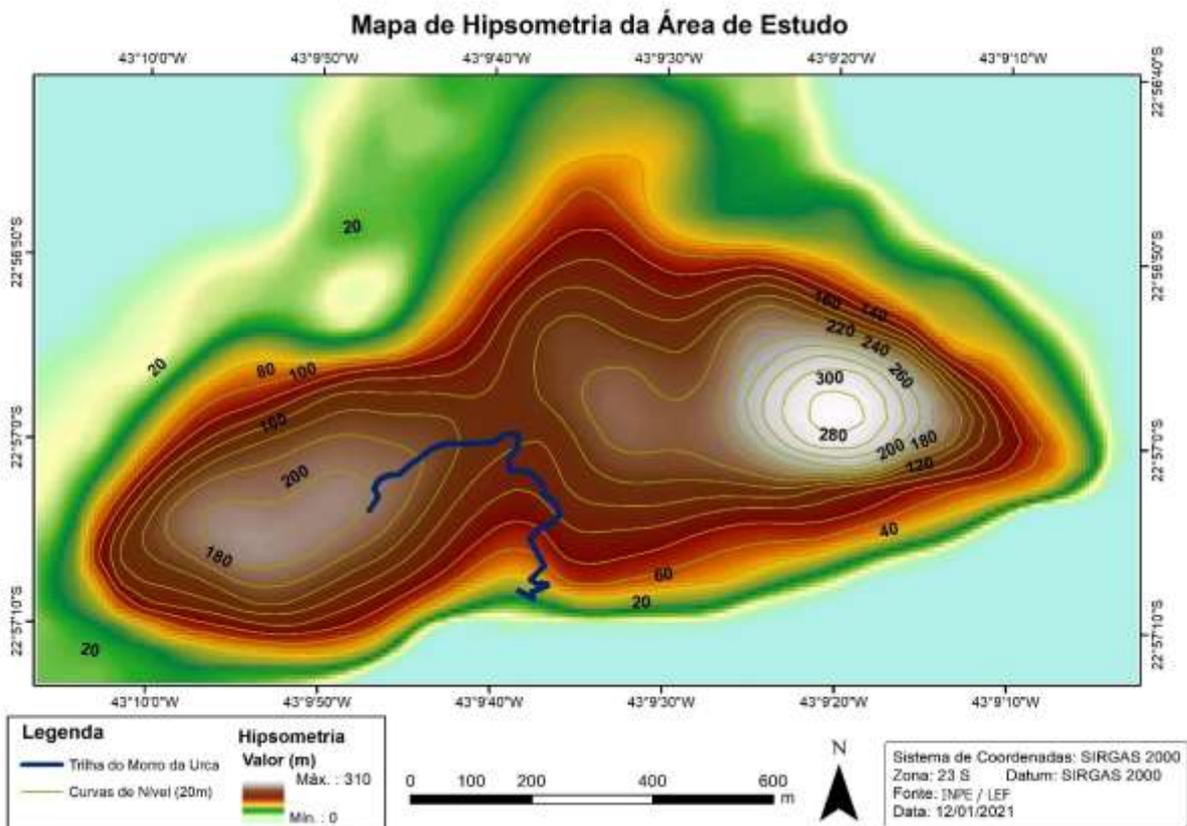


Figura 13 - Mapa Hipsométrico (altitude) da área de estudo com a delimitação da trilha do Morro da Urca em azul. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

A trilha possui trechos de acentuada inclinação (Figura 14). Embora muito inclinada, a trilha é considerada segura na maioria dos trechos, sem precipícios ou abismos muito próximos à trilha.

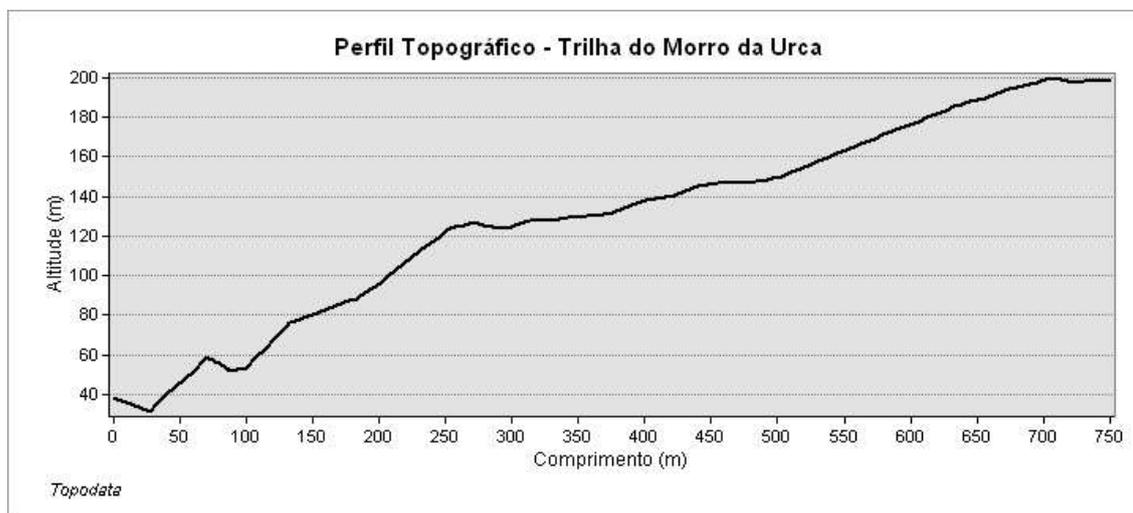


Figura 14 - Perfil topográfico da trilha do Morro da Urca. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2020).

Em função de sua inclinação, o caminho apresenta alguns pequenos trechos com condições um pouco mais severas. Os primeiros metros são mais íngremes, com pequenos trechos de aclives acentuados. A partir de 250 metros de extensão, a trilha apresenta um relevo menos acentuado, até o final de seu percurso.



Figura 15 - Trecho da Trilha do Morro da Urca. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2019).

A trilha do Morro da Urca se enquadra no formato linear, com nível de esforço leve, apresentando poucos e simples obstáculos, sendo desnecessário o uso de equipamentos de montanhismo. Quanto a sua orientação, a trilha do Morro da Urca se enquadra na classificação “fácil”, com caminhos e cruzamentos bem definidos. Normalmente as trilhas com essa classificação, são trilhas com alguma sinalização, poucas bifurcações e com o seu leito bem definido (ABNT, 2019; BRASIL, 2018; FEMERJ, 2015).

4.2 Descrição das etapas de estudo

O presente trabalho foi dividido em oito etapas (Figura 15), realizadas entre os meses de julho de 2018 a julho de 2021: 1) Preparação e calibragem dos equipamentos, 2) Coleta de dados, 3) Processamento de imagens, 4) Análise estatística, 5) Análise geoestatística, 6) Elaboração cartográfica, 7) Elaboração de QR-Codes contendo informações resultantes da pesquisa e 8) Elaboração do modelo de totens interpretativos contendo os QR-Codes.

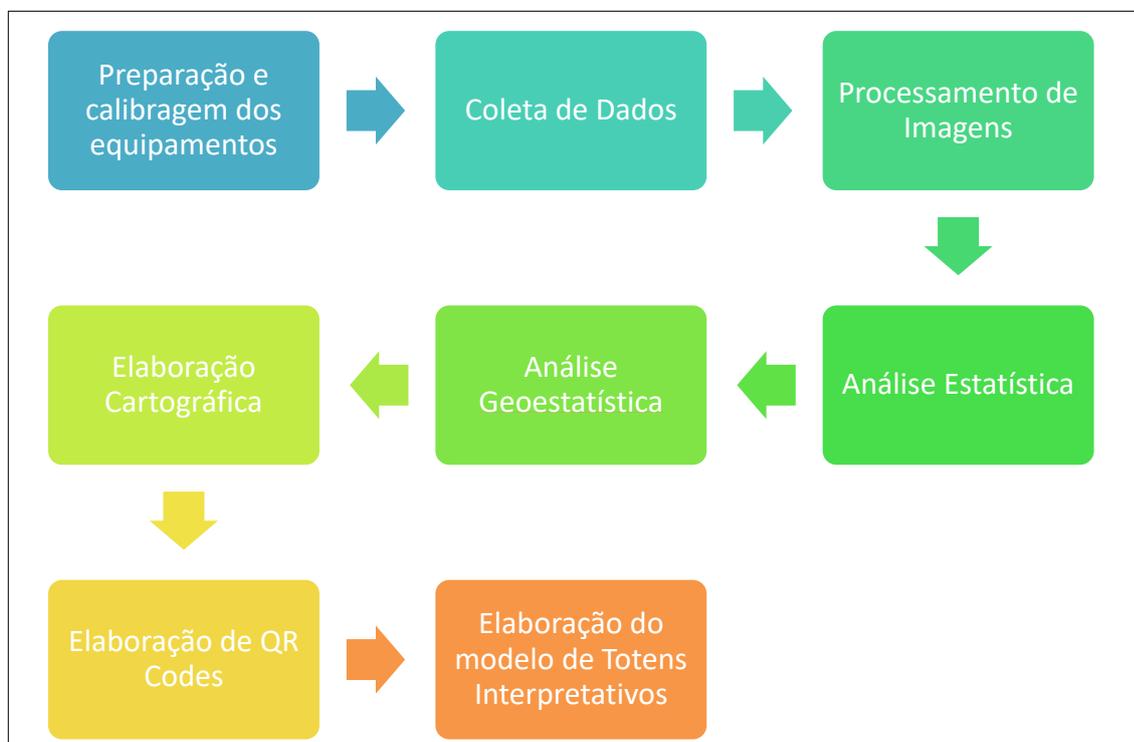


Figura 16 - Etapas do projeto de trabalho.

Fonte: Silva (2021).

4.3 Preparação e calibragem dos equipamentos

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema, para que em seguida pudessem ser realizados testes sobre as possíveis configurações da câmera. Foram analisadas 132 configurações distintas. Nos testes com a câmera, diversos valores de abertura da lente (F), valor de exposição (EV), velocidade ISO, grau de exposição (GE) e velocidade do obturador (S) foram avaliadas, visando obter a melhor qualidade de imagem possível para o ambiente estudado (Floresta Ombrófila Densa, em encosta).

Diversos testes foram elaborados com configurações encontradas na literatura, porém, múltiplas outras variações foram analisadas, para critérios de avaliação e comparação. Nesse sentido em alguns parâmetros, algumas regulagens foram mais testadas que outras, como no parâmetro de valor de abertura da lente (F). Para a tomada de imagens, foi utilizada uma câmera digital CANON EOS 6D, acoplada a uma lente Fisheye de 8mm, com auxílio de um suporte de tripé (Figura 17).



Figura 17 - Câmera CANON EOS 6D acoplada a uma lente Fisheye 8mm, com suporte de tripé, utilizada no registro das imagens hemisféricas. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

As 132 imagens, com as distintas configurações, foram registradas no mesmo ponto (22°57'18" S - 43° 10'40" W), na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO, Campus Urca, e sob as mesmas condições climáticas: céu nublado e pouco vento.

Após o registro das imagens, foi iniciado o processo de testes com os dois softwares utilizados para processar as imagens: RGBFisheye (ISHIDA, 2004) e Gap Light Analyser 2.0 (FRAZER *et al.*, 1999), a fim de explorar suas características e potencialidades. Ambos os softwares são de domínio público e a escolha pela utilização dos mesmos foi visando ampliar e facilitar a aplicabilidade da metodologia de análise de imagens digitais. Assim, foram elaborados os processamentos das 132 imagens através dos softwares selecionados, sendo possível, obter e analisar parâmetros, como: abertura do dossel, índice de área foliar e transmitância luminosa.

Com os resultados obtidos, foi possível criar uma base de dados e executar análises estatísticas, com o objetivo de avaliar as configurações e identificar os parâmetros que apresentam melhores resultados para o ambiente estudado. Para isso foi utilizado o software R 3.4.1 (R CORE TEAM, 2017).

Para definir as melhores configurações, buscamos identificar inicialmente, as configurações onde os resultados obtidos mais se aproximaram da mediana dos resultados provenientes de todas as 132 fotografias hemisféricas, entre, abertura de dossel, índice de área foliar, e transmitâncias luminosa. Após identificar as configurações que mais se aproximaram da mediana total, as fotografias hemisféricas com as configurações selecionadas, foram analisadas visualmente, com a finalidade de identificar se apesar do resultado obtido, as fotografias hemisféricas apresentaram alguma aberração cromática ou outro defeito visual.

Após analisar os resultados e as fotografias hemisféricas, foi definida a configuração que mais se aproximou das medianas das variáveis como a configuração padrão. A mediana foi o parâmetro adotado com o objetivo de evitar que o resultado final pudesse ser influenciado por valores individuais muito maiores ou menores do que o restante dos resultados.

Definido a configuração da câmera a ser utilizada, a segunda fase da preparação foi relacionada à definição dos pontos de coletas de dados. Foram definidas a distância e a forma das parcelas onde as fotografias hemisféricas foram tomadas, bem como realizados os registros das variáveis biofísicas da trilha: largura e profundidade; e o dados dendrométricos: medidas de DAP (diâmetro a altura do peito: 1,3m) e das alturas das árvores ao longo da trilha e nas proximidades da mesma, até cerca de 30 metros.

O comprimento da trilha analisado foi de 700 metros, e esse trajeto foi dividido em 35 trechos (parcelas) de 20 metros cada, buscando compor amostras de tamanho mais prováveis de apresentarem atributos paramétricos. A fim de comparar o ambiente da trilha e o ambiente “dentro

da mata”, também foram registradas fotografias numa distância, paralela, de 30 metros das bordas da trilha dos mesmos pontos onde as fotografias na trilha foram registradas. Dessa forma foi formado um transecto paralelo à trilha onde foram feitos os registros fotográficos na mata. (Figura 18). Estudos apontam que ambientes como o da área de estudo apresentam possíveis efeitos de borda sob distâncias variadas, conforme o indicador analisado, havendo importantes impactos na faixa dos 30 primeiros metros (HARPER *et al.*, 2005), combinado com as características do relevo acentuado local, foi estabelecida essa distância de 30 metros.

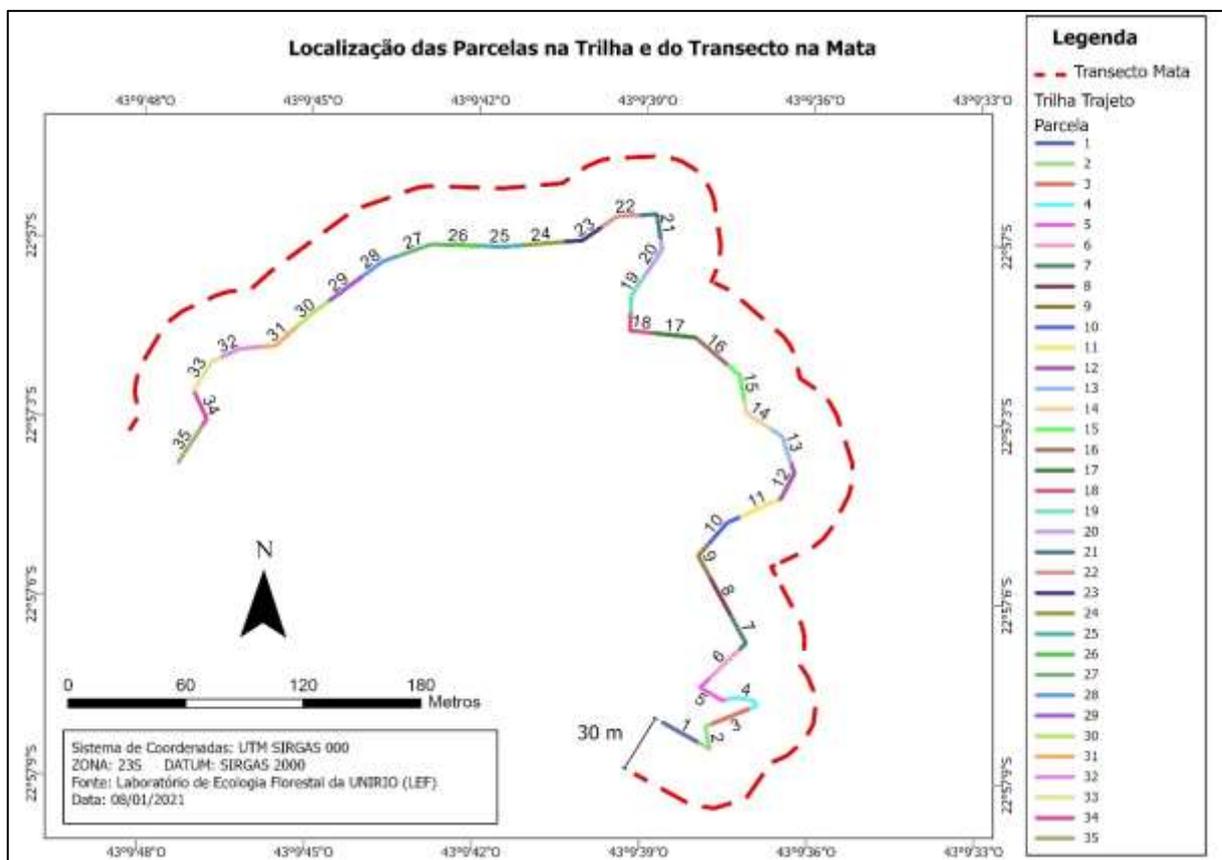


Figura 18 - Localização das parcelas na trilha do Morro da Urca e do transecto na mata, distância de 30 metros da trilha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Cada um desses trechos, de vinte metros, corresponde a uma parcela (unidade amostral), sendo que a mesma foi subdividida a cada dois metros, totalizando dez subtrechos contíguos por parcela (Figura 19). Dentre esses dez subtrechos foram sorteados cinco, onde, nesses cinco pontos sorteados foram tomadas as fotografias hemisféricas. Essas cinco fotografias foram utilizadas para

a composição de dados do trecho coberto por esses 20 metros, utilizando suas respectivas medianas.

Assim, o valor resultante dos atributos obtidos através das fotografias hemisféricas correspondente a cada parcela, corresponde a mediana dos resultados de cinco fotografias obtidas dentro da respectiva parcela.

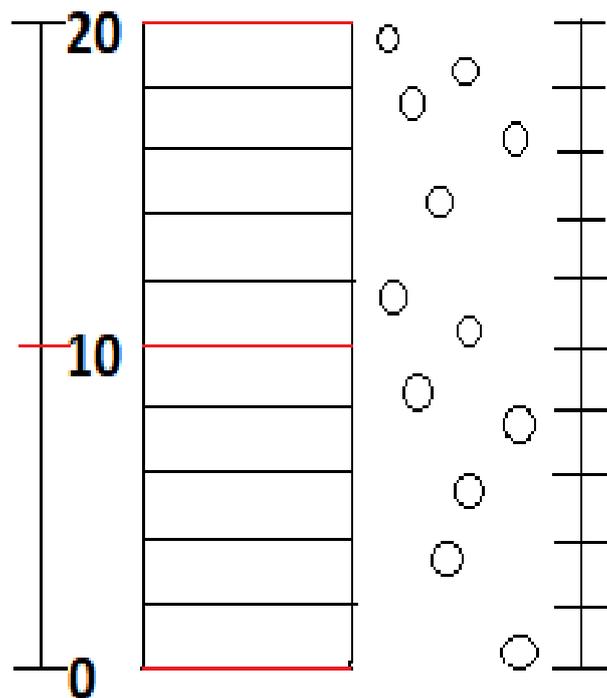


Figura 19 - Definição da área de observação das amostras, parcela de 20m subdividida à cada 2m, com a marcação dentro da mata a direita e medições dendrométricas ao centro. As marcas vermelhas representam as medições biofísicas da trilha, a cada 10m.

Fonte: Silva (2021).

Os dados das medianas correspondem a uma réplica verdadeira, mais consistente em termos de representatividade. Foi estabelecido que as medições biofísicas da trilha (largura e profundidade) seriam medidas a cada 10 metros e os dados dendrométricos (DAP e altura das árvores) seriam provenientes da medição de árvores ao longo de cada parcela. Foi medida a distância entre as 100 primeiras árvores, e a média dessa distância foi estabelecida como padrão para o espaçamento entre as árvores que seriam avaliadas, isso, com o objetivo de espaçar os pontos de avaliação, evitando uma possível sobreposição.

4.4 Coleta de dados em campo

Após a definição do campo de medições e observações, foi iniciado o processo de coleta de dados em campo. Primeiramente todas as marcações na trilha foram executadas, estabelecendo assim, as parcelas já pré-definidas. A trilha foi demarcada a cada dez metros com a utilização de placas de identificação e foram identificados os pontos de registros fotográficos através de uma trena eletrônica e aparelho GPS.

As fotografias hemisféricas foram capturadas em direção ao zênite, neste processo, o norte geográfico deve estar em direção ao topo da imagem, e o sul em direção à base do fundo da imagem. Foi utilizado o aplicativo Nível de bolha (Exa Mobile S.A.) para smartfone, para simular o nível de bolha e uma bússola (Figura 20). O leste, à esquerda, o oeste à direita, são invertidos usualmente em mapas, porque a vista é de cima para baixo (RICH, 1989). As fotografias foram obtidas a 1m do solo, com o auxílio de uma vara graduada. Esse procedimento de nivelamento em relação ao zênite e orientação para o sul é fundamental para o processo posterior, que é de processamento de imagens. A câmera foi posicionada com o apoio de um suporte de tripé, auxiliando o processo em um terreno irregular.



Figura 20 – Registro de fotografia hemisférica capturada com auxílio de nível de bolha e bússola. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2020).

As fotografias foram tomadas em dias nublados e com pouco vento, ou ainda em horários na parte da manhã ou, especialmente ao entardecer, evitando assim uma situação de exposição intensa à luminosidade, podendo causar alterações indesejadas nas fotografias, e distorções da folhagem devido à ação dos ventos. Todos os pontos foram georreferenciados através de um aparelho GPS, modelo Garmin Montana, e plotados (Figura 21).

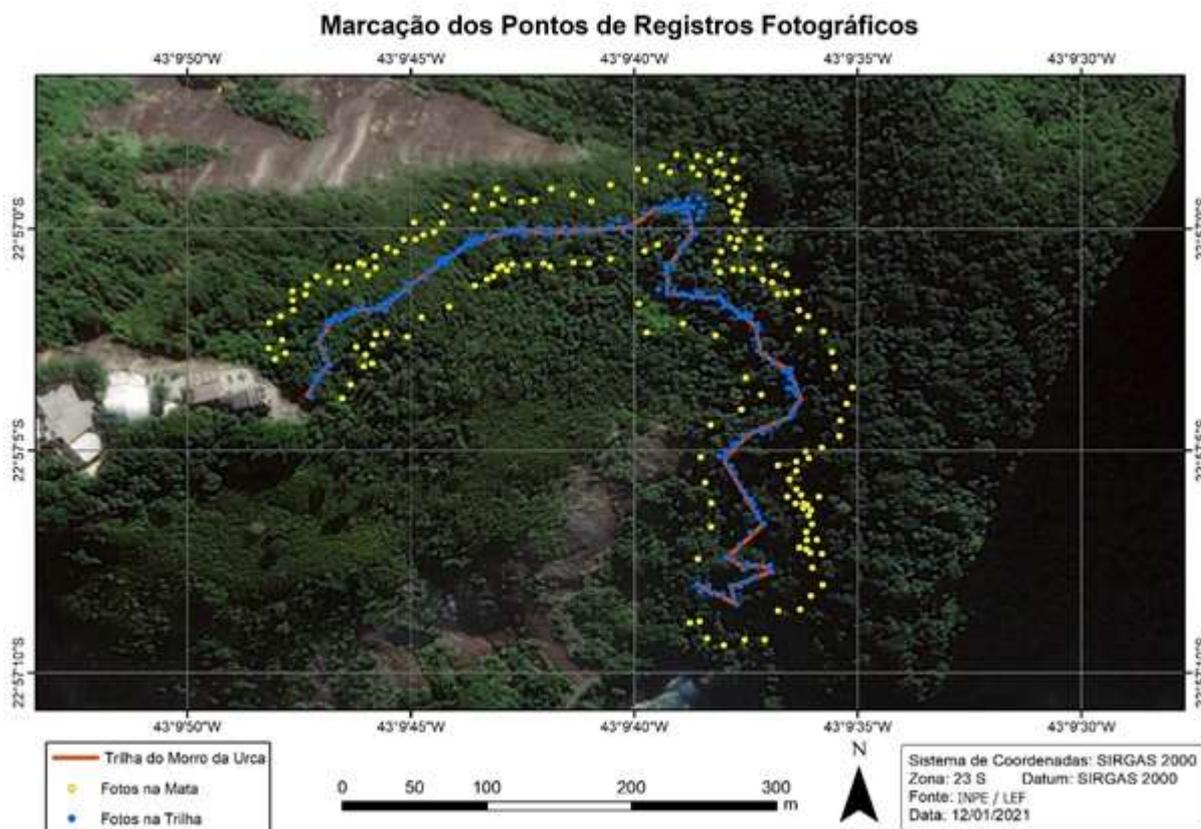


Figura 21 - Marcação dos pontos de captura das fotografias hemisféricas na área de estudo e delimitação da trilha do Morro da Urca em vermelho. Fotografias registradas no percurso da trilha em azul e fotografias registradas na área da mata em amarelo. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Foram registradas 175 fotografias no percurso da trilha, nos pontos sorteados anteriormente e mais 175 fotografias a 30 metros da trilha para dentro da mata, paralelamente aos pontos sorteados na trilha, totalizando 350 fotografias registradas (Figura 22). As fotografias dentro da mata foram capturadas ao lado direito, sempre que possível, mas devido à declividade acidentada da área de estudo, em alguns pontos as fotografias tiveram que ser registradas do lado esquerdo ao ponto sorteado dentro da trilha.

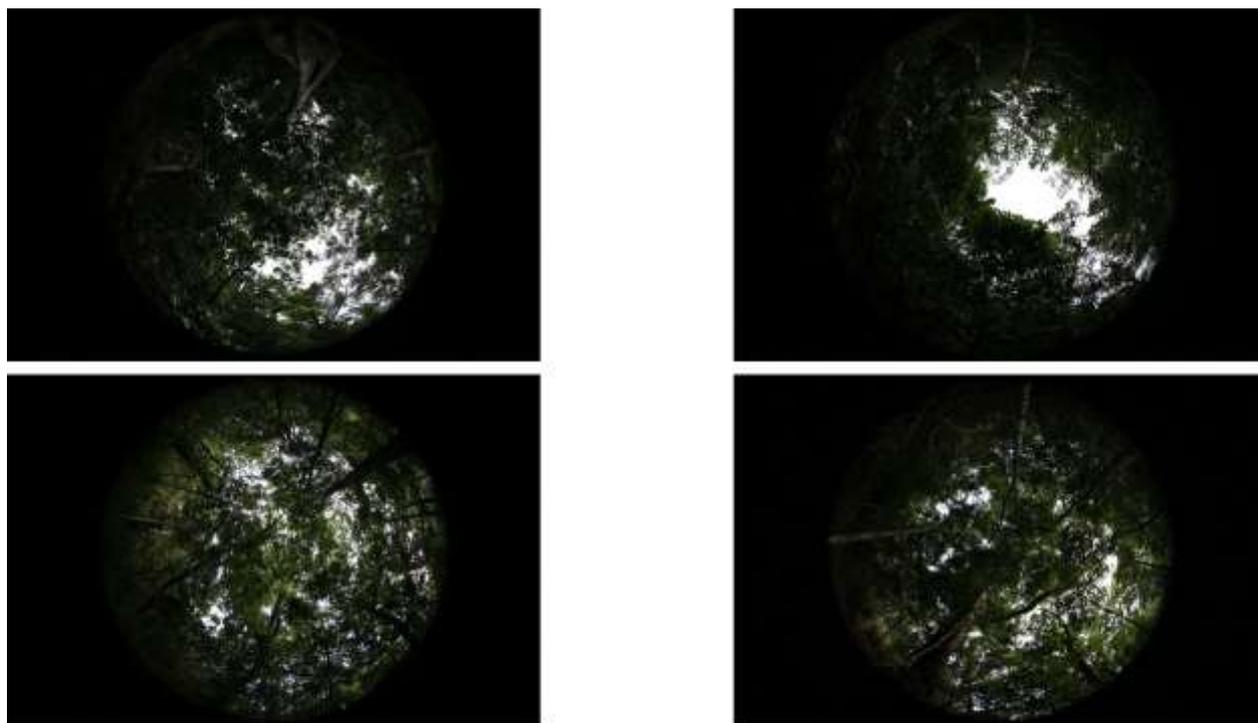


Figura 22 - Exemplo de fotografias hemisféricas obtidas com lente hemisférica 8 mm, Câmera CANON EOS 6D. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Para a definição da largura da trilha foi considerada a distância de um lado ao outro da calha da trilha, onde há frequente ação de pisoteio por parte dos visitantes ou delimitações associadas aos degraus dispostos em diversos pontos da trilha.

Assim, a trilha foi representada pelo trecho onde são evidentes indicadores físicos de passagem regular de caminhantes. Nesses trechos não constam elementos de regeneração da vegetação ou mesmo a cobertura do solo por serrapilheira, estando o solo exposto. Para a profundidade da trilha, foi calculada a mediana de medidas de cinco pontos equidistantes a partir do centro da trilha, a 10 centímetros uns dos outros. Para as medidas de DAP e altura das árvores ao longo da trilha foram avaliados os indivíduos arbóreos com diâmetro a altura do peito (1,3 metros) $\geq 2,5$ centímetros, baseado em estudos fitossociológicos (ZAÚ, 2010).

4.5 Processamento de imagens

O processamento das fotografias hemisféricas consiste em abrir uma imagem com o software GLA versão 2.0, registrá-la de modo que a orientação (norte) e o horizonte da fotografia sejam reconhecidos, ajustar as configurações de altitude e localização geográfica, estação do ano, condições atmosféricas do local de estudo e padrão de distribuição de luz (Figura 23).

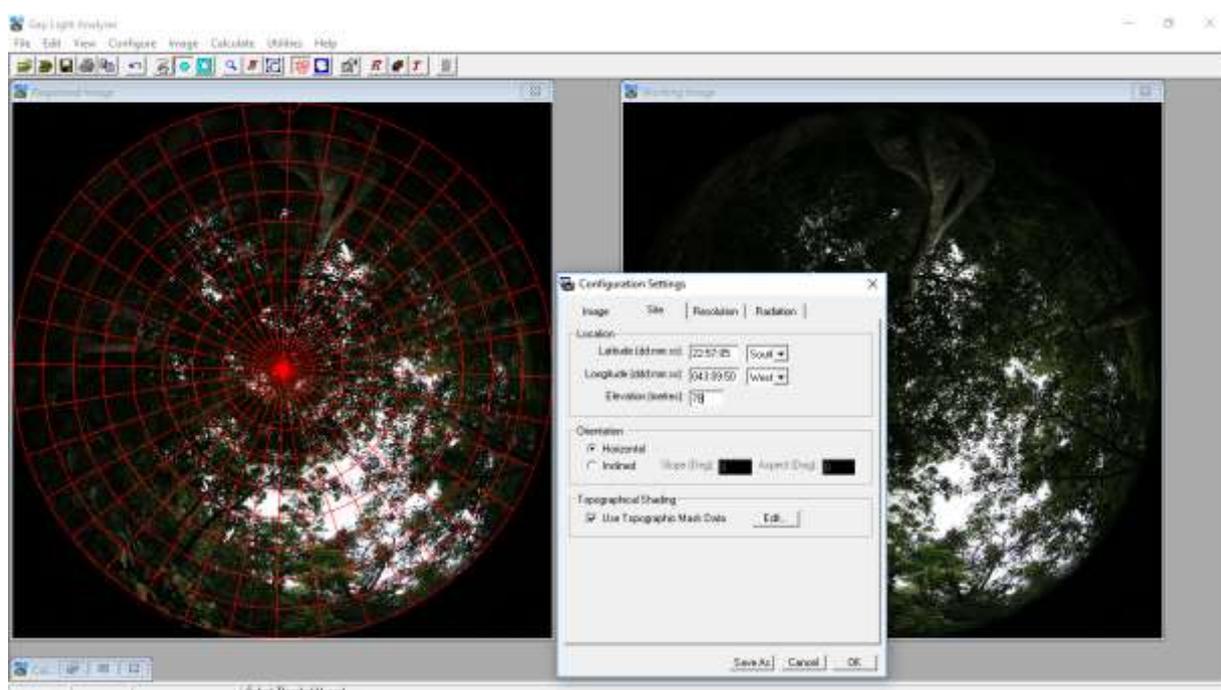


Figura 23 - Etapa de registro e definição das configurações da imagem através do Software GLA 2.0.
Fonte: Silva (2019).

Em seguida foi aplicado um canal de cor azul para corrigir possíveis efeitos de aberração cromática e uma correção gama de +2% (FRAZER *et al.*, 1999). Estabelecida as configurações iniciais, posteriormente foi definido o valor do limite (nível de corte para definição de área de céu aberto e área de copa das árvores) em escala de cinza, através do software RGBFisheye (Figura 24), que fornece um algoritmo para a obtenção automática desse valor de limite, evitando assim, uma escolha manual e arbitrária (ISHIDA, 2005).

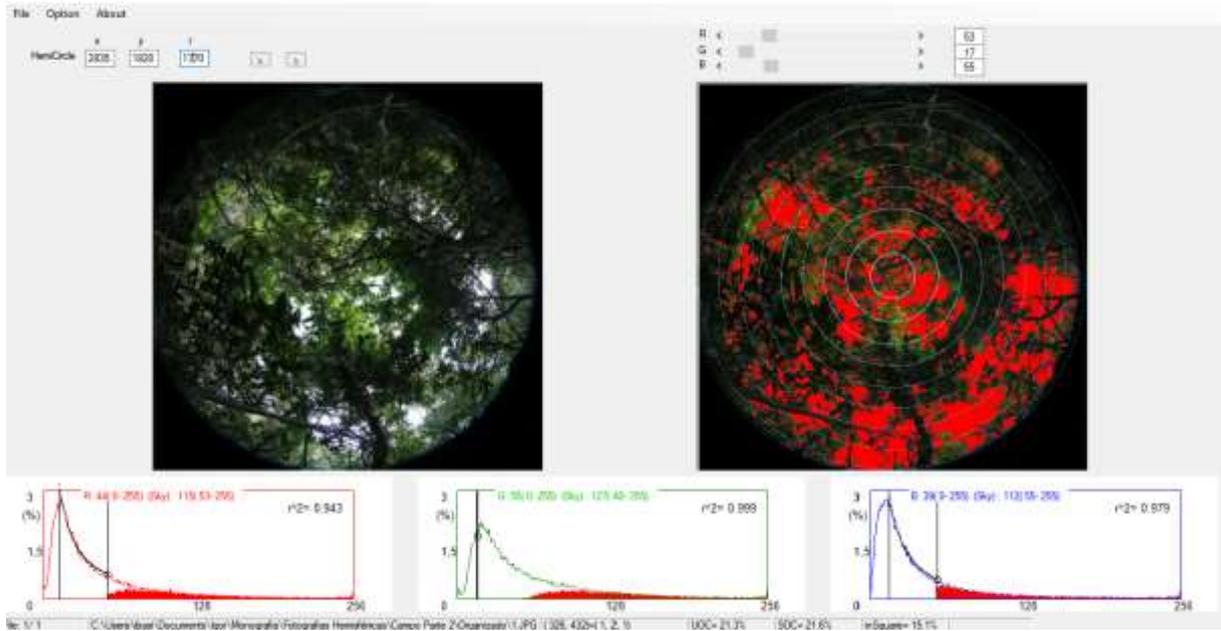


Figura 24 - Determinação do limiar de cor através do software RGBfisheye.
Fonte: Silva (2019).

Esse nível de corte é necessário para que nas imagens com valores binários (preto e branco), possam ser efetivados no GLA aqueles cálculos relacionados à estrutura do dossel (área aberta e área coberta), índice de área foliar e transmitância luminosa (Figura 25).

