

MESTRADO EM RISCOS, CIDADES E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO  
POLÍTICAS URBANAS E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

# **Um Guia de Arborização Bioclimática para a Cidade do Porto.**

Maysa Gonçalves Valença

**M**

2020



Maysa Gonçalves Valença

## **Um Guia de Arborização Bioclimática para a Cidade do Porto.**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território, orientada pelo(a) Professora Doutora Helena Madureira e pela Professora Doutora Ana Monteiro.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2020

Maysa Gonçalves Valença

## **Um Guia de Arborização Bioclimática para a Cidade do Porto.**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Riscos, Cidade e Ordenamento do Território orientada pela Professora Doutora Helena Madureira e pela Professora Doutora Ana Monteiro.

### **Membros do Júri**

Professor Doutor (escreva o nome do/a Professor/a) José Ramiro Marques de Queirós  
Gomes Pimenta

Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professora Doutora Raquel Naves Blumenschein

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília

Professora Doutora Helena Cristina Fernandes Ferreira Madureira

Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Classificação obtida: 19 Valores.



---

*“And the boy loved the tree.....very much.*

*And the tree was happy.”*

---

(Shel Silverstein, *A Árvore Generosa*, 2008).

*À minha família...*

Árvores nas calçadas. Autoria Própria.



# Sumário

Declaração de honra .....	5
Agradecimentos .....	6
Resumo.....	7
Abstract .....	8
Índice de Figuras (ou Ilustrações).....	9
Índice de Tabelas (ou Quadros) .....	13
Índice de Gráficos.....	14
Lista de abreviaturas e siglas.....	15
1.Introdução.....	16
1.1. Apresentação e Justificativa: .....	16
1.2. Objetivos:.....	21
1.3. Metodologia: .....	22
1.4. Estrutura do Trabalho:.....	24
2.Revisão de Literatura: .....	26
2.1. Processos da Revisão de Literatura:.....	26
2.2. Resultados da Revisão Bibliográfica: .....	33
2.2.1. Conforto Térmico nas Ruas:.....	33
2.2.2. Critérios Levantados para o Desenvolvimento do Guia de Arborização Bioclimática: 37	
3.Enquadramento Conceitual para o Desenvolvimento do Guia de Arborização: .....	43
3.1. Cidade do Porto:.....	43
3.2. O Clima do Porto .....	44
3.3. A Importância do Mapeamento da Exposição à Radiação Solar:.....	49
3.4. Propostas de Vias a Arborizar.....	55
3.5. Espaços Laboratório. ....	69
4.Concepção do Guia: .....	74
4.1. Aplicação do Guia: .....	88
4.2. Apresentação dos Resultados: .....	96
5.Considerações Finais:.....	102
Referências Bibliográficas .....	105
Anexos.....	109

Anexos 1.....	110
Anexo 2.....	111
Anexos 3.....	112
Anexo 4.....	117

## **Declaração de honra**

Declaro que o presente relatório de estágio é de minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referência. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Porto, Outubro de 2020.

Maysa Gonçalves Valença

## **Agradecimentos**

Neste espaço que me é concedido para demonstrar minha gratidão à todos que caminharam comigo por esta estrada, começo por agradecer à minha orientadora Professora Doutora Helena Madureira por ter me concedido não apenas a oportunidade de desenvolver este tema, mas também por seu suporte ao longo deste ano. À minha coorientadora Professora Doutora Ana Monteiro tanto por seu apoio tanto quanto pelas risadas divididas. À minha mãe, Márcia, que se manteve firme ao meu lado. Ao meu irmão, Rafael, por todo o seu carinho. Aos meus gatinhos que me forneceram um grande conforto durante a quarentena. E, por fim, mas não menos importante à todos os amigos.

## Resumo

Em 2015 mais de 50% da população mundial passou a viver nos centros urbanos (UN-HABITAT, 2016; Ruiz et al., 2017). Os processos de urbanização, muitas vezes desordenados, para abrigar as populações, cada vez maiores, nas cidades acabam por ampliar a vulnerabilidade desses lugares a exposição a eventos climáticos, como as Ilhas de Calor Urbano (Urban Heat Island – UHI).

O aparecimento da UHI tem sido relatado, nos últimos estudos, na Cidade do Porto e apresentam grandes riscos ao clima urbano. Então, este trabalho tem como objetivo principal investigar os critérios de ordem bioclimática a serem considerados em medidas de arborização de ruas, avenidas, largos e outros espaços canal do Porto, de forma a inferir a massa verde necessária em uma rua, tendo como propósito a mitigação de riscos climáticos – em especial as ilhas de calor. E, então desenvolver um Guia de Arborização Bioclimática para o Porto.

Para tal foi desenvolvido um trabalho em três etapas. No primeiro momento é desenvolvida uma revisão bibliográfica acerca dos critérios necessários para se propor uma arborização bioclimática. Em seguida a Cidade do Porto é avaliada quanto ao seu clima e as estruturas verdes urbanas para ser possível o desenvolvimento de uma proposta de vias a serem arborizadas. Pôr fim os critérios a serem utilizados no desenvolvimento do guia são escolhidos e cruzados com os dados climáticos dos Porto, para então gerar o Guia de Arborização Bioclimática do Porto e testá-lo em espaços laboratório selecionados.

Tendo em vista os desafios urbanos citados, um Guia de Arborização viária sustentável e bioclimática para a cidade do Porto pode ser visto como uma ferramenta que visa a adaptação e mitigação dos riscos climáticos ao nível local. Através deste guia será possível inferir as condições mínimas necessárias para a construção de um projeto paisagístico adequado aos riscos climáticos na Cidade do Porto.

**Palavras-chave:** arborização bioclimática; árvores nas ruas; aspect ratio; percurso solar; clima urbano;

## Abstract

By 2015, more than half of the world's population was living in urban centers (UN-HABITAT, 2016; Ruiz et al., 2017). Urbanization processes, often disordered, were developed to house the increasingly large populations in city centers. However, their disordered nature led to increased exposure and vulnerability to climatic events, such as the Urban Heat Islands (Urban Heat Island - UHI).

The appearance of UHI has been reported in recent studies conducted in the City of Porto and presents great risks to the local urban climate. The main objective of this thesis is to investigate the criteria of the bioclimatic order, measured in relation to the afforestation of streets, avenues, squares and other channel spaces of Porto, in order to infer the necessary green mass in a street, having as purpose the mitigation of climatic risks - in particular heat islands. Another purpose presented in this thesis is the development of a Bioclimatic Arborization Guide for Porto.

To this end, this paper was developed in three stages. In the first moment, a bibliographic review was developed to assess the necessary criteria to propose bioclimatic afforestation. Next, the City of Porto was assessed for its climate and urban green structures to be able to develop a proposal for ways in which streets can be redesigned as green streets. Finally, the criteria was used in the development of the guide, which were chosen and crossed with the climatic data of Porto, to then generate the Porto Bioclimatic Arborization Guide. The guide was then tested in the selected laboratory spaces.

In view of the above-mentioned urban challenges, a sustainable and bioclimatic Afforestation Guide for the city of Porto can be seen as a tool that aims to adapt and mitigate climate risks at the local level. Through this guide it will be possible to infer the minimum conditions necessary for the construction of a landscape project suitable to the climatic risks in the City of Porto.

**Key-words:** bioclimatic afforestation; street trees; aspect ratio; solar path; urban climate

## Índice de Figuras (ou Ilustrações)

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DO LIVRO A ÁRVORE GENEROSA, POR SHEL SILVERSTEIN (FONTE: A ÁRVORE GENEROSA, POR SHEL SILVERSTEIN, 2008) .....	16
FIGURA 2 - METODOLOGIA DE TRABALHO. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.....	23
FIGURA 3 - PROCESSO DA REVISÃO. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA. ....	27
FIGURA 4 - GRUPOS DE PALAVRAS-CHAVE. ....	28
FIGURA 5 - PROCESSO DE COMBINAÇÕES DOS GRUPOS DE PALAVRAS-CHAVE.....	28
FIGURA 6 - ILUSTRAÇÃO DO PROCESSO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO, PELO QUAL AS ÁRVORES AUMENTAM A UMIDADE DO SEU ENTORNO E ARREFECEM AS TEMPERATURAS. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.....	36
FIGURA 7 - IMAGEM HISTÓRICA DO PORTO NA ÉPOCA DA MULHARA GÓTICA. FONTE: <a href="https://www.cm-porto.pt/">HTTPS://WWW.CM-PORTO.PT/</a> .....	43
FIGURA 8 -- CORREDORES DE VENTILAÇÃO NA ÉPOCA FRIA DO ANO (SETEMBRO A FEVEREIRO). FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO. (2018).....	45
FIGURA 9 - CORREDORES DE VENTILAÇÃO NA ÉPOCA MAIS QUENTE DO ANO (MARÇO A AGOSTO). FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO. (2018).....	46
FIGURA 10 - PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE FRIO EXTREMO NO INVERNO. FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO. (2018). ....	47
FIGURA 11 - PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE CALOR EXTREMO NO VERÃO. FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO (2018). ....	48
FIGURA 12 - TREJETÓRIA DA TERRA AO REDOR DO SOL. FONTE: USO DAS CARTAS SOLARES: DIRETRIZES PARA ARQUITETOS. AUTOR: LEONARDO BITTENCOURT. (P. 26, 2004). ....	49
FIGURA 13 - CARTA SOLAR DO PORTO. FONTE: 2D SUNPATH, FERRAMENTA ONLINE. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/RELEASES/SUNPATH2D.HTML</a> .....	50
FIGURA 14 - RUA GENÉRICA NO PORTO. VISTA FRONTAL. FONTE: 3D SUNPATH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	51
FIGURA 15 - RUA GENÉRICA NO PORTO. VISTA LATERAL. FONTE: 3D SUNPATH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	51
FIGURA 16 - RUA GENÉRICA NO PORTO. VISTA SUPERIOR. FONTE: 3D SUNPATH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	52
FIGURA 17 – DIFENTES ÂNGULOS DO SOL NO PORTO. ....	53
FIGURA 18 - ESQUEMA DE ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DAS RUA. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA. ....	53

FIGURA 19 - ESPAÇOS VERDES URBANOS E ESPAÇOS NATURAIS DA CIDADE DO PORTO. FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO. (2018). .....	56
FIGURA 20 - ESPEÇOS VERDES URBANOS. FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO (2018). .....	60
FIGURA 21: HABITATES URBANOS DO PORTO EM MAPA. FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO. (2018). .....	62
FIGURA 22 - MAPA DE HABITATES DO PORTO DA CMP (2018) EDITADO PARA DEMONSTRAR OS HABITATES DE INTERESSE AO TRABALHO. ....	64
FIGURA 23 - MAPA DE ESPAÇOS VERDES URBANOS DA CMP (2018) EDITADO PARA DEMONSTRAR OS ESPAÇOS VERDES URBANOS DE INTERESSE AO TRABALHO. ....	64
FIGURA 24 - ESPAÇOS VERDES URBANOS E HABITATES DE INTERESSE AO TRABALHO.....	65
FIGURA 25 - CONJUNÇÃO DO ESPAÇOS VERDES URBANOS E HABITATES DE INTERESSE COM A HIERARQUIA VIÁRIA DA CIDADE. ....	67
FIGURA 26 - MAPA DE VIAS PROPOSTA PARA ARBORIZAR. ....	68
FIGURA 27 - VIAS ESCOLHIDAS COMO ESPAÇO LABORATÓRIO E CONTEXTO URBANO ONDE ESTÃO INSERIDAS. .	70
FIGURA 28 - RUA DE SÃO BRÁS. FONTE: GOOGLE EARTH PRO. ....	71
FIGURA 29 - VIAS ESCOLHIDAS PARA ANÁLISE .....	71
FIGURA 30 - RUA DA CONSTITUIÇÃO. FONTE: GOOGLE EARTH PRO. ....	72
FIGURA 31 - CRUZAMENTO ENTRE A RUA DE SÃO BRÁS COM A RUA DA CONSTITUIÇÃO. FONTE: GOOGLE EARTH PRO.....	72
FIGURA 32 - EXEMPLO DE SELEÇÃO DA ÁREA DE ANÁLISE DE UMA RUA. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.....	73
FIGURA 33 - FLUXOGRAMA DE PROCESSO DO GUIA, PARTE 1. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA. ....	76
FIGURA 34 – REPRESENTAÇÃO DE SIMPLIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DE RUAS ASSIMÉTRICAS. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.....	77
FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO DA SIMPLIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DA RUA PARA O CÁLCULO DO ASPECT RATIO. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.....	77
FIGURA 36 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DO GUIA, PARTE 2. ....	80
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO DAS MEDIDAS DA RUA. ....	85
FIGURA 38 - RELAÇÃO DE RUSS (2009) ILUSTRADA. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA. ....	86
FIGURA 39 - FLUXOGRAMA DO GUIA COMPLETO. ....	87
FIGURA 40 - PROPOSTA DE ARBORIZAÇÃO .....	98
FIGURA 41 - RUA DE SÃO BRÁS, CORTE DEMONSTRANDO PROPOSTA DO GUIA.....	99
FIGURA 42 - RUA DA CONSTITUIÇÃO, CORTE DEMONSTRANDO A PROPOSTA DO GUIA. ....	99

FIGURA 43 - PROPOSTA DE REDESENHO DA RUA DA CONSTITUIÇÃO.....	100
FIGURA 44 - CORTE DA PROPOSTA DE REDESENHO DA RUA DA CONSTITUIÇÃO. ....	101
FIGURA 45 – CARTAS SOLARES. DESENVOLVIDO PELO AUTOR COM AJUDA DA FERRAMENTA 2D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/RELEASES/SUNPATH2D.HTML</a> .....	109
FIGURA 46 - CARTAS SOLARES. DESENVOLVIDO PELO AUTOR COM AJUDA DA FERRAMENTA 2D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/RELEASES/SUNPATH2D.HTML</a> .....	110
FIGURA 47 - SIMPLIFICAÇÕES DOS POSSÍVEIS ASPECT RATIOS (H/W) NA CIDADE DO PORTO.....	111
FIGURA 48 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	112
FIGURA 49 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	112
FIGURA 50 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	113
FIGURA 51 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	113
FIGURA 52 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	114
FIGURA 53 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	114
FIGURA 54 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	115
FIGURA 55 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	115
FIGURA 56 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	116
FIGURA 57 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	116
FIGURA 58 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	117
FIGURA 59 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	117
FIGURA 60 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	118

FIGURA 61 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	119
FIGURA 62 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	119
FIGURA 63 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	120
FIGURA 64 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	120
FIGURA 65 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	120
FIGURA 66 - ESTUDO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS COM AUXILIO DA FERRAMENTA 3D SUN PATH, POR ANDREW MARSH. LINK: <a href="http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html">HTTP://ANDREWMARSH.COM/APPS/STAGING/SUNPATH3D.HTML</a> .....	120

## Índice de Tabelas (ou Quadros)

TABELA 1 - SEPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS EM GRUPOS POR FAMILIARIDADE. ....	30
TABELA 2 - CONTABILIZAÇÃO DAS HORAS DE SOL POR FACHADA NAS RUAS DO PORTO. ....	54
TABELA 3 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES INFERIDAS NO ESTUDOS DAS CARTAS SOLARES DO PORTO. ....	54
TABELA 4 - SUBDIVISÃO DAS ÁREAS VERDES URBANAS DO PORTO. FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO. (2018). ....	59
TABELA 5 - CATEGORIAS DOS HABITATES URBANOS DO PORTO. FONTE: CMP - REVISÃO DO PDM: CLIMA E AMBIENTE URBANO. (2018). ....	62
TABELA 6 - ASPECT RATIOS MAIS COMUNS NO PORTO. VER ANEXOS. ....	76
TABELA 7 - ESTUDO DO ASPECT RATIO EM CONJUÇÃO COM SEU SIGNIFICADO. ....	78
TABELA 8 - ÂNGULOS ZÊNITE DO PORTO. ....	79
TABELA 9 - PROJEÇÃO DAS SOMBRAS NO PORTO PELA ALTURA DOS EDIFÍCIOS. ....	79
TABELA 10 - CONTABILIZAÇÃO DAS HORAS DE SOL NAS FACHADAS DO PORTO NAS DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO. ESTUDO FEITO COM AS MÁSCARAS SOLARES DESENVOLVIDAS ANTERIORMENTE NO TRABALHO. ....	81
TABELA 11 - RESUMO DAS CONSIDERAÇÕES DOS ESTUDOS DAS FACHADAS. ....	82
TABELA 12 - HORAS DE SOL EM PORCENTAGENS. ....	82
TABELA 13 - INDICAÇÕES DE ÁREA A ARBORIZAR E TIPO DE ÁRVORE. ....	84
TABELA 14 - INDICAÇÃO DE COMPOSIÇÃO DA ARBORIZAÇÃO. ....	85

## Índice de Gráficos

GRÁFICO 1 - CRITÉRIOS INDEX ENCONTRADOS. ....	31
GRÁFICO 2 - CRITÉRIOS FÍSICOS ENCONTRADOS .....	31
GRÁFICO 3 - SOFTWARE ENCONTRADOS. ....	32
GRÁFICO 4 - DIVISÃO DOS TRABALHOS POR PAÍS .....	33

## Lista de abreviaturas e siglas

FLUP .....	FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
U.P .....	UNIVERSIDADE DO PORTO
UGI .....	URBAN GREEN INFRASTRUCTURE
ES .....	ECOSYSTEM SERVICES
RS .....	REVISÃO SISTEMÁTICA
AR .....	ASPECT RATIO
UHI .....	URBAN HEAT ISLAND

# 1. Introdução

## 1.1. Apresentação e Justificativa:

A *Árvore Generosa*, de Shel Silverstein (2008) é um livro para crianças que conta a história do convívio entre uma árvore e um menino. Em resumo, o menino quando criança dizia amar a árvore, estava sempre ao pé dela a brincar. Conforme os anos foram passando, o menino cada vez menos apreciava a árvore, mas esta manteve os mesmos “sentimentos” pelo menino. Sempre que o menino, já adulto, precisava de algo, a árvore lhe deu. Primeiro foram os frutos para que ele pudesse vender e se manter, depois os galhos para construir uma casa, então foi o tronco para que o menino construísse um barco e fosse ver o mundo. Até que, já idoso, o menino encontra a árvore, que agora era apenas um toco e esta lhe oferece um lugar para sentar-se e descansar (Silverstein, 2008).