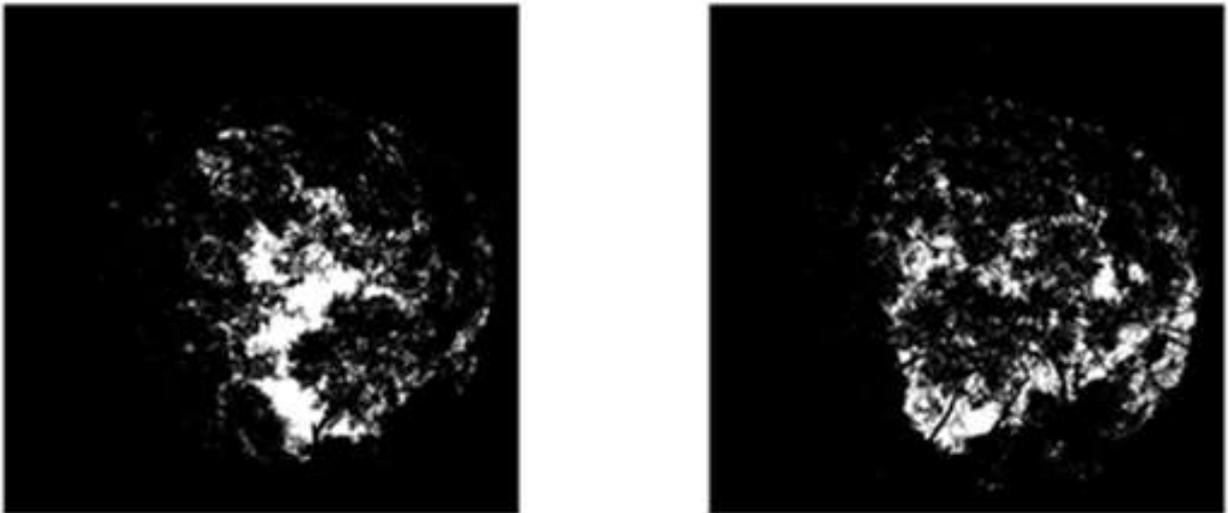


Figura 25- Fotografias hemisféricas após a transformação em imagens binárias.
Fonte: Silva (2019).

- “% Site Openness” – Porcentagem de céu aberto vista abaixo de um dossel da floresta dada a influência adicional de um horizonte efetivo que é inferior a 90° (sombreamento topográfico).
- “LAI 4 Ring” – Índice de área foliar efetivo integrado nos ângulos zenital de 0 a 60° .
- “LAI 5 Ring” – Índice de área foliar efetivo integrado sobre o ângulo zenital de 0 a 75° .
- “RB” – Fator de inclinação do feixe calculado para uma superfície arbitrariamente inclinada.
- “RD” – Fator de inclinação difusa calculado para uma superfície arbitrariamente inclinada.
- “Above Direct” – Quantidade de radiação direta incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada localizada na superfície terrestre sem qualquer efeito de topografia ou dossel da floresta.
- “Above Diffuse” – Quantidade de radiação difusa incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada localizada na superfície terrestre sem qualquer efeito de topografia ou dossel da floresta.
- “Above Total” – Soma do Above Direct e Above Diffuse.
- “Above Direct Mask” – Quantidade de radiação direta incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada levando em consideração o efeito de uma máscara topográfica.
- “Above Diffuse Mask” – Quantidade de radiação difusa incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada levando em consideração o efeito de uma máscara topográfica.
- “Above Total Mask” – Soma de Above Direct Mask e Above Diffuse Mask.
- “Trans Direct” – Quantidade de radiação solar direta transmitida pelo dossel.
- “Trans Diffuse” – Quantidade de radiação solar difusa transmitida pelo dossel.
- “Trans Total” – Soma de Trans Direct e Trans Diffuse.
- “% Trans Direct” – Proporção de Trans Direct para Above Direct Mask multiplicada por 100%.
- “% Trans Diffuse” – Proporção de Trans Diffuse para Above Diffuse Mask multiplicada por 100%.
- “% Trans Total” – Proporção de Trans Total para Above Total Mask multiplicada por 100%.

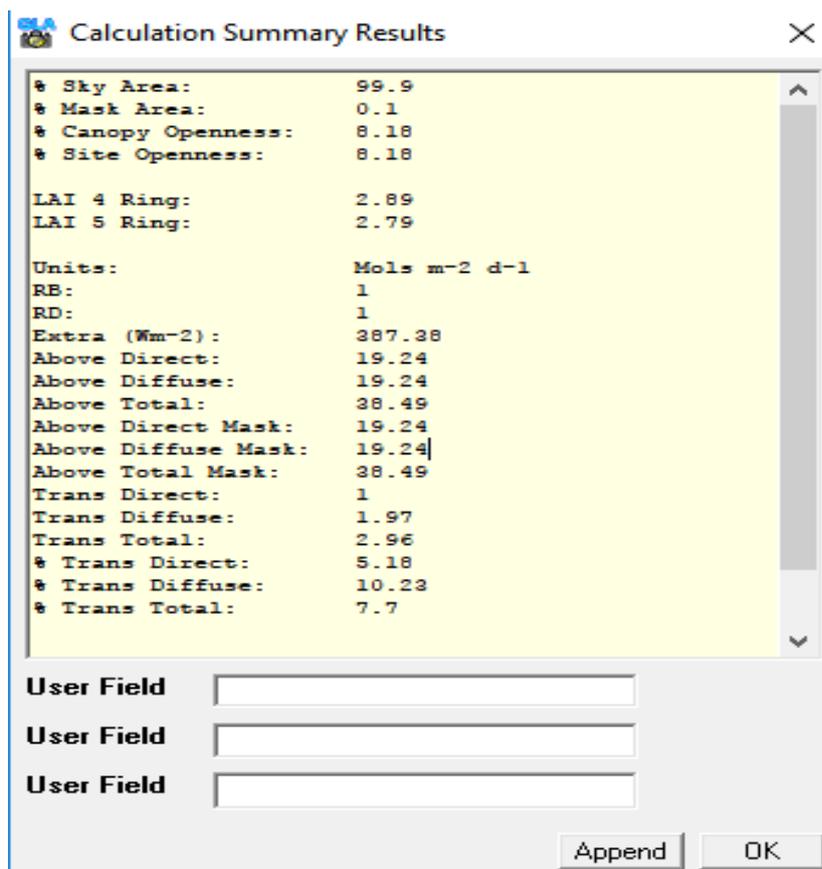


Figura 27- Relatório de cálculo obtido através do software GLA 2.0.
Fonte: Silva (2021).

Dentre esses atributos fornecidos pelo relatório final, foram analisados a porcentagem de abertura do dossel, o índice de área foliar “4 anéis” (60° em relação ao zênite), a transmitância luminosa direta, difusa e total de radiação fotossintética ativa. Esses atributos foram selecionados por serem os que mais caracterizam a estrutura florestal do local analisado (FRAZER *et al.*, 1999; JONCKHEERE *et al.*, 2005).

4.6 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R 3.4.1 (R CORE TEAM, 2017), iniciando com a verificação da hipótese das distribuições das variáveis analisadas poderem ser caracterizadas pela distribuição normal, para a escolha adequada dos métodos de inferência estatística. Desta forma, podemos definir os testes mais adequados (paramétricos ou não

paramétricos) para cada variável analisada. Para aplicação de técnicas estatísticas multivariadas foram verificadas as dependências lineares, pelo coeficiente de correlação, entre as variáveis analisadas.

Por último foi elaborada uma ACP (análise de componentes principais) que é uma técnica estatística de redução de dimensionalidade no conjunto de dados e criação de indicadores a partir de combinações lineares das variáveis originais (MARQUES, 1994; SILVA *et al.*, 2015).

4.7 Análise geoestatística

As análises geoestatísticas foram elaboradas através do software ArcGis Desktop 10.5 (ESRI, 2017). Para essa etapa da pesquisa foram utilizadas as técnicas de krigagem ou krigeagem. Trata-se de um método de regressão usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados. Assim, foi possível caracterizar e mapear a variabilidade espacial dos atributos medidos, em escalas variando de centímetros até quilômetros.

A krigagem pode ser utilizada tanto para fazer uma previsão do valor pontual de uma variável regionalizada em um determinado local, quanto para calcular o valor médio de uma variável regionalizada (LANDIM e STURARO, 2002).

O tipo de krigagem utilizado no projeto, foi a krigagem ordinária. Esse método de krigagem é a mais amplamente utilizada em estudos ambientais, devido a simplicidade do método (média ponderada), que usa a informação estrutural fornecida pelo modelo de semivariograma e também porque proporciona a incerteza associada à estimativa, por meio da variância de krigagem (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Posteriormente, foram gerados os modelos para as variáveis: abertura do dossel, índice de área foliar, transmitância luminosa direta, transmitância luminosa indireta, transmitância luminosa total e diâmetro do tronco das espécies arbóreas.

4.8 Elaboração cartográfica

A partir da coleta, organização e análise dos dados coletados, foi possível reunir e nomear as informações geográficas, formando um banco de dados para as análises espaciais. Todos os dados coletados foram referenciados ao datum SIRGAS 2000, no sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) e Zona 23 Sul. A imagem escolhida como “âncora” foi obtida por meio do catálogo eletrônico de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do satélite LANDSAT 8. A base Cartográfica, o processamento digital de imagens e os mapeamentos foram elaborados nos Softwares Arcgis 10.5 (ESRI, 2017) e ArcGIS PRO 2.7.1 (ESRI, 2020). A utilização de suas versões do software Arcgis se deu por conta da otimização na elaboração cartográfica, tendo em vista que algumas ferramentas se diferem em cada versão do software.

Foram elaborados os mapas com simbologias personalizadas, onde utilizou-se de símbolos proporcionais ou graduados. Através dessa ferramenta, cada variável tem seu valor graduado em cores e largura definidas a partir de seus respectivos valores. O algoritmo do software ArcGIS PRO 2.7.1 (ESRI, 2020), define a grade de cores e a largura em diferentes níveis, possibilitando uma visualização geoespacial da variável e sua variação ao longo do espaço. O algoritmo executa uma análise baseada no histograma da variável, ou seja, da distribuição de frequências de dados numéricos. Assim, um modelo estatístico é elaborado para a organização dos dados, exibindo a frequência que uma determinada amostra de dados ocorre, possibilitando a visualização da sua distribuição espacial (ARCGIS INSIGHTS, 2020).

Por último, foram gerados os mapas com base nas análises geoestatística, elaboradas na etapa anterior, com seus respectivos semivariogramas.

4.9 Elaboração de Qr-Codes

Nessa etapa da metodologia, todos os dados analisados assim como os resultados obtidos das análises elaboradas anteriormente, formaram um banco de dados digital, juntamente com as fotografias hemisféricas registradas durante o trabalho. Foram elaborados QR-Codes contendo resultados e registros para cada parcela analisada, totalizando 35 QR-Codes, assim como, um QR-

Code final contendo o resultado do conjunto de todas as análises elaboradas. Esses QR-Codes serviram de apoio para a próxima etapa do projeto.

4.10 Elaboração de totens interpretativos

Na etapa final do projeto, foram elaborados modelos de totens interpretativos, com os QR-Codes anexados a eles, contendo os resultados obtidos do projeto de pesquisa. Os totens interpretativos poderão ser implementados ao longo de todo o percurso da trilha, respeitando as respectivas parcelas analisadas, que conterão as informações relevantes daquela área.

Os totens interpretativos, são o produto final do projeto, e servirão para fornecer aos visitantes informações ecológicas e ambientais pertinentes à área de estudo. Além das informações ecológicas e ambientais, os QR-Codes implementados nos totens interpretativos também darão acesso a imagens e vídeos das respectivas áreas. Serão disponibilizadas informações técnicas, porém, de uma maneira amistosa, para que possa promover aos visitantes um conhecimento mais abrangente do ecossistema local e incentivar uma postura ecológica mais responsável por parte destes.

Dentre as informações ambientais do trecho, estão, as condições da estrutura florestal do local (abertura do dossel e índice de área foliar), condições biofísicas da trilha (largura e profundidade) e a transmitância luminosa (direta, indireta e total), além do impacto que cada trecho (parcela) possa estar causando naquele ambiente ao entorno da trilha.

5 Resultados e Discussão

De acordo com o estudo realizado anteriormente, pelo grupo de pesquisa, foram obtidos os resultados das análises dos testes das 132 fotografias hemisféricas, com distintas configurações dos parâmetros de valor de exposição (EV), diâmetro de abertura da lente (F), velocidade ISO, grau de exposição (GE) e velocidade do obturador (S).

Assim, foram selecionadas as 15 configurações que mais se aproximaram da mediana total, resultante das 132 configurações analisadas, para cada uma das variáveis: abertura do dossel, índice de área foliar e transmitância luminosa total. Também foram elaboradas a estatística

descritiva e a inferência estatística dos dados obtidos, para a confirmação e melhor interpretação dos resultados obtidos.

A primeira variável analisada foi a abertura do dossel. Essa, não apresentou uma distribuição normal (paramétrica) segundo o teste de Shapiro Wilk ($W = 0,944$, $p < 0,005$), assim, para executar os testes e a inferência estatística foram utilizados testes não paramétricos. A abertura do dossel apresentou o percentual mínimo de 5,96%, máximo de 18,07%, média de 11,06% e a mediana de 11,44% (Figura 28).

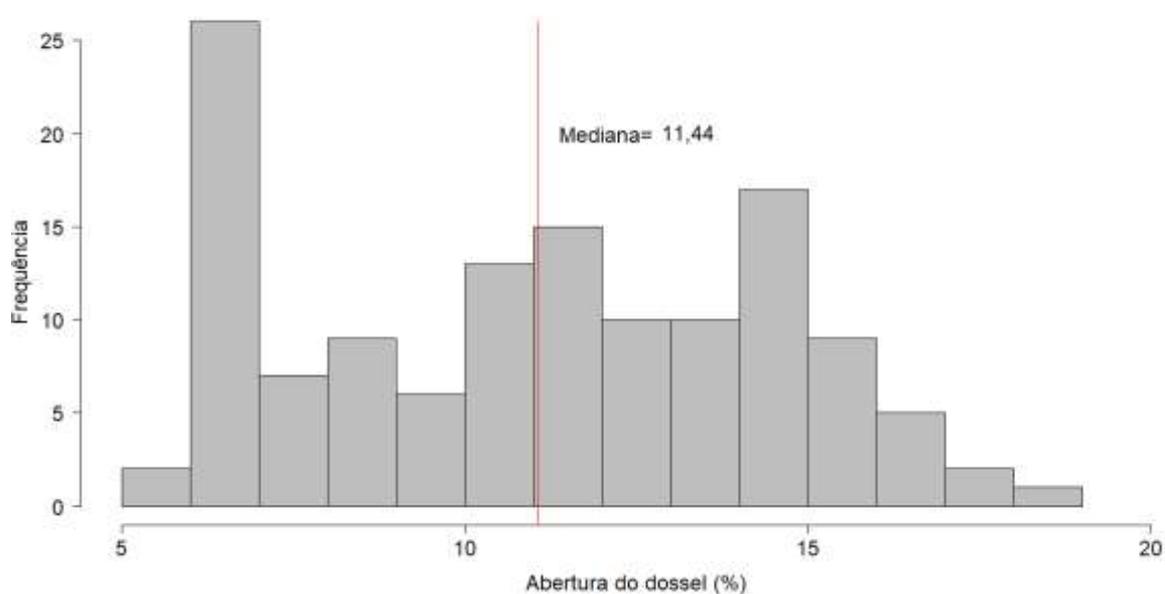


Figura 28 - Histograma de frequência da abertura do dossel (%), com a mediana representada pela linha vermelha, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas com configurações distintas. Shapiro Wilk ($W = 0,944$, $p < 0,005$), mediana = 11,44%. Testes elaborados na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), “Campus 458”, Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

O resultado mostrou que existe uma amplitude de 12,11% entre os valores obtidos da abertura do dossel, desvio padrão de 3,38% e coeficiente de variação de 31,00%, indicando uma baixa variabilidade. O teste de Wilcoxon corrobora a hipótese de que existe uma diferença significativa da abertura do dossel, em relação às 132 configurações testadas ($V = 878$, $p < 0,005$). Assim, foi avaliada a variação dos resultados da variável abertura do dossel de acordo com as 132 configurações distintas da câmera, para cada parâmetro (variável) da câmera analisado.

A primeira análise elaborada foi para averiguar a variação da abertura do dossel, em relação ao parâmetro valor de exposição (EV). Para o valor de exposição, foram avaliadas as variações: -1, 0 e +1 (Figura 29).

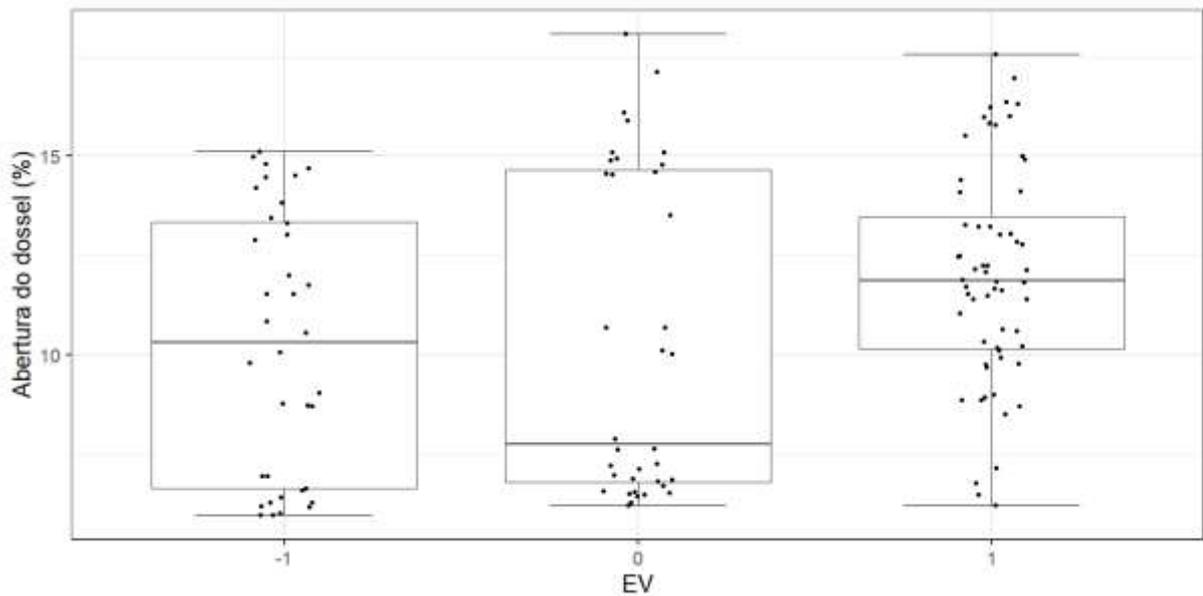


Figura 29 – Boxplot da abertura do dossel (%) em relação aos níveis do valor de exposição (EV), com as variações: -1, 0 e 1, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 7,977, df = 2, p = 0,018). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações avaliadas apresentaram uma mediana de 10,31%, 7,75% e 11,86%, respectivamente, de abertura do dossel. A análise evidencia uma diferença significativa entre os valores da abertura do dossel em relação aos níveis do valor de exposição, corroborada pelo teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 7,977, df = 2, p = 0,018).

Os resultados apontam que os valores obtidos na configuração +1, foram os que mais se aproximaram da mediana total, porém, outras configurações em outros valores também foram registradas, com resultados bem próximos à mediana total.

Para o parâmetro diâmetro de abertura da lente (F), das 132 fotografias testadas, foram avaliadas as variações: 4, 5,6 e 9 (Figura 30).

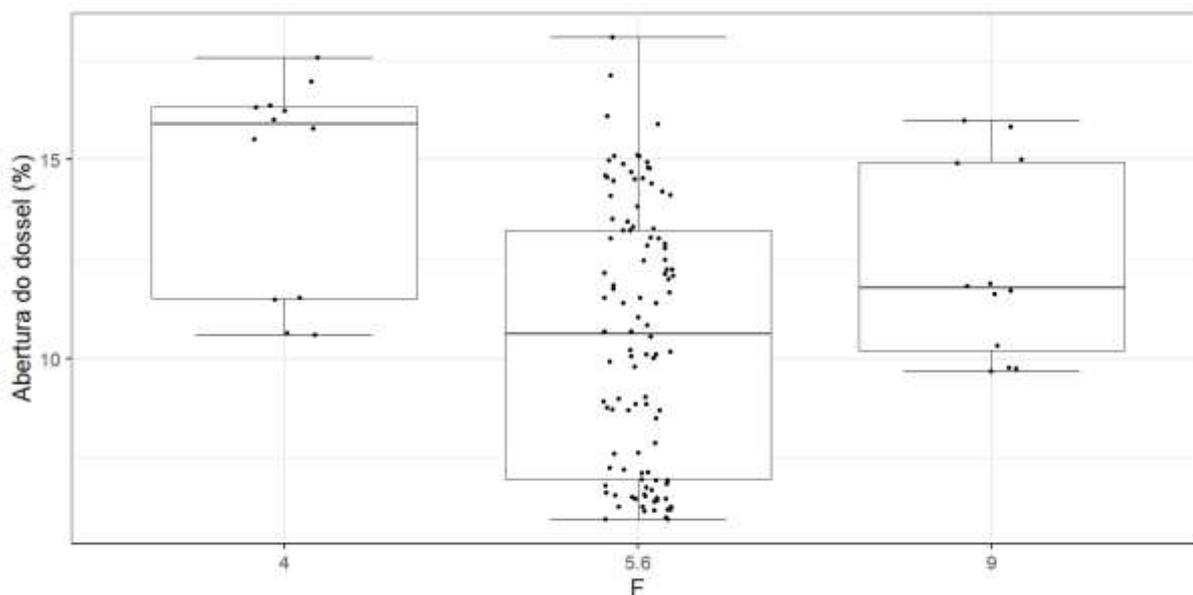


Figura 30 – Boxplot da abertura do dossel (%) em relação aos níveis de abertura da lente (F), com as variações: 4, 5,6 e 9, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 16,16, df = 2, $p < 0,005$). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações de abertura da lente avaliadas, apresentaram uma mediana de 15,88%, 10,62% e 11,16% respectivamente, de abertura do dossel. O teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 16,16, df = 2, $p < 0,005$), corrobora a existência de uma diferença significativa nos resultados de abertura do dossel em relação aos níveis da abertura da lente. Posteriormente, foram registradas as configurações mais próximas da mediana total.

Para a velocidade ISO, das 132 fotografias testadas, foram avaliadas as variações: 100, 200, 400, 800 e AUTO (automático) (Figura 31).

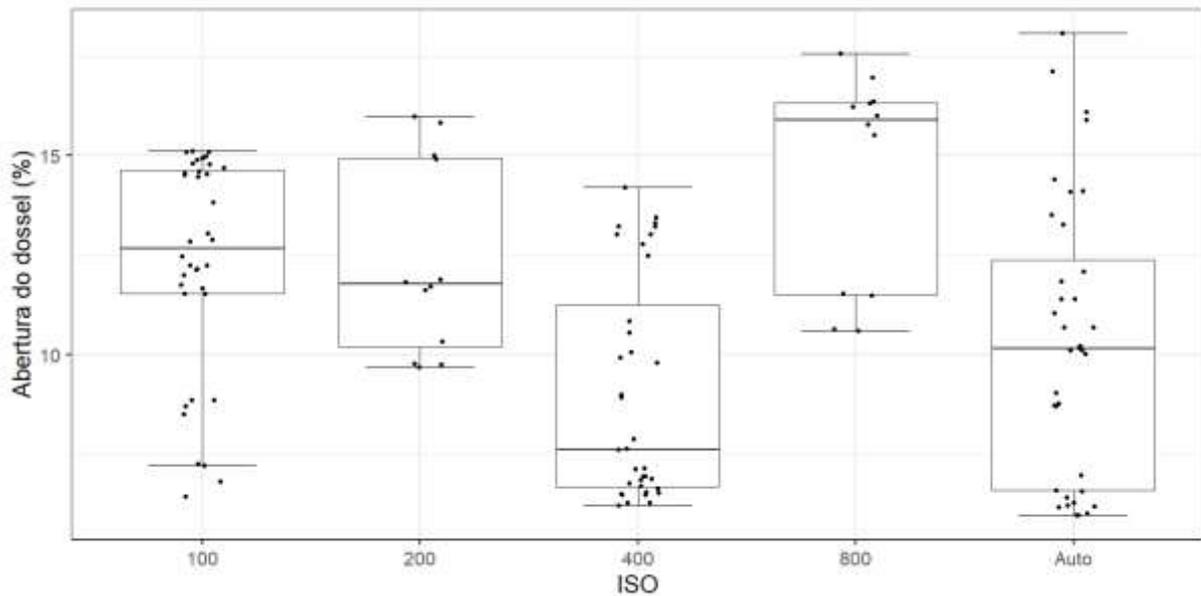


Figura 31 - Boxplot da abertura do dossel (%) em relação aos níveis da velocidade ISO, com as variações:100, 200, 400, 800 e Auto, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 33,575, df = 4, $p < 0,005$). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações de velocidade ISO avaliadas, apresentaram uma mediana de 12,65%, 11,76, 7,62%, 15,88% e 10,14% de abertura do dossel, respectivamente. Esse resultado, evidencia uma diferença significativa da abertura do dossel em relação aos níveis do valor de ISO, que é corroborado pelo teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 33,575, df = 4, $p < 0,005$). Assim, também foram registadas as configurações mais próximas da mediana total.

Para o parâmetro grau de exposição (GE), das 132 fotografias testadas, foram avaliadas as variações em Alta, Baixa, Normal e Off (Figura 32).

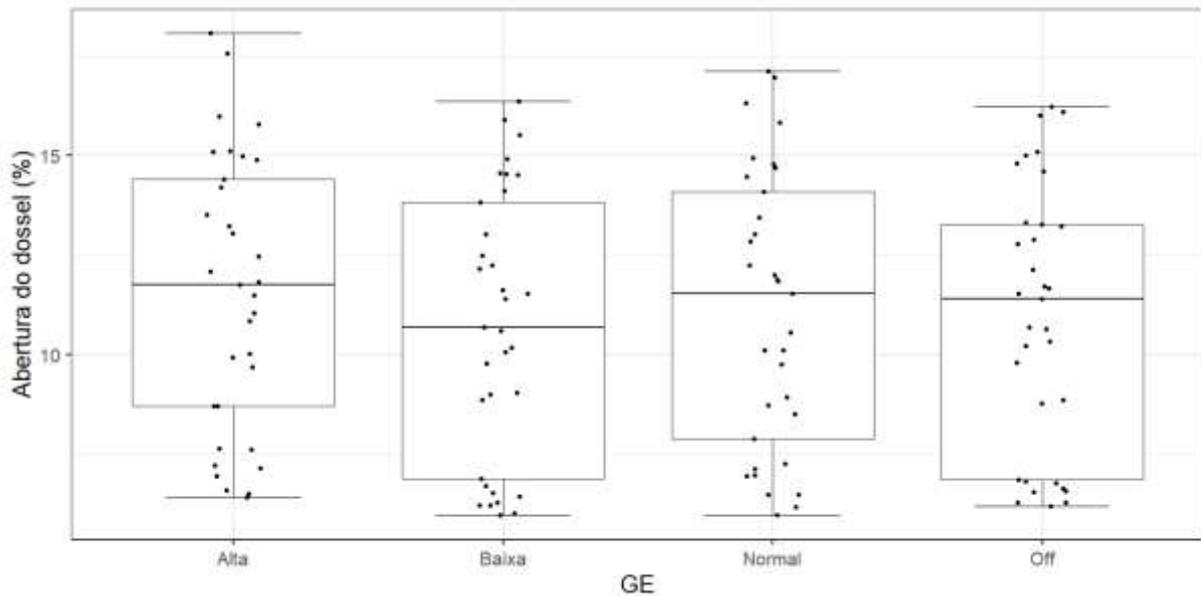


Figura **Erro! Argumento de opção desconhecido.** - Boxplot da abertura do dossel (%) em relação aos níveis do grau de exposição (GE), com as variações: Alta, Baixa, Normal e Off, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 1,201, df = 3, p = 0,752). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações do grau de exposição avaliadas, apresentaram uma mediana de 11,75%, 10,68%, 11,52% e 11,39% de abertura do dossel, respectivamente. Esse resultado, não evidencia uma diferença significativa nos valores obtidos da abertura do dossel em relação aos níveis do grau de exposição (teste Kruskal-Wallis; chi-squared = 1,201, df = 3, p = 0,752). Apesar de não haver uma diferença significativa entre as variações do grau de exposição, foram registradas as configurações com resultados mais próximos da mediana total da abertura do dossel, sendo necessário para avaliar as combinações dos parâmetros ao final das análises.

Para o grau de velocidade do obturador (S), das 132 fotografias testadas, foram avaliadas as variações em 1/200, 1/500 e Auto (automático) (Figura 33).

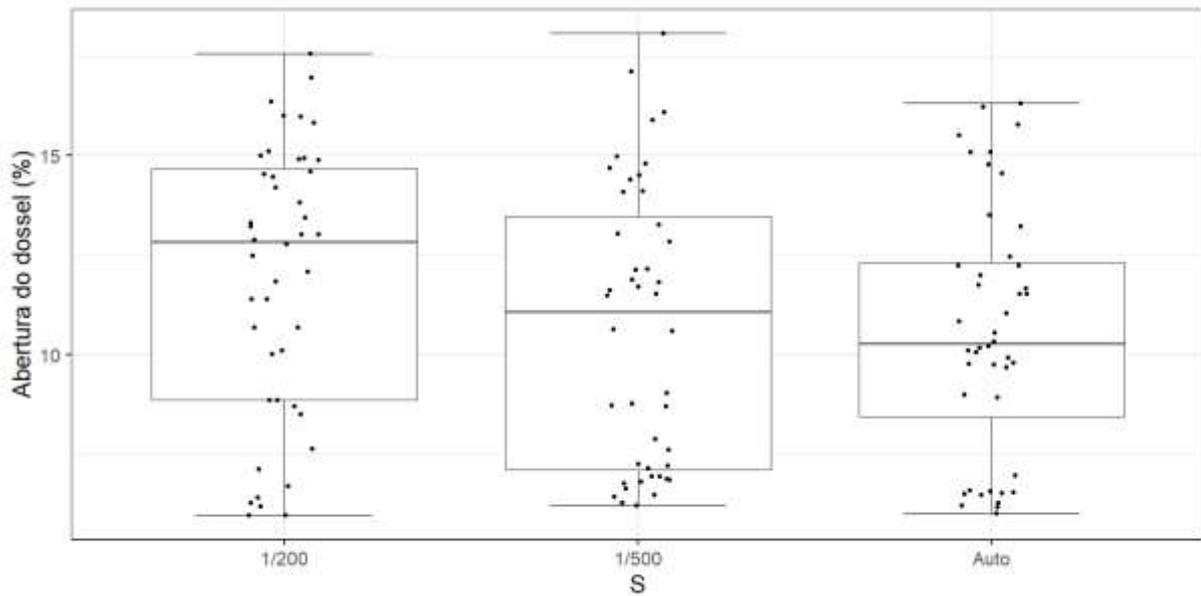


Figura 33 – Boxplot da abertura do dossel (%) em relação aos níveis da velocidade do obturador (S), com as variações: 1/200, 1,500 e Auto, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kurkal-Wallis (chi-squared = 4,099, df = 2, p = 0,129). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações da velocidade do obturador (S) avaliadas, apresentaram uma mediana de 12,83%, 11,06%, e 10,27% de abertura do dossel, respectivamente. Esse resultado, não evidencia uma diferença significativa nos valores obtidos da abertura do dossel, em relação aos níveis da velocidade do obturador (teste Kruskal-Wallis; chi-squared = 4,099, df = 2, p = 0,129). Apesar de não haver uma diferença significativa entre as variações da velocidade do obturador, também foram registradas as configurações mais próximas da mediana total, sendo necessário para avaliar as combinações dos parâmetros ao final das análises.

Ao final das análises dos resultados da abertura do dossel, em relação a variação das diferentes configurações avaliadas, foi possível identificar as melhores configurações para estimativas da abertura do dossel, em ambientes similares ao da área de estudo, Floresta Ombrófila Densa (Tabela 1).

Tabela 1 - Configurações da câmera mais adequadas para estimativa da abertura do dossel (%) em ambientes de Floresta Ombrófila Densa. Câmera: CANON EOS6D, Lente: FishEye 8mm. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

N	F	EV	ISO	GE	S	A.D. (%)
18	5,6	1	Auto	Baixa	1/200	11,40
12	4	1	800	Alta	1/500	11,49
17	5,6	1	Auto	Off	1/200	11,39
11	4	1	800	Normal	1/500	11,52
86	5,6	-1	100	Baixa	Auto	11,52
85	5,6	-1	100	Off	Auto	11,54
58	9	1	200	Baixa	1/500	11,63
61	5,6	1	100	Off	Auto	11,67
57	9	1	200	Off	1/500	11,70
16	5,6	1	Auto	Alta	Auto	11,05
100	5,6	-1	400	Alta	Auto	10,83
114	5,6	0	Auto	Baixa	1/200	10,68
113	5,6	0	Auto	Off	1/200	10,68
9	4	1	800	Off	1/500	10,63
10	4	1	800	Baixa	1/500	10,59

Os resultados das análises estatísticas, demonstram que a calibragem dos parâmetros da câmera: F, EV e ISO, possuem maior influência nos resultados obtidos, quando se presente avaliar a abertura do dossel. Já a variação dos parâmetros GE e S, possuem menor interferência nos resultados.

A configuração 18, em destaque, apresentou o melhor resultado dentre as configurações avaliadas, quando o objetivo é estudar a abertura do dossel florestal em áreas como a do ambiente de estudo. A mediana da abertura do dossel nessa configuração, foi de 11,40%, sendo a que mais se aproximou da mediana total, 11,44%, apresentando uma diferença de apenas 0,04% no resultado. Além disso, cada parâmetro da câmera avaliado nessa configuração, se apresentou dentro dos grupos principais de F, EV e ISO; parâmetros onde identificou-se diferença significativa nas suas variações em relação a abertura dossel, como avaliado anteriormente.

A segunda variável analisada, de acordo com as variações das configurações da câmera, foi o índice de área folia (IAF). Os resultados dessa variável não apresentaram uma distribuição normal, de cordo com o teste de Shapiro-Wilk ($W = 0,944$, $p < 0,005$), assim, foram utilizados testes não paramétricos nas análises. Os dados do índice de área foliar, apresentaram um resultado mínimo de 2,00 (m^2/m^2), um máximo de 3,54 (m^2/m^2), média de 2,75 (m^2/m^2) e uma mediana de 2,66 (m^2/m^2) (Figura 34).

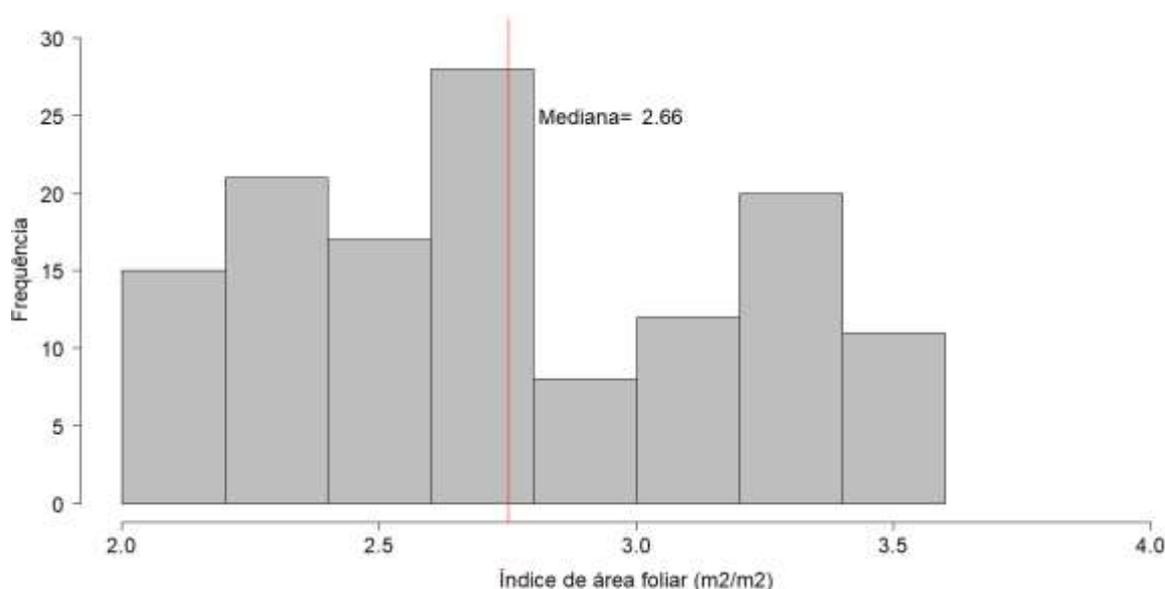


Figura 1 - Histograma de frequência do índice de área foliar (m^2/m^2), com a mediana representada pela linha vermelha, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas com configurações distintas. Shapiro Wilk ($W = 0,944$, $p < 0,005$), mediana = $2,66$ (m^2/m^2). Testes elaborados na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), “Campus 458”, Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

O resultado mostrou que existe uma amplitude de $1,54$ (m^2/m^2) entre os valores obtidos do índice de área foliar, com um desvio padrão de $0,44$ (m^2/m^2) e coeficiente de variação de 16 %. O teste de Wilcoxon corrobora a hipótese de que existe uma diferença significativa da variação do índice de área foliar, em relação às 132 configurações testadas ($V = 8778$, $p < 0,005$). Assim, foi avaliada a distribuição dessa variação, de acordo com cada configuração pré-estabelecida da câmera e seus respectivos parâmetros.