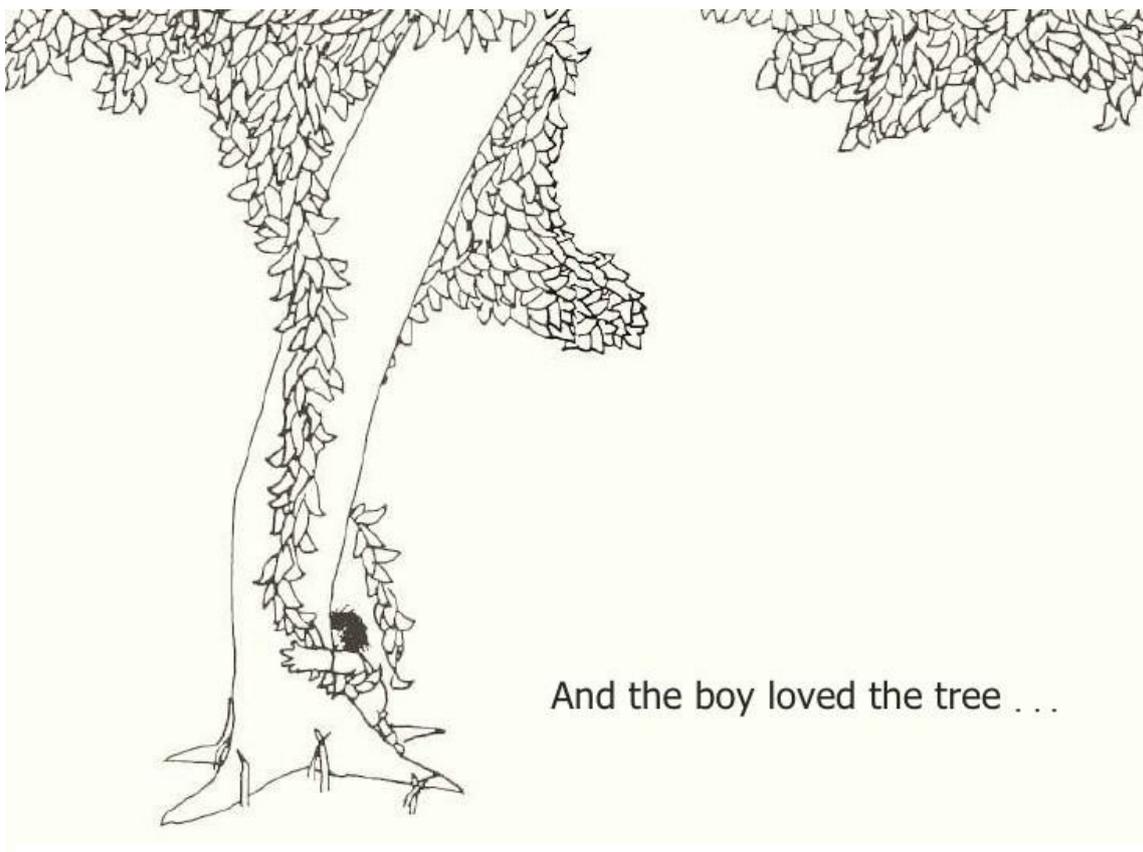


Figura 1 - Ilustração do Livro *a Árvore Generosa*, por Shel Silverstein (Fonte: *A Árvore Generosa*, por Shel Silverstein, 2008)

Esta pequena história conta muito sobre os serviços das árvores à natureza e, também, às cidades. É um serviço generoso. Pois, se trata de algo que apenas pela sua existência já traz grandes benefícios.

Um exemplo destes benefícios é o de que as árvores podem influenciar significativamente, em ambiente urbano, nas temperaturas do ar através de sua evapotranspiração e de seu sombreamento (Akbari, 2002; Hwang, Wiseman e Thomas, 2015). Esta influência é tanto para o conforto climático outdoor quanto indoor. Deve-se salientar, que isto tem, também, como consequência a diminuição nos gastos energéticos dos edifícios, sobretudo com o resfriamento destes no verão (Rantzoudi, Georgi; 2017). Por outro lado, um dos maiores problemas dos centros urbanos na atualidade é a poluição atmosférica (Nowak, Crane e Stevens, 2006). A arborização é uma boa ferramenta para se mitigar este problema. No estudo *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States* (Nowak, Crane e Stevens, 2006) foi exposto pelos autores que as árvores oferecem a capacidade de remover quantidades significativas de poluentes do ar, tanto por absorção das partículas poluidoras, quanto por interceptação destas nas suas superfícies folhosas, o que acaba por melhorar a qualidade ambiental e a saúde humana. Além disto, estudos sobre o comportamento do Ozônio (O<sub>3</sub>) demonstraram que a presença das árvores tem um efeito significativo sobre a redução das concentrações do elemento (Cardelino e Chameides, 1990; Taha, 1996; Nowak et al., 2000; Nowak, Crane e Stevens, 2006).

Falar em uma população mais saudável através do contato com a natureza não se trata apenas das doenças cardiorrespiratórias. Devem ser consideradas, também, as questões relacionadas a saúde mental. Na época atual estes distúrbios representam cerca de 10% dos problemas de saúde relatados globalmente (Maller, et al., 2005). Nesse sentido, é também encontrado nos Serviços da Natureza (NS) uma possível melhora, pois foi demonstrado que ao se ter contato visual com árvores, plantas e animais, as pessoas apresentaram uma diminuição no estresse e uma melhora no seu bem-estar de forma geral (Kaplan, 1992; Lewis, 1996; Leather et al., 1998; Maller et al 2005). Portanto, pode-se esperar ganhos superiores na saúde mental, quando se têm o contato físico com a natureza.

A arborização apresenta além destes aspectos citados, um valor estético de grande preciosidade. Quando são propostas iniciativas de revitalização de áreas urbanas degradadas é sempre prevista uma componente paisagística para promover a agradabilidade e beleza local. Isto porque as pessoas normalmente preferem áreas urbanas com vegetação à não vegetadas (Smardon, 1988; Ulrich, 1986; Klemm et.al., 2015). É uma preferência normalmente baseada em valores visuais, como as diferentes cores em diversas tonalidades, os contrastes de luz e sombra, ou até mesmo a forma como as distintas camadas de plantas geram profundidade no espaço (Kaplan, Kaplan e Ryan, 1998; Klemm et.al., 2015).

Klemm et. al. (2015) argumenta que a presença de um componente natural, como as árvores por exemplo, e a apreciação estética do meio ambiente podem ser modificadas através do planejamento e projeto por meio do fornecimento de infraestrutura verde. Arborizar é uma necessidade comum entre muitas Cidades, que depende da dedicação dos envolvidos na elaboração e aplicação de políticas públicas, assim como da própria população.

Então, este trabalho é o resultado de um ano de Estágio Acadêmico efetuado no Instituto Geofísico da Universidade do Porto (IGUP) no âmbito do Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território, FLUP.

No âmbito desse projeto propõem-se uma reflexão acerca dos benefícios ecológicos, sociais e ambientais de uma arborização robusta nas ruas da Cidade. Compreende-se que o ato de plantar árvores não pode ser algo leviano, quando se tem em mente tirar o máximo aproveitamento da estrutura verde que virá a existir. Para isto é necessário que o planeamento seja adequado e considere diferentes aspectos climáticos urbanos.

O esforço para o desenvolvimento do Guia de Arborização Bioclimática para a Cidade do Porto se justifica na necessidade de cidades mais sustentáveis e resilientes. É visto que o modo como os espaços têm sido urbanizados não é ideal e compatível com um modo de vida equilibrado.

De acordo com a Horizon 2020: Environment & Climate Action (União Europeia UE, [s.d.]) o território Europeu é densamente populado contando com 80% dos seus residentes nos centros urbanos. Nesse contexto problemas gerados pela urbanização não planeada, como o *urban sprawl*, a intensa impermeabilização do solo ou o fenómeno das “ilhas de calor” impõe riscos à população destas cidades. Compreende-se, também, que o meio urbano oferece melhores oportunidades às pessoas e de certa forma pode ajudar na transição para uma vida mais sustentável. Para isto, depende-se das compensações entre desafios e oportunidades ambientais, bem como dos estilos de vida urbanos e padrões de consumo, aliados à capacidade das instituições e estruturas de governança para enfrentar adequadamente esses desafios (Seto, Sánchez-Rodríguez e Fragkias, 2010).

Recentemente, no contexto dos Riscos Climáticos a questão das mudanças climáticas tem sido alvo de amplo debate. Se por um lado já existe a possibilidade do risco nas condições climáticas normais, por outro, em uma situação de futuro climático incerto é assustador o quão vulnerável as populações podem se tornar. Tais mudanças ameaçam a produção de alimentos, ocasionam o aumento do nível do mar o que eleva o risco de inundações das cidades costeiras. Além disso, os impactos das mudanças climáticas são de âmbito global e sem precedentes - na história humana - em escala (United Nations (UN), [s.d.]).

Dado estes motivos, as Nações Unidas têm pressionado os Governos e os agentes de Governança pelo mundo para que tomem atitudes mais sustentáveis, a fim de minimizar os efeitos das mudanças climáticas. Dentre as medidas estão: O Protocolo de Kyoto que legalmente vincula os países desenvolvidos às metas de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, o qual teve início em 2008 e está em fase de discussão pública. Outra medida é o Acordo de Paris, assinado em 2015. que trouxe ao debate países que estão em desenvolvimento, tornando a ação contra o aquecimento global um esforço comum a todos. Além disso, outro fator que distinguiu o acordo de Paris das demais iniciativas foi o fato de que ele é tido como um instrumento legal (United Nations (UN), [s.d.]).

Nota-se que a União Europeia tem tido voz ativa nas causas climáticas e pressiona os países que compõem o bloco a se desenvolverem de forma mais

sustentáveis. O Programa Horizonte 2020 da EU é um exemplo de tais ações, que visam identificar possibilidades e promover um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo dentro dos Estados-Membros, por meio de uma economia mais eficiente e competitiva, que seja capaz de promover a empregabilidade e a coesão social (União Europeia UE, [s.d.]). As ações na UE no sentido da adaptação são guiadas para a promoção de uma economia circular verde e por meio disso as cidades se tornariam mais sustentáveis. É uma forma de planeamento TOP-DOWN onde as instâncias mais altas definem como as decisões devem ser empregadas pelas mais baixas. Por este motivo que se cabe à crítica de que as diretrizes recomendadas pelo programa são adequadas à alguns países, mas não a todos. Portugal, por exemplo tem áreas onde o risco não são apenas as ondas de calor, mas também as frio (Monteiro, 2020). Contudo isso não é considerado. Deveria haver dentro do H2020 meios de se desenvolver políticas que fossem place-based.

De acordo com Lourenço e Vieira (2020) os riscos naturais podem ser definidos como: a probabilidade de ocorrência de fenómenos (catastróficos) com origem nos elementos da natureza, passíveis de provocar danos ao Ser Humano e em infraestruturas antrópicas. Consideram-se os riscos climáticos como sendo as tempestades, tornados, secas ou outros eventos de origem do clima que sejam fora do normal e devastadores. Contudo, é notado que tais eventos meteorológicos e climáticos excepcionais sempre afetaram a humanidade (Monteiro e Madureira, 2020).

É necessário antes de tudo qualificar o que define um evento como “normal” ou “excepcional”. O que é “normal” é aquilo esperado dentro dos valores médios climáticos – precipitação; humidade relativa; temperatura; etc. – que foram calculados por um longo período de forma uniforme. Assim é possível identificar um padrão comum (World Meteorological Organization, 2020). Logo, o que estaria fora deste padrão, com as devidas correções estatísticas, seria uma anomalia e então um possível evento excepcional. Desta forma, caberia então à humanidade algum grau de capacidade e flexibilidade para se adaptar e resistir a esses eventos.

Dentro destes riscos estão as Ilhas de Calor Urbanas (UHI) – fenómeno onde as áreas urbanizadas têm temperaturas superiores aos seus arredores naturais – um

problema cada vez mais comum em centros urbanos (Hwang, Wiseman e Thomas, 2015). Além disto, as UHI aumentam a possibilidade de se haver eventos de temperaturas extremas, como as Heat Waves (HW). Dado isto é compreensível que conforme haja um aumento das zonas urbanas se registrem a cada ano temperaturas mais altas. Esses fatores justificam o fato do ano de 2019 ter sido o segundo mais quente em registro existente (World Meteorological Organization, 2020).

De acordo com o relatório de diagnóstico Clima e Ambiente Urbano para revisão em andamento do Plano Diretor Municipal (2018) já é comprovado a existência e os possíveis efeitos das UHI no Porto. Deve-se apontar que estes eventos de temperatura podem oferecer grandes problemas à saúde das pessoas. Tanto as ondas de calor quanto as de frio já tiveram seus efeitos no sistema respiratório e circulatório humano comprovados (Gasparrini *et al.*, 2015; Monteiro e Madureira, 2020). Portanto, o plantio de árvores não deve ser visto como um método de prevenção de risco, já se passou desta fase. Neste momento vive-se uma questão de mitigação e adaptação a futuros eventos.

Tendo em vista os desafios urbanos citados, um Guia de Arborização sustentável e bioclimática para a cidade do Porto pode ser visto como uma ferramenta que visa a adaptação e mitigação dos riscos climáticos ao nível local. Através deste guia será possível inferir as condições mínimas necessárias para a construção de um projeto paisagístico adequado aos riscos climáticos na Cidade do Porto.

## **1.2. Objetivos:**

O “Guia de Arborização Viária Bioclimática para a Cidade do Porto” é o resultado de um Estágio Acadêmico dentro do Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território, FLUP. Foi um estágio no âmbito do projeto EXHAUSTION (H2020) de que a Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP) é uma das entidades parceiras e teve como local de acolhimento as instalações do Instituto Geofísico da Universidade do Porto (IGUP) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, local de trabalho do grupo de investigação em climatologia aplicada do departamento de geografia da FLUP.

Esta dissertação tem como objetivo principal investigar os critérios de ordem bioclimática a serem considerados em medidas de arborização de ruas, avenidas, largos e outros espaços canal do Porto, de forma a inferir a massa verde necessária em uma rua, tendo como propósito a mitigação de riscos climáticos – em especial as ilhas de calor. Por consequência o questionamento de partida a ser respondido por esta investigação é: **Quais os critérios para propor uma arborização viária na Cidade do Porto, tendo em vista a potencialização dos benefícios bioclimáticos?**

Assim sendo, os seguintes objetivos foram traçados:

- Investigar como a Arborização modifica a situação bioclimáticas de uma cidade e a qual escala;
- Levantar os critérios usados por outros pesquisadores para avaliar os efeitos da vegetação no clima;
- Perceber qual a situação atual de Arborização da Cidade do Porto;
- Desenhar uma ferramenta de análise espacial – o guia de arborização - partindo dos critérios levantados;

Percebe-se a partir dos objetivos que existem dois objetos de estudo para esta dissertação, cujo primeiro é a Cidade do Porto e suas condicionantes climáticas, históricas e morfológicas. Dessa forma, a análise da cidade é importante para que o resultado deste trabalho – o guia de arborização - seja ajustado às reais necessidades locais. O segundo é o estado da arte da questão da arborização urbana e os seus impactos no clima. Este último é necessário para o levantamento dos critérios e concepção do guia.

### **1.3. Metodologia:**

O trabalho se desenvolve em etapas por se tratar de um estudo com dois objetos quais são: os critérios para desenvolvimento do guia e, o segundo, é o Porto, local onde será aplicada esse guia. Isto influencia tanto na metodologia quanto em sua estrutura. Logo, métodos de pesquisa diferentes foram usados para cada um desses tópicos (ver figura 2).

Primeiramente foram utilizados os métodos de pesquisa de uma revisão sistemática sobre a arborização viária. Esta pesquisa teve como objetivo compreender os efeitos específicos das árvores na rua no clima local e identificar trabalhos com objetivos semelhantes. A revisão sistemática consiste em uma busca metodológica e exaustiva a cerca de um tema, normalmente vinculado a áreas da saúde e medicina. Os softwares EndNote®, Mendeley® para Desktop e Microsoft Excel® foram utilizados para o tratamento dos trabalhos encontrados até que fossem definidos os que seriam lidos e utilizados no presente relatório.

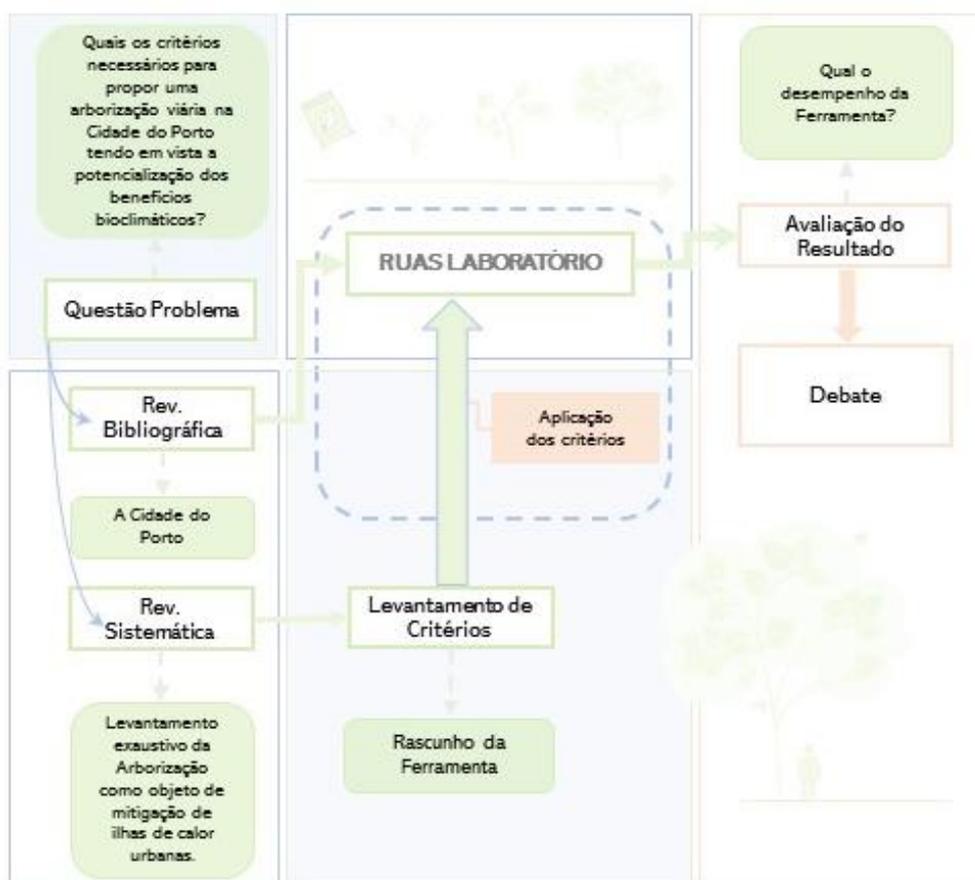


Figura 2 - Metodologia de Trabalho. Fonte: Autoria própria.

No segundo momento foi feita uma revisão bibliográfica acerca da cidade do Porto. Foram levantados documentos oficiais como o Plano Diretor Municipal e trabalhos publicados relativamente às condicionantes climáticas da cidade, sobre a estrutura verde urbana e, também, a respeito dos riscos climáticos. Em seguida, foram analisadas as vias que são indicadas à arborização em contrapartida ao que se sabe do

clima da cidade e da estrutura verde existente. Usa-se principalmente o PDM e seus documentos de revisão como base de dados e as ferramentas 2DSunPath e 3DSunpath (Marsh, 2014, 2015) e os programas de computador ESRI ARCMAP®, Autodesk Autocad®, Autodesk Revit® e Photoshop CS06® para desenvolvimento das análises e diagnósticos locais.

Por fim, utilizam-se dos critérios levantados na primeira parte do trabalho, assim como também das informações coletadas à cerca do clima e da estrutura verde no Porto para desenvolver um guia particular a cidade. Então, esse guia é testado com a ajuda do GoogleEarth PRO® para realizar as medições necessárias e seus resultados são apresentados em forma de projeto.

#### **1.4. Estrutura do Trabalho:**

Este trabalho se estrutura em quatro partes, duas de pesquisa, levantamento de dados e análise e uma parte referente a concepção do guia e o final que diz respeito ao debate. Portanto após o primeiro capítulo introdutório, o segundo capítulo trata da revisão bibliográfica de trabalhos semelhantes. Isto é feito para trazer à luz os critérios necessários para responder ao questionamento inicial e possibilitar o rascunho do guia. Esse estudo se apresenta na parte inicial ao trabalho para “preparar o olhar” quando for momento de analisar a cidade.

O terceiro capítulo faz referência ao enquadramento do Porto. É uma apresentação da Cidade, particularmente das suas características climáticas e das características das suas áreas verdes. Ao fim deste são assinaladas as ruas onde a arborização é recomendada e apontados os critérios para escolha da via a ser usada de exemplo.

A quarta parte expõe a concepção do Guia e suas diretrizes de análise. É nesse momento que há o cruzamento de todos os conceitos e informações levantados durante os dois primeiros capítulos. Após isto é feito um teste do produto usando duas ruas do Porto com orientação geográficas diferentes como espaços laboratório e seus

resultados são expostos em forma de projeto e imagem para facilitar a leitura a estrutura verde proposta.

Por fim, o último capítulo trata-se da Conclusão e interpretação do que foi desenvolvido e conclusões acerca do que poderá ser continuado.

## **2. Revisão de Literatura:**

### **2.1. Processos da Revisão de Literatura:**

Procedimentos utilizados na revisão de literatura Relativamente ao tema da Ferramenta de Análise Climática para Arborização de Ruas foram feitos aos modos de uma revisão sistemática(RS) (Ver figura 3). Fez-se uso de um arranjo de termos chave intercalados por AND ou OR para gerar uma combinação de amplo espectro na plataforma de pesquisa. Esta ação relaciona as buscas por bibliografia à uma análise de conjuntos matemática. Pela forma como os termos são colocados acaba-se por levantar referências que possivelmente não teriam sido encontradas em uma pesquisa tradicional, além disto a RS traz também aqueles trabalhos que são mais precisos ao assunto buscado. Outro ponto é que, este tipo de pesquisa é replicável, uma vez que se tenha acesso aos termos chave e que costuma ser usada por pesquisadores que procuram por trabalhos com evidências.

As plataformas Web of Science e Scopus foram escolhidas para o desenvolvimento deste estudo. Apesar de haver uma grande sobreposição nos trabalhos publicados, existem diferenças que justificaram a busca em ambas. Primeiramente, os mecanismos de busca são diferentes, o da WOS é mais aprimorado e possibilita o uso de aspas e parênteses para diferenciar os grupos de termos sendo, então, mais eficiente nas combinações das palavras. Contudo, a Scopus possui mais jornais e publicações, aumentando o alcance da pesquisa.

A revisão se deu seguimento à um processo de procura e análise (fluxograma 2). O primeiro passo para investigação foi uma reflexão acerca do questionamento inicial: Quais os critérios para propor uma arborização viária na Cidade do Porto tendo em vista a potencialização dos benefícios bioclimáticos? A partir disto foram definidos três blocos temáticos associados aquela pergunta, que são: Clima, Estrutura Verde e Adaptação. Com a finalidade de auxiliar na definição das palavra-chave (figura 4) foi feita uma leitura inicial de trabalhos conhecidos sobre estes três grupos, além de estudos de caso de trabalhos semelhantes a este.

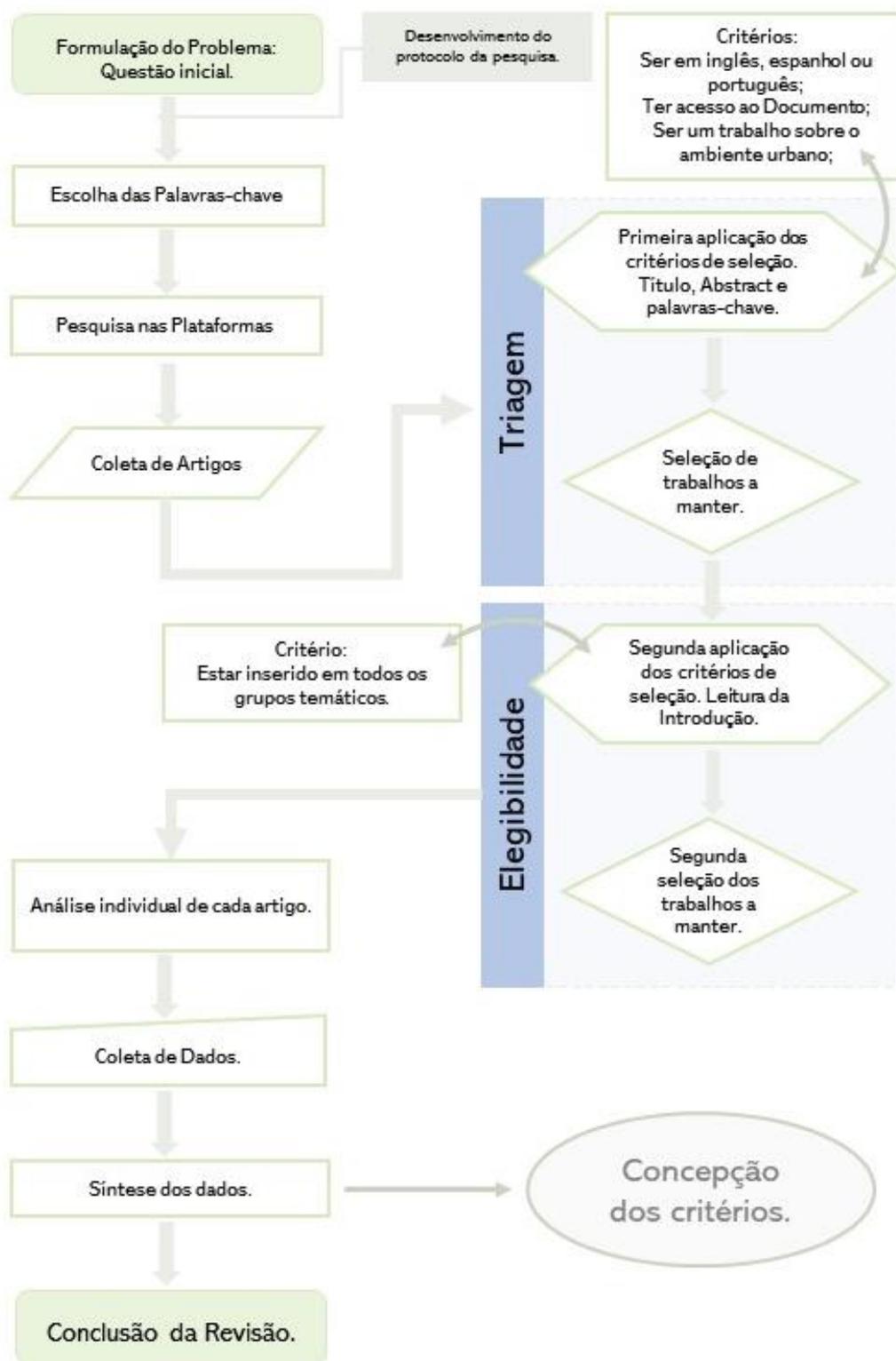


Figura 3 - Processo da Revisão. Fonte: Autoria própria.

As palavras inseridas no mesmo grupo são correlacionadas por “OR” que atribui na plataforma ao menos a existência um dos termos agrupados nos resultados da pesquisa. Já os grupos que são relacionados entre si pelo termo “AND” exige a presença dos três blocos temáticos em cada um dos trabalhos. A figura 5 ilustra como esse processo ocorre.



Figura 4 - Grupos de Palavras-Chave.

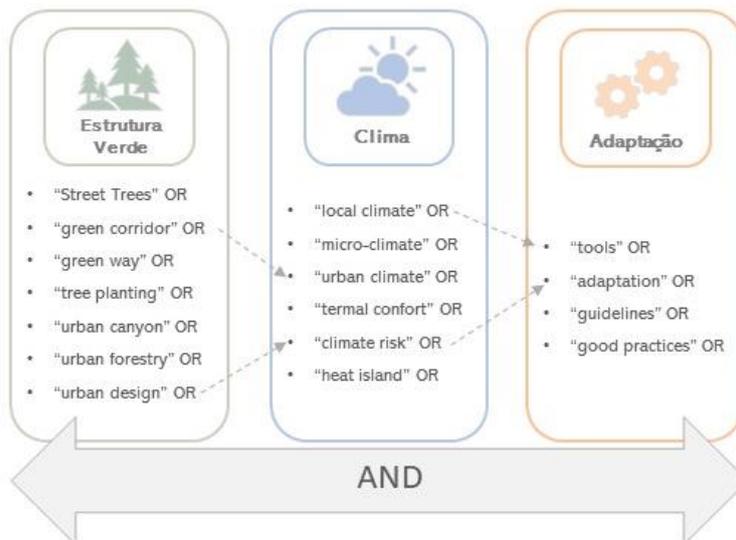


Figura 5 - Processo de Combinações dos Grupos de Palavras-Chave

Diante da definição dos temas, foram iniciadas as buscas e a coleta de trabalhos. Foram 117 artigos apanhados na WOS e 177 na Scopus. No total são 294, que ao se retirar os repetidos, restaram 235. Prosseguiu-se, então, para a primeira análise, um processo chamado de triagem, onde foram aplicados os primeiros critérios de exclusão: o idioma em que foram publicados; a possibilidade de acesso ao documento completo; e que o trabalho versasse sobre o ambiente urbano. Do grupo inicial de trabalhos restaram 54 para avaliar a elegibilidade. O segundo processo de análise trata-se da definição da elegibilidade ou não dos artigos. Para isto foi feita a leitura do abstract e da introdução. Ao fim do processo restaram 20 artigos para leitura completa.

Durante as leituras percebeu-se que um dos trabalhos, apesar de estar de acordo com todos os termos selecionados para determinar sua elegibilidade, acabou não sendo relevante para este momento. Portanto, foi retirado e foi dado seguimento ao método.