Inicialmente, assim como na variável abertura do dossel, para o valor de exposição (EV), das 132 fotografias analisadas, foram avaliadas as variações: -1, 0 e +1 (Figura 35).

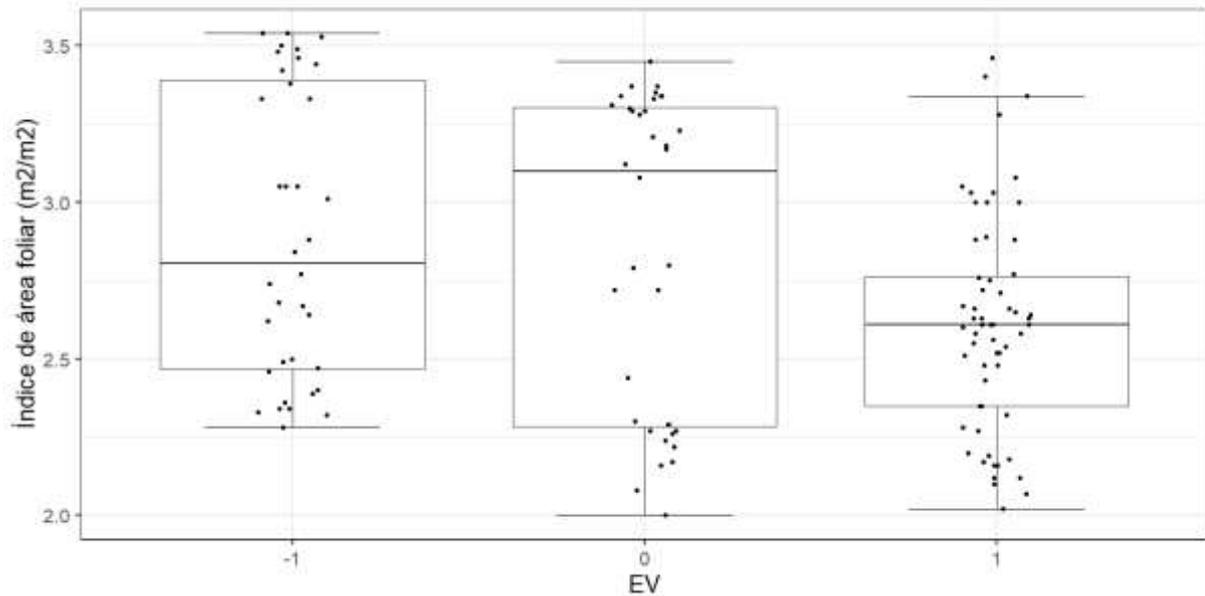


Figura 2 - Boxplot do índice de área foliar (m^2/m^2) em relação aos níveis do valor de exposição (EV), com as variações: -1, 0 e +1, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 10,034, df = 2, $p < 0,005$). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações do valor de exposição avaliadas, apresentaram uma mediana de 2,81 (m^2/m^2), 3,10 (m^2/m^2) e 2,61 (m^2/m^2) de índice de área foliar, respectivamente. O teste de Kruskal-Wallis (chi-squared = 10,034, df = 2, $p < 0,005$), corrobora a existência de uma variação significativa entre o índice de área foliar e a variação do valor de exposição (EV). Os resultados apontam que os valores obtidos na configuração +1, foram os que se mais se aproximaram da mediana total. Posteriormente, foram registrados os dados que mais se aproximaram da mediana total.

Em seguida, foi avaliado o diâmetro de abertura da lente (F), em relação ao índice de área foliar. Da mesma forma, foram avaliadas as variações: 4, 5,6 e 9 (Figura 36).

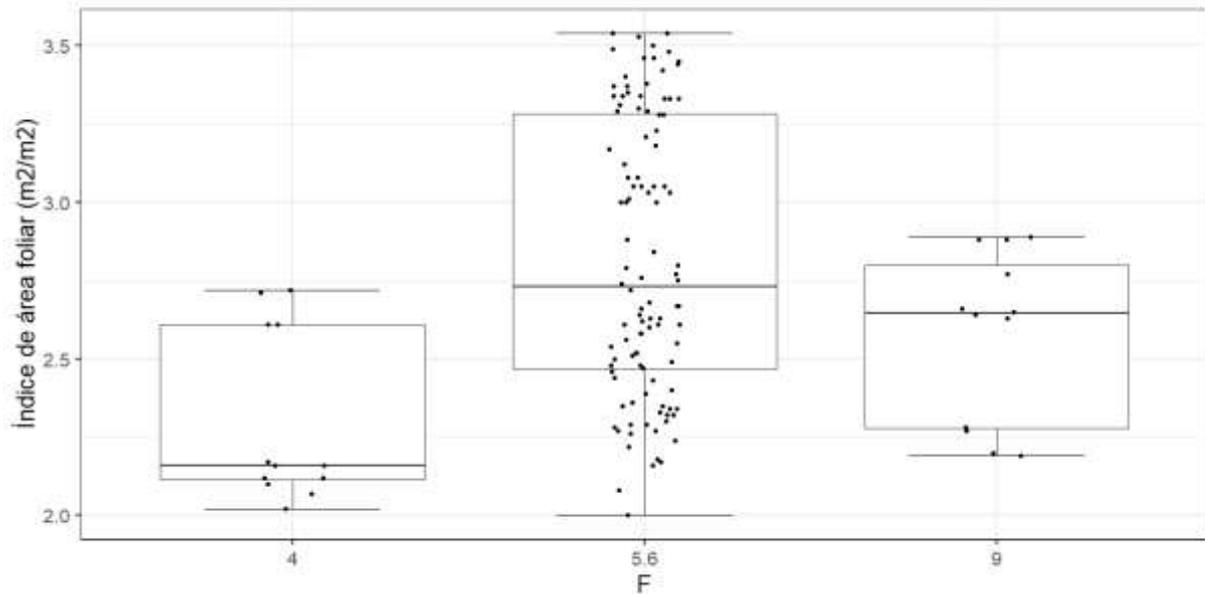


Figura 3 - Boxplot do índice de área foliar (m^2/m^2) em relação aos níveis do diâmetro de abertura da lente (F), com as variações: 4, 5,6 e 9, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 17,229, $df = 2$, $p < 0,005$). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações do diâmetro de abertura da lente avaliadas, apresentaram uma mediana de 2,81 (m^2/m^2), 3,11 (m^2/m^2) e 2,61 (m^2/m^2) de índice de área foliar, respectivamente. Esse resultado evidencia uma diferença significativa nas variações do índice de área foliar, em relação ao valor do diâmetro de abertura da lente, corroborada pelo teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 17,229, $df = 2$, $p < 0,005$). Assim, foram registadas as configurações mais próximas da mediana total.

O parâmetro avaliado em seguida, foi a velocidade ISO. Da mesma forma, foram avaliadas as variações: 100, 200, 400, 800 e AUTO (automático) (Figura 37).

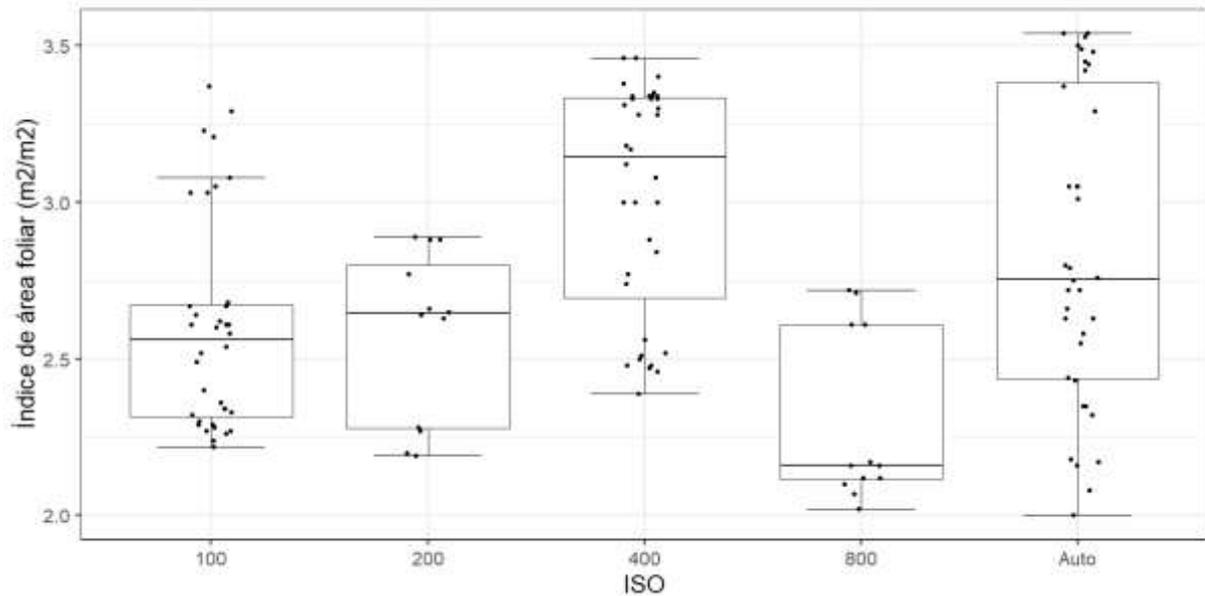


Figura 34 - Boxplot do índice de área foliar (m^2/m^2) em relação aos níveis da velocidade ISO, com as variações: 100, 200, 400, 800 e Auto, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 32,785, df = 4, $p < 0,005$). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações de velocidade ISO avaliadas, apresentaram uma mediana de 2,56 (m^2/m^2), 2,64 (m^2/m^2), 3,14 (m^2/m^2), 2,16 (m^2/m^2) e 2,75 (m^2/m^2) de índice de área foliar, respectivamente. Esse resultado, evidencia uma diferença significativa na variação das configurações do valor da velocidade ISO em relação ao índice de área foliar, corroborada pelo teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 32,785, df = 4, $p < 0,005$). Assim, foram registradas as configurações que apresentaram resultados mais próximos da mediana total.

Para o grau de exposição (GE), foram avaliadas as configurações em Alta, Baixa, Normal e Off, em relação aos resultados do índice de área foliar (Figura 38).

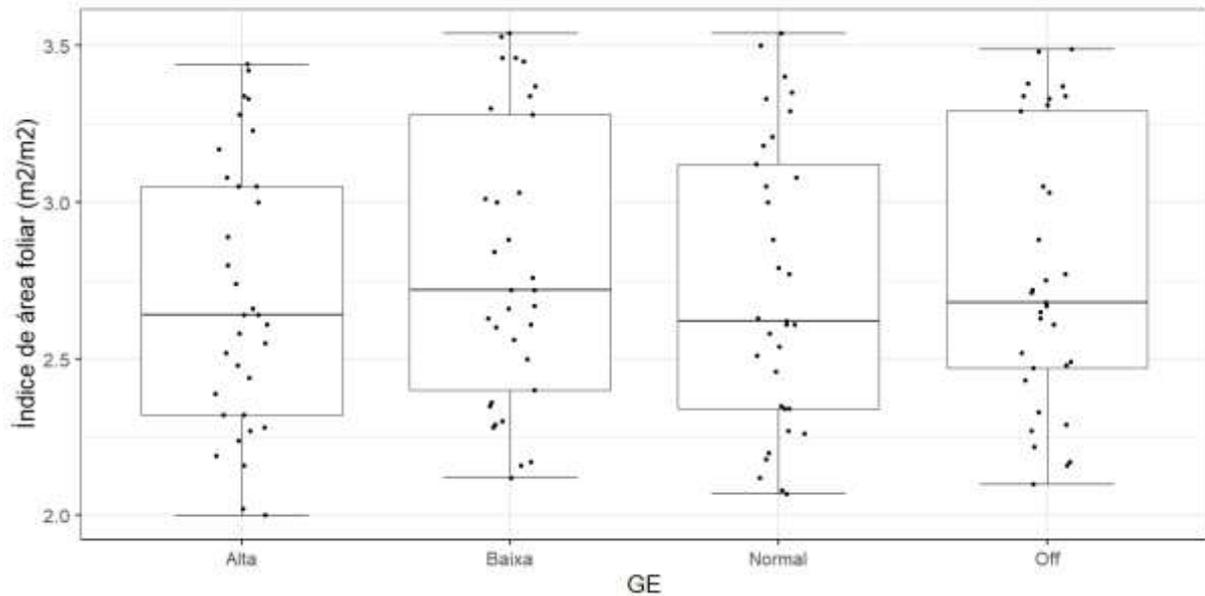


Figura 35 - Boxplot do índice de área foliar (m^2/m^2) em relação aos níveis do grau de exposição (GE), com as variações: Alta, Baixa, Normal e Off, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 1,088, df = 3, p = 0,779). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações do grau de exposição avaliadas, apresentaram uma mediana de 2,64 (m^2/m^2), 2,72 (m^2/m^2), 2,62 (m^2/m^2) e 2,68 (m^2/m^2) de índice de área foliar, respectivamente. Esse resultado, não evidencia uma diferença significativa nos valores do índice de área foliar em relação aos níveis do grau de exposição (GE) (teste Kruskal-Wallis; chi-squared = 1,088, df = 3, p = 0,779). Apesar de não haver uma diferença significativa entre as variações do GE, também foram registradas as configurações mais próximas da mediana total. As configurações nos níveis Alta e Off, foram as que mais se aproximaram da mediana total de todos os testes realizados, 2,66 (m^2/m^2). A mediana das duas configurações, apresentaram uma diferença de apenas 0,02 (m^2/m^2) da mediana total.

Por último, foi avaliado o grau de velocidade do obturador (S), nas variações em 1/200, 1/500 e Auto (automático), em relação ao índice de área foliar (Figura 39).

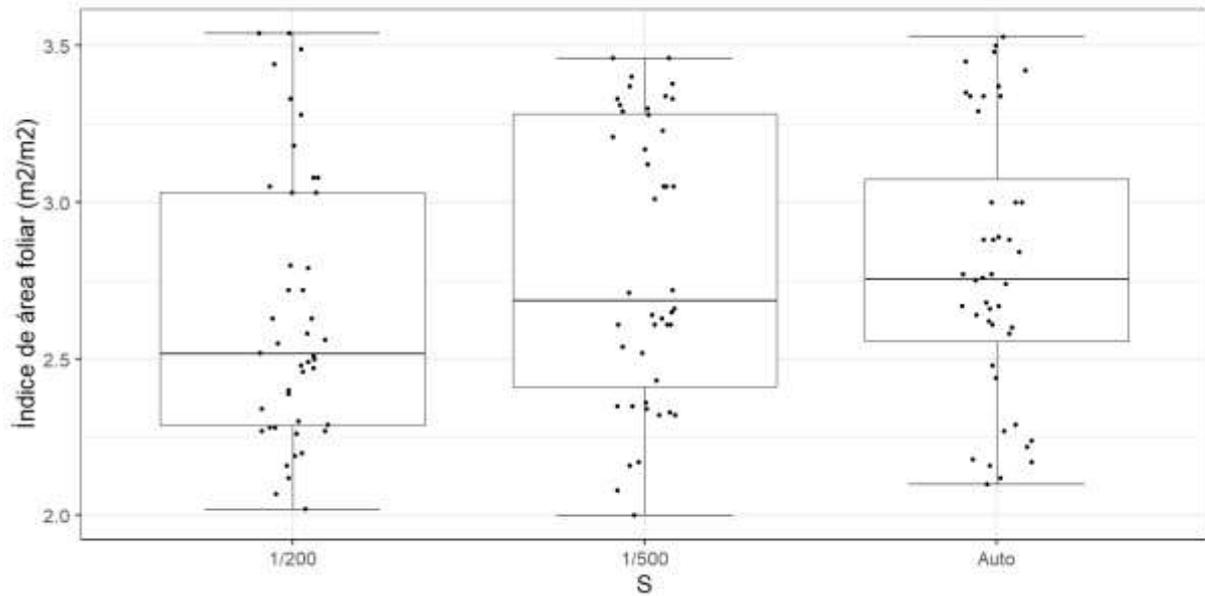


Figura 36 - Boxplot do índice de área (m^2/m^2) foliar em relação aos níveis de velocidade do obturador (S), com as variações: 1/200, 1/500 e Auto, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 4,512, df = 2, p = 0,105). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações de velocidade do obturador avaliadas, apresentaram uma mediana de 2,51 (m^2/m^2), 2,68 (m^2/m^2), e 2,75 (m^2/m^2) de índice de área foliar, respectivamente. Esse resultado, não evidencia uma diferença significativa nos valores obtidos do índice de área foliar em relação aos níveis de velocidade do obturador (S) (teste Kruskal-Wallis; chi-squared = 4,512, df = 2, p = 0,105). Apesar de não haver uma diferença significativa entre as variações de S, posteriormente, foram registradas as configurações com resultados mais próximos da mediana total.

Ao final das análises dos resultados do índice de área foliar, em relação a variação das configurações da câmera, foi possível definir as melhores configurações para estimativas do índice de área foliar, em ambientes similares ao da área de estudo, Floresta Ombrófila Densa (Tabela 2).

Tabela 2 - Configurações da câmera mais adequadas para estimativa do índice de área foliar (m^2/m^2) em ambientes de Floresta Ombrófila Densa. Câmera: CANON EOS6D, Lente: FishEye 8mm. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

N	F	EV	ISO	GE	S	IAF (m^2/m^2)
16	5,6	1	Auto	Alta	Auto	2,66
58	9	1	200	Baixa	1/500	2,66
57	9	1	200	Off	1/500	2,65
86	5,6	-1	100	Baixa	Auto	2,67
61	5,6	1	100	Off	Auto	2,67
85	5,6	-1	100	Off	Auto	2,68
88	5,6	-1	100	Alta	Auto	2,64
60	9	1	200	Alta	1/500	2,64
17	5,6	1	Auto	Off	1/200	2,63
18	5,6	1	Auto	Baixa	1/200	2,63
59	9	1	200	Normal	1/500	2,63
87	5,6	-1	100	Normal	Auto	2,62
9	4	1	800	Off	1/500	2,71
70	5,6	1	100	Baixa	1/500	2,61
63	5,6	1	100	Normal	Auto	2,61

Duas configurações, em destaque, apresentaram a mesma mediana da mediana total, configuração 16 e 58, com resultado de 2,66 (m^2/m^2) de índice de área foliar, sendo que a configuração 16 é a que mais se enquadra nos parâmetros avaliados anteriormente, com o valor de EV: 5,6, F: +1 e ISO: Auto. Assim, foi possível identificar as melhores configurações da câmera, quando o objetivo é estudar o índice de área foliar em áreas como a do ambiente de estudo.

A terceira e última variável analisada de acordo com as variações das configurações da câmera, foi a transmitância luminosa total, que consiste na soma da transmitância luminosa indireta (difusa) e a transmitância luminosa direta.

De acordo com o teste de Shapiro Wilk, a variável transmitância luminosa total não apresentou uma distribuição normal ($W = 0,941$, $p < 0,005$), com um resultado mínimo de 2,17 (mols $m^{-2} d^{-1}$), um máximo de 6,68 (mols $m^{-2} d^{-1}$), média de 4,02 (mols $m^{-2} d^{-1}$) e uma mediana de 4,08 (mols $m^{-2} d^{-1}$) (Figura 40).

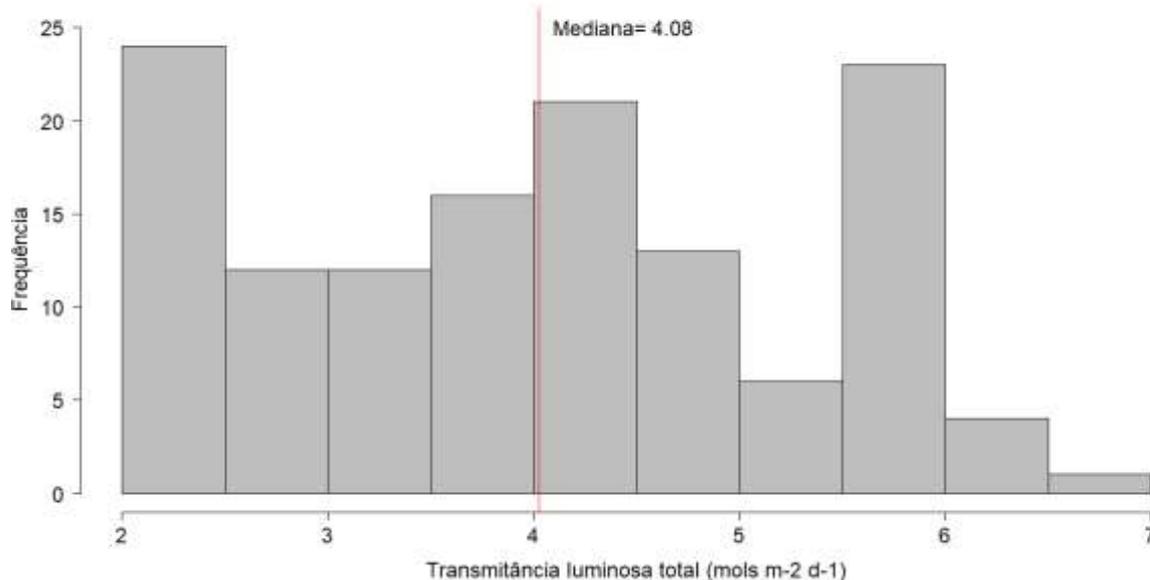


Figura 37 - Histograma de frequência da transmitância luminosa total (mols m-2 d-1), com a mediana representada pela linha vermelha, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas com configurações distintas. Shapiro Wilk ($W = 0,834$, $p < 0,005$), mediana = 4,08 (mols m-2 d-1). Testes elaborados na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), “Campus 458”, Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

O resultado mostrou que existe uma amplitude de 4,51 (mols m-2 d-1) entre os valores obtidos de transmitância luminosa total, um desvio padrão de 1,26 (mols m-2 d-1) e coeficiente de variação de 30%. O teste de Wilcoxon corrobora a hipótese de que existe uma diferença significativa da variação da transmitância luminosa total, em relação às 132 configurações avaliadas ($V = 878$, $p < 0,005$). Assim, foi avaliada a distribuição dessa variação de acordo com cada uma das 132 configurações testadas e seus respectivos parâmetros.

Para o valor de exposição (EV), das 132 fotografias testadas, assim como para as outras variáveis analisadas, foram avaliadas as variações -1, 0 e +1 (Figura 41).

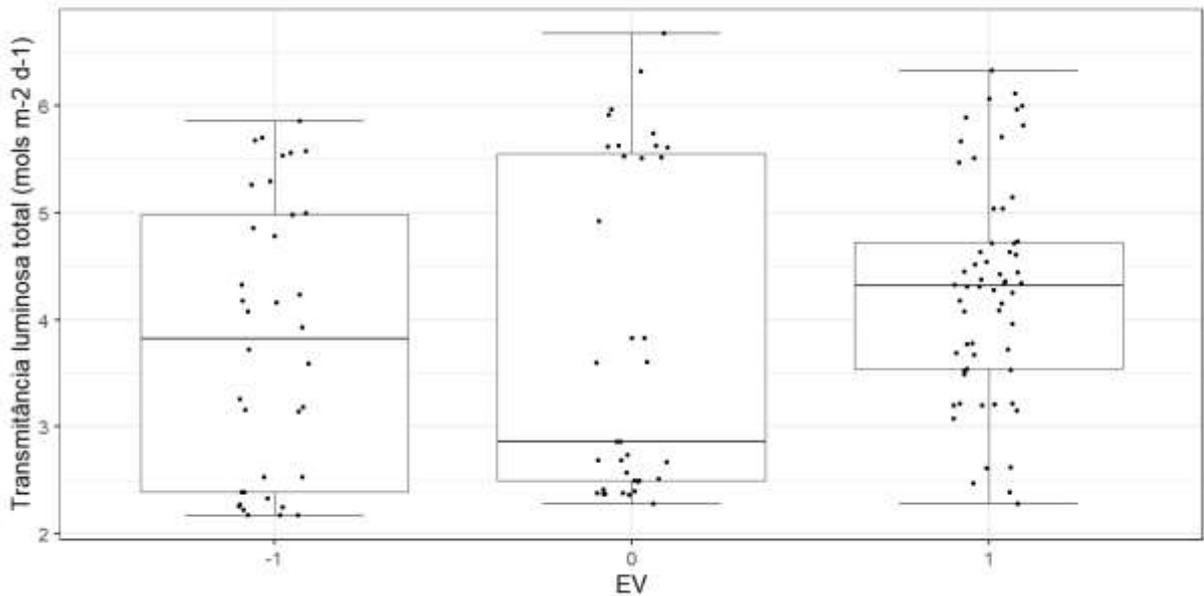


Figura 38 - Boxplot da transmitância luminosa total (mols m-2 d-1) em relação aos níveis do valor de exposição (EV), com as variações: -1, 0 e 1, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 5.841, df = 2, p = 0,054). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações do valor de exposição (EV) avaliadas, apresentaram uma mediana de 3,83 (mols m-2 d-1), 2,86 (mols m-2 d-1) e 4,32 (mols m-2 d-1) de transmitância luminosa total, respectivamente. O teste Kruskal-Wallis, corrobora a hipótese de que não existe uma variação significativa entre a transmitância luminosa e a variação do valor de exposição (chi-squared = 5,841, df = 2, p = 0,054), mesmo o resultado no teste apresentar um valor de "p" bem próximo de 0,05. Os resultados apontam que os valores obtidos na última configuração foram os que mais se aproximaram da mediana total. Assim, foram registradas as configurações que mais se aproximaram da mediana total.

Posteriormente, foi avaliado o diâmetro de abertura da lente (F), em relação a transmitância luminosa total. Da mesma forma, foram avaliadas as variações 4, 5,6 e 9 (Figura 42).

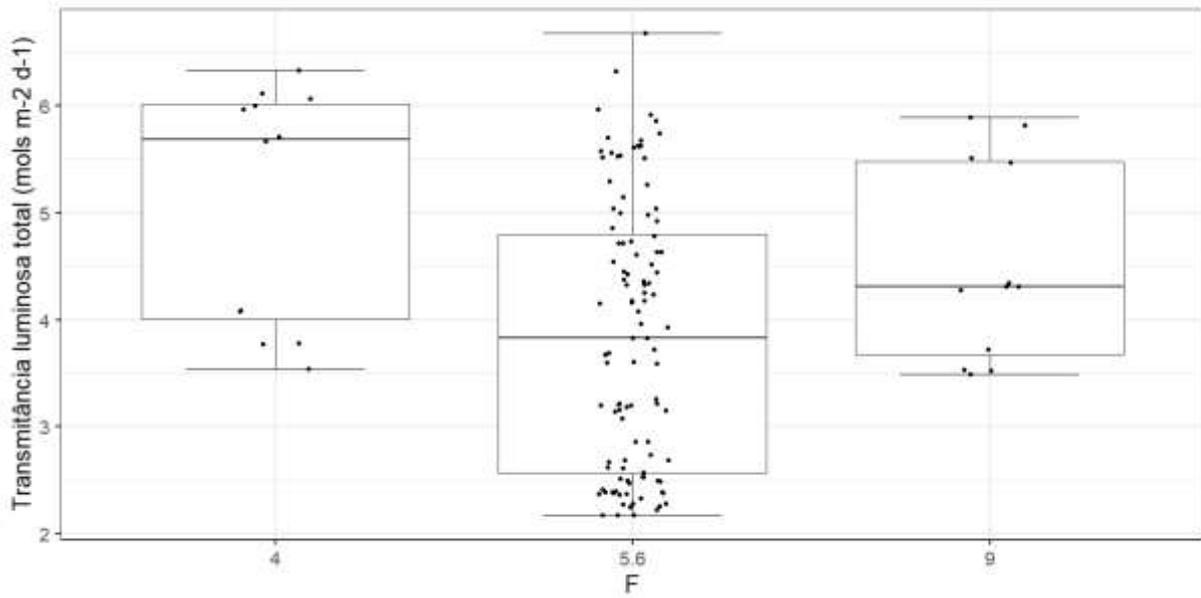


Figura 39 - Boxplot da transmitância luminosa total (mols m-2 d-1) em relação aos níveis de abertura da lente (F), com as variações: 4, 5,6 e 9, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 11,644, df = 2, $p < 0,005$). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações da abertura da lente (F) avaliadas, apresentaram uma mediana de 5,69 (mols m-2 d-1), 3,83 (mols m-2 d-1) e 4,31 (mols m-2 d-1) de transmitância luminosa total, respectivamente, evidenciando uma diferença significativa nos resultados da transmitância luminosa total em relação aos níveis do valor de F, corroborada pelo teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 11,644, df = 2, $p < 0,005$). Assim, foram registadas as configurações mais próximas da mediana total.

Como feito anteriormente com as outras variáveis, o parâmetro avaliado em seguida foi a velocidade ISO. Da mesma forma, foram avaliadas as variações de 100, 200, 400, 800 e AUTO (automático) (Figura 43).

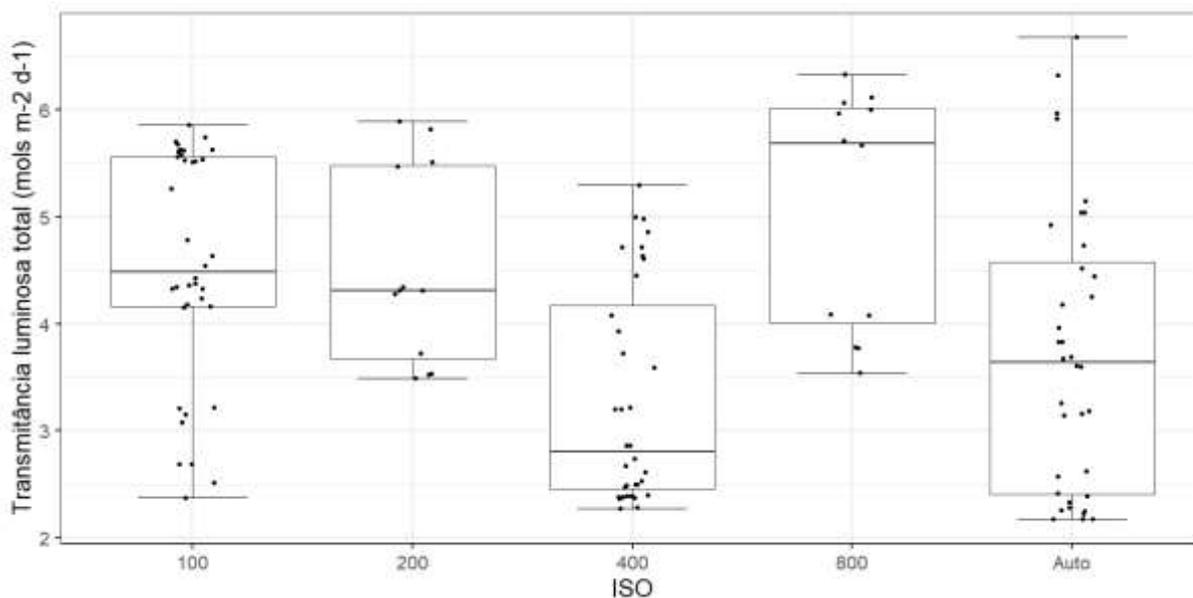


Figura 40 - Boxplot da transmitância luminosa total (mols m-2 d-1) em relação aos níveis de velocidade ISO, com as variações: 100, 200, 400, 800, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 29,905, df = 4, $p < 0,005$). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações de velocidade ISO avaliadas, apresentaram uma mediana de 4,49 (mols m-2 d-1), 4,31 (mols m-2 d-1), 2,80 (mols m-2 d-1), 5,69 (mols m-2 d-1) e 3,64 (mols m-2 d-1) de transmitância luminosa total, respectivamente. Esse resultado, evidencia uma diferença significativa na transmitância luminosa total com relação aos níveis do valor de ISO, corroborada pelo teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 29,905, df = 4, $p < 0,005$). Assim, também foram registadas as configurações mais próximas da mediana total.

Seguindo a sequência dos parâmetros avaliados, para o grau de exposição (GE), foram avaliadas as variações em Alta, Baixa, Normal e Off, em relação aos resultados da transmitância luminosa total (Figura 44).

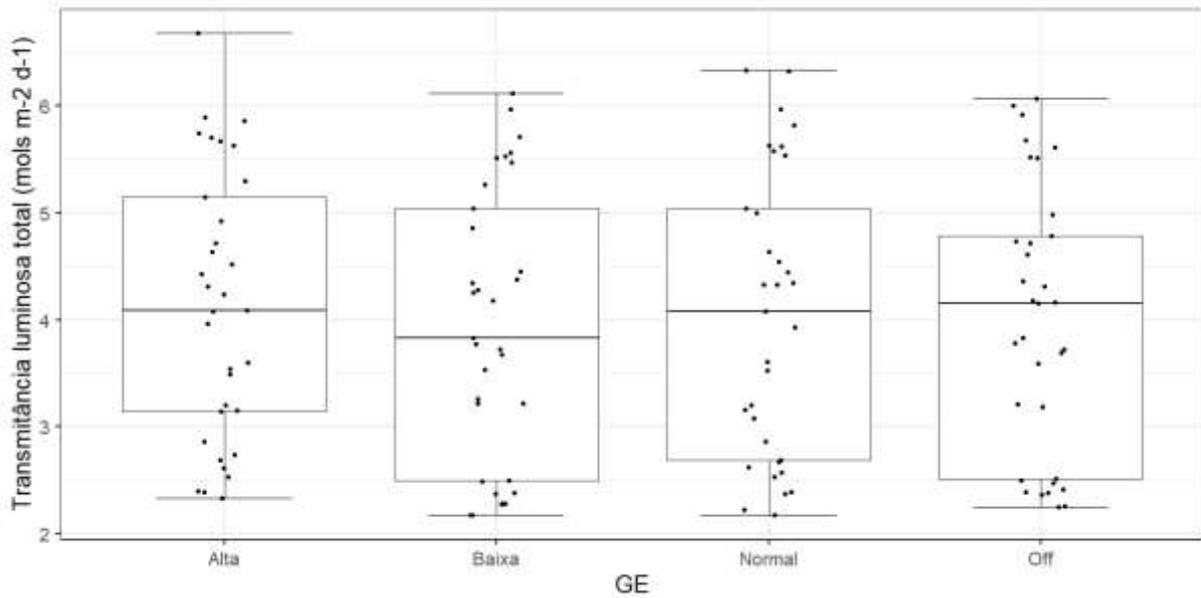


Figura 41 - Boxplot da transmitância luminosa total (mols m-2 d-1) em relação aos níveis do grau de exposição (GE), com as variações: Alta, Baixa, Normal e Off, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 0,587, df = 3, p = 0,899). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações do grau de exposição (GE) avaliadas, apresentaram uma mediana de 4,09 (mols m-2 d-1), 3,83 (mols m-2 d-1), 4,08 (mols m-2 d-1) e 4,15 (mols m-2 d-1) de transmitância luminosa total, respectivamente. Esse resultado, não evidencia uma diferença significativa nos valores obtidos de transmitância luminosa em variação do valor do GE, de acordo com teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 0,587, df = 3, p = 0,899). Apesar de não haver uma diferença significativa entre a transmitância luminosa e as variações do GE, também foram registradas as configurações mais próximas da mediana total.

A última análise elaborada, foi para a variação do grau de velocidade do obturador (S), em relação a transmitância luminosa total. Foram avaliadas as variações em 1/200, 1/500 e Auto (automático) (Figura 45).