Após a leitura completa há a análise e extração de dados. Esses dados são as formas como foram avaliados os espaços urbanos e as árvores e os critérios utilizados em cada trabalho. Eles foram arranjados nos seguintes Blocos:

- critérios físicos: Aqueles retirados de medições no local de estudo ou que são determinados por análise cartográfica. Ex.: Uso do Solo, Temperatura do Ar...
- critérios indicativos (INDEX): são índices numéricos que fazem uso de cálculos e métodos próprios para se determinar e são comparados entre si para criar uma relação. Os que foram encontrados são referentes à climatologia. Ex. Physiologically Equivalent Temperature (PET), Apparent Temperature Index (AT)...
- critério de software: Indica quais foram os programas de computador mais utilizados como parte do método de pesquisa e serviram como ferramenta de estudo ou tomada de decisão. Também indica quais foram os autores que não fizeram uso deles. Ex. mapeamento por satélite, EnviMet, Rayman...

A partir do trabalho de seleção dos critérios foi criada uma tabela (1) onde os itens foram sendo inseridos conforme sua aparição nas leituras, de forma que não há hierarquia na apresentação deles. Foram encontrados 13 itens para a lista dos Critérios Físicos, seis para Index e 7 para software – sendo um desses referente ao não uso de nenhum software.

Critérios		
Físicos	Index	Software
Temperatura do Ar Aspect Ratio (AR) Orientação Geográfica Padrão Solar Características das Árvores Padrão Solar Ventilação Altura dos Edifícios Uso do Solo Exist. De UGI/Vegetação Umidade Relativa (RH) Radiação Solar Sky-view Facto	Physiologically Equivalent Temperature (PET) Parâmetro CTTC (Cluster Thermal Time Constant) Apparent Temperature Index (AT) Thom Discomfort Index (DI) Fator COMFA Humidex (H)	Imagem por Satélite GIS RayMan EnviMet I-tree Pixel de CIELO Nenhum

**Tabela 1 - Separação dos Critérios em Grupos por Familiaridade.**

Após análise, compreendeu-se que muitos dos trabalhos levantados são relativos à comprovação das capacidades das árvores como ferramentas para a melhora da qualidade do ar. Desta forma, tais artigos foram eficazes no sentido de demonstrar quais critérios podem ser utilizados para estudo das condições climáticas locais, como por exemplo o item *Aspect Ratio* que determina a “abertura” do canyon urbano para a radiação solar.

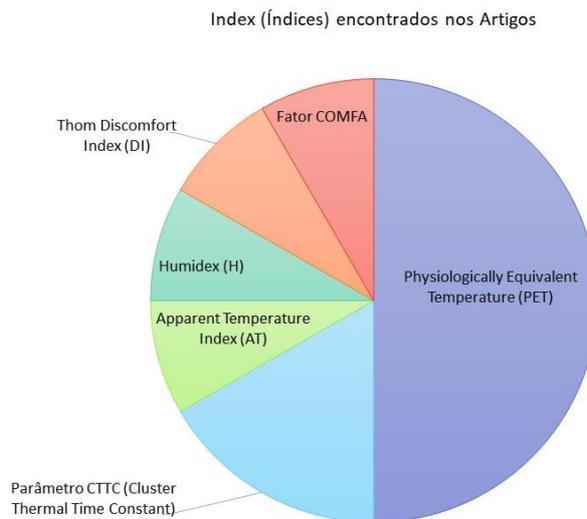
A forma como os itens da tabela poderão ser usados para apontar como arborizar as vias no Porto depende inicialmente da resposta ao seguinte requisito: como as árvores são capazes de aprimorar a qualidade do ar e diminuir o desconforto urbano? Isso, porque após essa compreensão é que será possível dizer o que se deve procurar nessas ruas. Contudo, para os fins deste trabalho deverão ser utilizados apenas os critérios físicos e de software, pois os de *Index* foram em grande parte utilizados para determinar a existência de desconforto térmico nos locais estudados. Como por exemplo, no trabalho *Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil* onde os autores se utilizam de PET para realizar comparações entre a situação real de conforto em uma rua de Campinas, Brasil, na sua condição verdadeira e como seria em uma versão ideal gerada pelas propostas dos mesmos (ABREU-HARBICH, LABAKI,

MATZARAKIS, 2013). Portanto, compreende-se que esses Index deverão ser usados em um momento posterior à este trabalho para, por exemplo, entender se há mesmo alguma eficácia no que será apresentado.

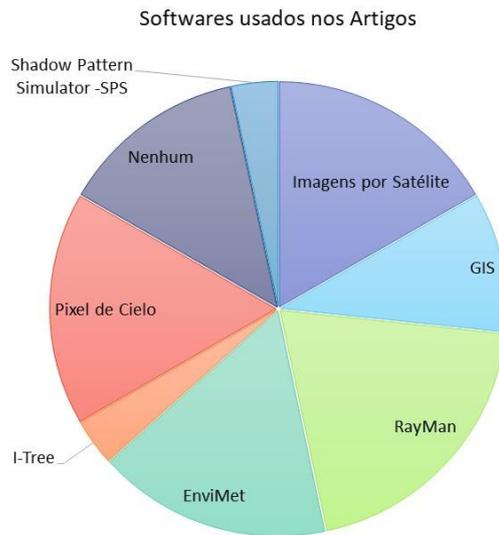
Os gráficos abaixo demonstram o número de aparições de cada item. A maioria destes trabalhos apresentou ao menos dois critérios no total das três listas.



**Gráfico 2 - Critérios Físicos encontrados**

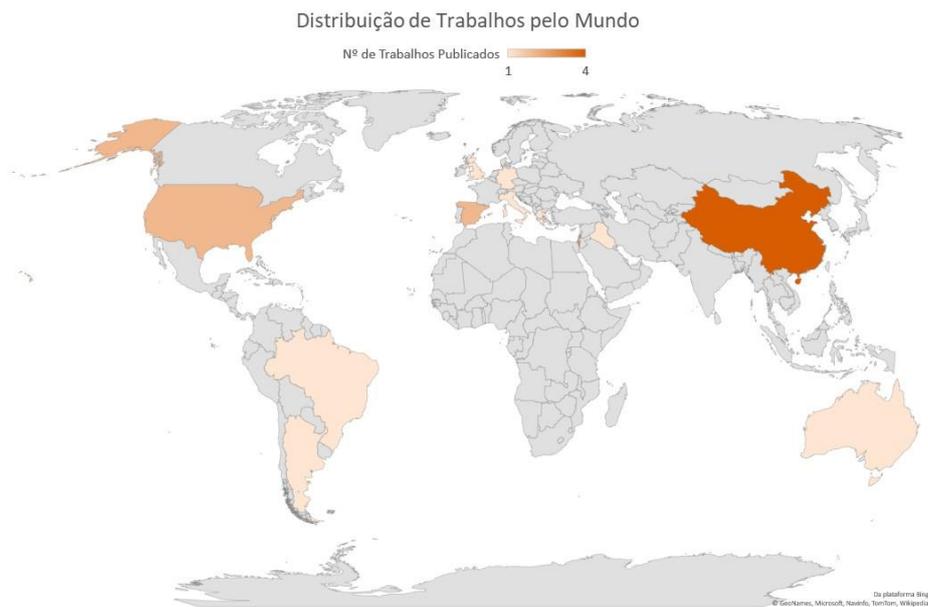


**Gráfico 1 - Critérios Index encontrados.**



**Gráfico 3 - Software encontrados.**

Além disto, foi feita uma avaliação da distribuição dos trabalhos eleitos por país. No hemisfério sul percebe-se que apenas o Brasil, a Argentina e a Austrália tiveram trabalhos eleitos para a leitura. Isso pode se dar à vários fatores que não apenas o de não haver algum estudo nos demais países que se encaixe. Por exemplo: o próprio acesso à plataforma de publicação. Talvez se a pesquisa tivesse, também, sido realizada na Scielo (que é voltada para trabalhos publicados em português e em espanhol), teríamos uma maior diversidade de publicações no hemisfério sul. Outro ponto interessante é que a China e Israel foram os países que apresentaram maior número de trabalhos publicados. Contudo, os de Israel são do mesmo grupo de autores. Essa visualização é interessante, pois denota que há uma continuação nas pesquisas e muitos pesquisadores preocupados com a arborização urbana, sobretudo viária, voltada para o conforto térmico.



**Gráfico 4 - Divisão dos Tabalhos por País**

## **2.2. Resultados da Revisão Bibliográfica:**

### **2.2.1. Conforto Térmico nas Ruas:**

Em 2015 o mundo atravessou a marca de mais de 50% de sua população vivendo em ambientes urbanos (UN-HABITAT, 2016; Ruiz et al., 2017). Esta mudança acaba por provocar o crescimento, muitas vezes desordenado, das cidades e a ampliar a exposição a eventos climáticos extremos. É o caso das Ilhas de Calor Urbano (Urban Heat Island – UHI). O efeito UHI afeta o clima de tal forma que as pessoas que moram em áreas urbanas correm um risco maior de morrer durante as Onda de Calor (Heat Waves – HW) que comparado às pessoas que moram nas áreas rurais (Bazu, Samet, 2002; Petralli et al., 2015).

Ilha de Calor Urbano é um fenômeno onde a temperatura das áreas urbanas é maior que do seu imediato rural (Oke, 1982; Norton et al, 2015). O seu surgimento acontece principalmente pela diminuição da densidade da área verde urbana (Saito, Ishihara, 1990; Shashua-Bar, Hoffman, 2000), pelo aumento da impermeabilização do solo e pelo

uso de materiais que absorvem muita radiação e que acabam por liberar calor durante a noite e evitar o esfriamento ambiental (Maimaitiyiming et al., 2014).

Além do desconforto térmico, as ilhas de calor urbano podem provocar diminuição na qualidade da água, pois ao provocarem o aumento da temperatura das águas residuais que chegam aos pequenos cursos d'água há alteração no ciclo de vida das algas e semelhantes, maior demanda por energia – usada sobretudo para o esfriamento do ambiente urbano – e afetar a biodiversidade local, sobretudo no ciclo de vida dos insetos (Maimaitiyiming et al., 2014). Por esta razão é necessário que se incorpore preocupações climatológicas ao planejamento e design urbano, para que se promova um ambiente melhor (Ketterer, Matzarakis, 2014).

Aumentar a disponibilidade de vegetação, também nomeada Infraestrutura Verde Urbana, é uma das formas mais buscadas para reverter esses efeitos climatológicos (Lovell, Taylor, 2013; Tzoulas et al., 2007; Norton et al., 2014). Em seu estudo Edward et al. (2012) corroborou que o ato de esverdear uma cidade é benéfico ao seu microclima, pois contribui para o arrefecimento ambiental. Além disto, é dito que plantar árvores é mais eficiente que gramados ou jardins e que quando a área verde é maior que 1/3 da área total urbana analisada, pode-se prever uma diminuição em 1k na temperatura local. Outro estudo demonstrou que árvores nas ruas podem reduzir as temperaturas em algo em torno de 3°C e aumentar a umidade entre 10%/20% e, portanto, melhorar o conforto térmico (Dimoudi and Nikolopoulou 2003; Rantzoudi 2004; Georgi and Sarikou 2006; Georgi and Zafiriadis 2006; Ali-Toudert and Mayer 2007a; Zoulia et al. 2009; Georgi and Dimitriou 2010; Rantzoudi, Georgi, 2017).

Entende-se que não se deve esperar que as variações de temperatura sejam as mesmas em todos os lugares. A resposta no clima urbano poderá variar dentro da mesma cidade, pois os fatores como uso e ocupação do solo, localização e orientação geográfica, materiais usados nas construções, tamanho do tecido urbano e outros podem afetar o desempenho da UGI. Entretanto, Norton et al. (2015) atesta que o uso da vegetação é uma ótima opção para mitigação da UHI em climas mediterrâneos particularmente se houver disponibilidade de água para manter as plantas.

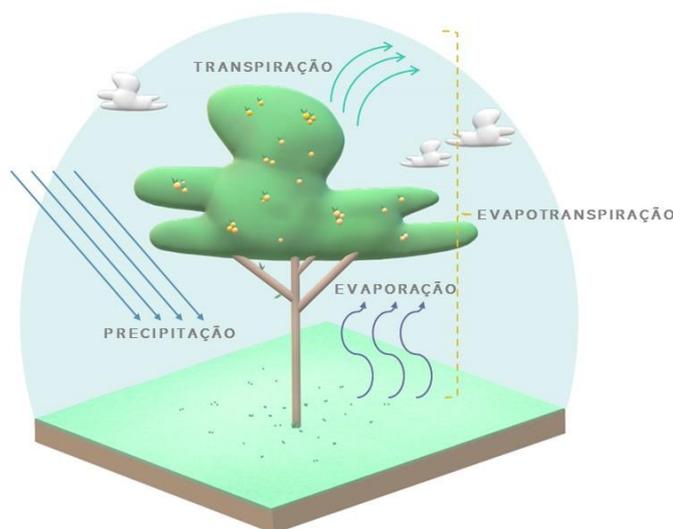
De facto, existem muitas possibilidades de estratégias de mitigação das UHI. Uma delas é o uso de árvores nas calçadas, estacionamentos e espaços públicos residuais (Mohammed, Salman, 2017). Dentre os autores há um consenso de que esta é provavelmente a mais eficaz. As árvores possuem um coeficiente de reflexão de radiação solar maior que os materiais construtivos. Além disso, a cor verde absorve menos calor que a cor preta do asfalto, para mais através da evaporação e transpiração (evapotranspiração), aumenta-se a umidade do ar e o resfriamento ambiental pela água suspensa na atmosfera (figura 4). Por fim, o maior benefício das árvores é promovido pelo sombreamento, as folhas e os galhos diminuem o total de radiação solar que chega a superfície abaixo do Urban Layer Canopy<sup>2</sup> (Dimoudi, Nikolopoulou, 2003; Salman, Younis, 2017; Oke, 1984; Douglas, Haney, 1997; Sailor, 2011; Pereira et al., 1999; Epa U.S., 2008; Mohammed, Salman, 2017).

*“Em particular as árvores são definidas como o elemento de vegetação mais eficaz para reduzir o superaquecimento das áreas urbanas” (Cit. Por RANTZOU DI e GEORGI – Orlandini et al., - Urban Forestry and Microclimate p. 66, 2017).*

Os efeitos de resfriamento das árvores são principalmente eficazes na área sombreada abaixo da copa delas e no espaço inferido pelo raio imediato a elas. De acordo com os autores Shashua-Bar e Hoffman (2000, p.222) o parque Chapultepec de 500 Ha na Cidade do México é capaz de afetar a temperatura do entorno, em um raio de 2 km. É também atestado que áreas verdes menores vão apresentar um raio de influência menor, mas ainda assim muito importante e que uma área de 300 m pode influenciar algo em torno de 150m a 200m à sua volta, dependendo da ventilação no local. É sugerido que, para efeitos térmicos, pode ser mais eficaz ter pequenos espaços arranjados a distâncias modulares que um parque, uma vez que as áreas verdes menores, ficam melhor inseridas no tecido urbano e melhoram a qualidade do ar de forma mais uniforme. Nesse caso, pode-se inferir que ruas arborizadas são uma boa estratégia.

As particularidades dos diferentes tipos de árvores influenciam na performance de resfriamento delas. Esses fatores são a profundidade das raízes, o diâmetro da copa, a densidades das folhas, a refletância das folhas (depende da coloração delas) e a morfologia (Zheng et al., 2018, p. 483). Dessa forma, deduz-se que as árvores selecionadas para fins bioclimáticos devem ser avaliadas quanto a essas características. Também se conclui que diferentes lugares irão precisar de diferentes espécies.

Por fim, deve-se dizer que a ruas apresentam uma parte significativa do tecido urbano, cujo impacto na qualidade de vida das pessoas é razoavelmente grande. O melhoramento das ruas através das árvores têm o potencial de aprimorar as características bioclimáticas e criar espaços confortáveis tanto no interior quanto no exterior dos edifícios (Rantzoudi e Georgi, 2017). No entanto, é importante responder as seguintes indagações: quais ruas devem ser arborizadas? Como essas ruas devem ser arborizadas? E, qual a quantidade de área verde que se deve buscar, para ter um desempenho ideal?