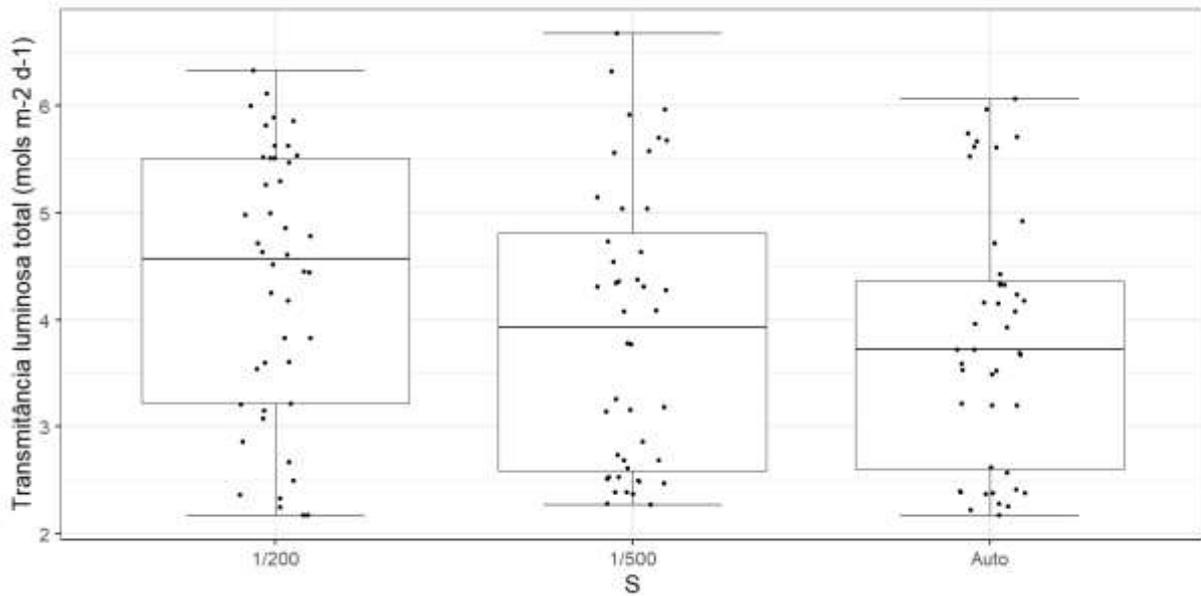


Figura 42 – Boxplot da transmitância luminosa total (mols m-2 d-1) em relação aos níveis de velocidade do obturador (S), com as variações: 1/200, 1/500 e Auto, resultante da análise de 132 fotografias hemisféricas. Kruskal-Wallis (chi-squared = 4,074, df = 2, p = 0,131). Rio de Janeiro, RJ. 2020.

As configurações da velocidade do obturador (S) avaliadas, apresentaram uma mediana de 4,56 (mols m-2 d-1), 3,39 (mols m-2 d-1), e 3,72 (mols m-2 d-1) de transmitância luminosa total, respectivamente. De acordo com o teste Kruskal-Wallis (chi-squared = 4,074, df = 2, p = 0,131), esse resultado não evidencia uma diferença significativa nos valores obtidos de transmitância luminosa em relação aos níveis do parâmetro de S. Apesar de não haver uma diferença significativa entre as variações de S e os valores de transmitância luminosa, também foram registradas as configurações mais próximas da mediana total.

Ao final das análises dos resultados da transmitância luminosa total, em relação a variação das configurações avaliadas, foi possível definir as melhores configurações para estimativas da transmitância luminosa, em ambientes similares ao da área de estudo, Floresta Ombrófila Densa (Tabela 3).

Tabela 3 – Configurações da câmera mais adequadas para estimativa da transmitância luminosa (mols m⁻² d⁻¹) em ambientes de Floresta Ombrófila Densa. Câmera: CANON EOS6D, Lente: FishEye 8mm. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

N	F	EV	ISO	GE	S	TT
100	5,6	-1	400	Alta	Auto	4,08
11	4	1	800	Normal	1/500	4,08
12	4	1	800	Alta	1/500	4,09
61	5,6	1	100	Off	Auto	4,15
85	5,6	-1	100	Off	Auto	4,16
17	5,6	1	Auto	Off	1/200	4,18
86	5,6	-1	100	Baixa	Auto	4,18
16	5,6	1	Auto	Alta	Auto	3,96
99	5,6	-1	400	Normal	Auto	3,93
88	5,6	-1	100	Alta	Auto	4,24
18	5,6	1	Auto	Baixa	1/200	4,25
58	9	1	200	Baixa	1/500	4,28
60	9	1	200	Alta	1/500	4,31
57	9	1	200	Off	1/500	4,31

As configurações que apresentaram melhores resultados para esse tipo de estimativa, foram as configurações de número 100 e 11, em destaque, apresentando uma mediana idêntica da mediana total, 4,08 (mols m⁻² d⁻¹). Avaliando os diferentes parâmetros de configuração da câmera analisados anteriormente e levando em consideração os parâmetros que exercem maior influência nos resultados, podemos concluir que a configuração 11 apresenta melhores resultados que a configuração 100, sendo a configuração que mais se enquadra nos parâmetros avaliados. Assim, foi possível identificar as melhores configurações da câmera, quando o objetivo é estudar a transmitância luminosa em áreas como a do ambiente de estudo.

Ao final das análises dos resultados das variáveis obtidas e as variações de configuração, foi possível definir as melhores configurações para cada tipo de análise específica. Além disso, foi possível identificar que os parâmetros F, EV e velocidade ISO, são os parâmetros que exercem maior influência nos resultados, enquanto os parâmetros GE e S exercem menor influência nos resultados.

Comparando os resultados obtidos nas análises das três variáveis, assim como os parâmetros da câmera, foi possível identificar e selecionar as configurações que apresentaram melhores resultados para estudos ambientais através da análise de fotografias hemisféricas, em ambientes similares ao da área de estudo (Floresta Ombrófila Densa, em encosta). Posteriormente,

foram selecionadas as 10 configurações que apresentaram melhores resultados, onde a melhor configuração foi a configuração de número 16, em destaque (Tabela 4).

Tabela 4 - Melhores configurações da câmera para estudos ambientais em Floresta Ombrófila Densa, através da utilização de fotografias hemisféricas. Câmera: CANON EOS6D, Lente: FishEye 8mm. Rio de Janeiro, RJ.

N	F	EV	ISO	GE	S
16	5,6	1	Auto	Alta	Auto
18	5,6	1	Auto	Baixa	1/200
17	5,6	1	Auto	Off	1/200
61	5,6	1	100	Off	Auto
86	5,6	-1	100	Baixa	Auto
85	5,6	-1	100	Off	Auto
12	4	1	800	Alta	1/500
11	4	1	800	Normal	1/500
100	5,6	-1	400	Alta	Auto
58	9	1	200	Baixa	1/500

As imagens com diâmetro de abertura da lente (F) definida em 5,6 mostraram os melhores resultados e imagens mais nítidas. Já para o valor de exposição (EV), os melhores resultados foram encontrados no valor 1. Como as fotografias foram tiradas em situações de pouca luz, essa configuração resultou em imagens com melhor contraste entre o céu aberto e a estrutura florestal.

A configuração ideal para o valor de ISO foi estabelecida como Auto (automático), já que os resultados variaram bastante em função da hora e condição da captura das imagens. Assim, o valor definido em Auto, resultou em imagens mais padronizadas. Para o parâmetro grau de exposição (GE), os melhores resultados foram obtidos na configuração definida em Alta, evitando que as imagens fiquem subexpostas à luz.

Para o valor da velocidade do obturador (S), a melhor configuração foi definida no automático, porém, com um valor mínimo de 1/200. Valores abaixo desse padrão apresentaram imagens borradas em função do vento, fazendo com que a estrutura das folhas do dossel não ficasse nítida. Como o comportamento do vento sofre uma variação constante, foi constatado que definir um valor mínimo de S, para evitar borrões, é essencial para o processo.

Podemos observar que a qualidade da imagem obtida, sofre influência direta da combinação dos diferentes parâmetros da câmera. Dessa maneira, uma pequena variação em qualquer um desses parâmetros, pode resultar em uma imagem com características bastante distintas (Figura 46).

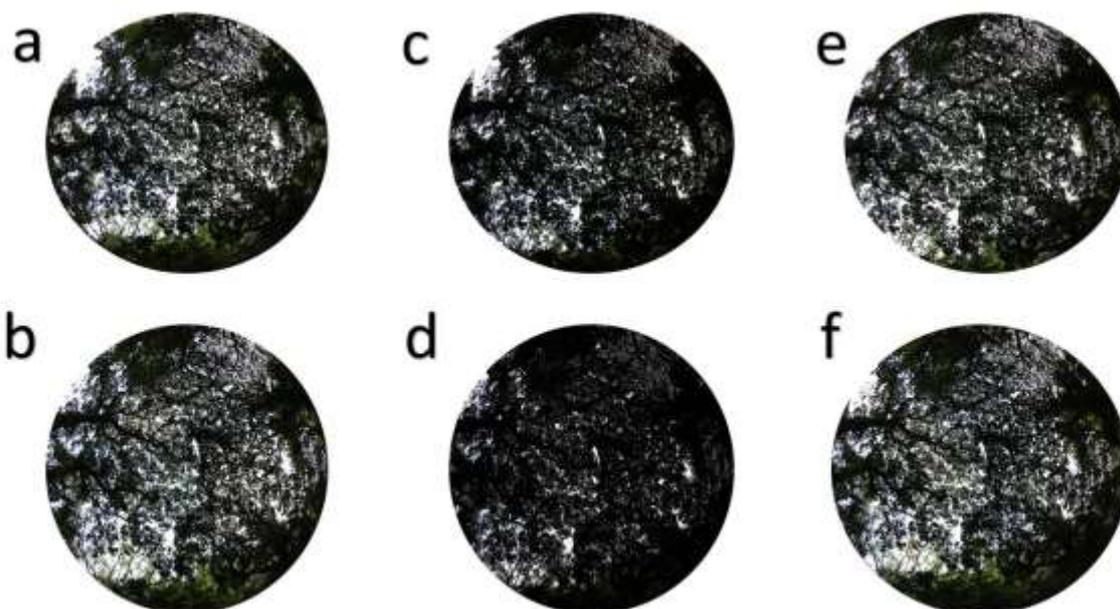


Figura 43 - Fotografias registradas durante o processo de teste. Configurações: (a) F:5,6 / EV: 1, (b) F:5,6/EV:0, (c) F:5,6: EV:-1, (d) F: 4/EV:-1, (e) F:4/EV:0, (f) F:4/EV:1. Câmera: CANON EOS6D, Lente: FishEye 8mm. Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2020).

Através das análises das imagens, no processo de testes, foi possível verificar tanto qualitativamente quanto quantitativamente, a variabilidade dos resultados e a qualidade das fotografias hemisféricas de acordo com cada configuração do equipamento fotográfico, sendo possível identificar e estabelecer as melhores configurações para o ambiente de estudo, Floresta Ombrófila Densa. Assim, a configuração estabelecida para o presente trabalho, foi definida em $F = 5,6$, $EV = 1$, $ISO = \text{Auto}$, $GE = \text{Alta}$ e $S = \text{Auto}$ (com valor mínimo de $1/200$).

Após estabelecer a configuração ideal da câmera, foram feitos os registros e o processamento das imagens na área da trilha do Morro da Urca. Foram avaliadas 350 fotografias, sendo 175 no percurso da trilha e 175 nos pontos paralelos, dentro da mata e distante a 30 metros. Como cada fotografia fornece 22 atributos relativo ao dossel, chegamos num resultado com 7.700 informações proveniente das fotografias. Porém, como as informações dos atributos de cada uma das 35 parcelas é derivada da mediana do resultado de cinco fotografias capturadas aleatoriamente dentro da parcela, o resultado final foi um diagnóstico com 1.540 informações divididas em 22 variáveis.

O processamento de fotografias hemisféricas fornece um diagnóstico muito amplo, e em muitas vezes algumas informações são bastante específicas para determinado tipo de estudo (BECKSCHÄFER *et al.*, 2014; PROMIS *et al.*, 2011; PUESCHEL *et al.*, 2012). No presente trabalho, foram avaliadas cinco variáveis de maior interesse para o objetivo em questão, sendo elas: Abertura de dossel (AD), Índice de área foliar (IAF), Transferência direta (TD), Transferência difusa (TF) e Transferência total (TT).

Além dos resultados obtidos através do processamento das fotografias hemisféricas, obtivemos também 71 medições biofísicas: largura da trilha (L) e profundidade da trilha (P); 420 medições dendrométricas: diâmetro a altura do peito das espécies arbóreas (DAP) e altura das espécies arbóreas (A). Fornecendo assim, uma base de dados com diversas características dos 700 metros de trilha, aos quais foram analisados.

A primeira variável analisada em relação aos dois ambientes: trilha e mata, foi a abertura de dossel (AD). A diferença da abertura de dossel no ambiente sob a trilha e à distância de 30 metros dentro da mata é evidente, através do histograma de frequência (Figura 47) podemos perceber que a abertura de dossel dentro da área da mata varia entre pouco mais de zero e dez pontos percentuais, enquanto a variação no ambiente sob a trilha é bem superior. A linha vermelha representa a mediana dos dois ambientes, enquanto na trilha essa medida é de 9,53%, com média de 11,45%, desvio padrão de 6,54% e coeficiente de variação de 0,57%, na mata, a mediana cai para 5,60%, com média de 5,62%, desvio padrão de 1,79% e coeficiente de variação de 0,32%.

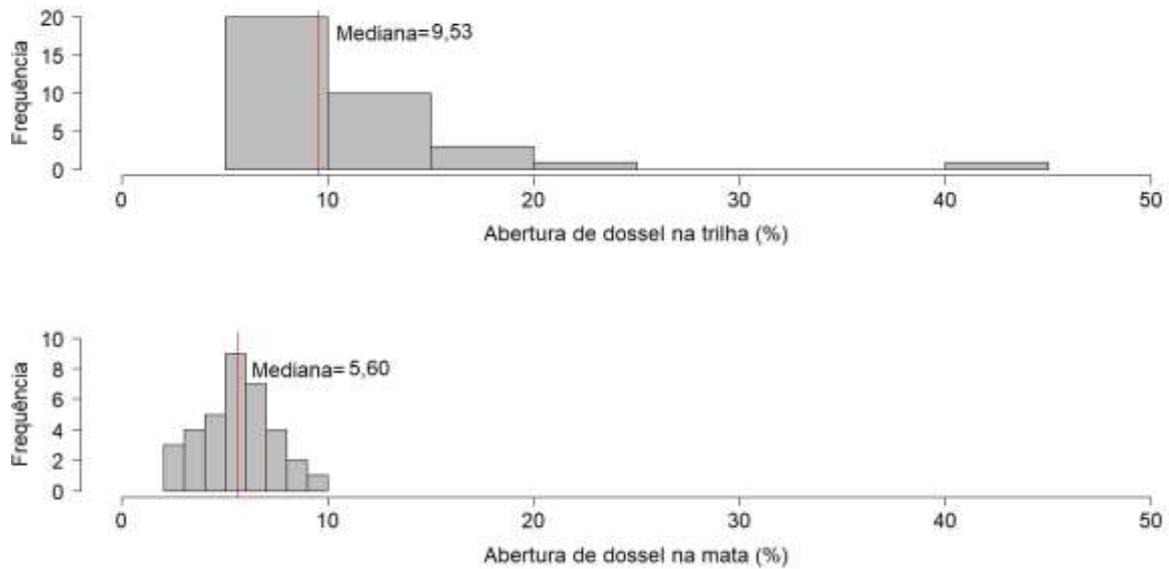


Figura 44 - Histograma de frequência da abertura de dossel (%) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata, com a mediana representada pela linha vermelha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Podemos observar que o valor máximo de abertura do dossel na trilha é fora do padrão, 43,7%, indicando a presença de *u-outlier* (Figura 48).

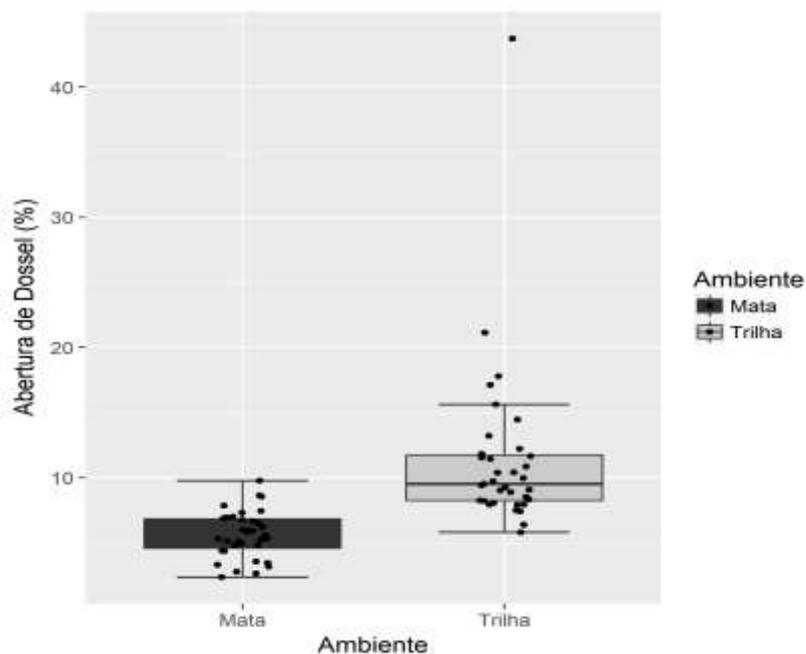


Figura 45 - Gráfico boxplot da abertura de dossel (%) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Esse ponto é notadamente um contraste quando comparado aos outros resultados de abertura de dossel na trilha. Através do processo de coleta de dados e obtenção das fotografias foi possível observar que esse *outlier* é correspondente a parcela de número 15, área que recentemente havia sido aberta para alteração do traçado da trilha e, nesse contexto, também havia sofrido impactos decorrentes de fortes chuvas (Figura 49). A abertura de dossel na trilha mostra um comportamento de maiores índices comparados com o ambiente dentro da mata, a mediana da abertura de dossel da trilha é quase o dobro da mediana do ambiente dentro da mata, 5,60% contra 9,53%.

A variável, abertura de dossel, não segue uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro Wilk ($W = 0,671$, $p \leq 0,005$). O teste de Wilcoxon, unilateral para amostras pareadas, corroborou a hipótese alternativa, que a mediana da abertura de dossel na trilha é realmente superior à abertura de dossel na mata ($V = 630$, $p \leq 0,005$). Além disso, podemos observar que o valor máximo da abertura de dossel no ambiente da mata é de 9,77%, esse valor é quase o valor da mediana da abertura de dossel na trilha, 9,53%, mostrando que existe grande diferença no dossel –esses dois ambientes.



Figura 46 - Fotografia hemisférica capturada na parcela 15 do percurso da trilha do Morro da Urca, com grande abertura de dossel. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca. Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2020).

Através do gráfico construído com distribuição logarítmica da abertura de dossel (Figura 50) é possível identificar a diferença entre as distribuições das duas condições registradas.

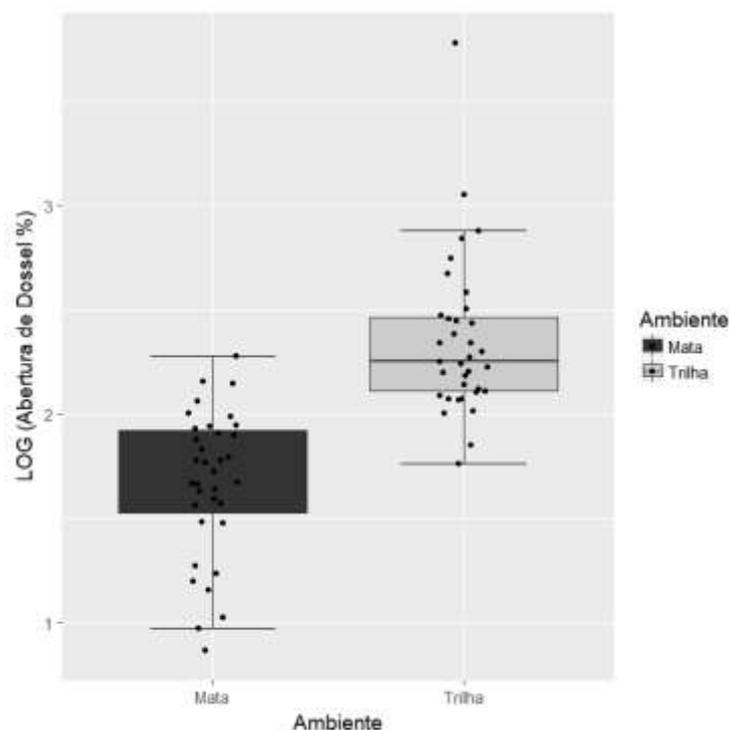


Figura 47 - Gráfico boxplot logaritimizado da abertura de dossel nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Mesmo a distribuição logaritimizada das variáveis, seguem uma distribuição não paramétrica, segundo o teste de Shapiro Wilk ($W = 0,690$, $p \leq 0,014$). O teste de Wilcoxon unilateral para amostras pareadas, corroborou a hipótese alternativa, de que a mediana da abertura de dossel na trilha é realmente maior que no ambiente dentro da mata ($V = 630$, $p \leq 0,005$).

O *índice de área foliar* (IAF) nos dois ambientes também apresenta distribuição de frequência bem distinta. O percurso da trilha apresentou um IAF inferior, em consequência de uma maior abertura de dossel (Figura 51). O ambiente da trilha apresentou uma mediana de 2,84 (m^2/m^2) de IAF, média de 2,73 (m^2/m^2), desvio padrão de 0,53 (m^2/m^2) e coeficiente de variação de 0,19%. Já no ambiente da mata, os resultados apresentaram uma mediana 3,48 (m^2/m^2), média de 3,54 (m^2/m^2), desvio padrão de 0,47% (m^2/m^2) e coeficiente de variação de 0,13%.

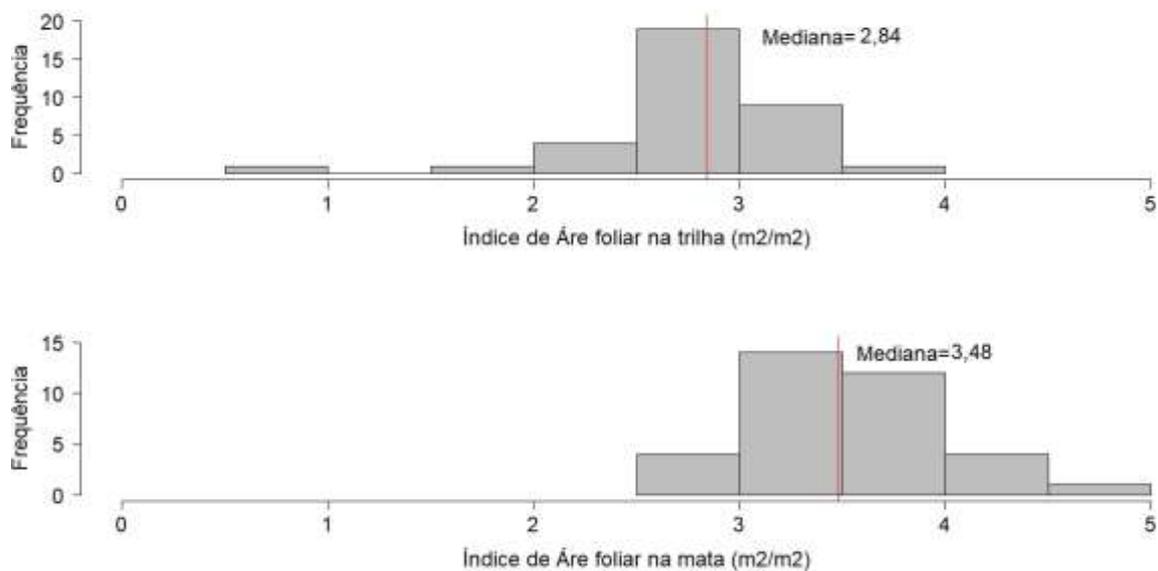


Figura 48 - Histograma de frequência do Índice de Área Foliar (m^2/m^2) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata, com a mediana representada pela linha vermelha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Novamente podemos observar que a parcela 15 apresenta um comportamento bem distinto das demais parcelas. Esse era um comportamento esperado, já que esse é um local com uma abertura de dossel bastante acentuada, portanto, com um baixo valor de IAF. Porém, analisando a trilha como um todo, podemos perceber que existe uma diferença entre os dois ambientes, mesmo que não tão acentuada (Figura 52), com a maior parte da distribuição nos dois ambientes entre 2 (m^2/m^2) e 4 (m^2/m^2).

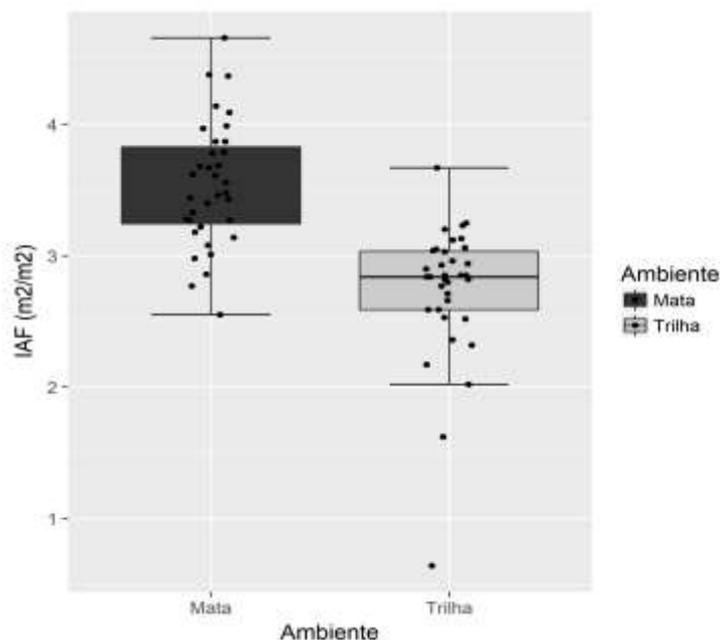


Figura 49 - Gráfico boxplot do Índice de Área Foliar (m^2/m^2) nos dois ambientes da área de estudo. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

O teste de Shapiro Wilk para o Índice de Área Foliar, indica que essa variável não segue uma distribuição normal ($W = 0,956$, $p \leq 0,005$). Com isso, aplicou-se o teste unilateral de Wilcoxon para amostras pareadas ($V = 1112$, $p \leq 0,005$), o qual corroborou a hipótese alternativa, de que a mediana do índice de área foliar no ambiente dentro da mata é realmente maior que no ambiente sob a trilha. O valor máximo do IAF na trilha foi de $3,67$ (m^2/m^2) e na mata foi de $4,66$ (m^2/m^2), já os valores mínimos foram de $0,64$ (m^2/m^2) na trilha e $2,55$ (m^2/m^2) na mata. Esses resultados evidenciam uma diferença entre os dois ambientes em relação ao valor de IAF.

Em relação a *transmitância luminosa direta*, observamos um comportamento semelhante entre os dois ambientes, os valores de ambos os ambientes se concentram, na maior parte, entre 0 (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e 5 (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$), mostrando uma certa homogeneidade na área de estudo, no que diz respeito a transmitância luminosa direta (Figura 53). No ambiente da trilha o valor da mediana é de $3,19$ (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$), o valor da média foi de $3,79$ (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$), com desvio padrão de $3,23$ (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e coeficiente de variação de $0,85\%$, já no ambiente da mata a mediana cai para $1,63$ (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$), com uma média de $1,83$ (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$), desvio padrão de $1,05$ (mols $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e coeficiente de variação de $0,58\%$.

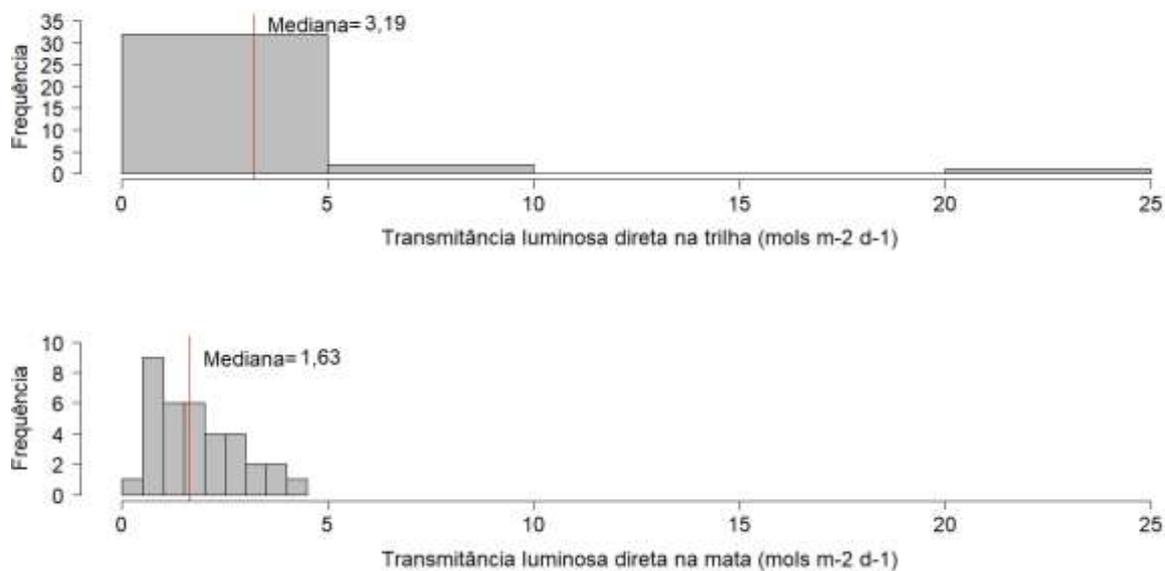


Figura 50 - Histograma de frequência para transmitância luminosa direta (mols m-2 d-1) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata, com a mediana representada pela linha vermelha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Apesar disso, o ambiente da trilha apresentou uma amplitude bastante elevada, 19,86 (mols m-2 d-1), novamente devido a parcela de número 15 (Figura 54). Curiosamente, observamos em determinados pontos valores bem próximos de 0 (mols m-2 d-1) para transmitância direta, indicando um sombreamento praticamente pleno.

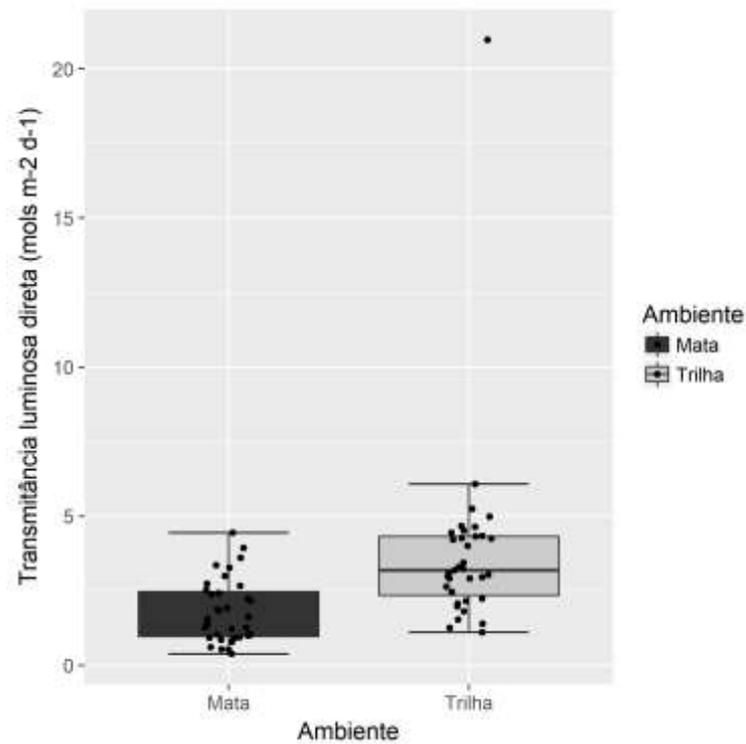


Figura 51 - Gráfico boxplot para transmitância luminosa direta (mols m-2 d-1) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

A *transmitância luminosa direta* não segue uma distribuição normal, pelo teste de Shapiro Wilk ($W = 0,566$, $p \leq 0,005$). Para corroborar a hipótese alternativa de que a mediana da transmitância luminosa direta na trilha é realmente maior que no ambiente da mata, temos novamente o teste de Wilcoxon ($V = 224$, $p \leq 0,005$), evidenciando que a mediana da transmitância luminosa direta é maior no ambiente da trilha comparado ao ambiente dentro da mata. Dessa maneira é possível identificar uma diferença entre os dois ambientes em relação à *transmitância luminosa direta*.

Para *transmitância luminosa difusa*, o comportamento é semelhante ao da transmitância luminosa direta. Grande parte dos valores observados no ambiente de trilha se encontram entre 2 (mols m-2 d-1) e 4 (mols m-2 d-1) (Figura 55).

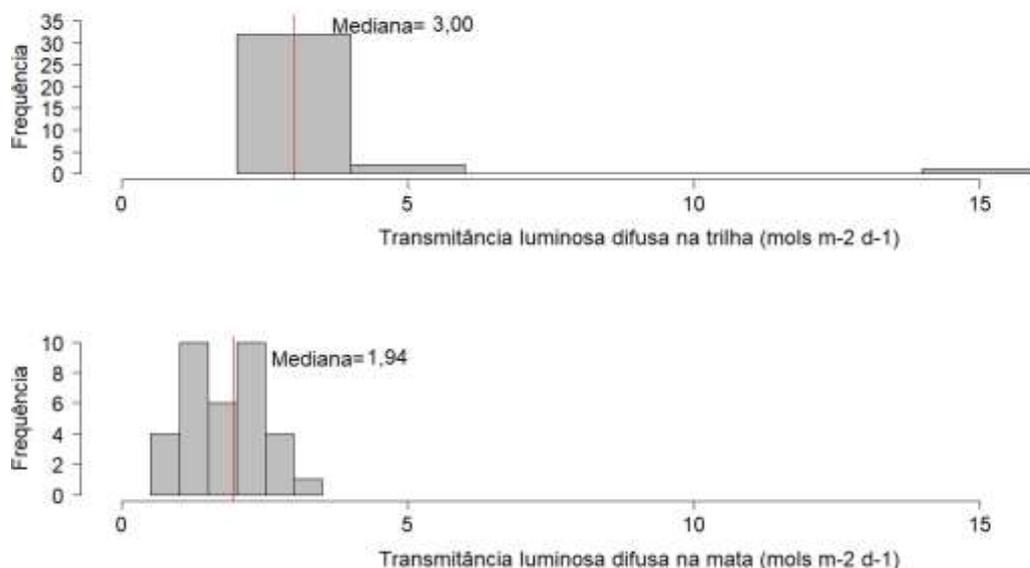


Figura 52 - Histograma de frequência para transmitância luminosa difusa (mols m-2 d-1) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata, com a mediana representada pela linha vermelha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Para o ambiente na mata a distribuição foi mais homogênea, com uma mediana de 1,94 (mols m-2 d-1), média de 1,85 (mols m-2 d-1), desvio padrão de 0,61 (mols m-2 d-1), coeficiente de variação de 0,33%, valor mínimo de 0,83 (mols m-2 d-1) e máximo de 3,87 (mols m-2 d-1). Para o percurso da trilha, os resultados apresentaram uma mediana de 3,00 (mols m-2 d-1), média de 3,39 (mols m-2 d-1), desvio padrão de 2,15 (mols m-2 d-1), coeficiente de variação de 0,63%, valor mínimo de 2,06 (mols m-2 d-1) e máximo de 15,19 (mols m-2 d-1). Observamos então, um desvio padrão bastante diferente entre as duas áreas, 2,15 (mols m-2 d-1) para a trilha contra 0,61 (mols m-2 d-1) para o ambiente na mata (Figura 56).