**Figura 6 - Ilustração do Processo de Evapotranspiração, pelo qual as árvores aumentam a umidade do seu entorno e arrefecem as temperaturas. Fonte: Autoria própria.**

### **2.2.2. Critérios Levantados para o Desenvolvimento do Guia de Arborização Viária Bioclimática:**

A temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e ventilação são critérios utilizados nos estudos para caracterizar as condições climáticas dos locais de estudo e como elementos de comparação, quando há modelagem computacional dos efeitos da vegetação no tecido urbano.

No trabalho *Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees* (Shashua-Bar e Hoffman, 2000) os autores se utilizaram de campanhas de medição de temperatura in loco para determinar a capacidade de resfriamento de diversos tipos de configuração de vegetação.

O critério da ventilação refere-se tanto à velocidade média, quanto à direção predominante dos ventos. São fatores muito importantes, pois além do sombreamento, a velocidade do vento é um dos mais importantes fatores para conforto térmico no verão. Entretanto no inverno, principalmente durante a noite, ele pode causar stress térmico por conta do frio (Rodríguez Algeciras e Matzarakis, 2016). Assim, é necessário identificar a origem dos ventos, pois as árvores e a morfologia urbana podem alterar as direções e influenciar em sua velocidade, resultando em efeitos negativos (Zheng et al., 2018).

A interação entre o local, a geometria dos edifícios e seu material é significativa nas trocas de calor em uma rua e influenciam suas condições climáticas (Shashua-Bar, et al., 2010). A orientação geográfica implica na exposição ao sol ao longo do ano dos elementos urbanos e na capacidade das árvores de gerar sombra. Hwang, Wiseman e Valerie (2015) argumenta que a posição da árvore pode alterar o gasto de energia de um edifício, por exemplo uma árvore plantada frente à fachada oeste pode levar a uma economia de 400 kwh em Sacramento na Califórnia (EUA). Por outro lado, o uso do solo, que é definido pela a forma como se o espaço é ocupado e utilizado, pode provocar o efeito contrário, fazendo com que áreas arborizadas sejam mais quentes que o seu

entorno (Shashuar-Bar, et al., 2010). Esse efeito se dá pelo fato das construções, do trânsito e mesmo as árvores serem capazes de afetar a ventilação. Por estas razões é necessário analisar também o desenho urbano, pois pode-se acabar por haver o efeito contrário ao desejado.

*“(...) a orientação da rua, aspect ratio e a presença de vegetação influenciam de forma consistente a velocidade do vento no nível do pedestre e conseqüentemente o efeito de resfriamento fornecido pela ventilação da rua. Portanto, os municípios devem escolher adequadamente os tipos de árvores para plantar em relação à geometria do cânion urbano.” (Lobaccaro et al., 2019, p. 22).*

O *aspect ratio* e o *sky-view factor* são outros indicadores relacionados à forma da cidade. Morakinyo et al. (2017) define que o primeiro é a razão entre a altura do edifício pela largura da rua e o *sky-view factor* é estipulado pela fração de céu visível de qualquer ponto da rua. Assim, tais estudos inferem que quanto maior o valor de um daqueles fatores, menor será o outro, logo, há uma razão inversamente proporcional entre eles. Ambos estão diretamente relacionados com a exposição do ambiente ao sol e a capacidade de sombreamento dos elementos viários. As vias de pouca profundidade são as que apresentam a relação  $H/W \leq 1$  são os que permitem a maior abertura ao sol. Já para o inverso - as vias profundas onde  $H/W \leq 2$  - os edifícios altos provocam muita sombra e acabam por resfriar o ambiente (Morakinyo et al., 2017, p.2).

Abreu-Harbich, Labaki e Matzarakis, (2014) observaram que, para a relação  $H/W < 0.5$  é muito difícil que os prédios à volta sejam capazes de sombrear a calçada e dessa forma, os materiais absorverão muito calor e o desconforto térmico irá subir. Quando esse valor é em torno de 1, pode ser que haja sombra, dependendo da orientação geográfica. Quando esse valor é superior a 2, haverá sombra nas fachadas e nas calçadas e a rua será fria durante o dia, mas essa conformação evita que o vento faça as trocas de temperatura durante a noite e, por isso, a rua será mais quente nesse período.

As características físicas das árvores como diâmetro e a densidade da copa, a sua altura, o índice foliar e a capacidade de reflexividade das folhas são fatores importantes para influenciar o microclima (Zheng et al., 2018). Essas diferentes características permitem que hajam diferentes resultados de sombreamento nos espaços, apenas pela mudança no tipo da árvore. Por exemplo: se há uma rua curta, mas que precisa de muito sombreamento, pode-se optar por árvores mais densas que permitam a menor passagem de luz por suas copas. Contudo, Shashua-bar et al. (2010) demonstrou que o efeito térmico de uma árvore é fortemente relacionado à geometria da rua e não será constante ao longo de uma cidade, por isso cada sítio depende de uma resposta específica.

Por fim o último dos critérios físicos é Land Surface Temperature (Temperatura de superfície), está relacionada com o uso e cobertura do solo. Como os diferentes materiais, como concreto ou asfalto, possuem diferentes graus de emissividade e absorção de calor, dessa forma é possível mapear as manchas de temperatura e relacioná-las com eles. Através pode-se ajudar a determinar a deficiência de áreas verdes no centro urbano, visto que a vegetação possui uma taxa de evapotranspiração maior e uma emissividade menor, logo uma LST menor. Há estudos que indicam que o aumento LST está relacionado com o aumento da UHI uma vez que esta é causada pelo desenvolvimento urbano e transformação do solo. Conseqüentemente, locais com maior coeficiente de uso do solo terão maior probabilidade de sofrer com a UHI e terão a LST maior (Maimaitiyiming et al., 2014).

Os índices (index) são indicadores biometereológicos que possibilitam estipular o conforto térmico humano, qual a sua extensão e em que ponto um local começa a ser intolerável, assim como facilitar na categorização do estresse térmico. Em geral eles podem ser divididos em três grupos: índices racionais, baseados em cálculos envolvendo a equação do balanço térmico; índices empíricos, baseados na tensão objetiva e subjetiva; índices diretos, baseados em medições diretas de variáveis ambientais (Petralli et al., 2015). Apesar de parecer, tais index não são universais, pois o conforto térmico é algo subjetivo que depende também de características culturais e do costume das populações.

*Apparent Temperature Index (AT)*, *Humidex (H)* e *Thom Discomfort Index (DI)* são três índices biometeorológicos diretos que avaliam a temperatura do ar ( $T_a$ ) e a umidade relativa do ar e seus efeitos no conforto térmico humano (Petralli et al., 2015). O Fator COMFA é outro indicador desenvolvido para a previsão do conforto térmico humano em ambiente urbano fazendo uso de valores energéticos ( $W/m^2$ ). De acordo com Ruiz et al. (2017) seu diferencial é que este é o único que considera a atenuação da irradiância solar das árvores.

O Index PET foi desenvolvido para permitir uma leitura integrada dos dados levantados em campo, como a temperatura do ar. Ele permite a percepção da relação do clima com o corpo humano por sua fácil interpretação e por ser mensurado em graus Celsius (Rodríguez Algeciras e Matzarakis, 2016). Além disso, ele expressa o conforto térmico humano tanto em ambientes abertos, quanto fechados (Lobaccaro et al., 2019). Já o Modelo CTTC (*Cluster Thermal Time Constant*) é usado para prever as variações de temperatura dentro do *urban canopy layer* (UCL). Ele incorpora parâmetros relativos à estrutura e forma dos espaço construído (Shashua-Bar e Hoffman, 2003).

Em relação à utilização dos *softwares*, será feita uma descrição da função de cada um e como foi empregado. Quatro dos trabalhos levantados durante a revisão bibliográfica não fizeram uso desse tipo de ferramenta, eles foram:

- SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. - VEGETATION AS A CLIMATIC COMPONENT IN THE DESIGN OF AN URBAN STREET. (2000). – FEZ USO DE CAMPANHAS E MEDIÇÃO E DADOS ESTATÍSTICOS PARA VALIDAR A ARBORIZAÇÃO VIÁRIA COMO COMPONENTE CLIMÁTICO EM TEL-AVIV;
- SHASHUA-BAR, LIMOR ET AL. - MICROCLIMATE MODELLING OF STREET TREE SPECIES EFFECTS WITHIN THE VARIED URBAN MORPHOLOGY IN THE MEDITERRANEAN CITY OF TEL AVIV, ISRAEL. (2010) – APLICA MEDIÇÕES E OBSERVAÇÕES NO LOCAL DE ESTUDO. USA PARAMETRIZAÇÃO E MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR A CONTRIBUIÇÃO CLIMÁTICA DE ÁRVORES DE ESPÉCIES DIFERENTES PARA A RUA.
- RANTZOU DI, ELENI C.; GEORGI, JULIA N. - CORRELATION BETWEEN THE GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF STREETS AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF TREES FOR THE FORMATION OF TREE LINES IN THE URBAN DESIGN OF THE CITY OF ORESTIADA, GREECE (2017). – UTILIZA A ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA RUA E DAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS PARA DETERMINAR A POSIÇÃO DO SOL NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA. EM SEGUIDA USA TRIGONOMETRIA PARA DETERMINAR QUAL O TAMANHO NECESSÁRIO DA ÁRVORE PARA SOMBREAR O LOCAL.

- SHASHUA-BAR, LIMOR; HOFFMAN, MILO E. - GEOMETRY AND ORIENTATION ASPECTS IN PASSIVE COOLING OF CANYON STREETS WITH TREES (2003). – TAMBÉM UTILIZA MEDIÇÕES DE TEMPERATURA EM LOCAL. ALÉM DISTO AVALIA A GEOMETRIA E ORIENTAÇÃO DA RUA PARA DETERMINAR O RESFRIAMENTO DAS ÁRVORES.

O *Pixiel de Cielo* é um software open source que obtém o SVF urbano a partir de fotografias fishe-eye digitais (Ruiz et al., 2017).

O *Shadow Pattern Simulator* é um programa desenvolvido pelo U.S. Forest Service. Ele é capaz de simular o sombreamento e a área exposta ao sol de edifícios e árvores durante diferentes horas do dia e estações climáticas (Hwang, Wiseman e Thomas, 2015). O trabalho *Tree planting configuration influences shade on residential structures in four U.S. cities* utilizou o programa para simular as diferentes posições de uma árvore próximo à uma residência para determinar, com base na localização geográfica, qual a seria o local sombreado ideal.

A ferramenta I-Tree possibilita o cálculo da mitigação do calor e da poluição pelas árvores (Bodnaruk et al., 2017). É uma ferramenta muito completa para a avaliação dos Ecosystem Services<sup>4</sup>. Além disso existe uma serie de diferentes ferramentas que permitem os mais diversos tipos de análise. Contudo seu uso não é possível fora dos Estados Unidos pela falta de informação complementar no software (i-tree, 2006).

As imagens por satélite foram obtidas das mais diversas fontes, por exemplo LandSat (Maimaitiyiming et al., 2014), bases de dados governamentais (Gill et al., 2008), Google Earth (Norton et al., 2018)... No entanto, esse modelo de imagem não diz muito sem a ajuda das ferramentas em GIS – Sistemas de Informação Geográfica. Em conjunto esses instrumentos fornecem grande ajuda no diagnóstico e expressão de dados em formato territorial. Um exemplo é o estudo *Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes* (Norton et al., 2018), que as utilizou para o cruzamento de dados a fim de estabelecer áreas foco para a arborização baseado em graus de vulnerabilidade.

Por fim RayMan e Envi-met são programas que permitem a modelagem e análise climática na escala da rua. Ambos são muito utilizados para estudos de climatologia

aplicada. O RayMan (radiation on the human body) utiliza fluxos de radiação e consegue calcular o Index PET entre outros e além disso é uma ferramenta de livre acesso para pesquisadores e estudantes (Matzarakis e Rutz, 2006; Matzarakis, Rutz e Mayer, 2007, 2010). Este programa exige que o usuário preencha informações como orientação geográfica, localização, azimute, temperatura do ar, dados gerais do corpo humano, data e hora de simulação. Norton et al., (2018) utilizou o RayMan para estudar a área da rua que fica sombreada durante o solstício de verão e, então prever a necessidade de sombreamento adicional por meio da vegetação.

O Envi-met simula o ambiente e as interações climáticas em 3D usando os princípios da dinâmica de fluídos (Ketterer e Matzarakis, 2014). Outra questão interessante é que o programa não lê as árvores como apenas um obstáculo para ventilação e insolação ele as entende como sendo corpos biológico e calcula as interações superfície-planta-ar (Morakinyo et al., 2017; Ng et al., 2012). O software também é capaz de fazer os cálculos em resoluções pequenas, de 0,5m, e em variações de tempo de 10s, logo, ele é muito completo (Lobaccaro et al., 2019; Mohammed e Salman, 2018). Apesar de sua alta aplicabilidade o Envi-Met não é open source, tornando o acesso difícil à pesquisadores. Edward Ng et al., (2012) demonstrou que com o uso da ferramenta é possível gerar simulações para prever quais seriam os impactos climáticos locais do “esverdeamento” de uma rua em Hong Kong e quais seriam as proporções ideais de área verde para se ter algum resultado.

### 3. Enquadramento Conceitual para o Desenvolvimento do Guia de Arborização Bioclimática:

#### 3.1. Cidade do Porto:

O Porto se localiza no Norte de Portugal e à sudoeste do continente europeu, 41° N e 8°W. A Cidade possui uma origem remota, sendo um dos núcleos urbanos mais antigos de Portugal. Como dito no *Relatório de Diagnóstico do PDM na secção de Ocupação do Solo (CMP, p 10, 2018a)*: “Desde os finais da Idade do Bronze que o espaço hoje ocupado pela cidade do Porto tem sido quase ininterruptamente povoado.” Vestígios arqueológicos permitem comprovar esta ocupação até o século VIII a.C. Pode-se dizer que a razão para isto está tanto na localização geográfica estratégica, onde há o encontro do Rio Douro com o Oceano Atlântico, assim como a morfologia, sendo o morro da Pena Ventosa uma saliência granítica de cotas altas tornando este ponto um local interessante, tanto para defesa quanto para o comércio (CMP, p 10, 2018a).



Figura 7 - Imagem histórica do Porto na época da mulhara gótica. Fonte: <https://www.cm-porto.pt/>

O Porto é o núcleo central da Área Metropolitana do Porto que ao todo são 17 municípios - Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Trofa, Santo Tirso, Maia, Valongo, Matosinhos, Paredes, Porto, Gondomar, Vila Nova de Gaia, Espinho, Arouca, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Oliveira de Azeméis e Vale de Cambra (Área Metropolitana do Porto, [s.d.]). Atualmente, a AMP se encontra em estado de conurbação urbana sendo difícil às pessoas saber, no dia-a-dia, onde começa um município e onde termina outro. Exceto, claro, em situações onde a geografia física determina as separações territoriais, como é o caso de Porto e Vila Nova de Gaia que são separados pelo Rio Douro. Logo, é difícil aplicar alterações ao tecido da cidade sem que interfira nos demais municípios, principalmente à nível dos principais eixos de circulação.

### **3.2. O Clima do Porto**

Por se localizar no Noroeste da península Ibérica na faixa litorânea do oceano atlântico, o Porto está, segundo a classificação de Daveau (????) no subtipo climático Fachada Atlântica. Este caracterizado por invernos moderadamente frescos nas áreas mais próximas ao mar e frios ou muito frios nas áreas interiores e mais elevadas, e um verão moderadamente quente nas áreas próximas ao oceano, onde são frequentes os ventos de NW e os nevoeiros matinais, e, quente ou muito quente nas áreas abrigadas da ação moderadora do Atlântico ou localizadas a maiores altitudes. As precipitações, que podem ocorrer ao longo de todo o ano, são mais frequentes e intensas no inverno (Câmara Municipal do Porto, 2018b). No inverno os ventos sopram, com maior frequência de Noroeste, Leste e Sudeste enquanto no verão são predominantemente de Noroeste, Norte e Leste com velocidade média entre 20 – 25 Km/H (5,5 m/s – 6,9 m/s). O clima e a localização, próxima ao Rio e ao Oceano Atlântico, ajudam a manter um cenário em que a umidade relativa é muito elevada (>70%), sobretudo entre novembro e março. Isto, unido à presença recorrente de nevoeiros em combinação com a temperatura mais baixa, a grande inclinação dos raios solares e o menor período de horas de sol, cria um contexto climático desconfortável, muito visível na degradação exterior do edificado, que parece apelar claramente à necessidade de melhores exposições à luz solar nesta época do ano.

O volume e a posição relativa dos obstáculos naturais e artificiais existentes à superfície condicionam o balanço energético e podem ser determinantes para a criação de mosaicos climáticos muito diversos dentro do *canopy layer*. Como afirma Oke (1988): as condições de perturbação da circulação do ar podem ser prejudicadas e/ou facilitadas consoante as opções de artificialização do território. O estudo dos corredores de ventilação do Porto (Fig.08 e Fig. 09) mostram, por exemplo, que no centro histórico há dificuldades acrescidas para a circulação do ar afetando diretamente a qualidade do ar, com reflexos na saúde de quem o inala e na degradação dos materiais expostos, mas também, indiretamente, o balanço energético local (Câmara Municipal do Porto, 2018b).

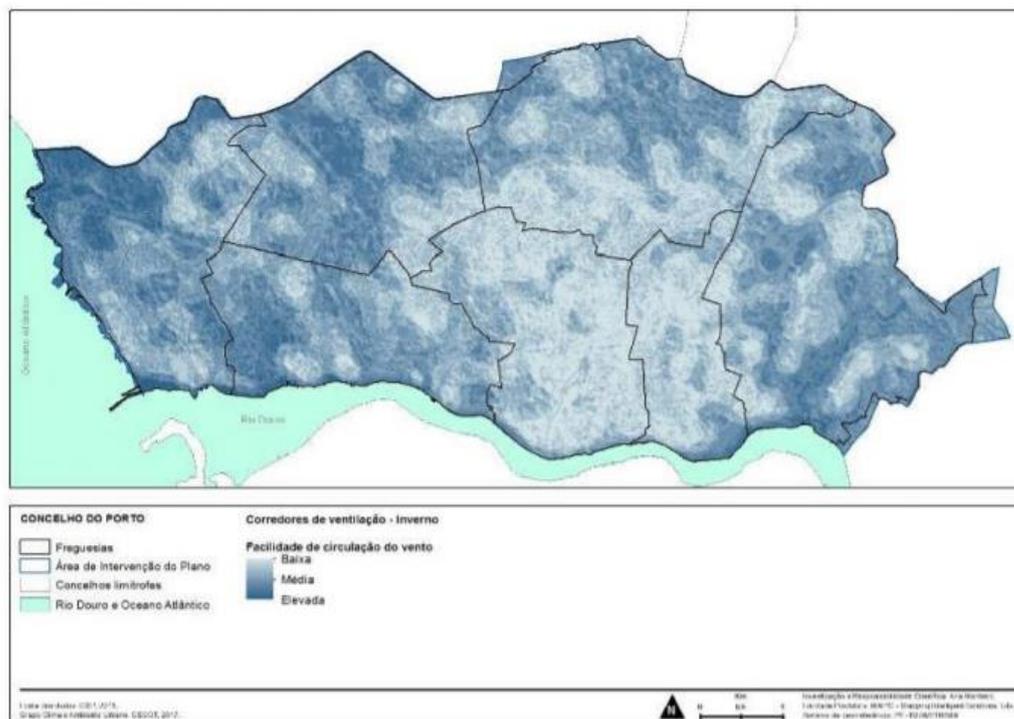
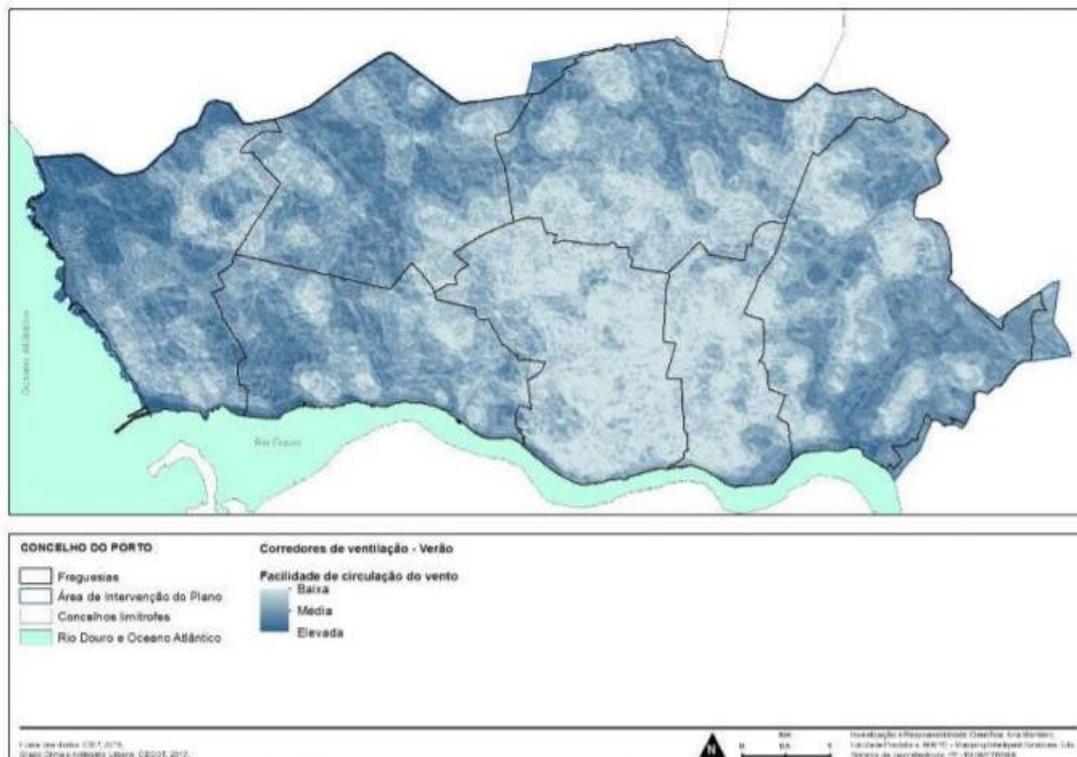


Figura 8 - - Corredores de Ventilação na Época Fria do Ano (Setembro a Fevereiro). Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. (2018).



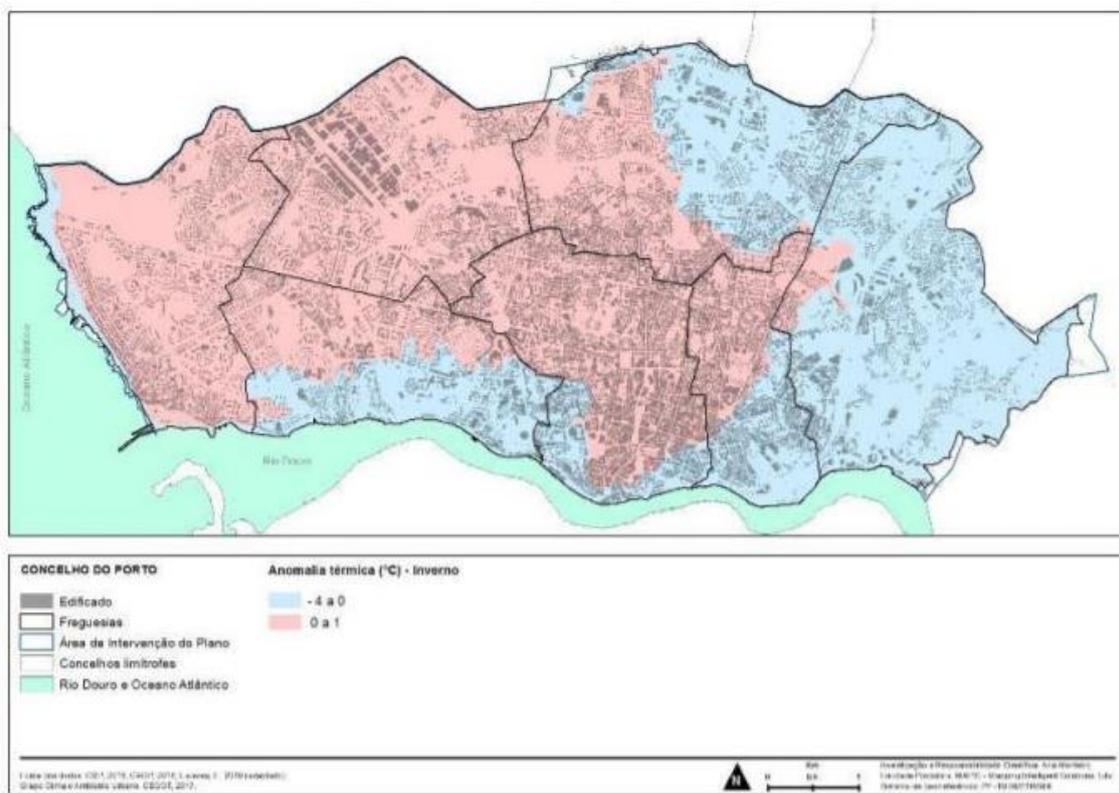
**Figura 9 - Corredores de Ventilação na Época mais quente do Ano (Março a Agosto). Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. (2018).**

O documento de Revisão do Plano Diretor Municipal do Porto, Clima e Ambiente Urbano (Câmara Municipal do Porto, 2018b) traz informações importantes acerca dos riscos climáticos. Nota-se que a temperatura média anual tem apresentado um aumento, tanto nas temperaturas máximas quanto nas mínimas registradas, principalmente, a partir da década de 1980. Nota-se que é a partir desta época que também começaram a ocorrer episódios climáticos excepcionais de extremo calor.

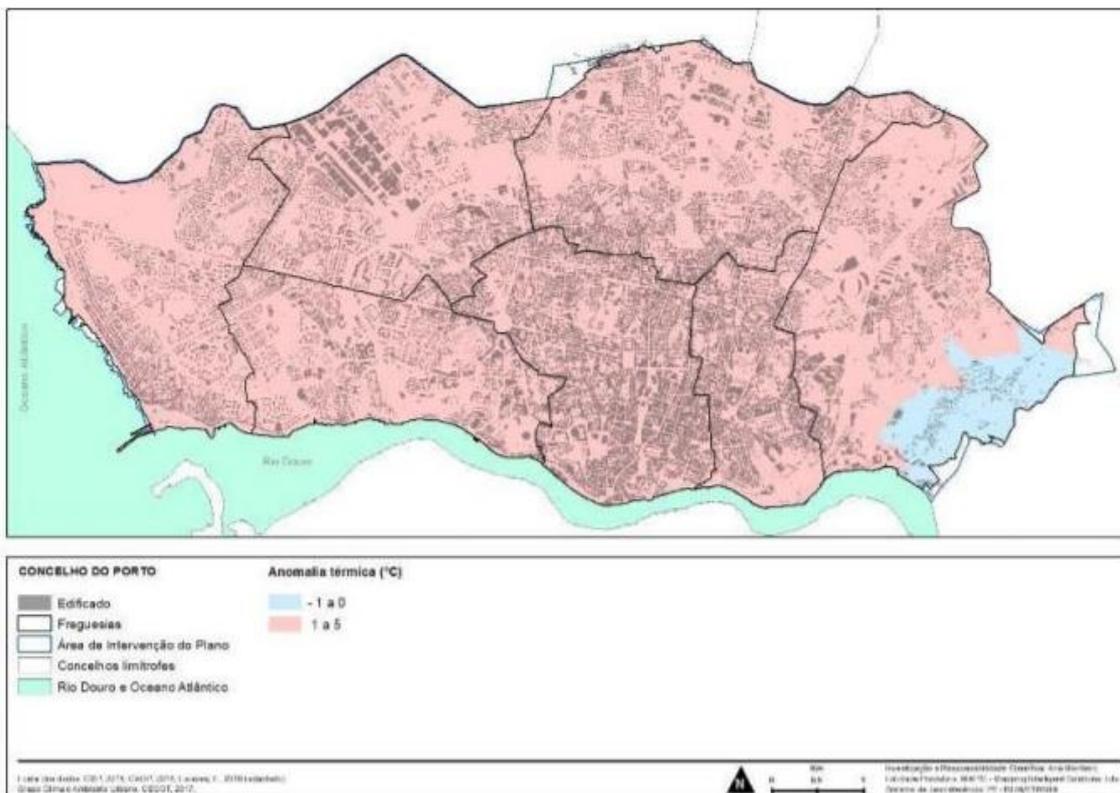
Os episódios climáticos excepcionais de temperatura, de precipitação ou de vento, têm sido, no Porto, cada vez mais frequentes e severos, e, a revisão de literatura efetuada no capítulo dois demonstrou que estes riscos podem ser amplificados ou mitigados se, depois de identificados, forem atenuados com medidas adequadas dentro das quais está a arborização do espaço público.

A disponibilidade de informação sobre a climatologia regional e local sobre a área do Porto há várias décadas permite já identificar o efeito de intervenções estratégicas

na adaptação aos riscos climáticos e na atenuação dos prejuízos causados pelos riscos climáticos. A título de exemplo veja-se a bolsa de frescura criada pelo Parque da cidade do Porto, ou pelo polo universitário da Asprela ou pelo Parque Oriental em comparação com as anomalias térmicas persistentes de áreas como a área empresarial do Porto, Ramalde, Mercado Abastecedor, e Estádio do Dragão (Fig. 10 e 11) (Câmara Municipal do Porto, p. 29, 2018b). Contudo, também como foi vista na revisão de literatura não são apenas os parques e grande áreas verdes que conseguem ter essa utilidade, as ruas arborizadas são, em escala local, igualmente importantes.



**Figura 10 - Probabilidade de Ocorrência de Frio Extremo no Inverno. Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. (2018).**



**Figura 11 - Probabilidade de Ocorrência de Calor Extremo no Verão. Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano (2018).**

Assim, a arborização com fins bioclimáticos nas ruas da cidade do Porto parece poder ser uma solução eficaz a contemplar nas políticas de ordenamento do território desde que tenha em consideração a especificidade da área nomeadamente:

- a variabilidade intraanual da temperatura e da precipitação;
- a elevada umidade ao longo de todo o ano ( $\geq 70\%$ );
- a persistência de nevoeiros de advecção e de radiaçõesobretudo nas áreas próximas ao Rio Douro;
- a importância da diferenciação morfológica e da artificialização do espaço na criação de corredores de travagem e aceleração dos fluxos de ar que são predominantemente de NW e N na época mais quente do ano e de NW, NE e SE na época mais fria do ano;
- Existe a alta probabilidade, em toda a cidade de haver ondas de calor no verão, caso haja as condições climáticas.

### 3.3. A Importância do Mapeamento da Exposição à Radiação Solar:

Os movimentos da Terra em torno de si própria e em torno do sol, com uma inclinação do seu eixo de  $23^{\circ}27'$  relativamente ao plano da eclíptica, provoca diferenças substantivas na inclinação dos raios solares e na duração dos dias e das noites ao longo do ano consoante a latitude dos lugares. No caso do Porto, localizado a  $41^{\circ}08'58''N$ , a época em que a obliquidade dos raios solares é menor coincide com o momento em que a duração do dia é muito maior do que a da noite. Isto, faz com que haja uma entrada de energia no sistema climático regional e local muito superior no verão relativamente ao inverno em que acontece precisamente o oposto – maior obliquidade dos raios solares e noite com maior duração do que o dia.

A análise das coordenadas celestes – horizontais ou equatoriais – são um elemento essencial para identificar os vários balanços energéticos à escala da cidade, do quarteirão, da rua ou do edifício. A partir do conhecimento do posicionamento geográfico dos lugares relativamente à chegada dos raios solares ao longo do ano é possível estimar os impactes nos mosaicos climáticos criados em distâncias relativamente curtas (figura 12).