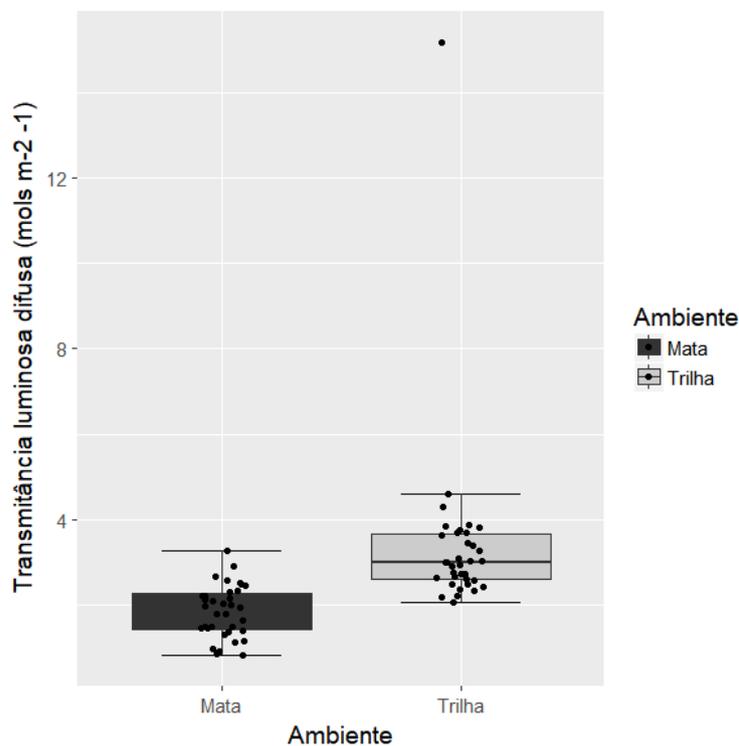


Figura 53 - Gráfico bloxpot para transmitância luminosa difusa (mols m-2 d-1) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Pelo teste de Shapiro Wilk ($W = 0,538$, $p \leq 0,005$), foi observado que a *transmitância luminosa difusa* também não segue uma distribuição normal ou paramétrica. E através do teste de Wilcoxon ($V = 96,5$, $p \leq 0,005$), a hipótese de que a mediana da transmitância luminosa difusa na trilha é maior que a mediana no ambiente da mata é confirmada, evidenciando uma diferença significativa entre os dois ambientes.

Por último, temos a *análise da transmitância luminosa total*. A partir do somatório das transmitâncias luminosas (direta e difusa). Podemos observar que o ambiente de trilha recebe uma quantidade muito maior de radiação solar, quando comparado ao ambiente distante a 30 m dentro da mata (Figura 57), esses valores têm uma grande influência no microclima desses ambientes. Um comportamento já esperado, devido a maior abertura de dossel na área da trilha, fazendo com que tenha uma barreira natural menor em relação ao ambiente de mata. A mediana da transmitância luminosa total no ambiente da trilha apresentou um valor de 5,94 (mols m-2 d-1), média de 7,04 (mols m-2 d-1), desvio padrão de 5,27 (mols m-2 d-1) e coeficiente de variação de 0,75%. Já no ambiente de mata, o valor da mediana foi de 3,43 (mols m-2 d-1), média de 3,65 (mols m-2 d-1), com desvio padrão de 1,52 (mols m-2 d-1) e coeficiente de variação de 0,42%.

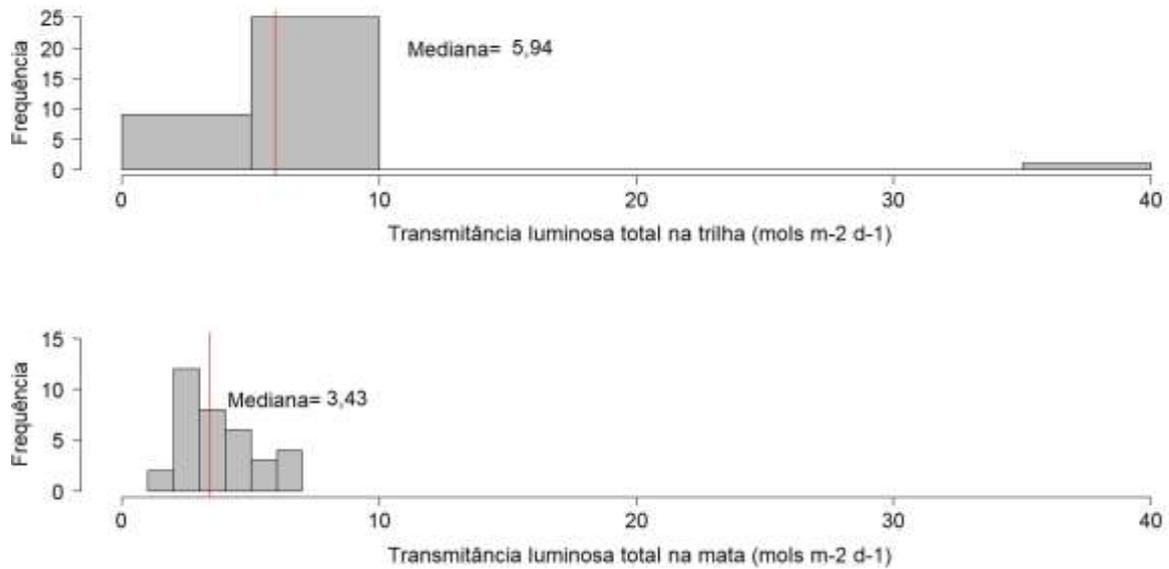


Figura 54 - Histograma de frequência para transmitância luminosa total (mols m-2 d-1) nos dois ambientes da área de estudo, trilha e mata, com a mediana representada pela linha vermelha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Avaliando a profundidade da trilha, observamos que ela apresenta um comportamento bastante homogêneo (Figura 58). A maior profundidade registrada foi de 10 cm, demonstrando que a trilha não apresenta impactos evidentes em relação a profundidade.

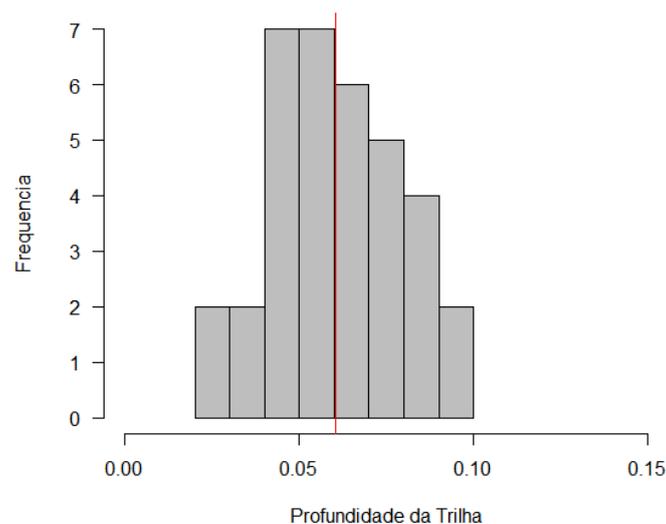


Figura 55 - Histograma de frequência para a profundidade da trilha (cm) do Morro da Urca, com a mediana representada pela linha vermelha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

A largura da trilha apresentou um comportamento variado (Figura 59), com trechos relativamente estreitos e outros com uma largura elevada, a partir da comparação interna dos valores. O valor máximo encontrado foi de 2,91 m, o valor mínimo foi de 0,95 m, a mediana da largura da trilha foi de 1,73 m com um desvio padrão de 0,49 m e coeficiente de variação de 0,29%.

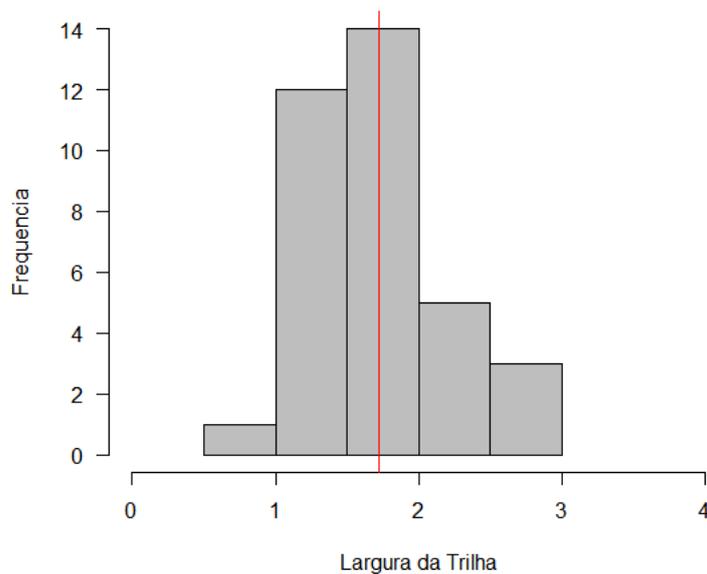


Figura 56 - Histograma de frequência para a largura da trilha (m) do Morro da Urca, com a mediana representada pela linha vermelha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Considerando a análise descritiva das variáveis de interesse e a partir da matriz de correlação de Spearman (Tabela 5), podemos observar a correlação das variáveis, onde os valores de “r” de Spearman, variam de -1 (correlação perfeita negativa) até 1 (correlação perfeita positiva). Um valor entre 0 a 0,3 (positivo ou negativo) representa uma correlação muito fraca, um valor entre 0,3 a 0,5 (positivo ou negativo) representa uma correlação fraca, um valor entre 0,5 e 0,7 (positivo ou negativo) representa uma correlação moderada, um valor entre 0,7 e 0,9 (positivo ou negativo) representa uma correlação forte e um valor entre 0,9 a 1 (positivo ou negativo) representa uma correlação muito forte (KOZAK, 2009). Segundo essa matriz a profundidade da trilha analisada apresenta correlação muito fraca com as outras variáveis. A largura por sua vez, tem uma correlação positiva muito forte com a abertura do dossel na trilha ($r = 0,94$) e bastante significativa, segundo o teste de correlação de Spearman ($S = 368,53$, $p < 0,005$), a qual também

tem uma correlação negativa forte com o índice de área foliar na trilha ($r = -0,85$) e bastante significativa ($S = 13802$, $p < 0,005$), porém essa apresenta uma correlação positiva forte com a transmitância difusa na trilha ($r = 0,70$) e ao mesmo tempo, bastante significativa $-S = 2088,7$, $p < 0,005$).

	A	ADM	ADT	DAP	IAFM	IAFT	L	P	TDM	TDT	TFM	TFT
A	1	-0.19834	-0.34233	0.435141	0.13434	0.325904	-0.38704	0.137581	-0.12635	-0.19744	0.037551	-0.26978
ADM	-0.19834	1	0.708964	-0.05297	-0.47794	-0.64696	0.687023	0.143438	0.201401	0.306884	0.334734	0.659148
ADT	-0.34233	0.708964	1	-0.08381	-0.24723	-0.93309	0.948386	-0.00168	0.192717	0.035717	0.217367	0.806388
DAP	0.435141	-0.05297	-0.08381	1	-0.11781	0.088755	-0.16202	0.157839	0.109873	-0.11752	-0.02102	-0.10444
IAFM	0.13434	-0.47794	-0.24723	-0.11781	1	0.22318	-0.31043	0.017529	-0.45272	-0.13532	-0.60317	-0.20625
IAFT	0.325904	-0.64696	-0.93309	0.088755	0.22318	1	-0.85931	0.043768	-0.3604	-0.14392	-0.29959	-0.78471
L	-0.38704	0.687023	0.948386	-0.16202	-0.31043	-0.85931	1	0.001472	0.182926	-0.04735	0.25492	0.707461
P	0.137581	0.143438	-0.00168	0.157839	0.017529	0.043768	0.001472	1	-0.05286	-0.15011	0.113993	-0.15421
TDM	-0.12635	0.201401	0.192717	0.109873	-0.45272	-0.3604	0.182926	-0.05286	1	0.183066	0.671989	0.213505
TDT	-0.19744	0.306884	0.035717	-0.11752	-0.13532	-0.14392	-0.04735	-0.15011	0.183066	1	0.175643	0.380175
TFM	0.037551	0.334734	0.217367	-0.02102	-0.60317	-0.29959	0.25492	0.113993	0.671989	0.175643	1	0.20594
TFT	-0.26978	0.659148	0.806388	-0.10444	-0.20625	-0.78471	0.707461	-0.15421	0.213505	0.380175	0.20594	1

Tabela 5 – Matriz de correlação de Spearman.

A = altura das espécies arbóreas, ADM = abertura de dossel na mata, ADT = abertura de dossel na trilha, DAP = diâmetro a altura do peito das espécies arbóreas, IAFM = índice de área foliar na mata, IAFT = índice de área foliar na trilha, L = largura da trilha, P = profundidade da trilha, TDM = transmitância luminosa direta na mata, TDT = transmitância luminosa direta na trilha, TFM = transmitância luminosa direta na mata, TFT = transmitância luminosa difusa na trilha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Os dados dendrométricos da trilha não apresentaram correlação significativa com os atributos do dossel. Porém, a altura das espécies arbóreas apresentou uma correlação positiva fraca ($r = 0,32$) com o índice de área foliar na trilha, mas essa correlação não se apresentou significativa ($S = 4813$, $p = 0,056$).

A abertura do dossel na trilha parece ser a variável que apresenta maior correlação com os outros atributos. Ela possui uma correlação negativa fraca ($r = -0,34$) com a altura das espécies arbóreas analisadas, porém uma correlação significativa ($S = 9584,2$, $p = 0,044$), ou seja, quanto maior a abertura do dossel maior a tendência de ocorrer árvores de menor tamanho. A abertura do dossel na trilha possui uma correlação negativa extremamente forte ($r = -0,93$) com o IAF na trilha e bastante significativa ($S = 13802$, $p < 0,005$), assim como tem uma correlação forte positiva ($r = 0,80$) e bastante significativa ($S = 1382,4$, $p < 0,005$), com a transmitância difusa na trilha. A abertura do dossel na trilha também apresenta uma correlação positiva forte ($r = 0,70$) e significativa ($S = 2078$, $p < 0,005$) com a abertura do dossel na mata, consequentemente quando maior a abertura do dossel na trilha maior a tendência de ter uma abertura do dossel na mata na

mesma região, indicando que efeitos de borda em condições de trilhas podem ser propagados para distâncias de, pelo menos 30 metros, para o interior da mata.

A abertura do dossel na mata, por sua vez, apresentou menor correlação com os parâmetros estruturais obtidos a 30 metros, dentro da mata, evidenciando que esses indicadores nesse ambiente (mata) não são tão fortemente influenciados pela abertura de dossel. Uma das razões pode ser o fato de que a abertura do dossel na mata não é tão elevada quanto na trilha, fazendo com que a mesma não chegue a ter consequências sob outros parâmetros estruturais. O índice de área foliar na mata, por exemplo, tem uma correlação negativa fraca, com a transmitância luminosa direta na mata ($r = -0,45$) porém, bastante significativa ($S = 11064$, $p < 0,005$), e com a abertura do dossel na mata ($r = -0,47$) com certo nível de significância ($S = 10552$, $p = 0,003$).

A abertura do dossel na mata tende a aumentar na medida que a abertura do dossel na trilha aumenta. A matriz de dispersão também mostra o comportamento dos IAFs em função das aberturas de dossel (Figura 60), sendo possível verificar que o IAFM e o IAFM diminuem conforme a abertura de dossel aumenta.

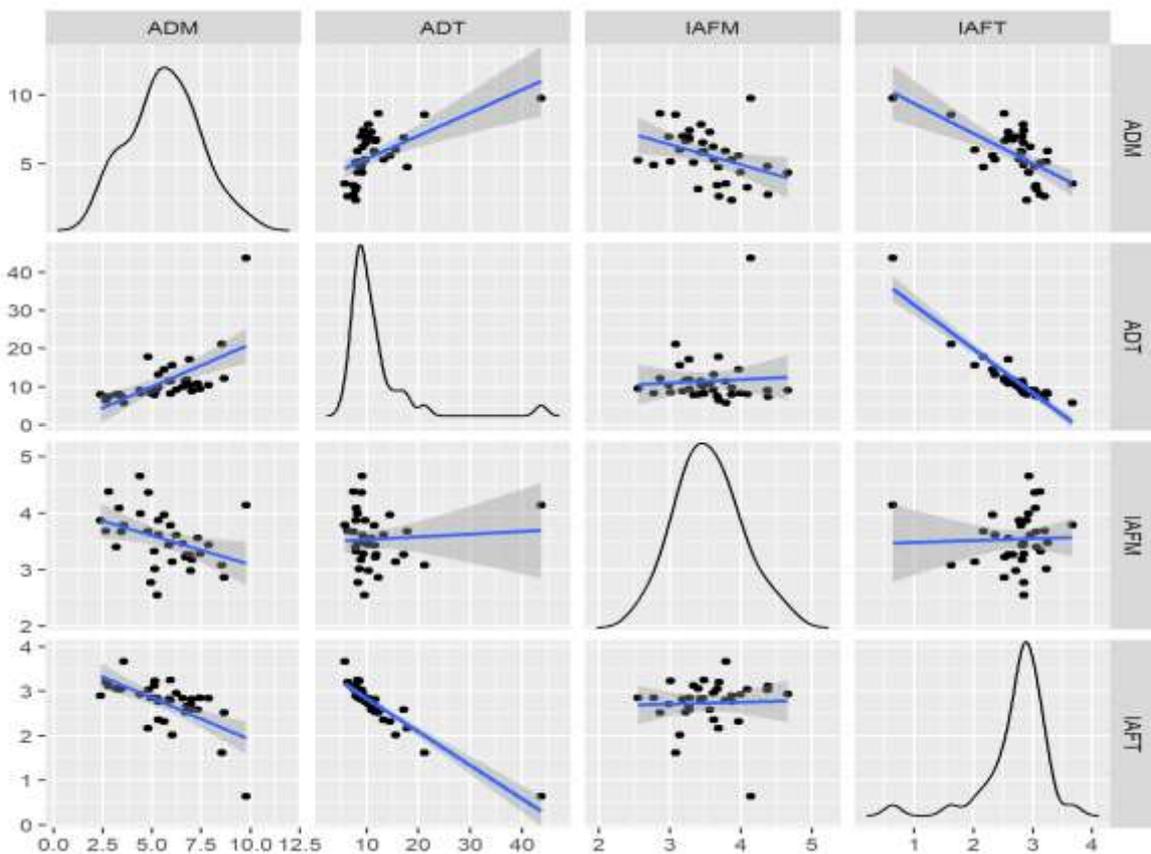


Figura 57 - Matriz de dispersão dos parâmetros do dossel na área de estudo. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

ADM = abertura de dossel na mata, ADT = abertura de dossel na trilha, IAFM = índice de área foliar na mata, IAFT = índice de área foliar na trilha.

Através do Método de Análise Estatística Multivariada, conhecido como Análise de Componentes Principais (ACP), identificou-se padrões de comportamento das variáveis. Esse método não requer que as variáveis tenham distribuição específica, e assim buscou-se padrões sobre o processo (SILVA *et al.*,2015). Utilizou-se o método em duas dimensões que explica 72,9% das variações (Figura 61).

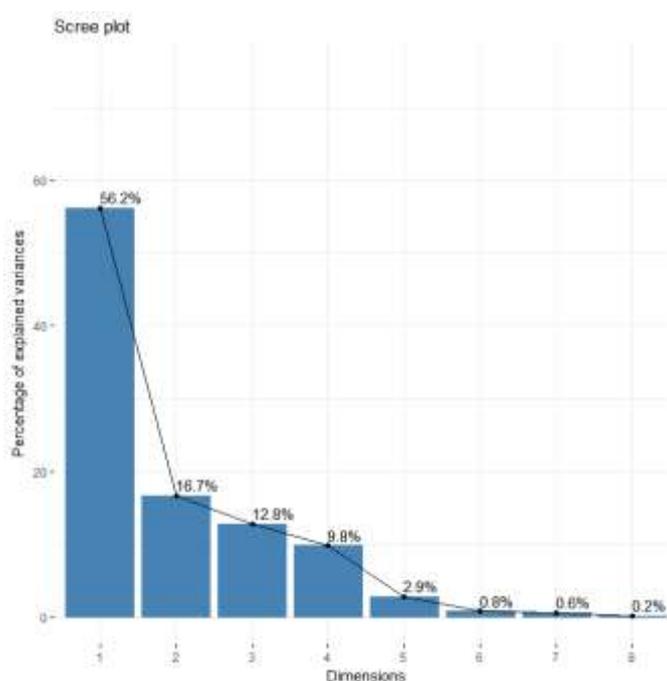


Figura 58 - Gráfico com percentagem das explicações em suas respectivas dimensões no ambiente da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Na primeira dimensão podemos identificar a contribuição de cada variável para o ambiente na trilha (Figura 62). Assim, nessa primeira dimensão a abertura de dossel (AD), transferência difusa (TF) e índice de área foliar (IAF) são as variáveis-com maior contribuição.

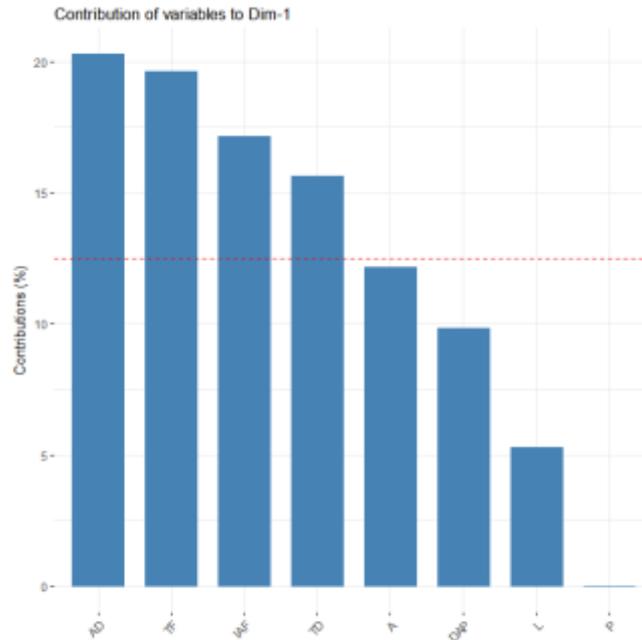


Figura 59 - Contribuição das variáveis A=altura, AD=abertura de dossel, DAP=diâmetro a altura do peito, IAF=índice de área foliar, L=largura, P= profundidade, TD= Transmitância luminosa direta e TF= transmitância luminosa difusa, na primeira dimensão, no ambiente da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Para a segunda dimensão a largura (L) e o diâmetro a altura do peito (DAP) foram as variáveis com maior contribuição (Figura 63).

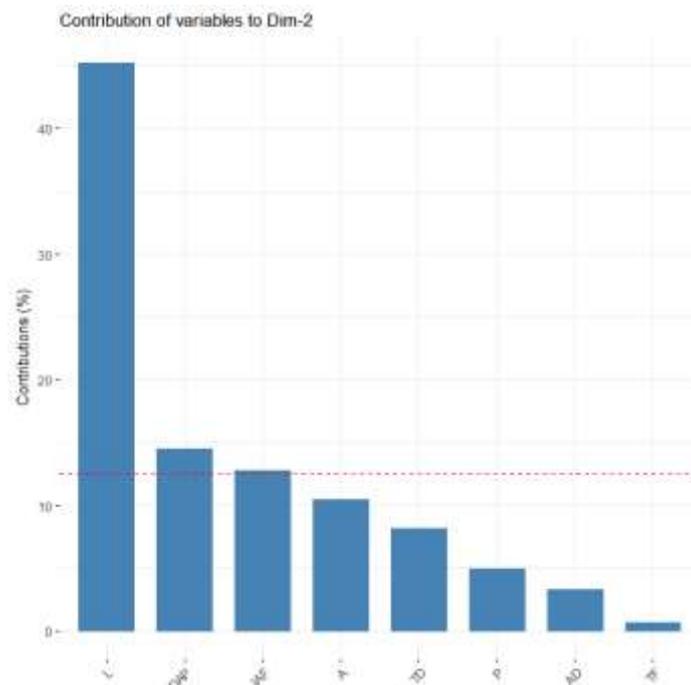


Figura 60 - Contribuição das variáveis: A=altura, AD=abertura de dossel, DAP=diâmetro a altura do peito, IAF=índice de área foliar, L=largura, P= profundidade, TD= transmitância luminosa direta e TF= transmitância luminosa difusa, na segunda dimensão, no ambiente da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Com o apoio da figura 64 identificamos que na trilha, a largura da trilha (L) é inversamente proporcional ao índice de área foliar na trilha (IAF) na trilha, assim como a abertura de dossel na trilha (ADT) apresenta seu eixo na mesma direção da largura (L).

Identificamos ainda que as parcelas com maiores IAF são as parcelas 9 e 10. Assim como as parcelas que possuem maior porcentagem de transmitância luminosa na mata (PTDM, PTFM e PTTM) são as parcelas entre 14 e 15. Nesse trecho da trilha representado pelas duas parcelas é observado uma grande abertura no dossel e conseqüentemente esse alto nível de transmitância luminosa. O trecho da trilha com maior largura é representado pelas parcelas 19, 20 e 21, contribuindo com uma maior abertura de dossel nessa área.

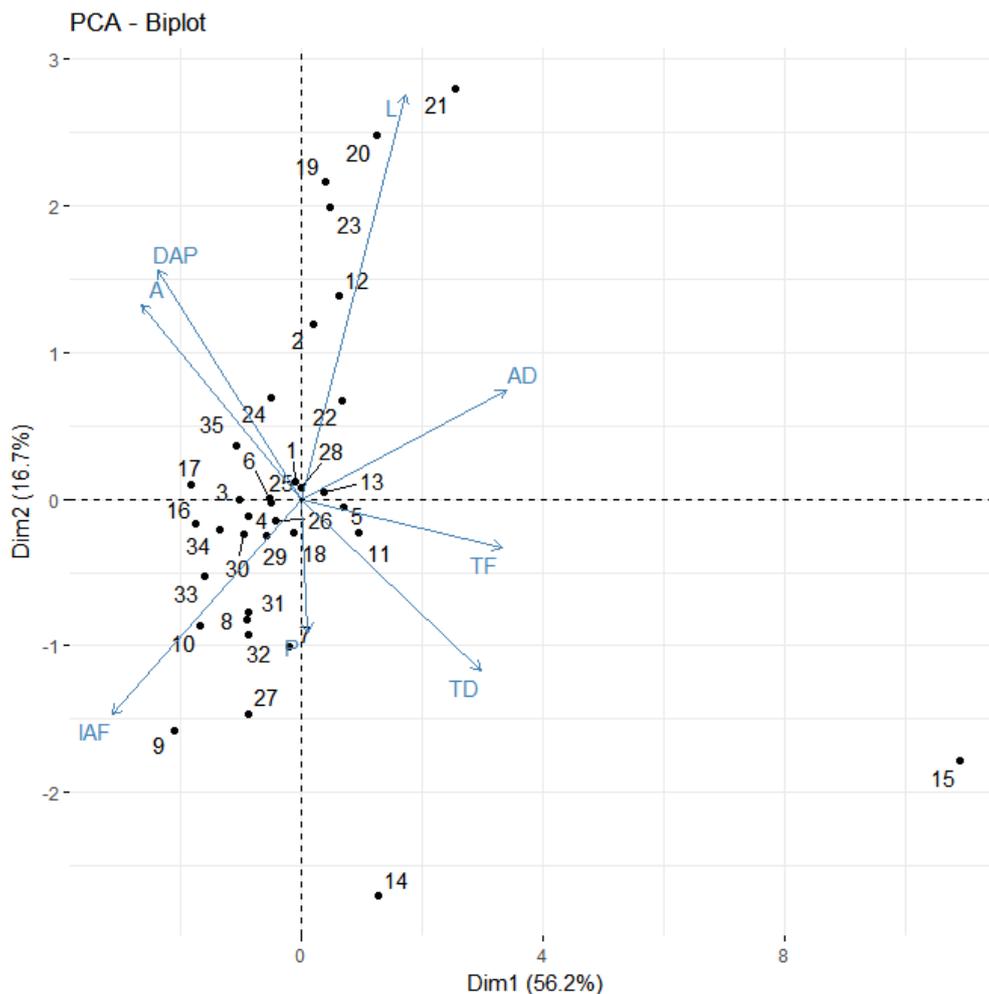


Figura 61 – Análise de componentes principais indicando o comportamento das variáveis: A=altura, AD=abertura de dossel, DAP=diâmetro a altura do peito, IAF=índice de área foliar, L=largura, P= profundidade, TD= transmitância luminosa direta e TF= transmitância luminosa difusa e das respectivas parcelas no ambiente da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Através do resultado da análise de componentes principais no ambiente da trilha do Morro da Urca, podemos observar que nesse ambiente o IAF é inversamente proporcional às variáveis AD e L. Nesse sentido, podemos identificar que as parcelas que apresentam valores maiores de IAF, são as parcelas que também apresentam menores valores de largura e abertura de dossel.

Para o ambiente na mata, as duas dimensões têm uma representatividade de 72% (Figura 65).

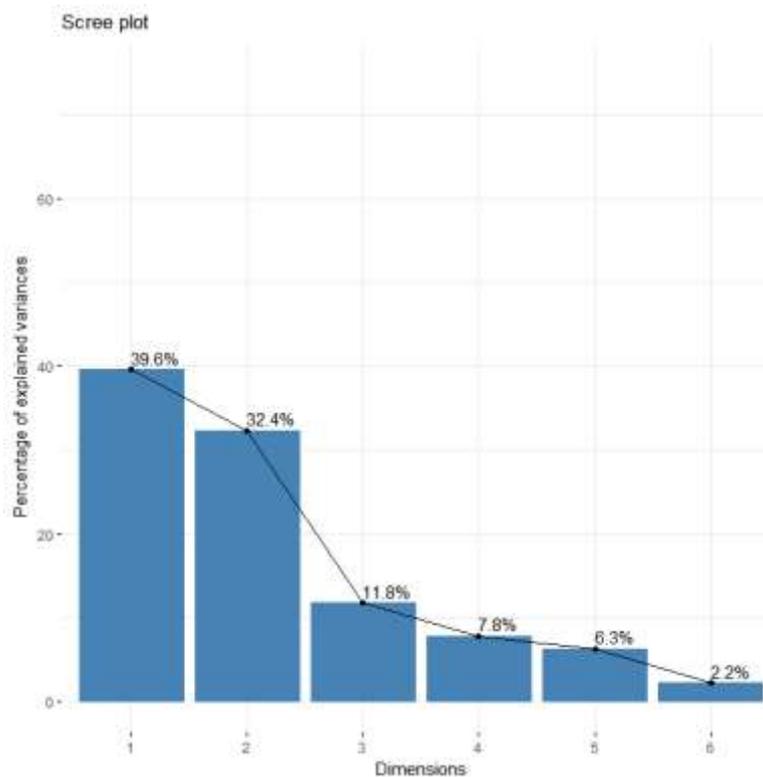


Figura 62 - Gráfico com porcentagem das explicações em suas respectivas dimensões no ambiente da mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Analisando o gráfico com as contribuições de cada variável para a primeira dimensão no ambiente da mata (Figura 66), podemos observar, que a transmitância difusa (TF), índice de área foliar (IAF) e transmitância direta são as variáveis com maior contribuição. Já abertura do dossel (AD), diâmetro a altura do peito (DAP) e altura dos indivíduos (A) quase não exercem influência nessa dimensão.

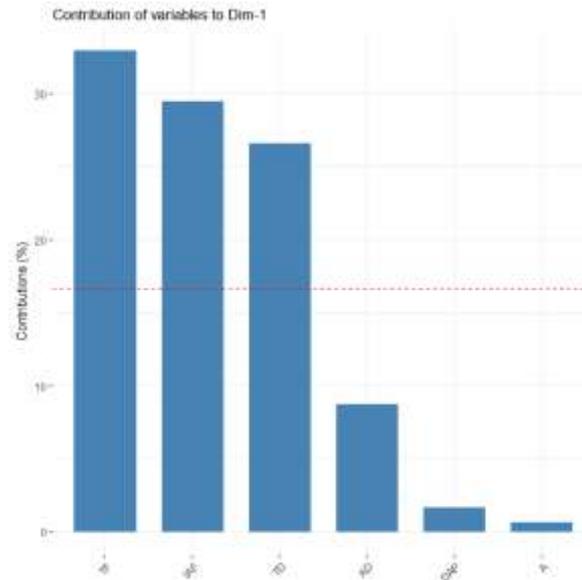


Figura 63 - Contribuição das variáveis A=altura, AD=abertura de dossel, DAP=diâmetro a altura do peito, IAF=índice de área foliar, TD= Transmitância luminosa direta e TF= transmitância luminosa difusa, na primeira dimensão, no ambiente da mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Em relação a segunda dimensão (Figura 67), podemos observar que a altura (A) e o diâmetro a altura do peito (DAP), são as variáveis que exercem uma maior contribuição no ambiente da mata.

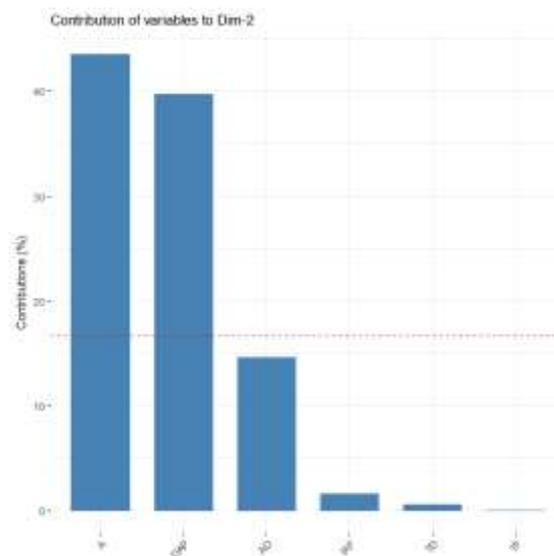


Figura 64 - Contribuição das variáveis A=altura, AD=abertura de dossel, DAP=diâmetro a altura do peito, IAF=índice de área foliar, TD= Transmitância luminosa direta e TF= transmitância luminosa difusa, na segunda dimensão, no ambiente da mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Como foram feitas as análises de 35 trechos (parcelas) no percurso da trilha e 35 trechos dentro da mata, distante a 30m, foram totalizadas as análises de 70 parcelas. As parcelas no percurso da trilha foram numeradas de 1 até 35, para o ambiente na mata as parcelas foram numeradas de 36 até 70. Dessa maneira, a análise foi feita de forma que a parcela numerada como 36 na mata corresponde ao trecho paralelo, distante 30m, da parcela de número 1 na trilha (Figura 68). Da mesma forma, a parcela de número 70 no ambiente da mata representa a parcela de número 35 dentro da trilha.

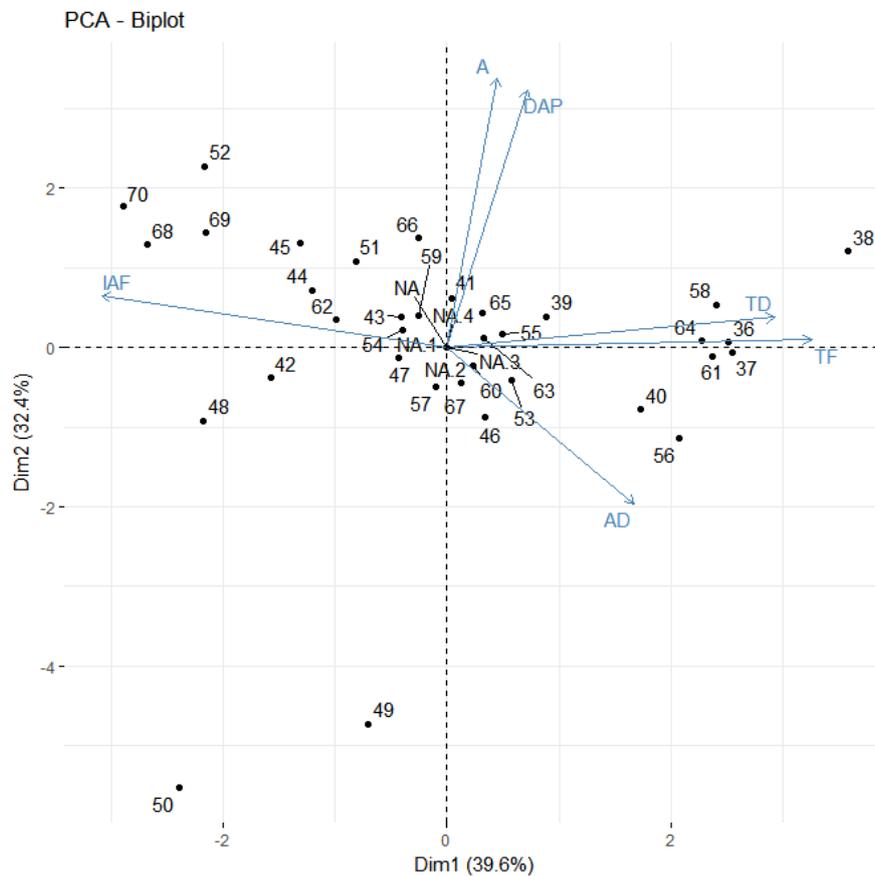


Figura 65 – Análise de componentes principais indicando o comportamento das variáveis e das respectivas parcelas no ambiente da mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

A maior parte das parcelas se encontram próximas ao centro do eixo, indicando uma certa homogeneidade entre as os parâmetros avaliados nos seus respectivos trechos. Observamos que a área dentro da mata com maior índice de área foliar é representada pelas parcelas 68, 69 e 70, indicando que no final da trilha existe indivíduos com maior IAF. A área com maior transmitância

difusa e transmitância direta dentro da mata é representada pelas parcelas 36, 37 e 38, indicando que no início da trilha existe um grande índice de transmitância luminosa dentro da mata.