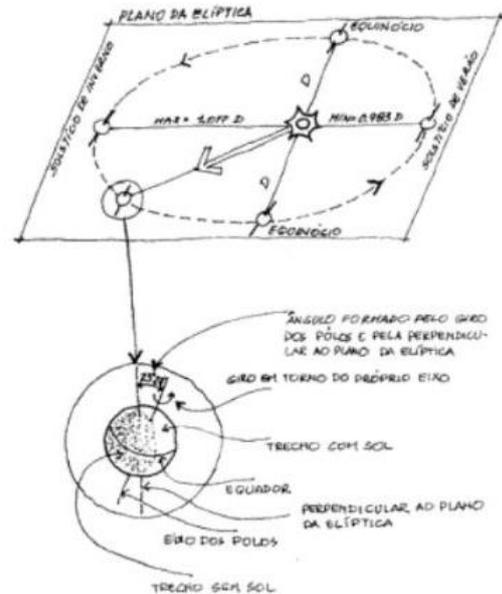
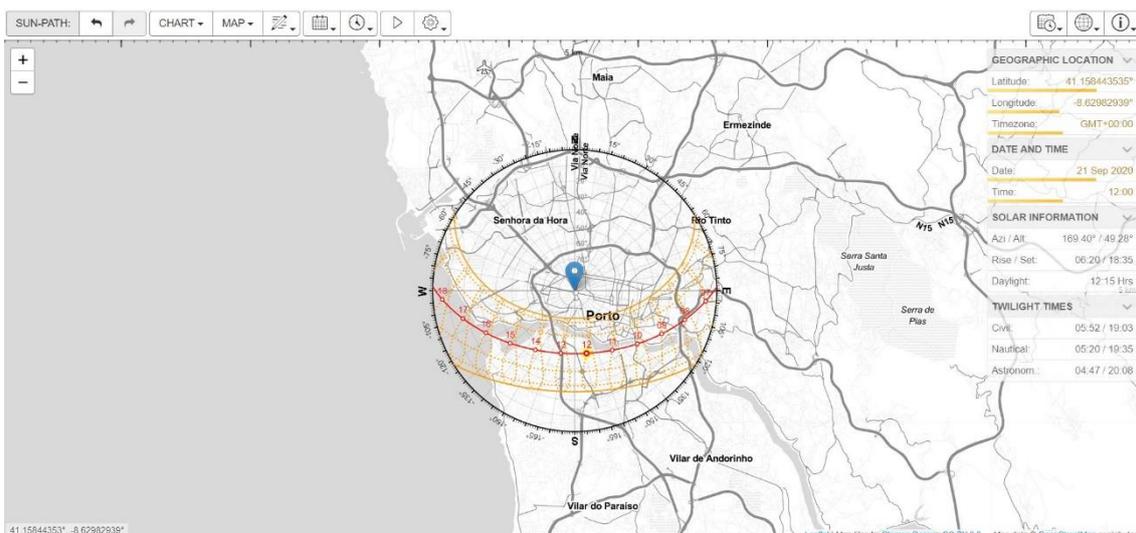


FIG 16- TRAJETÓRIA E POSIÇÕES DA TERRA AO REDOR DO SOL.  
FONTE: BAEDOU E AERZOLMANIAN, 1981

**Figura 12 - Trajetória da Terra ao Redor do Sol.**  
**Fonte: Uso das Cartas Solares: Diretrizes para Arquitetos. Autor: Leonardo Bittencourt. (p. 26, 2004).**

Os *softwares* que permitem estimar a obliquidade dos raios solares e a duração do período iluminado do dia consoante a localização geográfica, são ferramentas muito utilizadas em projetos de arquitetura para o desenho de janelas e aberturas adequadas ao clima. Para calcular a altura do sol de um determinado ponto na superfície terrestre é necessário apenas conhecer as coordenadas geográficas – latitude e longitude – e a época do ano.

No âmbito deste trabalho essa estimativa permite a compreensão de como a orientação geográfica de uma determinada rua pode interferir na quantidade de sol que chega às faces dos edifícios e da rua. No nosso caso em concreto, foram utilizadas as ferramentas *2DSunPath* e *3DSunPath* desenvolvidas pelo Dr. Andrew Marsh, arquiteto e designer de softwares para arquitetura, sua pesquisa aborda principalmente as ferramentas que auxiliam em projetos com a componente bioclimática inserida. Ambas são de fácil uso e *open source*, online o que a torna acessível a todos que possuem acesso à internet, contudo a *3DSunPath* depende de uma modelagem 3D feita previamente em outro software e salvo no formato Objeto (Marsh, 2014, 2015). Logo, foi utilizado o Revit® um programa de projeto de arquitetura desenvolvido pela Autodesk para o desenho de uma rua genérica.



**Figura 13 - Carta Solar do Porto. Fonte: 2D SunPath, ferramenta online. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html>**

Para este estudo foi desenvolvida uma modelagem em 3d no Revit Architecture ® aos modos do edificado na Cidade como exemplo para o estudo do comportamento das sombras em um ponto nas coordenadas geográficas do Porto (41° 08' 58.60" N; -8° 36' 39.56" W). Esse experimento foi feito tanto para uma rua com orientação Norte e Sul, quanto Leste e Oeste. E foram desenhadas as cartas solares em três momentos do ano: o solstício de inverno, o solstício de verão e o equinócio, que corresponde ao início das estações de primavera e outono.

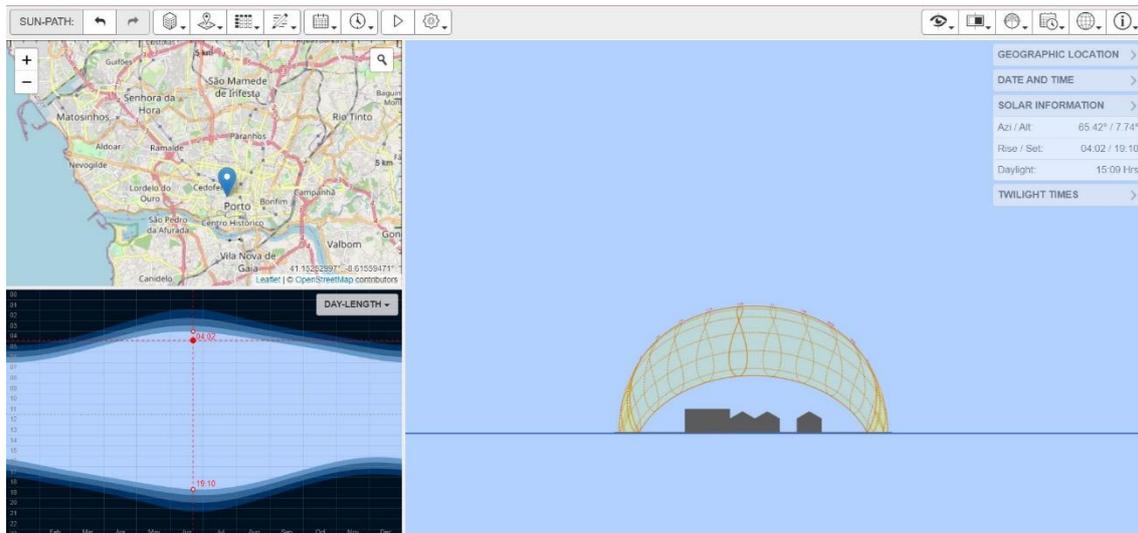


Figura 14 - Rua Genérica no Porto. Vista Frontal. Fonte: 3D SunPath. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

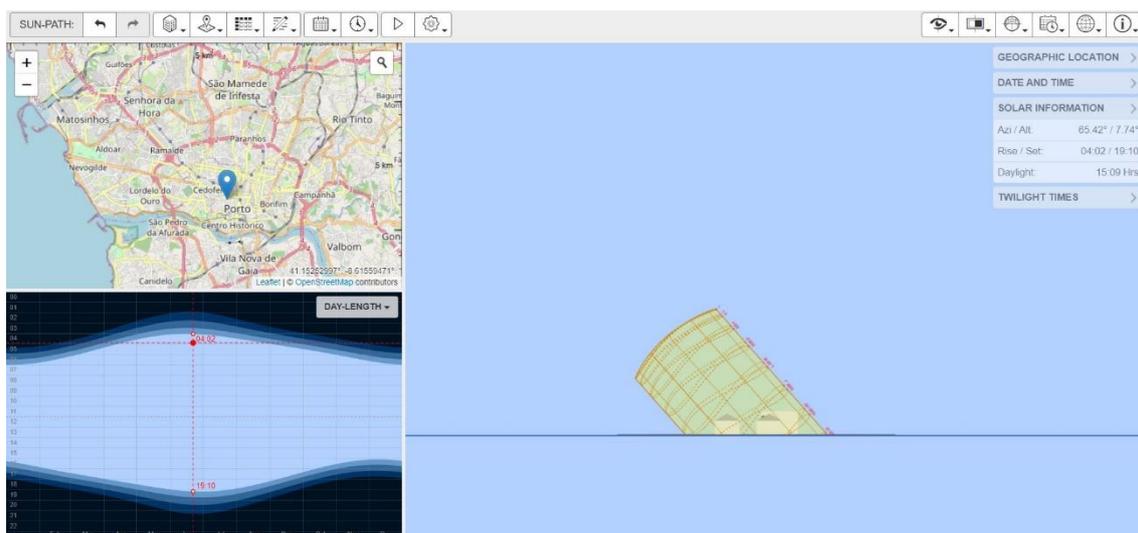
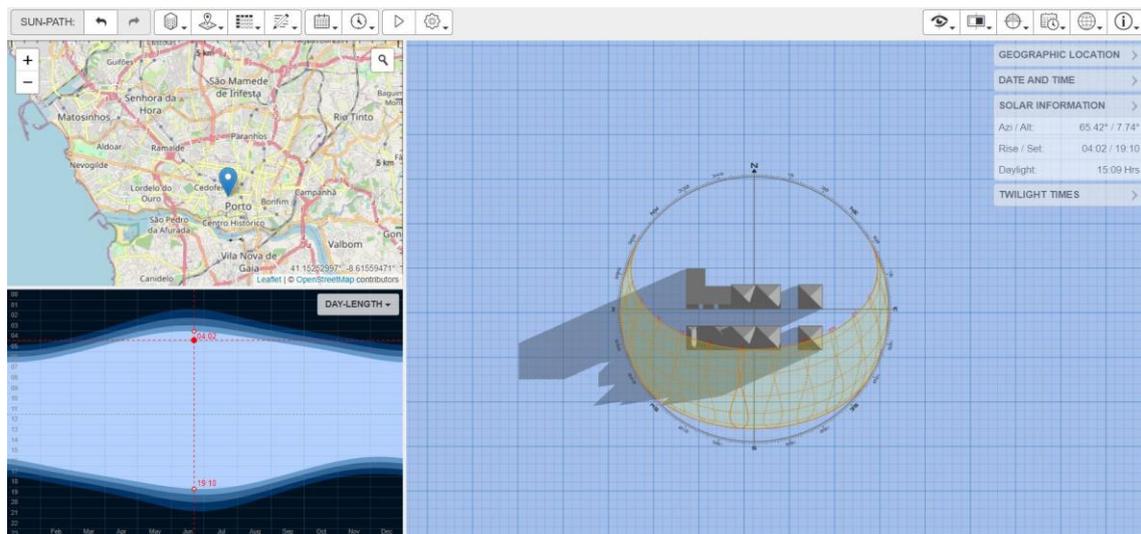


Figura 15 - Rua Genérica no Porto. Vista Lateral. Fonte: 3D SunPath. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>



**Figura 16 - Rua Genérica no Porto. Vista Superior. Fonte: 3D SunPath. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>**

O sol no Porto é inclinado para sul, pela localização da cidade em relação à linha do Equador (figura 15), dessa forma ao longo do ano as faces edificadas que são viradas para o sul serão mais ensolaradas. Essa condição é notada principalmente nas fachadas orientadas para o norte, que recebem sol diretamente apenas no começo e ao fim dos dias de verão o que não é suficiente para haver absorção de calor. Já as fachadas orientadas para o sul vão receber insolação direta o ano inteiro, por isso são mais indicadas para a arborização. Já as fachadas Leste e Oeste são equilibradas no sentido que cada uma recebe sol diretamente durante metade do dia. A fachada Leste recebe pela manhã, já a Oeste recebe pela tarde. Nesse caso seria indicado uma arborização em ambas, mas caso necessário escolher, deve-se optar por sombrear a fachada Oeste que recebe luz durante as horas mais quentes do dia.

O Porto possui suas origens em um pequeno núcleo não planejado. As pessoas construíram conforme as suas possibilidades e proximidades. Por essa razão, diferentemente de cidades como Barcelona, o Porto possui ruas não ortogonais e nas mais diferentes orientações. Assim, foi necessário também um estudo de fachadas noroeste, nordeste, sudeste e sudoeste. Nordeste e Sudoeste são complementares entre si. A fachada nordeste recebe mais sol que a norte, pois chega a receber uma hora

de sol durante o inverno, mas a sudoeste tem uma incidência muito maior apanhando sol durante o meio dia e à tarde. Já a face noroeste toma sol durante a tarde no outono e verão, mas nada durante o inverno. E por fim a sudeste recebe sol o ano todo durante a manhã e início/meio da tarde. Obs. Cartas Solares em anexo.

Nota-se que a duração dos dias varia muito conforme a estação. No solstício de verão o dia tem cerca de 15 horas de sol. Já no solstício de inverno são 9 horas de sol e o pôr do sol é por volta das 16h da tarde. E nos equinócios, de primavera e outono, tem-se algo próximo a 12 horas de sol sendo, então, um dia mais equilibrado. As tabelas abaixo

resumem as horas de sol que cada fachada receberia, sem obstáculos, nos quatro momentos do ano onde há uma mudança estacional, com base na orientação geográfica de cada rua. Esses cálculos foram feitos com base nas cartas solares.

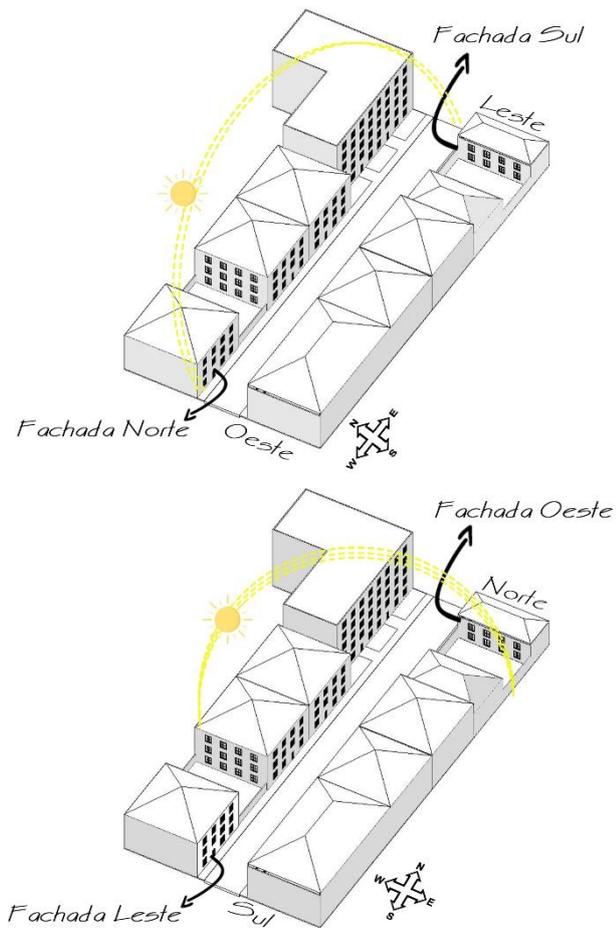


Figura 18 - Esquema de Orientação Geográfica das Rua.

Fonte: Autoria Própria.

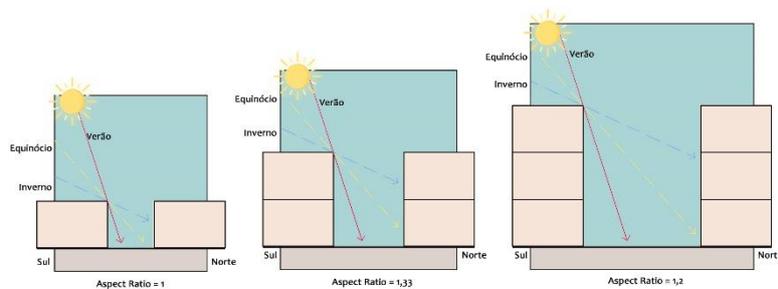


Figura 17 – Diferentes Ângulos do Sol no Porto.