Através dessa análise podemos observar que as parcelas com maior IAF, possuem menores valores de abertura do dossel, como é o caso das parcelas 70,68 e 69. Essas parcelas se encontram no final do percurso da trilha no ambiente da mata. Da mesma forma podemos avaliar que as parcelas apresentam um comportamento inversamente proporcional em relação aos índices de IAF com os índices de TD, TF e AD, como é o caso das parcelas 52 e 56.

Avaliando os dois ambientes em conjunto, a percentagem de representatividade das duas dimensões – de 86,5% (Figura 69).

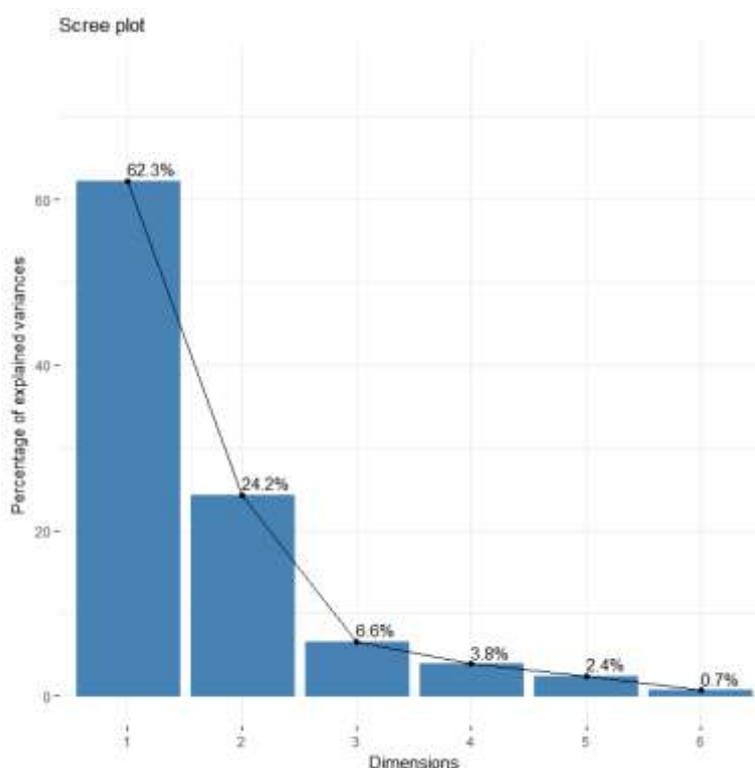


Figura 66 - Gráfico com a percentagem das explicações em suas respectivas dimensões nos dois ambientes, trilha e mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Nos dois ambientes analisados em conjunto a transmitância luminosa difusa (TF), abertura de dossel (AD) e transmitância direta (TD) são as variáveis que mais contribuem na primeira-dimensão (Figura 70).

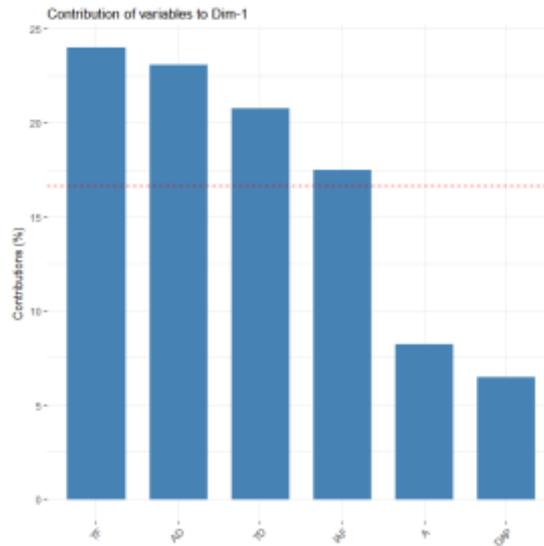


Figura 67 - Contribuição das variáveis A=altura, AD=abertura de dossel, DAP=diâmetro a altura do peito, IAF=índice de área foliar, TD= Transmitância luminosa direta e TF= transmitância luminosa difusa, na primeira dimensão, nos dois ambientes, trilha e mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Para a segunda dimensão, as variáveis que mais contribuem são diâmetro a altura do peito (DAP) e altura (A) (Figura 71).

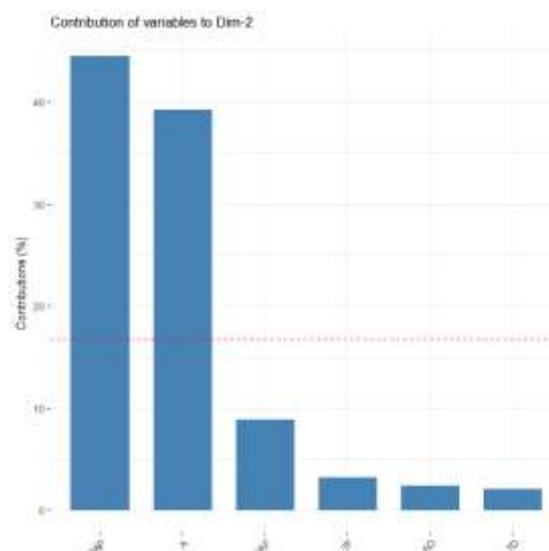


Figura 68 - Contribuição das variáveis A=altura, AD=abertura de dossel, DAP=diâmetro a altura do peito, IAF=índice de área foliar, TD= Transmitância luminosa direta e TF= transmitância luminosa difusa, na segunda dimensão, nos dois ambientes, trilha e mata. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Através da técnica de análise ótima de clusters, foi possível definir e dividir as parcelas em grupos homogêneos. Segundos os indicadores obtidos pela ACP, primeiro calculou-se o número ideal de grupos, sendo assim, as parcelas foram agrupadas em cinco grupos diferentes. Podemos observar no gráfico abaixo (Figura 72) que a partir desse valor os grupos começam a perder representatividade.

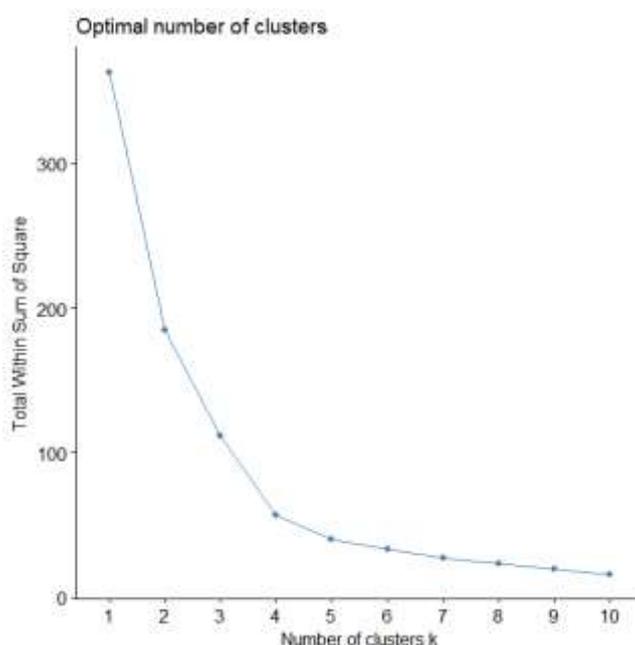


Figura 69 - Gráfico com número ideal de grupos para dividir as parcelas hierarquicamente. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Agrupando as parcelas hierarquicamente (Figura 73), podemos observar o comportamento das mesmas, e identificar as possíveis semelhanças entre essas parcelas. A parcela de número 15 em vermelho na direita, apresenta um comportamento distinto de todas as outras parcelas, identificada como uma área de alta abertura de dossel e transmitância luminosa. Em seguida temos três parcelas com um comportamento semelhante sendo a parcela de número 14 na trilha, onde a trilha começa a ter um maior alargamento até chegar na parcela 15, e as parcelas 43, 49 e 55 dentro da mata. Essas parcelas também apresentam um alto grau de abertura de dossel e transmitância luminosa.

O grupo mais à esquerda, representado de amarelo, indicam as parcelas com valores intermediários de IAF, abertura de dossel e transmitância luminosa. Em seguida, de azul temos as

parcelas com valores aceitáveis de variações dos parâmetros do dossel e de luminosidade e por último, de verde, temos as parcelas com índices ideais da variação desses parâmetros.

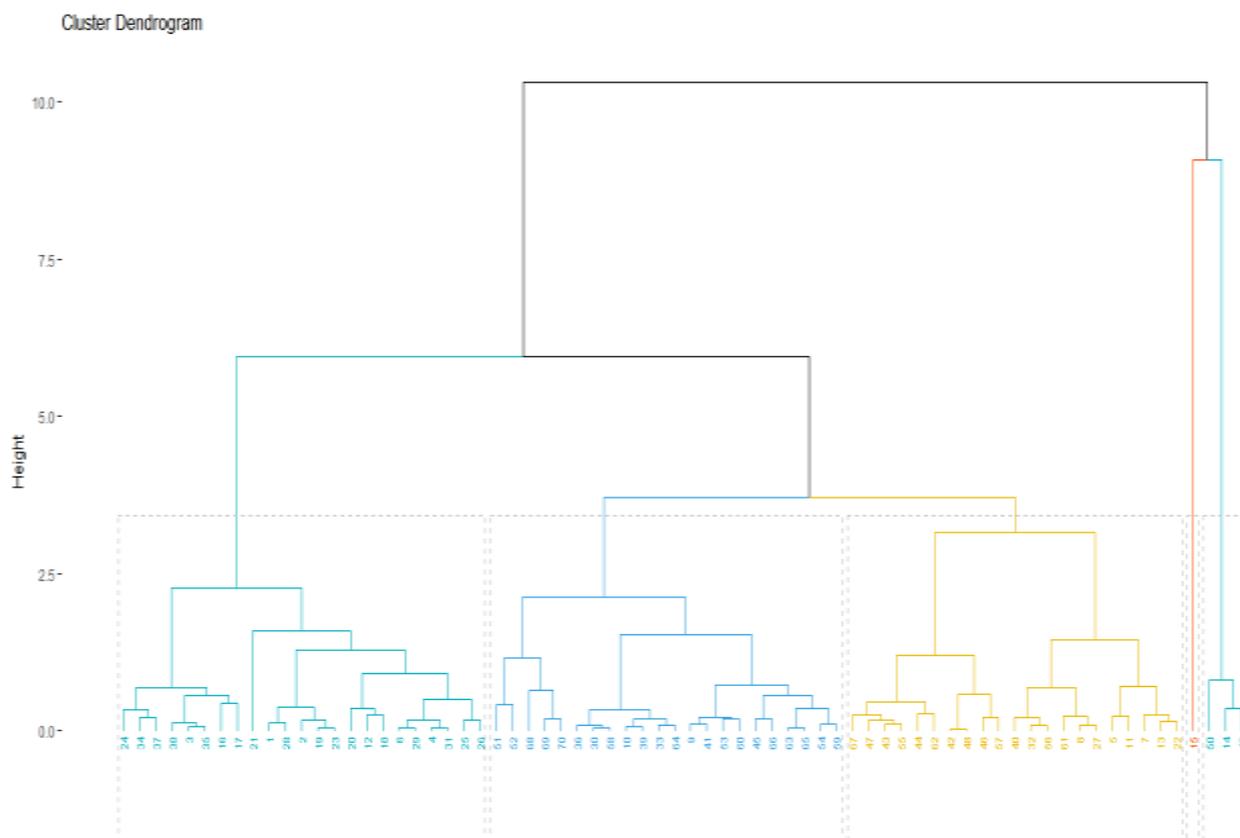


Figura 70 - Gráfico com agrupamento hierárquico das parcelas na trilha do Morro da Urca, elaborado através do algoritmo simple-link. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Essa separação é de extrema utilidade em tomadas de decisões (LINDEN, 2009). No estudo feito, as parcelas 14 e 15 seriam as primeiras na tomada de ações corretivas, por apresentar padrões de alto índice de abertura do dossel, taxa de luminosidade acima do padrão local e baixo índice de IAF. Em segundo lugar uma ação corretiva deveria ser tomada nas as parcelas que se encontram no grupo de risco (amarelo). As parcelas que se encontram no grupo padrão (verde), são consideradas dentro dos parâmetros normais do ambiente local.

O modelo de interações entre os parâmetros (Figura 74), aponta que a largura da trilha tem uma influência direta na abertura do dossel acima da trilha e no Índice de Área Foliar. Podemos

afirmar ainda que parâmetros dendrométricos influenciam nos padrões de luminosidade, que por sua vez influenciam nos Índices de Área Foliar (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002).

Assim, concluímos ainda que a abertura do dossel na trilha é um parâmetro-chave dentro de áreas de visitação, pois têm influência nos Índices de Área Foliar, Incidência Luminosa. Esse conjunto de correlações em cadeia, que se inicia na largura da trilha e termina na abertura do dossel dentro da mata, aponta para um possível efeito de borda, pois a abertura do dossel na trilha causada pelo aumento da largura na mesma está influenciando padrões estruturais e de luminosidade dentro da mata, parâmetros que afetam diretamente o microclima dentro do ambiente florestal, uma vez que a luminosidade está diretamente ligada com temperatura e humidade.

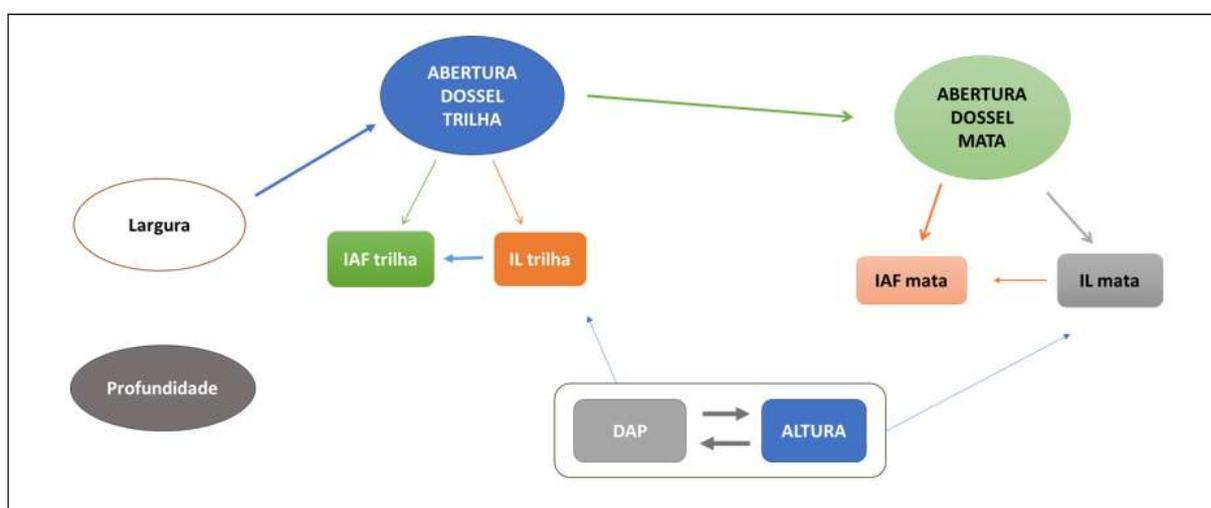


Figura 71 - Esquema ilustrativos das interações entre as variáveis na área de estudo. A = altura das espécies arbóreas, AD = abertura de dossel, DAP = diâmetro a altura do peito das espécies arbóreas, IAF = índice de área foliar, IL= incidência luminosa, L = largura da trilha e P = profundidade da trilha. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

Após a obtenção dos resultados das análises estatísticas e a comprovação da hipótese de que a trilha exerce algum impacto dentro da mata, pelo menos a 30 metros de distância, foram elaborados os mapas cartográficos para uma melhor compreensão e visualização espacial dos resultados obtidos.

Através da elaboração e análise dos mapas com simbologias personalizadas é possível interpretar geograficamente os resultados de abertura do dossel, índice de área foliar e transmitância luminosa, obtidos no percurso da trilha e no transecto paralelo, a 30 metros de distância. Assim, podemos avaliar o comportamento desses parâmetros ambientais de acordo com

cada trecho dos respectivos percursos (trilha e mata), em grade de cores e largura definidas pelos resultados referentes. O primeiro mapa elaborado com simbologias personalizadas foi para a abertura do dossel (Figura 75).

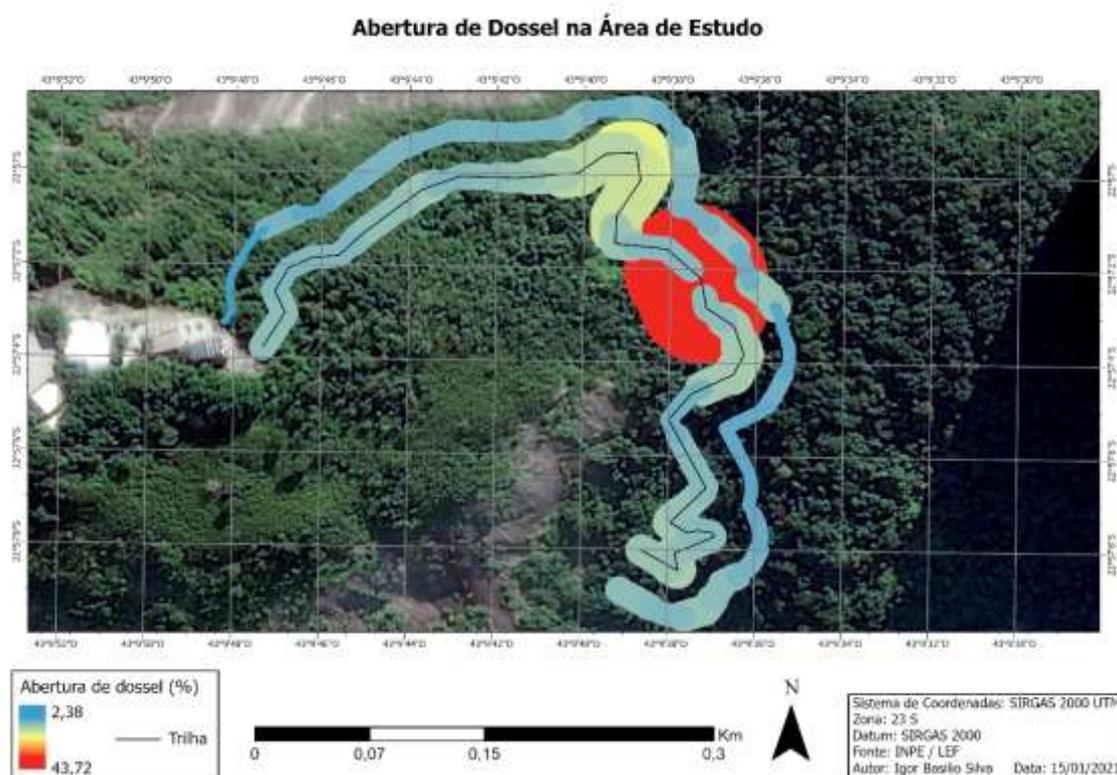


Figura 72 – Mapa com simbologias personalizadas da abertura do dossel na trilha do Morro da Urca e no transecto paralelo a 30 metros. Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Com seu valor representado pela escala de cores podemos observar que de modo geral, a área de estudo apresenta poucos trechos com uma abertura do dossel mais acentuada. Aproximadamente na metade do percurso da trilha do Morro da Urca, podemos notar um trecho com elevada porcentagem de abertura do dossel, representado pela área em vermelho. Da mesma maneira, podemos notar que nessa parte da área de estudo, o transecto dentro da mata apresenta alguns trechos onde sua abertura do dossel é mais elevada, representada de verde. O mesmo acontece na curva logo acima desse trecho, representada por áreas em verde e amarelo. Assim, é possível visualizar espacialmente os trechos onde os valores de abertura do dossel são mais críticos dentro da trilha e em que nível esses trechos estão influenciando a abertura do dossel dentro da mata.

O mesmo procedimento foi elaborado para o valor do índice de área foliar, onde também foi possível analisar espacialmente como esse parâmetro ambiental se comporta no percurso da trilha e no transecto paralelo a 30 metros (Figura 76).

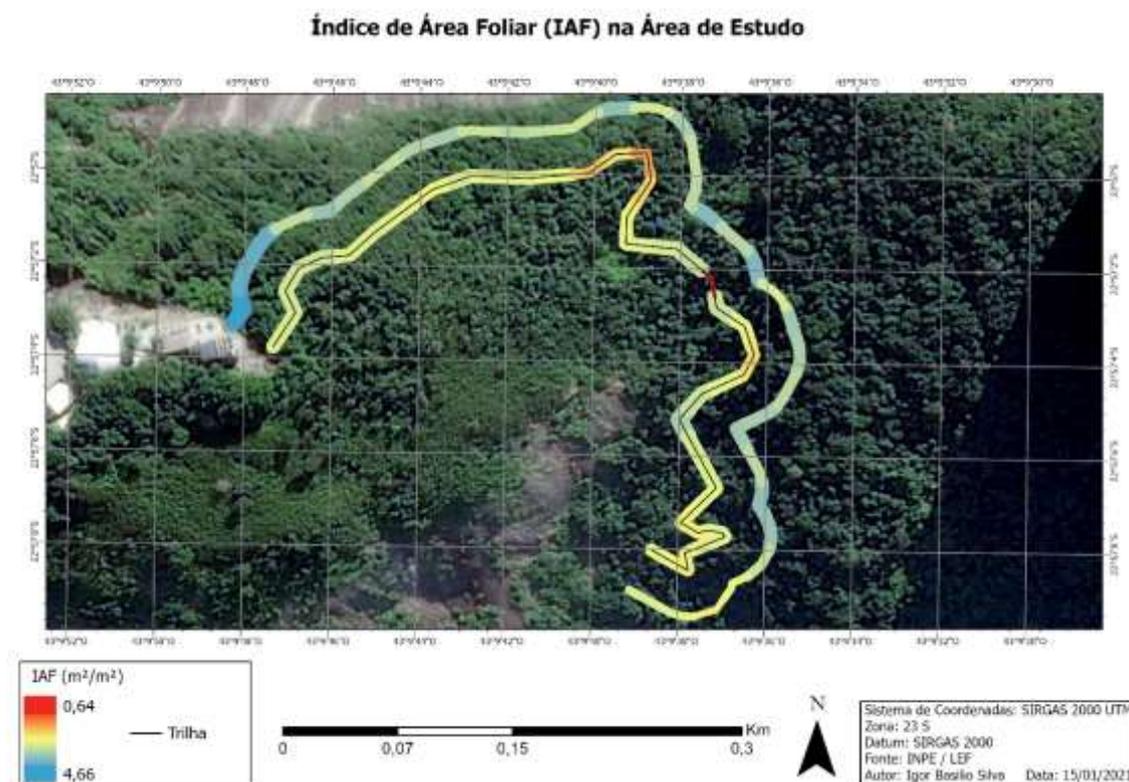


Figura 73 – Mapa com simbologias personalizadas do índice de área foliar na trilha do Morro da Urca e no transecto paralelo a 30 metros. Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Como podemos observar no mapa anterior, os trechos onde apresentam menor índice de área foliar, são também os trechos onde apresentam maior abertura do dossel. Esses trechos, representados por cores mais quentes, apresentam uma proporção inversa da abertura do dossel, assim, são representados por uma simbologia com largura mais estreita.

A trilha apresenta um índice de área foliar com valores próximos da média durante quase todo o seu percurso, com exceção de alguns pequenos trechos com valores de índice de área foliar muito pequenos ou muito altos. O transecto, por sua vez, apresenta uma variação maior dos valores de índice de área foliar durante os trechos de seu percurso. Podemos observar também, que o transecto apresenta um trecho com valores pequenos de índice de área foliar no início de seu trajeto, trecho próximo à pista Claudio Coutinho. Esse valor aumenta na medida em que o percurso

vai seguindo em direção ao topo do Morro da Urca, até chegar no trecho onde o índice de área foliar é maior, representado de azul.

O último mapa elaborado através da técnica de simbologias personalizadas foi o mapa da transmitância luminosa na trilha do Morro da Urca e no transecto paralelo, onde podemos observar como a incidência de luz solar se comporta ao longo do percurso analisado (Figura 77).

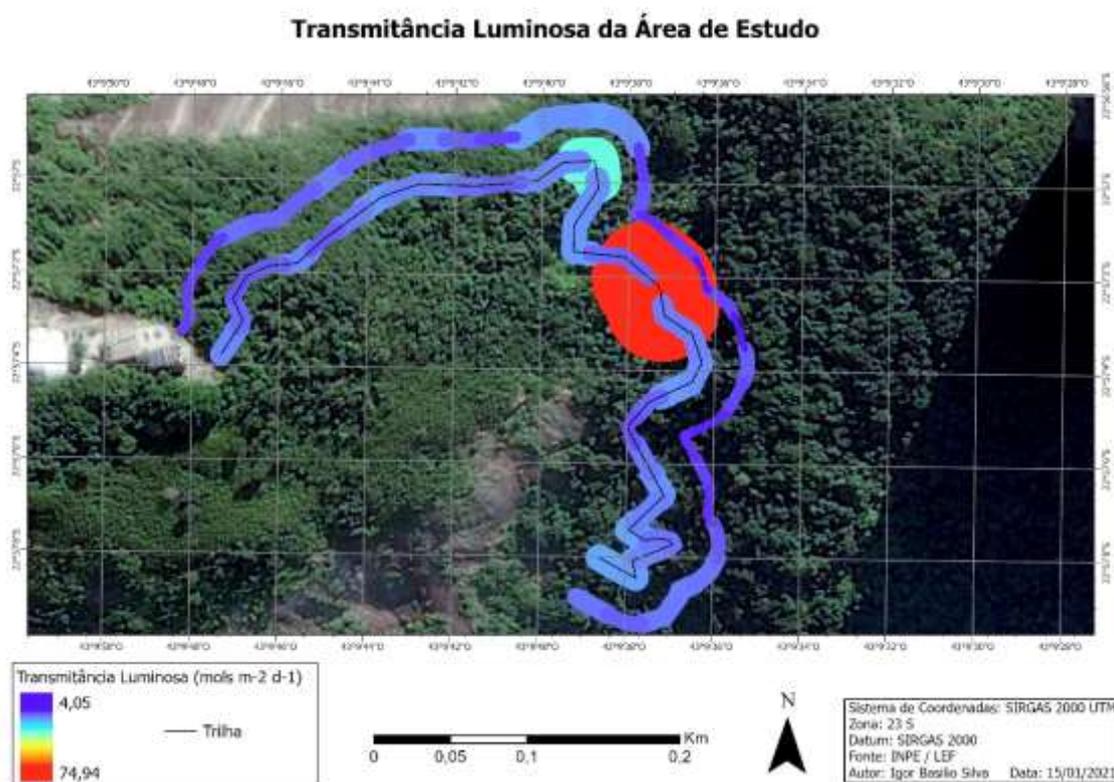


Figura 74 – Mapa com simbologias personalizadas da transmitância luminosa na trilha do Morro da Urca e no transecto paralelo a 30 metros. Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Como era esperado, os trechos do percurso da trilha que apresentam maior índice de transmitância luminosa, são também os trechos onde apresentam maior porcentagem de abertura do dossel. Apesar disso, observa-se que o trecho da trilha com valores de transmitância luminosa mais elevados, representado de vermelho, não é o trecho que exerce maior influência na área do transecto. Podemos constatar, que o trecho da trilha que exerce maior influência dentro da área da mata, é o trecho na curva logo acima da área representada de vermelho, representado de verde. Isso se deve ao relevo acidentado do local, fazendo com que aquela região fique mais exposta à incidência de luz solar.

Posteriormente foram elaborados os mapas com as análises geoestatísticas, possibilitando uma compreensão não só dos trajetos (trilha e mata), mas também de toda a área de alcance das fotografias hemisféricas na área de estudo.

A análise geoestatística foi elaborada considerando a área de influência das análises realizadas nas etapas anteriores, onde foi confirmada a correlação dos parâmetros da trilha do Morro da Urca na área ao seu entorno. Para isso, inicialmente, foi delimitada a área de abrangência das fotografias hemisféricas e plotada num mapa para uma compreensão mais ampla de sua espacialidade geográfica em relação a trilha e os pontos de registro das fotografias hemisféricas. Posteriormente, foi delimitada a área de influência dos registros elaborados (Figura 78).

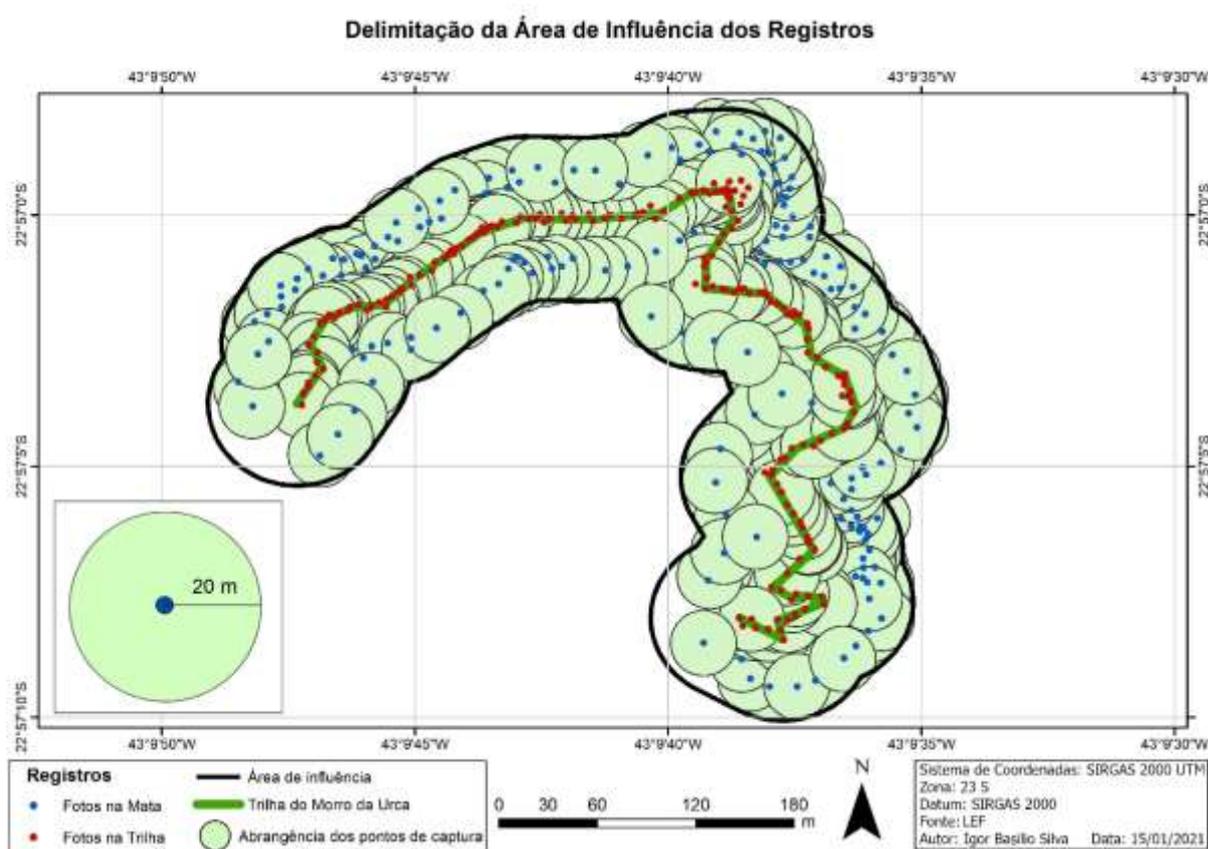


Figura 75 - Delimitação da área de influência dos registros fotográficos realizados na área de estudo. Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Para a delimitação da área de influência dos registros, levou-se em consideração, o delineamento amostral aplicado e a abrangência que a fotografia hemisférica alcança, um círculo com 20 metros de raio. Dessa forma, foi delimitada a área ao entorno da trilha, numa distância de

50 metros da mesma, sendo a distância até transecto (30 metros) somado com a distância do alcance das fotografias hemisféricas (20 metros).

Assim, delimitou-se ao redor da trilha, um polígono com aproximadamente 74.000 metros quadrados de área, para a execução das análises geoestatísticas (Figura 79).

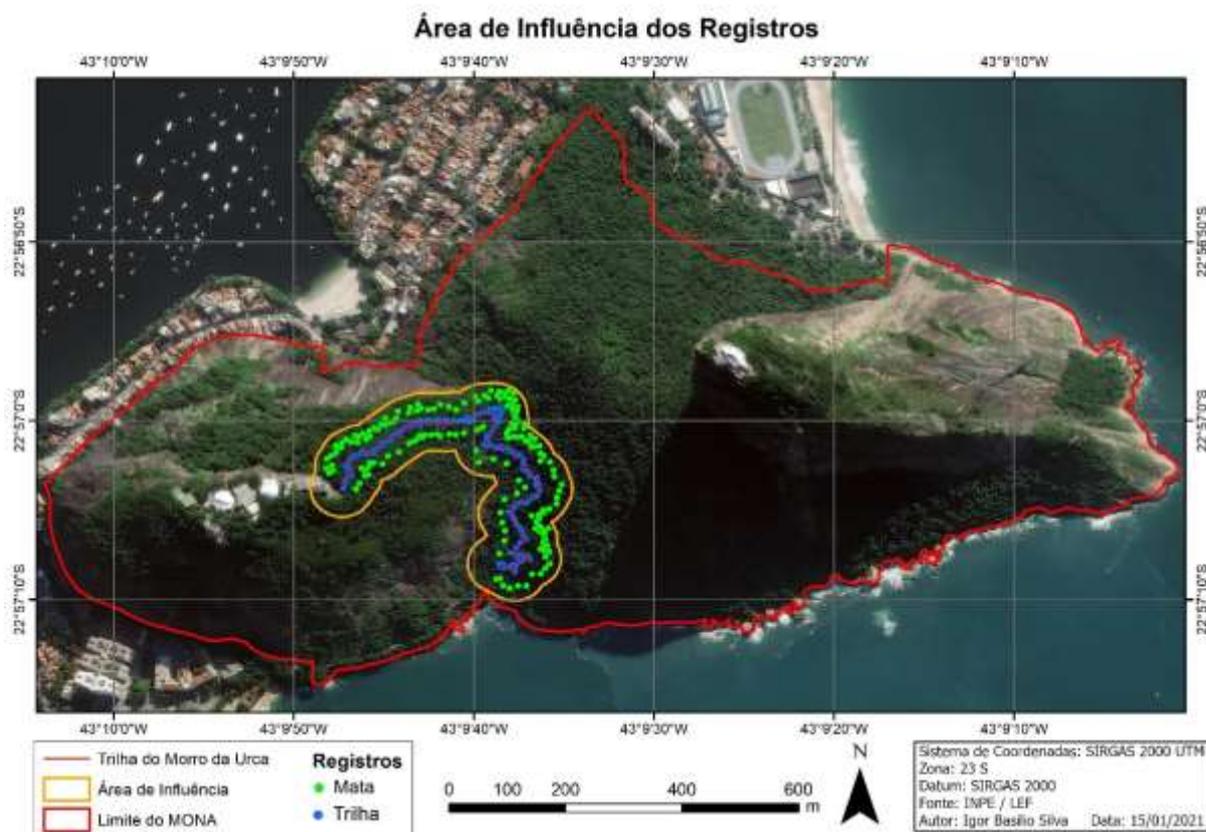


Figura 76 – Localização da Trilha do Morro da Urca e sua área de influência, com os pontos de registro das fotografias hemisféricas.

Fonte: Silva (2021).

Como podemos observar no mapa anterior, os pontos de registro das fotografias hemisféricas estão bem distribuídos espacialmente dentro da área de influência analisada. Isso contribui para a obtenção de resultados mais precisos em análises geoestatísticas e geoespaciais. Ao mesmo tempo, podemos visualizar como a proposta do delineamento amostral aplicado na pesquisa atingiu o objetivo de obter uma análise ampla da área de estudo.

A primeira variável analisada e plotada, através das técnicas de geoestatísticas e krigagem, foi a porcentagem de abertura –o dossel (Figura 80).

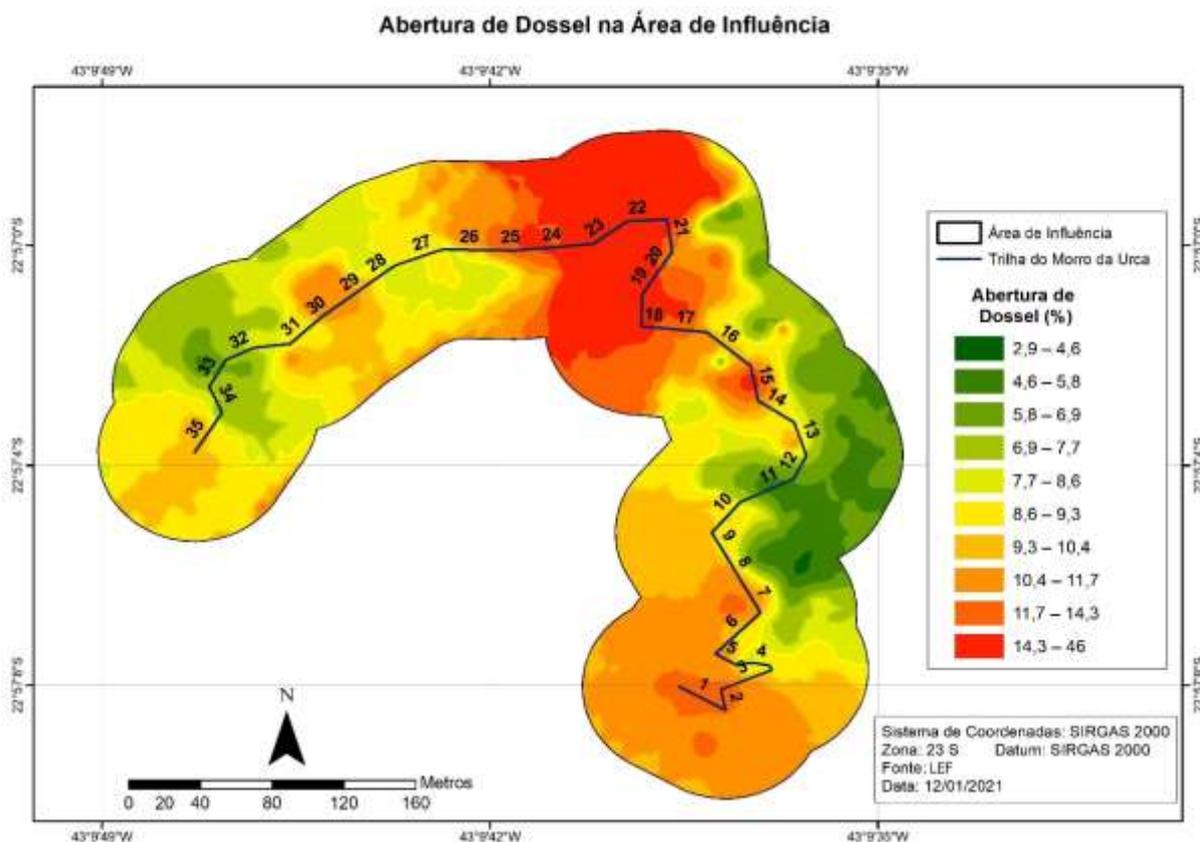


Figura 77 - Análise geoestatística, através da técnica de krigagem, da abertura de dossel na área de influência da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Através do mapa da abertura de dossel na área de influência da trilha do Morro da Urca, elaborado através da técnica de krigagem, podemos observar como essa variável se comporta na área de estudo, assim como analisar a variação desse parâmetro ao longo do percurso da trilha, no qual podemos visualizar os seus respectivos trechos (parcelas).

Dessa forma, identificamos que o início do trajeto da trilha apresenta uma abertura de dossel entre 9,3% e 11,7%, exercendo uma certa interferência na área ao seu entorno, onde podemos observar um comportamento semelhante. Esse comportamento segue até a parcela de número 6 e a partir da parcela de número 7, observamos uma diminuição da abertura de dossel da trilha. Essa diminuição impacta diretamente na área ao seu entorno, onde podemos observar, ao lado direito da trilha, as áreas de menor abertura de dossel em toda a área de influência da trilha. Na parcela de número 15, observamos uma área com nível crítico de abertura de dossel, acima de 14,3%. O aumento de abertura de dossel segue até a parcela de número 26, compreendendo a área

de menor abertura do dossel em toda a área analisada. A partir desse trecho da trilha observamos uma diminuição gradual da abertura de dossel até o final de seu percurso.

Em seguida, foi elaborado a análise geostatística para a variável: índice de área foliar (Figura 81).

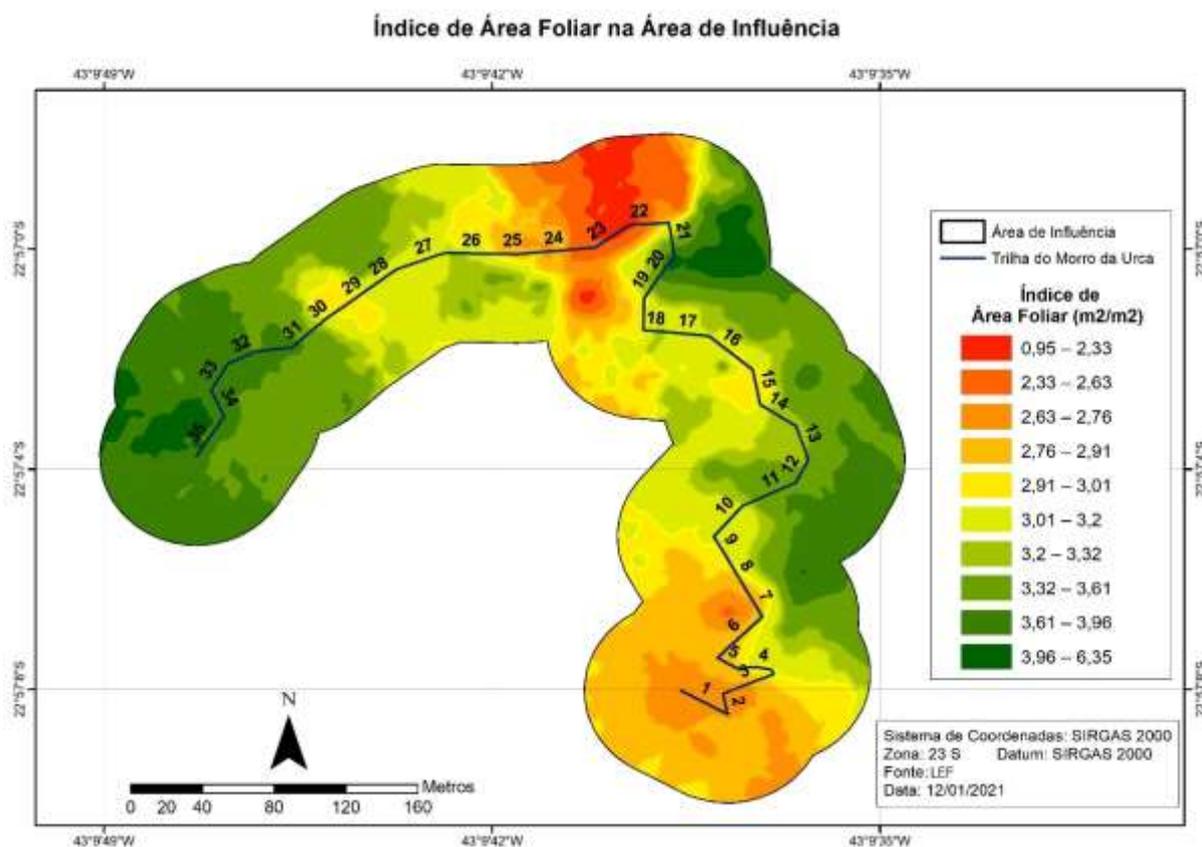


Figura 78 -Análise geostatística, através da técnica de krigagem, do índice de área foliar na área de influência da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Observamos uma área com valores muito baixos de índice de área foliar entre a parcela de número 21 e a parcela de número 26, principalmente na área ao lado direito da trilha, apresentando valores de até 0,95 (m^2/m^2) de índice de área foliar. O trecho inicial da trilha apresenta uma variação entre 2,63 (m^2/m^2) e 3,01 (m^2/m^2) de índice de área foliar, até a parcela de número 7, onde podemos observar um acréscimo nos valores do índice de área foliar, seguindo até a parcela de número 14. A partir da parcela de 30 até o final do percurso, observamos as áreas com valores mais altos de índice de área foliar, entre 3,32 (m^2/m^2) e 6,35 (m^2/m^2).

A última variável analisada, foi a transmitância luminosa. Dessa forma, foram analisadas a transmitância luminosa direta, a transmitância luminosa difusa (indireta) e a transmitância luminosa total, sendo possível ter uma ampla compreensão do comportamento da incidência de luz solar na área de estudo. Analisou-se primeiramente a transmitância luminosa direta na área de influência (Figura 82).

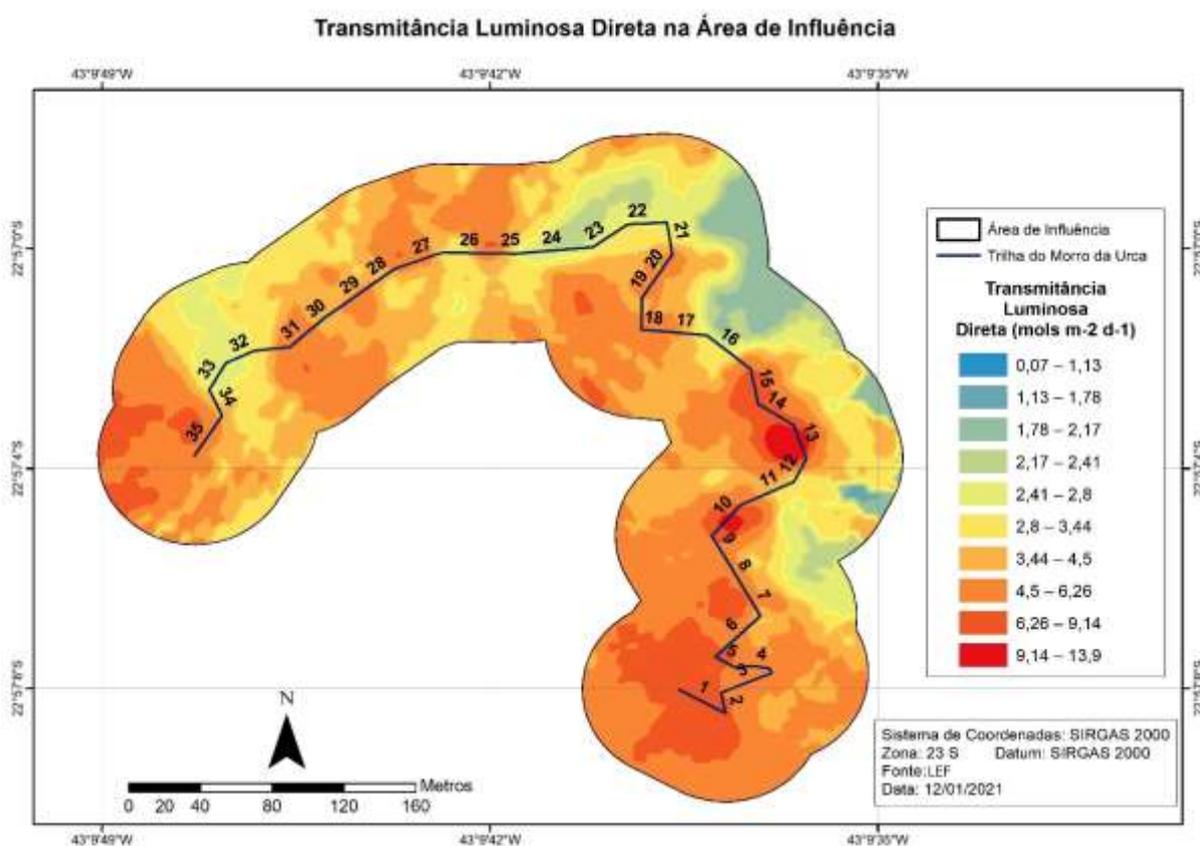


Figura 79 - Análise geoestatística, através da técnica de krigagem, da transmitância luminosa direta na área de influência da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

A área como um todo apresenta, principalmente, valores superiores a 2,44 (mols m⁻² d⁻¹) de transmitância luminosa direta. O Trecho compreendido entre a parcela de número 10 e a parcela de número 15, é o que apresenta valores mais altos de transmitância luminosa direta, chegando a valores de até 13,9 (mols m⁻² d⁻¹). A área ao lado direito da trilha, apresenta trechos com baixa transmitância luminosa direta, isso, devido ao relevo local e pela abertura de dossel nessas áreas.

Podemos observar, que apesar de existir uma correlação positiva entre a transmitância luminosa direta nos ambientes da trilha e da mata, essa correlação é bem menor do que nas outras

variáveis analisadas. Assim, como na parcela de número 13, é possível identificar trechos com valores críticos de transmitância luminosa direta no ambiente da trilha, enquanto que no mesmo trecho, no ambiente mais adentro da mata, apresentam valores bem inferiores de transmitância luminosa direta.

Posteriormente analisou-se a transmitância luminosa indireta na área de influência da trilha (Figura 83).

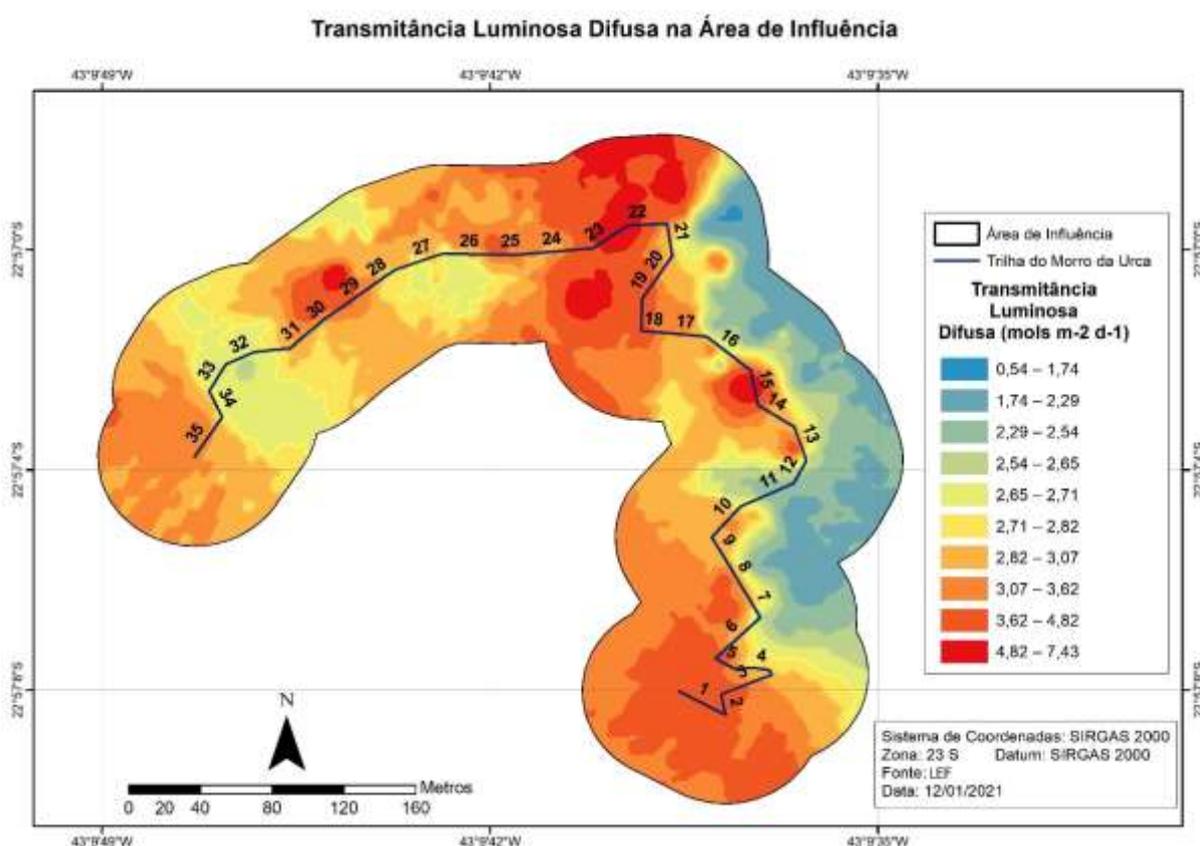


Figura 80 - Análise geoestatística, através da técnica de krigagem, da transmitância luminosa difusa na área de influência da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Através do mapa de krigagem para a transmitância luminosa difusa, podemos observar que essa variável apresenta valores superiores a 2,82 (mols m⁻² d⁻¹) na maior parte da área analisada. As parcelas da trilha que apresentaram valores mais altos de transmitância luminosa difusa são as de número 14, 22, 23 e 29. Podemos identificar que o lado direito da área analisada, possui um extenso trecho com valores baixos de transmitância luminosa difusa, se estendendo da parcela de

número 4 até a parcela de número 21. Esse trecho apresenta valores entre 0,54 (mols m⁻² d⁻¹) e 2,65 (mols m⁻² d⁻¹) de transmitância luminosa difusa.

Através dessa análise, também é possível observar que a transmitância luminosa difusa apresenta uma correlação menor entre os ambientes trilha e mata, do que as outras variáveis analisadas anteriormente. O trecho que possui uma maior correlação está compreendido entre as parcelas de número 21 e número 25, onde é possível identificar valores altos de transmitância luminosa difusa.

Por último, foi elaborada a análise geostatística da transmitância luminosa total na área de influência (Figura 84).

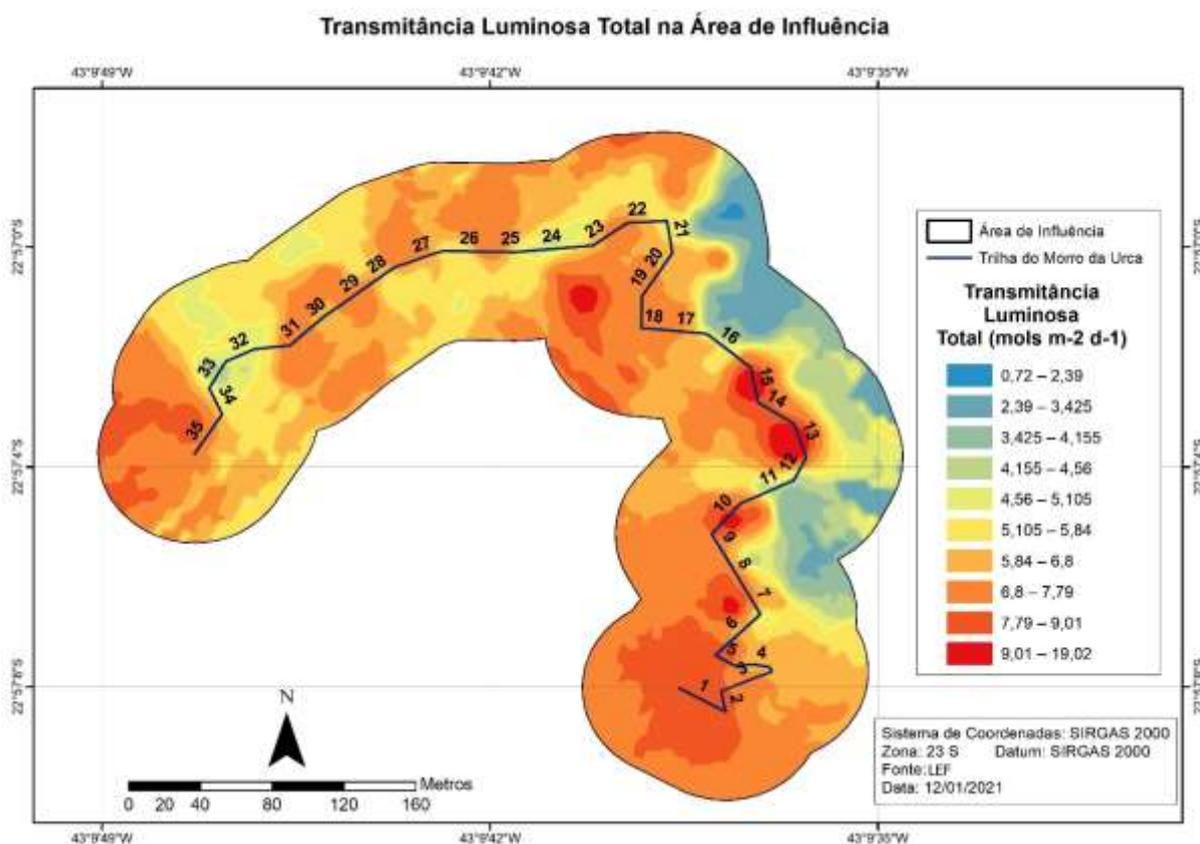


Figura 81 - Análise geostatística, através da técnica de krigagem, da transmitância luminosa total na área de influência da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Através da análise do mapa de krigagem para a transmitância luminosa total, é possível concluir que o percurso da trilha apresenta valores de transmitância luminosa total entre 4,58 (mols m⁻² d⁻¹) e 19,02 (mols m⁻² d⁻¹), com alguns trechos apresentando valores mais críticos, como as parcelas de número 10, 13, 14 e 15. A partir da parcela de número 16, a trilha apresenta valores de

transmitância luminosa total abaixo de 6,8 (mols m⁻² d⁻¹) até o final de seu percurso, exercendo pouca influência na área dentro da mata.

A densa vegetação na área ao lado direito da trilha, da parcela de número 7 até a parcela de número 21, combinada com as características do relevo local, acarreta numa área com baixa transmitância luminosa total, assim como para a transmitância luminosa direta e transmitância luminosa difusa. Podemos identificar que a área analisada também possui trechos com níveis consideráveis de transmitância luminosa total no início do percurso da trilha (parcela 1) e no final de seu percurso (parcela 35), apresentando valores superiores a 6,8 (mols m⁻² d⁻¹) de transmitância luminosa total.

O produto final do projeto consiste na elaboração de QR-Codes, que dão acesso ao conteúdo informativo resultante da pesquisa, além da elaboração de modelos de totens interpretativos contendo os QR-Codes. Inicialmente, foi desenvolvida uma Plataforma digital online, direcionada para dispositivos móveis, para a hospedagem das informações pertinentes, previamente selecionadas. Para a criação da plataforma digital online, foi utilizado o site Wix.com, uma plataforma com diversos recursos gratuitos, e que permite a criação de diversos tipos de websites (Figura 85).



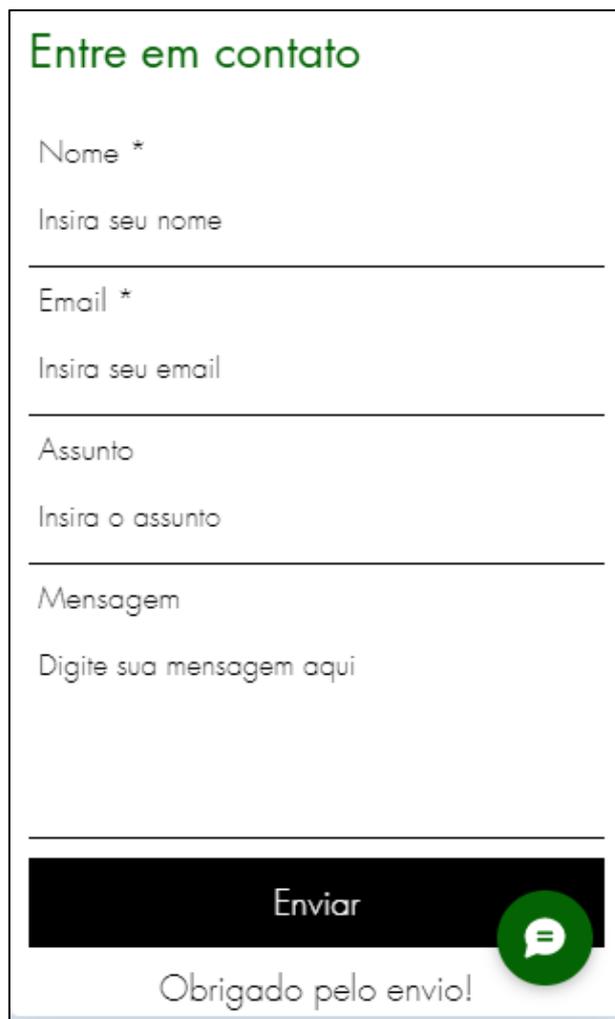
Figura 82 - Layout da página inicial da plataforma online.
Fonte: Silva (2021).

O layout da plataforma online foi desenvolvido de forma que possibilite aos visitantes acessar de maneira simples e rápida diversas informações ecológicas através de textos informativos, imagens, vídeos, gráficos e mapas. Além disso, a plataforma possibilita a participação no grupo de visitantes, onde os visitantes podem trocar experiências e dialogar com uma grande variedade de pessoas que passaram pela trilha do Morro da Urca (Figura 86).



Figura 83 - Layout do grupo de visitantes na plataforma online.
Fonte: Silva (2021).

Através da plataforma online os visitantes também podem entrar em contato diretamente com o grupo de pesquisa, onde podem tirar dúvidas e fazer sugestões (Figura 87).



The image shows a contact form with the following fields and elements:

- Nome ***: Input field with placeholder text "Insira seu nome".
- Email ***: Input field with placeholder text "Insira seu email".
- Assunto**: Input field with placeholder text "Insira o assunto".
- Mensagem**: Input field with placeholder text "Digite sua mensagem aqui".
- Enviar**: A black button with white text and a green speech bubble icon.
- Obrigado pelo envio!**: A confirmation message displayed below the button.

Figura 84 - Layout da plataforma online, contendo a sessão de contato com o grupo de pesquisa.
Fonte: Silva (2021).

Dessa maneira, foram elaborados materiais textuais para cada trecho (parcela) da trilha do Morro da Urca, fornecendo as informações exatas daquele trecho. Como exemplo, é apresentado o conteúdo informativo referente ao trecho 23, da trilha do Morro da Urca. Inicialmente é fornecido aos visitantes informações da distância percorrida até o ponto atual e a distância que ainda falta para completar o percurso –a trilha (Figura 88).



Figura 85 - Layout da plataforma online contendo informações da distância percorrida até o trecho 23 e da distância restante para completar o percurso da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Como a trilha do Morro da Urca recebe uma grande variedade de visitantes, de diferentes faixas de idades e condições físicas, essas informações proporcionam aos visitantes uma percepção do deslocamento feito e do percurso restante. Dessa maneira, os visitantes podem ter uma noção espacial do local e decidir por diversas tomadas de decisões, como pausas para o descanso, evitando assim, possíveis incidentes provenientes de desgastes físicos excessivos.

A segunda parte da plataforma proporciona aos visitantes acessar um vídeo contendo uma animação do percurso da trilha percorrido até o ponto em que o visitante –e encontra (Figura 89).



Figura 86 - Layout da plataforma online contendo o vídeo da distância percorrida até o trecho 23 e da distância restante para completar o percurso da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro RJ.

Fonte: Silva (2021).

Através do vídeo, os visitantes podem acessar diversas informações da trilha, como, a distância percorrida até o ponto atual, a distância restante para completar o percurso da trilha, a elevação mínima do percurso percorrido, elevação média, elevação máxima, inclinação mínima do percurso percorrido, inclinação média, inclinação máxima, assim como o ganho/perda de elevação.

O próximo conteúdo da plataforma, consiste na exibição de fotografias hemisféricas do dossel florestal do trecho em que o visitante se encontra (Figura 90).

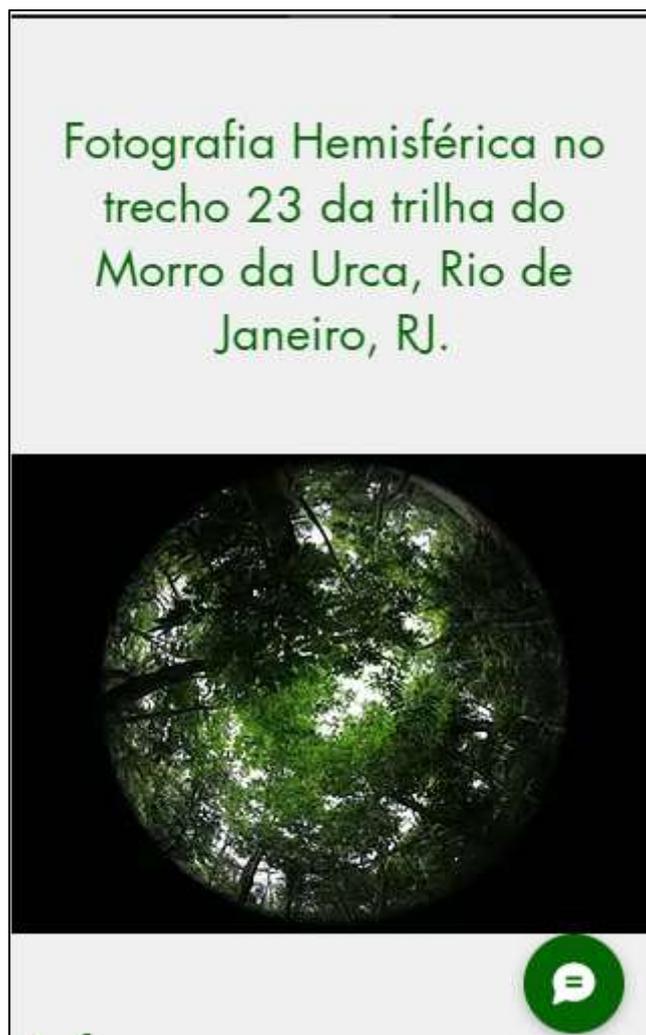


Figura 87 - Layout da plataforma online contendo fotografias hemisféricas do trecho 23 da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2021).

Dessa maneira o visitante pode ter uma compreensão mais ampla da cobertura vegetal do local. Da mesma maneira, é possível acessar fotografias hemisféricas da cobertura vegetal ao longo de todo o percurso da trilha. Em seguida é disponibilizada informações ambientais e biofísicas da trilha e do ambiente local, através dos respectivos valores e gráficos (Figura 91).



Figura 88 - Layout da plataforma online contendo informações ambientais e biofísicas do trecho 23 da trilha do Morro da Urca e a média do trajeto da trilha, Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Silva (2021).

Dentre as informações disponibilizadas na plataforma, estão, a abertura do dossel, o índice de área foliar, transmitância luminosa direta, transmitância luminosa indireta, transmitância luminosa total, diâmetro a altura do peito das espécies arbóreas, altura das espécies arbóreas, largura da trilha, profundidade da trilha. Para um melhor entendimento das informações, todos os gráficos são acompanhados de legendas bem visíveis (Figura 92).

Legenda:

- AD = Abertura de Dossel (%)
- IAF = Índice de Área foliar (m^2/m^2)
- TLD = Transmitância Luminosa Direta ($mols\ m^{-2}\ d^{-1}$)
- TLDf = Transmitância Luminosa Difusa ($mols\ m^{-2}\ d^{-1}$)
- TLT = Transmitância Luminosa Total ($mols\ m^{-2}\ d^{-1}$)
- DAP = Diâmetro a altura do peito das espécies arbóreas (m)
- A = Altura das espécies arbóreas (m)
- L = Largura da trilha (m)
- P = Profundidade da trilha (m)

Figura 89 - Layout da plataforma online contendo a legenda dos gráficos.
Fonte: Silva (2021).

Por último a plataforma disponibiliza imagens e mapas com as informações ambientais da trilha e de cada trecho específico (Figura 93).

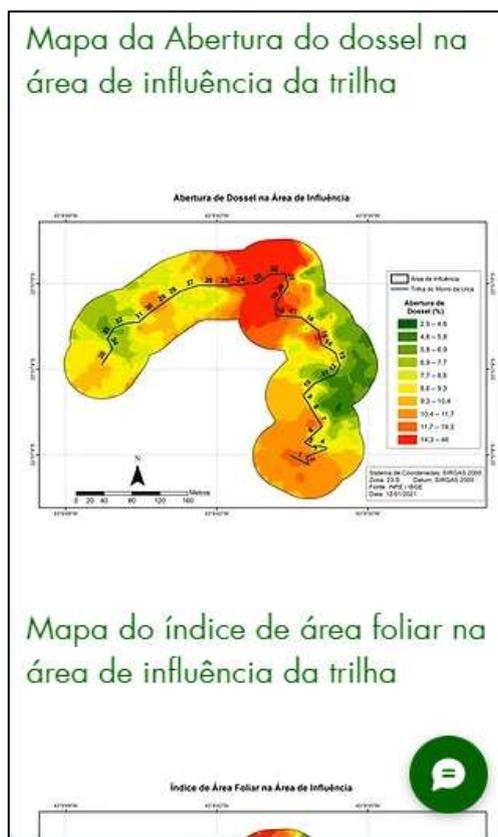


Figura 90 - Layout da plataforma online contendo mapas e imagens da área de estudo.
Fonte: Silva (2021).

Após a finalização da plataforma online, com todos os elementos, foram elaborados os QR-Codes para cada trecho da trilha (Figura 94).



Figura 91 - QR-Code da plataforma online, referente ao trecho 23 da trilha do Morro da Urca, Rio de Janeiro, RJ.
Fonte: Silva (2021).

Para a elaboração dos códigos específicos para cada parcela, utilizou-se o site QR Code Generator (DENSO WAVE INCORPORATED, 2021). A escolha se dá pela facilidade de uso e manuseio de tal gerador, tendo em vista que a confecção dos códigos independe de cadastro no site, sendo gratuito por tempo ilimitado. Os códigos possuem tamanho aproximado de 10cmX10cm. Seguindo as especificações de tamanho sugerido, foi realizado a impressão dos códigos em papéis, que podem ser papel paraná e/ou papelão, revestindo a impressão com material impermeável, assegurando uma maior durabilidade do produto final.

O produto final do trabalho consiste na elaboração de modelos de totens onde os QR-Codes poderão ser anexados. Esses totens interpretativos podem ser elaborados com eucalipto tratado, possuindo uma altura aproximada de 1,3 m de altura, permitindo assim uma fácil visualização por parte dos visitantes. Além disso, os QR-Codes podem ser anexados a placas ou estruturas já existentes no local, quando necessário, evitando um excesso de materiais implementados na trilha.

6 Aplicação da pesquisa

Qualquer instalação realizada em ambiente natural promove impacto ambiental e modifica a paisagem natural. Entretanto, placas podem ser interferências necessárias em uma série de situações. O processo de percepção do ambiente tem início com a atenção que não é mais do que um processo de observação seletiva, ou seja, das observações por nós efetuadas. Este processo faz com que nós percebamos alguns elementos em detrimento de outros. Deste modo, são vários os fatores que influenciam a nossa atenção. Esses podem ser fatores externos - próprios do meio ambiente - e fatores internos - próprios do nosso organismo. Portanto, para chamar a atenção dos visitantes para que observem características específicas da estrutura florestal, é necessário disponibilizar algumas informações que, na maioria das vezes, não está plenamente acessível ao caminhante/visitante regular.

A utilização de fotografias hemisféricas para avaliação de estruturas florestais vem sendo amplamente aplicada. Mas, apesar de ser uma tecnologia promissora, suas aplicações ainda são incipientes (LOWMAN, 2009). Essa poderosa ferramenta fornece dados precisos da estrutura florestal e seus diversos elementos, podendo ser de grande utilidade na gestão de áreas preservadas, auxiliando na tomada de decisões, possibilitando avaliar possíveis impactos e fornecendo materiais que podem ser disponibilizados por meio de projetos de educação ambiental (CESCATTI, 2007; SILVEIRA e ALVES, 2008).

Alguns estudos sobre análise do perfil de ecoturistas que visitam UCs em geral, demonstram que estes são, em maioria, de classe média, tem entre 23 e 30 anos e possuem nível superior completo, e se orientados corretamente podem apresentar alto grau de comprometimento para conservação ambiental (BARROS e DINES, 2000; WEARING e NEIL, 2000). Tendo em vista este perfil, acreditamos que a linguagem informativa apresentada nas placas e totens, com ícones digitais e QR-codes, pode ir além de sinalizar localização, acesso, alertas sobre áreas de risco, regras e proibições. É possível disponibilizar informações técnicas aos eventuais interessados, que muitas vezes tem curiosidade ou desejo em compreender melhor os processos ecológicos, conhecer nomes de espécies da fauna e flora e, principalmente, compreender limites do espaço, para que o mesmo se insira em um processo de mínimo impacto. Nesse sentido, a interpretação ambiental é uma importante e interessante ferramenta, mesmo com diferentes enfoques, continua sendo uma tradução da linguagem da natureza e do conhecimento técnico para a linguagem comum das pessoas, fazendo com que, por vezes, percebam um mundo que nunca haviam notado.

As trilhas ecológicas utilizadas como ferramenta de Educação Ambiental costumam ser de grande valia para a aproximação dos visitantes com o ambiente natural, além de serem um meio de aprendizagem na prática, que faz com que o visitante se sensibilize para a manutenção do equilíbrio ecológico. Lemes (2004) acrescenta que as trilhas devem explorar o raciocínio lógico, incentivar a capacidade de observação e reflexão, além de apresentar conceitos ecológicos e estimular a prática investigatória. As trilhas visam propiciar atividades que revelam os significados e as características do ambiente por meio de uso de elementos originais, por experiência direta e por meios ilustrativos, encaixando-se como um instrumento básico de Educação Ambiental (COSTA et.al. 2012).

Atualmente, a trilha do Morro da Urca, no MONA do Morros do Pão de Açúcar e da Urca possui uma boa estrutura para a realização de atividades de Educação Ambiental. Tais atividades geram sensibilização e cuidado com a natureza por parte dos visitantes, que aprendem um pouco mais sobre o local, sobre as formações florestais, sobre interações ali existentes, sua importância e modo de conservação, configurando-se como uma experiência ambiental dinâmica. As trilhas ecológicas se apresentam como uma possibilidade de tornar o conhecimento pertinente, contextualizado e real.

7 Conclusão

Através da elaboração e implementação de ferramentas de análise de parâmetros ambientais da área de estudo, esperamos que esses resultados possam contribuir com os gestores do MoNa dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca na tomada de decisões. A partir dele é possível analisar cada trecho da área de estudo separadamente, identificar áreas críticas, assim como avaliar a área como um todo.

A disponibilização dos resultados através de QR-Codes para os visitantes, pode contribuir para a conscientização dos mesmos. Através de uma plataforma digital e interativa, esperamos favorecer atitudes e reflexões voltadas para a conservação por parte de visitantes. A utilização de novas tecnologias busca atrair o interesse dos visitantes em relação à parâmetros ambientais e curiosidades relativas à área de estudo.

Através das análises elaboradas no percurso da trilha do Morro da Urca foi possível caracterizar a estrutura física florestal no percurso da trilha e da área ao seu entorno (altura das espécies arbóreas, diâmetro a altura do peito das espécies arbóreas, abertura de dossel, índice de

área foliar e transmitância luminosa). Também foi possível consolidar as informações a respeito dos parâmetros biofísicos da trilha (largura e profundidade). Nesse sentido a trilha apresentou poucos trechos com uma largura considerada excessiva e uma profundidade uniforme e adequada em todo o seu trajeto.

Foram avaliados possíveis impactos causados na estrutura florestal devido a utilização da trilha de caminhantes no Morro da Urca, onde foram identificados trechos em que se observou evidentes impactos negativos na estrutura florestal na área ao entorno da trilha, atingindo pelo menos a 30 metros de distância da mesma.

A utilização da técnica de fotografias hemisféricas para avaliar os parâmetros ambientais na área de estudo apresentou-se como uma ferramenta de alto valor de uso, principalmente se tratando de uma área de Floresta Ombrófila Densa, onde a utilização dessa técnica é pouco explorada. Através da análise de 132 configurações distintas da câmera fotográfica foi possível identificar as melhores configurações para avaliar a abertura do dossel, índice de área foliar e transmitância luminosa, em áreas de vegetação semelhante ao da área de estudo. Assim, contribuímos para a divulgação e o aperfeiçoamento da técnica de utilização de fotografias hemisféricas para estudo ambientais.

Através dos resultados obtidos foi possível produzir material cartográfico que representa parâmetros ambientais da área de estudo. Nesse sentido foram elaborados mapas com simbologia personalizada e mapas utilizando técnicas de geoestatística para todos os parâmetros analisados.

A partir dos resultados e dos materiais elaborados, foi possível elaborar uma plataforma online, com conteúdo digital que pode hospedar e disponibilizar informações técnicas, fotografias informativas, vídeos, mapas e gráficos.

Com a elaboração da plataforma online foi possível vincular a mesma em QR-Codes, facilitando o acesso à plataforma. A partir da elaboração dos QR-Codes foram elaborados modelos de totens interpretativos, contendo os códigos que dão acesso à plataforma. Através da proposta de elaboração de totens interpretativos contendo os QR-Codes esperamos contribuir para a divulgação de informações acerca de temas biológicos, ecológicos e geológicos pertinentes, em relação a área de estudo.

A possibilidade da implementação dos totens ao longo da trilha do Morro da Urca se apresenta como uma nova proposta de trilhas interpretativas, visando aproximar o público mais “conectado” às questões ambientais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M.; Hasui, Y.; de Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, p. 1-29, 1981.
- ANDERSON, M.C. Studies of the Woodland Light Climate. **Journal of Ecology**, v. 52, n. 1, p. 27-41, 1964.
- ANDRADE, R.V. **O Processo de Produção dos Parques e Bosques Públicos de Curitiba/PR**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, 2001.
- ANDRADE, W.J. **Implementação e manejo de trilhas**. In: MITRAUD, S. (Org.). Manual de ecoturismo de base comunitária: ferramentas para um planejamento responsável. Brasília: WWF, p. 247-259, 2003.
- ANDRADE, W.J.; ROCHA, R.F. **Manejo de trilhas: um manual para gestores**. São Paulo, SP. Instituto Floresta - Série Registros, n.35, p. 1-74, 2008.
- ANDRADE, D.F. de; SORRENTINO, M. Da gestão ambiental à educação ambiental: as dimensões subjetiva e intersubjetiva nas práticas de educação ambiental. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 88-98, 2013.
- ANDRÉN, H. Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. **Oikos**, v. 71, n. 3, p. 355-366, 1994.
- ANDRÉN, H. Habitat fragmentation, the random sample hypothesis and critical thresholds. **Oikos**, v. 84, p. 306-308, 1999.
- ARCGIS INSIGHTS. **Create and use a graduated symbol map**, 2020. Disponível em: <https://doc.arcgis.com/pt-br/insights/latest/create/proportional-symbol-maps.htm#ESRI_SECTION1_81FD57E520FB4FBC867AAF691802C54B>. Acesso em: 25, jan. 2021.
- ASNER, G.P.; SCURLOCK, J.M.O.; HICKE, J.A. Global synthesis of leaf area index observations. **Global Ecology & Biogeography**, v. 12, n. 2003, p. 191-205, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15505-2**. Turismo de aventura – Caminhada. Parte 2: Classificação de percursos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- AZEREDO, T.; ZAÚ, A.S. Ecotourism and Environmental Education: connecting different concepts. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, p. 670-684, 2017.
- BALLESTEROS, R.; J. F. ORTEGA, J.F.; HERNÁNDEZ, D.; MORENO, M.A. Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing. **Precision Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 579-592, 2014.
- BALMFORD, A.; BERESFORD, J.; GREEN, J.; NAIDOO, R.; WALPOLE, M.; ANDREA

MANICA, A. A global perspective on trends in nature-based tourism. **PLoS Biology**, v. 7, n. 6, p. 1-6, 2009.

BARGOS, D.C.; MATIAS, L.F. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 6, n. 3, p. 172-188, 2011.

BARROS, M.I.A.; DINES, M. **Mínimo impacto em áreas naturais: uma mudança de atitude**, In: SERRANO, C. (org.). A educação pelas pedras: ecoturismo e educação ambiental. São Paulo: Chronos, p.47-84, 2000.

BEAUDET, M.; MESSIER, C. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: An assessment based on hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 110, n. 3, p. 217-228, 2002.

BECKSCHÄFER, P. *et al.* Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: An assessment based on hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 3, p. 129-143, 2002.

BECKSCHÄFER, P. *et al.* Mapping leaf area index in subtropical upland ecosystems using rapideye imagery and the randomforest algorithm. **IForest**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2014.

BERGALLO, H.G. *et al.* **A fauna ameaçada de extinção do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EdUERJ, p. 23-35, 2000.

BIANCHINI, E. *et al.* Spatial and temporal variation in a Tropical Semi-deciduous Forest. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.44, p.269-276, 2001.

BRADFORD, R. B. **SOBRE ÁREAS NATURAIS PRIMITIVAS E SEUS VISITANTES – REFLEXÕES SOBRE O CONTEXTO BRASILEIRO COM ESTUDO DE CASO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2019.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos, 2008. <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

BRASIL. 2000. **Lei Federal nº. 9.985/00**. Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC. Diário Oficial da União de 19/07/00. Brasília – DF.

BRASIL. **Lei 12.651/2012**, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: DOU 28/05/2012.

BRASIL. **Manual de Sinalização de Trilhas**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/manual_de_sinalizacao_de_trilhas_ICMBio_2018.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 392, p. 2403–2417, 2003.

CÂMARA, G. **Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução**. In: ASSAD, E., SANO, E., ed. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 1993.

CAMARGO, M. *et al.* A sustentabilidade urbana analisada através do estudo de implantação de corredores verdes em dois logradouros da cidade de Cruz Alta/RS. **Revista Gedecon**, Cruz Alta, v. 1, n. 1, p. 127–135, 2013.

CAMPBELL, C.S.; NORMAN, J.M. The description and measurement of plant canopy structure. In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. Plant canopies: Their growth, form and function. **Cambridge: Cambridge University**, p.178, 1989.

CANHAM, C.D.; DENSLOW J. S.; PLATT W. J.; RUNKLE J. R.; SPIES T.A.; WHITE P. S. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 205, p. 620-631, 1990.

CANON INC. Shinomaru 3-chone, Tokyo 146-8501, Japão. 2017. Disponível em:<https://www.canon.com.br/arquivo.aspx?arquivo=/upload/produto/860/download/eos%20d%20mark%20ii_instruction_manual_pt.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020

CARAUTA, J.P.P.; OLIVEIRA, R.R.O. Plantas vasculares dos morros da Urca, Pão de Açúcar e Cara de Cão. **Rodriguésia**, v. 36, p. 13-24, 1984.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. **Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 4. 1992, Vitória, ES. Anais... v. 1. Vitória, 1992. p. 29 -38.

CESCATTI, A. Indirect estimates of canopy gap fraction based on the linear conversion of hemispherical photographs. Methodology and comparison with standard thresholding techniques. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 143, n. 1–2, p. 1–12, 2007.

CHAN, S.S. Evaluating forest vegetative cover with computerized analysis of fisheye photographs. **Forest Science**, v. 32, n. 4, p. 1085–1091, 1986.

CHEN, J.M.; BLACK, T.A.; ADAMS, R.S. Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 56, n. 1–2, p. 129–143, 1991.

CHIANUCCI, F.; CHIAVETTA, U.; CUTINI, A. The estimation of canopy attributes from digital cover photography by two different image analysis methods. **IForest**, v. 7, n. 4, p. 255–259, 2014.

COLE, D.N. BAYFIELD, N.G. Recreational trampling of vegetation: standard experimental procedures. **Biological Conservation**, v.63, p. 209 – 215, 1993.

COLE, D.N.; LANDRES, P. B. **Indirect effects of recreation on wildlife**. Wildlife and Recreationists: Coexistence Through Management and Research, p. 183-202, 1995.

CÓRCOLES, J. I. *et al.* Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. **Biosystem Engineering**. v. 115, n. 1, p. 31-42, 2013.

COSTA, M.M.S. *et al.* Proposta de trilha ecológica como atrativo ecoturístico na área de proteção ambiental da barra do Rio Mamanguape – PB. **Revista Turismo: estudos e práticas**, Mossoró, v.1, p.104-117, 2012.

COXCON, D.; NADKARNI, M. Ecological Roles of Epiphytes in Nutrient Cycles of Forest Ecosystems. **Academic Press, New York**, p. 495-593, 1995.

CRUZ, R. de C. A. da. **Introdução a Geografia do turismo**. 2ª Edição. Editora Roca. SP/SP. 2003.

DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000.

D'ARROCHELLA, M. L. G.; ARAÚJO, R. S.; MIRANDA, F. S. M.; SILVA, W. M. Análise microclimática inter e intra fragmentos florestais de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 12., 2009, Montevideu, **Anais...**, Montevideu, 2009.

DATA.RIO. **Número total de visitantes por dia na trilha do Monumento Natural, 2020**. Disponível em: <<https://www.data.rio/documents/n%C3%BAmero-total-de-visitantes-por-dia-na-trilha-do-monumento-natural-mona-p%C3%A3o-de-a%C3%A7%C3%ACar-entre-2017-2020/about>>. Acesso em: 21 dez. 2020.

DENSLOW, J.S. *et al.* Growth responses of tropical shrubs to treefall gap environments. **Ecology**, v.71, n.1, p.525-532, 1990.

DENSO WAVE. QR code.com. 2003. Disponível em: <<https://www.qrcode.com/en/>>. Acesso em: 26 mai. 2021.

DENSO WAVE. About 2d code. 2011. Disponível em: <<http://www.denso-wave.com/qrcode/aboutqr-e.html>>. Acesso em: 27 jan. 2021.

DENSO WAVE INCORPORATED. qr-code-generator.com 2021. Disponível em: <<https://br.qr-code-generator.com/>>. Acesso em: 30 jun. 2021.

DETZEL CONSULTING. **Resumo do Plano de manejo do Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca**. Rio de Janeiro: Detzel Consulting, 2012.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental – princípios e práticas**. 9ª Ed. – São Paulo, SP. Gaia, 2004.

EISENLOHR, P.V. *et al.* Trilhas e seu papel ecológico: o que temos aprendido e quais as perspectivas para a restauração de ecossistemas?. **Hoehnea**, v. 40, n. 3, p. 407–418, 2013.

ENGELBRECHT, B. M. J.; HERZ, H. M. Evaluation of different methods to estimate understorey light conditions in tropical forests. **Journal of Tropical Ecology**, v.17, p.207-224, 2001.

ENGLUND, S. R.; O'BRIEN, J. J.; CLARK, D. B. Evaluation of digital and film hemispherical

photography and spherical densiometry for measuring forest light environments. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 12, p. 1999–2005, 2000.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGis PRO**. Versão 2.7.1. Redlands: ESRI, 2020.

ESRI. **ArcGIS Desktop**: release 10.5. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2017.

EVANS, B. Y. G. C.; COOMBE, D. E. Photography and Woodland Canopy. **Journal of Ecology**, v. 47, n. 1, p. 103–113, 1959.

FAUSTO, S.F. Ecologia da exploração do habitat e comportamento por *Callithrix penicillatana* mata do horto florestal de Muriaé –MG. **Anais... IX Congresso de Ecologia do Brasil**, 2009, São Lourenço, MG.

FEMERJ. **Metodologia de Classificação de Trilhas**. FEDERAÇÃO DE ESPORTES DE MONTANHA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. V. 6, 52 p. 2015.

FIGUEIRÓ, A. S.; COELHO NETO, A. L. Impacto ambiental ao longo de trilhas em áreas de floresta tropical de encosta: Maciço da Tijuca - Rio de Janeiro – RJ. **Mercator**, Fortaleza, v. 8, n. 16, p. 187-200, 2009.

FOLHA. Pão de Açúcar substitui bondinhos que funcionavam há 37 anos, 2009. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u585207.shtml>. Acesso em: 19 nov, 2019.

FRAZER, G. W.; TROFYMOW, J. A.; LERTZMAN, K. P. A method for estimating canopy openness, effective leaf area index, and photosynthetically active photon flux density using hemispherical photography and computerized image analysis techniques. **Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC**. Information Report BC-X-373, p. 73, 1997.

FRAZER, G.; CANHAM, C.; LERTZMAN, K. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. **Program**, p. 36, 1999.

FRAZER, G. W. *et al.* A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 109, n. 4, p. 249-263, 2001.

GAGLIARDI, R. 2011. **Avifauna do Município do Rio de Janeiro**. Taxeus Listas de Espécies. Disponível em: <<http://www.taxeus.com.br/lista.jsf?c=84>>; acesso em: 19 de nov. 2020.

GALVANI, E.; LIMA, N.G.B. DE. Fotografias Hemisféricas Em Estudos Microclimáticos: Referencial Teórico-Conceitual E Aplicações. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 215-221, 2014.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia**: o clima da camada de ar junto ao solo. Trad. de Ivone Nogueira e Francisco Caldeira Cabral. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1961.

GENDRON, F.; MESSIER, C.; COMEAU, P.G. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 92, n. 1, p. 55-70, 1998.

GIUNTI NETO, C.J.; HAKAMADA, E. R.; OTTO, M.S.G.; STAPE, J.L.; SILVA, S.R. Calibração de dois métodos indiretos para estimativa do índice de área foliar em plantações de Eucalyptus. **Sci. For.** Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 919-930, 2015.

GREY, G. W.; DENEKE, F. J. **Urban forestry**. New York: Jhon Wiley, 1978.

GUARIGUATA, M.R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: Changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1-3, p. 185-206, 2001.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648 p.

GUILLAUMON, J.R.P.; SING, J.M. Análise das trilhas de interpretação. **Boletim Técnico do Instituto Florestal de São Paulo**, 1977, v. 25, 57 p.

GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies. **Geocarto International**, v. 3, n. March 2013, p. 3-17, 1989.

HARPER, K.A. *et al.* Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.

HERBERT, T.J. Area projections of fisheye photographic lenses. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 39, p. 215-223, 1987.

HERO, J.M.; RIDGWAY, T. **Declínio global de espécies**. Pp. 53-90. In: ROCHA, C.F.D.; BERGALLO, H.G.; VAN SLUYS, M. & ALVES, M.A.S. (Org.). *Biologia da conservação: essências*, RiMa Editora, São Carlos, 2006, 582 p.

HERWITZ, S. R. *et al.* Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 44, n. 1, p. 49-61, 2004.

ISERNHAGEN, I., BRANCALION, P.H.S., GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R. 2009. **Abandono da cópia de um modelo de floresta madura e foco na restauração dos processos ecológicos responsáveis pela re-construção de uma floresta (fase atual)**. In: R.R. RODRIGUES, P.H.S. BRANCALION & I. ISERNHAGEN (orgs.). *Pacto pela restauração da mata atlântica: Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*. 1 ed. LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, São Paulo, pp. 31-36.

ISHIDA, M. Automatic thresholding for digital hemispherical photography. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, n. 11, p. 2208-2216, 2004.

ISHIDA, M. A application software for automatic calculation of diffuse transmittance. **Journal of**

Forest Research, v. 34, n. 11, p. 2208-2216, 2005.

JACOBSON, R. 2010. **The manual of photography**. Elsevier. Amsterdam, 10 ed., p 566, 2010.

JARČUŠKA, B.; KUCBEL, S.; JALOVÍAR, P. Comparison of output results from two programmes for hemispherical image analysis: Gap light analyser and winscanopy. **Journal of Forest Science**, v. 56, n. 4, p. 147-153, 2010.

JONCKHEERE, I. *et al.* Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1-2, p. 19-35, 2004.

JONCKHEERE, I. *et al.* Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 132, n. 1-2, p. 96-114, 2005.

KABAKOFF, R. P.; CHAZDON, R. L. Effects of Canopy Species Dominance on Understorey Light Availability in Low-Elevation Secondary Forest Stands in Costa Rica . **Journal of Tropical Ecology** , v. 12, n . 6, 1996.

KOZAK, M. “What is strong correlation?”. **Teaching Statistics**, v. 31, p. 85-86, 2009.

KRESS, W. W. J. J. The systematic distribution of vascular epiphytes: an update. **Selbyana**, v. 9, n. 1, p. 2-22, 1986.

KÜPPERS, M. Canopy gaps: competitive light interception and economic space filling - a matter of whole-plant allocation. **Exploitation of environmental heterogeneity by plants**, n. ; 4, p. 111-144, 1994.

LAMB, D. *et al.* Rejoining habitat remnants: Restoring degraded rainforest lands. In: LAURENCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. **Tropical forest remnants**. Chicago: The University of Chicago, p. 366-385, 1997.

LANDIM, P.M.B; STURARO, J.R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Geomatemática, Texto Didático 6, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002.

LAURENCE, W.F.; YENSEN, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. **Biological Conservation**, Essex, v. 55, n. 1, p. 77-92, 1991.

LEBLANC, S.G. *et al.* Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 129, n. 3-4, p. 187-207, 2005.

LECHNER, L. Planejamento, Implantação e Manejo de Trilhas em Unidades de Conservação. **Cadernos de Conservação**. Paraná: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, n.3. jun. 2006.

LEMES, E.O.A.; RODRIGUES, M.; MOURA. Criação de três trilhas interpretativas como estratégia em um programa de interpretação ambiental do Parque Estadual do Itacolomi. **Relatório**

do Projeto: UFOP: Ouro Preto. 2004.

LEMMON, P. E. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. **Forest Science**, v.2, p. 314-320, 1956.

LEMOS, A. **Mídias locativas e territórios informacionais**. 2007. Disponível em: <https://facom.ufba.br/ciberpesquisa/andrelemos/midia_locativa.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2021.

LEUZINGER, M.D.; SANTANA, P.C.; DE SOUZA, L.R. **Monumentos naturais, refúgios da vida silvestre e áreas de relevante interesse ecológico: pesquisa e preservação** /, organizadores – Brasília: UniCEUB, 2017. 138 p.

LIMA, L.S. Lei de Lambert–Beer. **Revista de Ciência Elementar**, V1. 01, n. 47, 2013.

LIMA JR, E.C. *et al.* Aspectos fisioanatômicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v.30, n.1, p.33-41, 2006.

LIMA, E.B.M. **Pão de Açúcar: do cartão postal à educação ambiental**. 2016. Universidade Federal Fluminense. FACULDADE DE TURISMO E HOTELARIA DEPARTAMENTO DE TURISMO CURSO DE TURISMO. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Turismo). 63 p.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, v. 4, p. 18-36, 2009.

LONDE, P. R.; MENDES, P. C. A influência das áreas verdes na qualidade de vida urbana. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 10, n. 18, p. 264-272, 25 jul. 2014.

LOUREIRO, C. F. B. Educação ambiental e gestão participativa na explicitação e resolução de conflitos. **Gestão em Ação**, Salvador, v.7, n.1, jan./abr. 2004.

LOWMAN, M. D.; MOFFETT, M. The Ecology of Tropical Rain Forest Canopies. p. 6-9, 1993.

LOWMAN, M. D. Canopy research in the twenty-first century : a review of Arboreal Ecology. v. 50, n. 1, p. 125-136, 2009.

LUCENA, W. M. **História do montanhismo no Rio de Janeiro: dos primórdios aos anos 1940**. 2. ed. Rio de Janeiro: Publi, 2006, 264 p.

MACFARLANE, C. *et al.* Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 143, n. 3–4, p. 176-188, 2007.

MACFARLANE, C. Classification method of mixed pixels does not affect canopy metrics from digital images of forest overstorey. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 7, p. 833-840, 2011.

MARQUES, J. M. **O Método Da Análise De Componentes Principais Na Detecção E Identificação De Outliers**. [s.l: s.n.].

MATHERON, G. **Principles of geostatistics**. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

MELLO, F.A.P. **Ordenamento da malha de trilhas como subsídio ao zoneamento ecoturístico e manejo da visitação no Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu – RJ**. Dissertação (Dissertação Em Geografia) – UERJ. Rio de Janeiro, p.198. 2008.

MENDES, M.G.F. **Microclima e expressão do efeito de borda em uma paisagem fragmentada na Floresta Atlântica Nordestina**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MENEZES, P.C. **Sinalização de trilhas – Guia Prático**. 2014. Disponível em: <<http://sinalizetrilhas.wikiparques.org/>>. Acesso em: 20 de fev. 2019.

MENEZES, P.M.L.; FERNANDES, M.C. **Roteiro de cartografia**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

MITCHELL, P.L.; WHITMORE, T.C. Use of hemispherical photographs in Forest Ecology. Oxford. **Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford**. Occasional Papers, v.44: p.1-39, 1993.

MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DA URCA E DO PÃO DE AÇÚCAR, 2018. Disponível em: < <https://www.monapaodeacucar.com/>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA. Disponível em <https://www.wikiwand.com/pt/Monumento_Natural_dos_Morros_do_P%C3%A3o_de_A%C3%A7%C3%BAcar_e_da_Urca#/citenoteMontanhismo9>. Acesso em: 26 jan. 2021.

MONTGOMERY, R.A.; CHAZDON, R.L. Light gradient partitioning by tropical tree seedlings in the absence of canopy gaps. **Oecologia**, v. 131, n. 2, p. 165–174, 2002.

MONZ, C. **Recreation resource assessment and monitoring techniques: examples from the Rocky Mountains, USA**. Lander: NOLS:, 1999. 26p. (Reserch Program Anual Report).

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v.10, p.58-62, 1995.

MURTA, S.M.; GOODEY, B. **Interpretação do patrimônio para o turismo sustentado: um guia**. Belo Horizonte, MG: SEBRAE, 1995.

NEIMAN, Z. **Era verde? Ecossistemas Brasileiros ameaçados**. 23.ed. São Paulo: Atual; Meio Ambiente. 98p. 2012.

NEWTON, A. C. **Forest ecology and conservation: a handbook of techniques**. New York: Oxford University Press, p. 454, 2007.

NOBIS, M.; HUNZIKER, U. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 128, n. 3–4, p. 243–250, 2005.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher. 308p. 1989.

OLIVEIRA, C. **Curso de cartografia moderna**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

OLIVEIRA, R.T.; BLOOMFIELD, V.K. Trilha auto guiada: proposta de implantação e interpretação na Floresta Nacional Mário Xavier Sandra Regina da Costa. **Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 138-143, 1999.

OLIVEIRA, R. R.; SOLÓRZANO, A.; SALES, G. P. S.; OLIVEIRA, M.B.D.; SHEEL-YBERT, R. Ecologia histórica de populações da carrapeta (*Guarea guidonia* (L.) Sleumer) em florestas de encosta do Rio de Janeiro. **Pesquisas. Botânica**, v. 64, p. 323-339, 2013.

OLIVEIRA FILHO, A.T.; FONTES, M.A.L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, Washington, v. 32, p.793-810, 2000.

OLIFIERS, N.; CERQUEIRA, R. Fragmentação de habitat: efeitos históricos e ecológicos. In: ROCHA, C. F. D. (Org.). **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa Editora, 2006. 582 p.

OOSTERHOORN, M.; KAPPELLE, M. Vegetation structure and composition along an interior edge exterior gradient in a Costa Rica montane cloud forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 126, p. 291-307, 2000.

ORIGO, N. *et al.* Influence of levelling technique on the retrieval of canopy structural parameters from digital hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237-238, n. February, p. 143-149, 2017.

ORLIKOWSKI, W. J. Sociomaterial practices: exploring technology at work. **Organization Studies**. v. 28, n. 9, p. 1435-1448, 2007.

OZANNE, C. M. P. *et al.* Biodiversity Meets the Atmosphere: A Global View of Forest Canopies. **Science**, v. 301, n. July, p. 183-186, 2003.

PHILLIPS, D.L. Life-forms of granite outcrop plants. **American Midland Naturalist Journal**. v. 107, p. 206-208, 1982.

PINA, M.F.; CRUZ, C.B.M. **Conceitos Básicos de Cartografia para utilização em Sistemas de Informações Geográficas**. In: **Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde**. Brasília, Ministério da Saúde. P.124. 2000.

PONTES, J.A.L. *et al.* Amphibia, Anura, Leiuperidae, *Physalaemus soaresi* Izecksohn, 1965: New record, distribution extension and geographic distribution map. **Check List**, v. 6, n. 1, p.159-161, 2010.

POREMBSKI, S. The invasibility of tropical granite outcrops ('inselbergs') by exotic weeds. **Journal of the Royal Society of Western Australia**. v. 83, p. 131-137, 2000.

POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptative strategies and diversity patterns. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 30, p. 579-589, 2007.

POREMBSKI S.; BARTHLOTT, W. Inselbergs – biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. **Berlin: Ecological Studies, Springer-Verlag**. v. 146, 2000.

PROMIS, A. *et al.* Comparison of four different programs for the analysis of hemispherical photographs using parameters of canopy structure and solar radiation transmittance. **Waldokologie Online**, v. 11, p. 19-33, 2011.

PUESCHEL, P.; BUDDENBAUM, H.; HILL, J. An efficient approach to standardizing the processing of hemispherical images for the estimation of forest structural attributes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 160, p. 1-13, 2012.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em 10 out. 2020.

REZENDE, V.L.; CUNHA, F.L. Os Desafios Do Uso De Trilhas Em Unidades De Conservação. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 3, p. 29-41, 2014.

RICH, P.M. A Manual for Analysis of Hemispherical Canopy Photography. **Science**, n. April, p. 81, 1989.

RICH, P.M. **Characterizing Plant Canopies with Hemispherical Photographs** s. n. November 2012, p. 37-41, 1990

RINCON, E.; HUANTE, P. Growth responses of tropical deciduous tree seedlings to contrasting light conditions. **Trees: Structure and Function**, v.7, p.202-207, 1993.

ROCHA, C. H. B. *et al.* **Mapeamento e classificação de trilhas em parques florestais com uso do GPS: aplicação no Parque Estadual de Ibitipoca/MG**. Juiz de Fora: COBRAC, 2006.

RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. **Plant canopies: Their growth, form and function**. Cambridge: Cambridge University, 1989. 178p.

SANTOS. L.L., *et al.* Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta**, v.8, n.1, p.83- 93, 2010

SARAIVA, A.C.R. Impactos Aos Atributos Físicos Do Solo Em Trilhas Ocasionalos Pelo Ecoturismo Em Ubatuba-Sp. **Revista Univap**, v. 17, p. 32-40, 2011.

SCARANO, F.R. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 30, p. 561-568, 2007.

SCHWALBE, E. **Geometric modeling and calibration of fisheye lens camera systems**. ISPRS: 2005

SERPA, G. 2008. **Levantamento da avifauna do Monumento Natural dos Morros da Urca e do Pão-de-Açúcar, Rio de Janeiro, RJ, Brasil**. In: XVI Congresso Brasileiro de Ornitologia, Palmas, TO. **Resumos**, p. 360, 2008.

SERPE, B.M.; ROSSO, A.J. Uma leitura Piagetiana do papel da percepção na construção do conhecimento socioambiental em trilhas interpretativas. **Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas**, v. 3, n. 5, jan./jul., 2010.

SCHMINK, M.; GARCÍA, M.A.G. **Embaixo do dossel Gênero e florestas na Amazônia**. p.50, 2016.

SILVA, A.; ALVES, E.C. **Evolução tectônica da Serra do Mar: integração de dados das bacias marginais e do continente**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., 1991, São Paulo. Atas... São Paulo: SBG. Núcleo São Paulo, p. 465-466, 1991.

SILVA, L.C.; RAMOS, A.J.L.A. 2002. **Pão de Açúcar, RJ – Cartão postal geológico do Brasil**. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. (Edits.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), v.01: 263-268.

SILVA, M. C. DA; SILVA, J. D. G. DA; BORGES, E. F. Análises de componentes principais para elaborar índices de desempenho no setor público. **Rev. Bras. Biom**, v. 33, n. 3, p. 291-309, 2015.

SILVA, I.B.; **Utilização de fotografias hemisféricas no estudo de luminosidade em ambientes florestais**. 2017. 76 f. Trabalho de conclusão de curso (monografia) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO. Rio de Janeiro, 2017.

SILVA, A, L., *et al.* Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. **Ciênc. Florest.** Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1254-1269, 2019.

SILVEIRA, L. S.; ALVES, J. V. O Uso da Fotografia na Educação Ambiental: tecendo considerações. **Pesquisa em Educação Ambiental**, Ribeirão Preto, v. 3, n. 2, p. 125-146, 2008.

SINOQUET, H. *et al.* Characterization of the Light Environment in Canopies Using 3D Digitising and Image Processing. **Annals of Botany**, v. 82, p. 203-212, 1998.

SMAC – Secretaria Municipal do Rio de Janeiro. Plano de Manejo do MONA dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, 2011. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/exibeconteudo?id=4461307/>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SOBRAL, I.; SANTANA, R. DE O. Avaliação dos impactos ambientais no Parque Nacional Serra de Itabaiana–SE. **Caminhos de ...**, p. 102-110, 2007.

SONAGLIO, K. E. **A transdisciplinaridade no processo de planejamento e gestão do ecoturismo em Unidades de Conservação**, Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. 2006.

TANIZAKI, F.; MOULTON, T.P. **A fragmentação da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro e a perda da biodiversidade**. Pp. 23-35. In: BERGALLO, H.G.; ROCHA, C.F.D.; ALVES, M.A.S. & VAN SLUYS, M. (Org.). *A fauna ameaçada de extinção do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2000, 166 p. p. 23-35.

TAURA, H. M. & S. LAROCCA. 2004. Biologia da polinização: interações entre as abelhas (Hym., Apoidea) e as flores de *Vassobia breviflora* (Solanaceae). **Acta Biol. Par.**, Curitiba, 33(1,2,3,4): 143-162.

TWIDALE, C.R. **Bornhardts, Boulder and Inselbergs**. Cad. Lab. Xeol. Laxe, v. 20, p. 347-380, 1995.

VALERIANO, C. M.; MAGALHÃES, A. C. Geologia estrutural da área do Pão de Açúcar e adjacências, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, v. 56, n. 3, p. 295-301, 1983.

VASHCHENKO, Y. **CARACTERIZAÇÃO DA TRILHA E O IMPACTO DO MONTANHISMO NOS PICOS CAMAPUÃ E TUCUM – CAMPINA GRANDE DO SUL – PR**. Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, Curso de Pós- Graduação em Ciência do Solo, Setor. 2006.

VÁZQUEZ, Y. **Oecologia Ecological significance of light controlled seed germination in two contrasting tropical habitats**. p. 171-175, 1990.

VELOSO, H.P.; FILHO, A.L.R.R; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro, IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, p. 124, 1991.

VEJA.RIO. **Morro da Urca é a trilha mais visitada do Rio, 2021**. Disponível em: <<https://vejario.abril.com.br/cidade/morro-da-urca-trilha-mais-visitada-do-rio/>>. Acesso em: 23 jul. 2021.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J.; MARTINEZ, J.L.A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, p. 400-407, 1992.

ZAÚ, S.; FEDERAL, U. **Composição, estrutura e efeitos de bordas lineares na comunidade arbustiva-arbórea de um remanescente urbano de ...** n. October 2010, 2010.

ZAÚ, A.S.; FREITAS, G.P.; ODA, G.A. Do visitors attract or repel vertebrates in an urban park in the Brazilian Atlantic Forest?. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 8, p. 543-555, 2015.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J.R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 133, n. 1-4, p. 166-181, 2005.

ZHANG, C., KOVACS, J.M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 693-712, 2012.

WAGNER, S. Calibration of grey values of hemispherical photographs for image analysis. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 90, n. 1-2, p. 103-117, 1998.

WALSH, A. Quick response codes and libraries. **Library Hi Tech News**, v. 26, n. 5-6, p. 7-9. 2009.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for environmental scientists**. Chichester, John Wiley Sons, 315p. 2007.

WEARING, S.; NEIL, J. **Ecotourism: impacts, potentials and possibilities**. Boston: Butter Worth-Heinemann. 144p , 2000

WEISS, M. *et al.* Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1-2, p. 37-53, 2004.

WELLES, J. M. Some indirect methods of estimating canopy structure. **Remote Sensing Reviews**, n. November 2012, p. 31-43., 1990.

WILCOX, B. Insular ecology and conservation. In: SOULÉ, N. E.; WILCOX, B. A. **Conservation biology**, Sunderland, Sinauer, p. 598, 1980.

WILCOX, B. A.; MURPHY, D. D. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. **American Naturalist**, v. 125, p. 879-887, 1985.

WINKLER, M.; HULBER, K.; HIETZ, P. Effect of Canopy Position on Germination and Seedling Survival of Epiphytic Bromeliads in a Mexican Humid Montane Forest. n. 1997, p. 1039-1047, 2005.

WOODGATE, W. *et al.* Understanding the variability in ground-based methods for retrieving canopy openness, gap fraction, and leaf area index in diverse forest systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 205, n. June, p. 83-95, 2015.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo, Oficina de Textos. 215p, 2013.