Orientação da Rua	Fachadas Com maior Incidência no Verão	Prioridade de Arborização
Norte / Sul	Leste pela manhã/ Oeste pela tarde	Arborizar ambos os lados para ruas com AR < 0,5 arborizar em faixas alinhadas. Se AR > 0,5 pode ser uma arborização intercalada. Caso não seja possível plantar árvores em ambos os lados deve-se priorizar o lado Oeste.
Leste / Oeste	Sul - apanha sol durante o meio da manhã ao meio da tarde	Apenas a Sul, nunca sombrear a fachada Norte.
Nordeste / Sudoeste	Sudeste - apanha sol do nascer ao começo da tarde. Noroeste apanha a tarde.	Se, AR ≤ 0,5 então arborização de ambos os lados. Se, AR > 0,5 sombrear a fachada sudeste.
Noroeste / Sudeste	Nordeste - apanha sol durante a manhã. Sudoeste - apanha sol do meio dia ao por do sol.	Se, AR ≤ 0,5 então arborização de ambos os lados. Se, AR > 0,5 sombrear a fachada sudoeste.

\*Priorizar áreas que recebem sol durante o meio dia e o período da tarde.

**Tabela 3 - Resumo das Informações Inferidas no Estudos das Cartas Solares do Porto.**

Turno	Horas de Sol No Verão ( duração do dia 15h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			7:30h		6h			
Vespertino				7:30h				6h
Misto - início da manhã e fim da tarde	7h					9h	9h	
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		8h						
Turno	Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			4:30h		1:30h			
Vespertino	Não recebe luz direta durante o inverno.			4:30h				1:30h
Misto - início da manhã e fim da tarde		9h						
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						7:30h	7:30h	
Turno	Horas de Sol Nos Equinócios (duração do dia 12h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			5:30h		4h		8h	
Vespertino	Não recebe luz direta durante a primavera e o outono.			6:30h				4h
Misto - início da manhã e fim da tarde / dia todo		12h				8h		
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia								

**Tabela 2 - Contabilização das Horas de Sol por Fachada nas Ruas do Porto.**

Conclui-se que, no Porto as fachadas mais críticas são as voltadas para sul quando a orientação da rua é Leste/Oeste. E as respectivas fachadas Sudeste e Sudoeste também podem ser sombreadas durante o verão e o equinócio. Quanto as fachadas Norte, o sombreadamento deve ser evitado ao máximo, pois o próprio edificado fará esse efeito,

como pode ser visto nas simulações por computador. Muito provavelmente as calçadas em imediato estarão com sombra durante a maior parte dos dias.

### **3.4. Propostas de Vias a Arborizar**

Através da extensa revisão literária constatou-se que a relação existente entre a área verde (ex. jardins, parques, rua arborizadas...) e a diminuição dos efeitos da HUI são locais. Ng *et al.* (2012) demonstrou que, para o clima analisado de Hong Kong, é melhor ter estruturas contínuas, como pequenos espaçamentos entre si do que grandes massas verdes. Shashua-Bar e Hoffman (2000) apresentam conceitos semelhantes. Para os autores, os efeitos de parques e jardins seguem uma função de decaimento em relação a área total verde, o que torna a eficácia dessas áreas como sendo local. Nesse sentido, quando se fala de microclima urbano, o ideal é criar uma rede de vegetação mista com esses espaços maiores, mas conectados por pequenos jardins e ruas arborizadas.

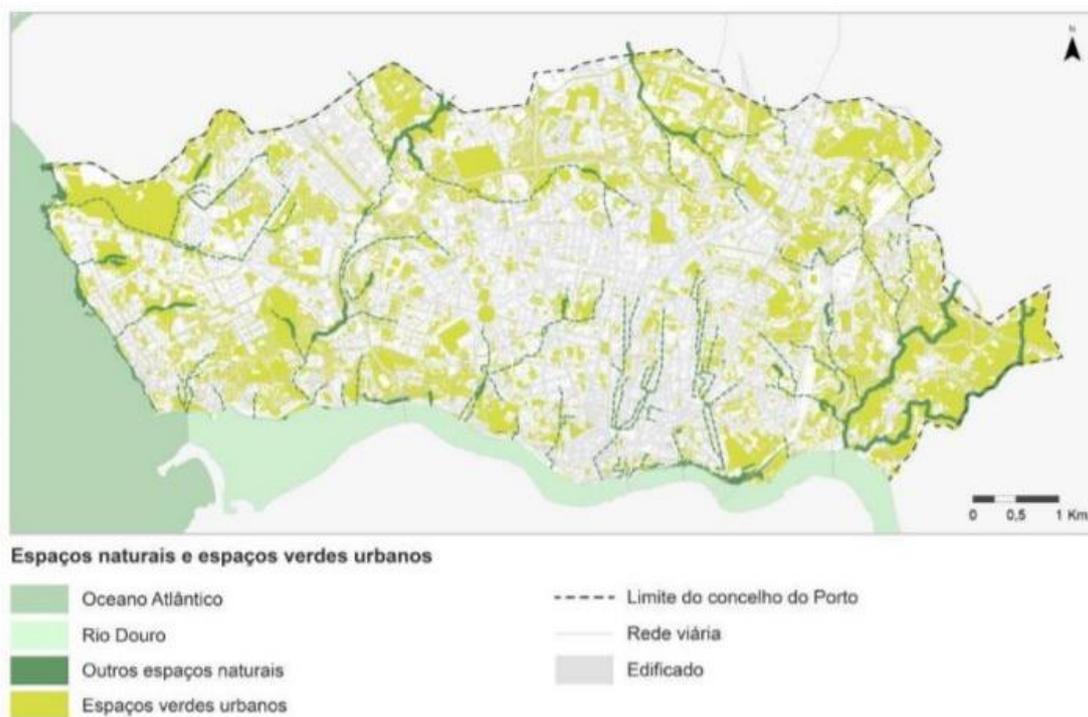
O desenvolvimento de propostas de vias a arborizar no Porto deve seguir os pontos acima relatados, mas também considerar o que já existe na cidade e o que é possível ser feito. O documento de revisão do PDM de Estrutura Ecológica e Diversidade (Câmara Municipal do Porto, 2018c) apresenta o resumo das áreas verdes urbanas. Esses espaços são divididos em Espaços Naturais e Espaços Verdes Urbanos.

*“Os espaços naturais são aqueles cujo funcionamento biofísico é independente da ação humana (exemplo: oceanos, rios, etc.). Apesar da sua génese natural, em contexto urbano, estes espaços são profundamente influenciados e/ou alterados pela presença humana.*

*Os espaços verdes urbanos são unidades espaciais de génese antrópica, maioritariamente constituídos por vegetação, e cujo funcionamento biofísico também depende da ação humana. Literalmente, é o espaço que sustenta e suporta o crescimento de*

*plantas, normalmente com uma parte aérea e uma parte subterrânea ou subaquática.” (Câmara Municipal do Porto, 2018c).*

Os espaços verdes urbanos são os que possuem uma cobertura vertical vegetal com área igual ou superior à 50% do terreno demarcado. Esse é um ponto importante pois na cartografia apresentada pequenos jardins ou ruas com árvores pequenas ficam excluídos.



**Figura 19 - Espaços Verdes Urbanos e Espaços Naturais da Cidade do Porto. Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. (2018).**

Infelizmente os espaços naturais da cidade são residuais. Contudo, são de extrema importância para manutenção da vida urbana através de benefícios bioclimáticos e suporte de recursos como os caminhos de água. Esses estabelecem corredores ecológicos naturais e nomeadamente são:

- Oceano Atlântico;
- Rio Douro;
- Praias (e zona intertidal);

- Margem do Rio Douro (e zona intertidal);
- Linhas de água e suas margens;
- Escarpas.

Espaços como o Parque da Cidade, o Jardim do Lázarus, o Parque de S. Roque e todos os outros que apresentam componente biológica e que são de acesso ao público, são muito importantes para a equidade social na cidade. Pelo mapa inserido, nota-se que o Centro Histórico do Porto apresenta uma ausência de tais espaços, o que está de acordo com outros documentos do PDM, os quais demonstram essa área como de população vulnerável e envelhecida, além do alto nível de degradação do edificado. Já onde há maior predominância de áreas verdes é a área que fica externa à VCI.

Os espaços verdes urbanos são subdivididos em onze categorias, pela forma de acesso, público ou privado, cobertura vegetal, relação com outras infraestruturas e função. Essas categorias estão listadas abaixo e foram retiradas do arquivo de Estrutura Ecológica e Biodiversidade de diagnóstico do PDM (Câmara Municipal do Porto, 2018c).

**Matas urbanas** que os compreendem os espaços sem organização espacial explícita da estrutura vegetal e sem um desenho planimétrico, cuja percentagem de coberto arbóreo é igual ou superior a 70%. São espaços com valor ecológico significativo, principalmente devido à elevada densidade arbórea e permeabilidade, que originam diversos benefícios; por isso, foram incluídos todos os espaços, independentemente de serem, ou não, acessíveis ao público.

Os **espaços verdes expectantes** incluem espaços não edificados resultantes de processos incompletos de urbanização ou abandono de espaços exteriores associados a edifícios, em que não é óbvia uma função atual programada ou uso humano explícito. Podem ser definidos como espaços residuais, que podem ser públicos ou privados, são colonizados por vegetação espontânea, normalmente são gramíneas e forrações, mas podem em alguns casos possuir também algumas manchas arbóreo-arbustivas; **se a vegetação arbórea ultrapassar os 70% estes espaços serão considerados como matas urbanas.**

Os **espaços verdes de cultivo** são aqueles que apresentam ocupação agrícola atual; sendo os espaços de cultivo abandonados classificados como espaços expectantes. Estes espaços são geralmente de carácter privado, mas são relevantes do ponto de vista ecológico e social.

Os **parques e jardins de acesso público** são espaços marcados pela presença da vegetação e que possuem ordenamento e projeto paisagístico. Devem possuir acesso público direto e, predominantemente, destinados a atividades recreativas; o revestimento em solo permeável deverá ser igual ou superior a 35%, caso contrário serão classificados como praças arborizadas ou ajardinadas.

Os **espaços verdes privados com valor patrimonial** são aqueles que apresentam valores ecológicos, paisagísticos e culturais relevantes para a sociedade geral, mas que não estão disponíveis para uso público. Este tipo de espaço verde abrange diversos espaços exteriores que se distinguem ao nível da organização, desenho, composição florística e carácter histórico; podem incluir, por exemplo, quintas históricas, jardins de habitações unifamiliares ou jardins de habitações coletivas.

Os **espaços verdes associados a equipamentos** consistem nos espaços dominados por vegetação, situados na envolvência de edifícios públicos e outros equipamentos coletivos. Podem incluir espaços com entrada limitada, mas acessível mediante acordo ou utilização do equipamento considerado.

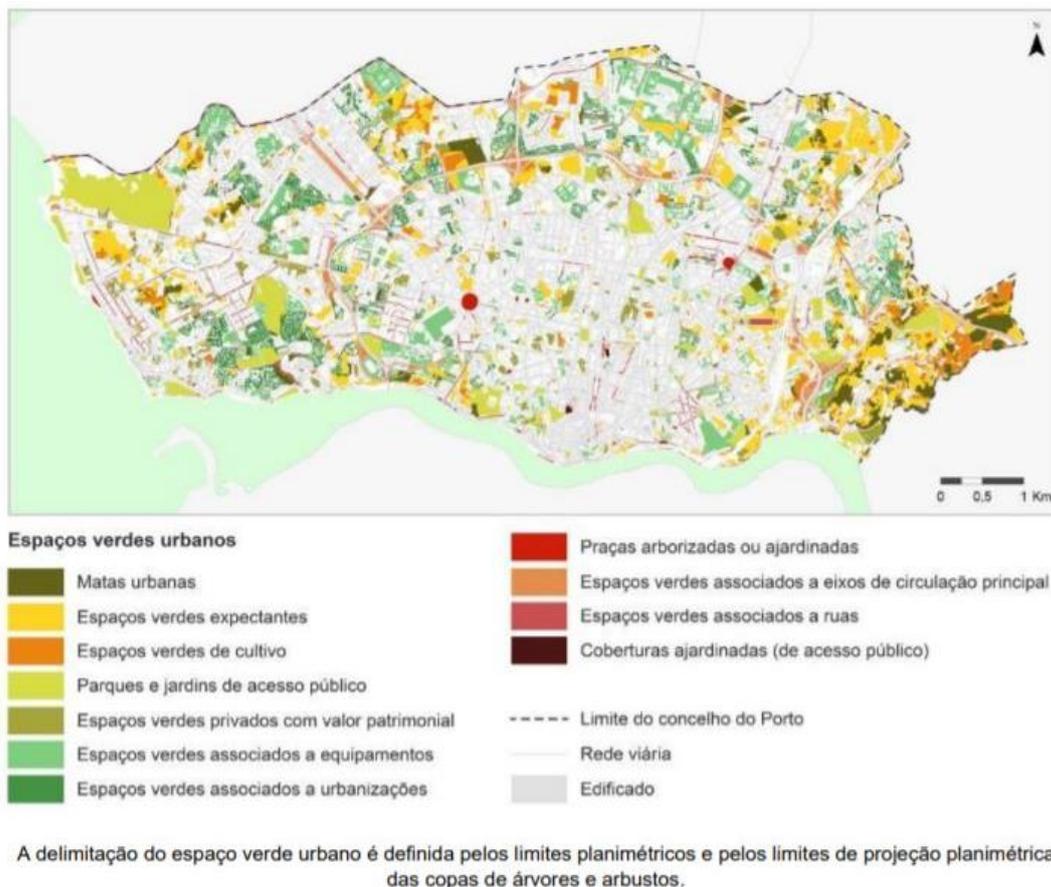
Os **espaços verdes associados a urbanizações** incluem todos os espaços envolventes a conjuntos habitacionais multifamiliares, dominados pela presença de vegetação e com acesso público.

As **praças arborizadas ou ajardinadas** são espaços não edificados, abertos na malha urbana, com uso público direto e importante função recreativa. No geral possuem uma presença marcada de pavimentos e estruturas construídas (para efeitos operativos, foram consideradas superfícies impermeáveis todos os tipos de pavimento e construção), sendo as áreas impermeabilizadas dominantes, com uma proporção superior a 65% do espaço. Isto significa que um espaço atualmente

<p>classificado como praça poderá vir a ser considerada um jardim se for aumentada a sua área vegetada ao nível do solo.</p>
<p>Os <b>espaços verdes associados a eixos de circulação principal</b> referem-se aos espaços verdes adjacentes a ferrovias e vias de circulação automóvel de elevada velocidade (vias rápidas e autoestradas). Estes espaços simplificados e de acesso limitado incluem taludes, áreas verdes laterais, nós e faixas centrais.</p>
<p>Os <b>espaços verdes associados a ruas</b> correspondem à vegetação presente nas vias de circulação local (ruas, avenidas, alamedas, etc.), com percursos pedonais associados. Estes podem ter a forma de alinhamentos de árvores, em caldeira ou faixa verde contínua, ou canteiros com um revestimento vegetal variado (herbáceas, arbustos e/ou árvores). Devido ao seu carácter linear, os alinhamentos de árvores de arruamento foram sempre marcados, mesmo quando não se cumpre a área mínima mapeável, desde que atinjam 50% de coberto vegetal e sejam compostos por um mínimo de três árvores em sequência.</p>
<p>As <b>coberturas ajardinadas</b> (de acesso público) são espaços verdes implementados sobre o edificado, tendo sido assinaladas apenas as coberturas com forte relevância no contexto do espaço público. Alguns espaços verdes construídos sobre estruturas subterrâneas, por exemplo garagens ou parques de estacionamento, foram incluídos em outras categorias de acordo com o seu enquadramento.</p>

**Tabela 4 - Subdivisão das Áreas Verdes Urbanas do Porto. Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. (2018).**

A figura 19 demonstra essa subdivisão das áreas verdes urbanas.



**Figura 20 - Espaços Verdes Urbanos. Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano (2018).**

Após a leitura da carta acima, fica mais uma vez explícita a falta de espaços verdes urbanos no centro histórico da cidade, principalmente se compararmos ao espaço externo à VCI. Outro ponto interessante é a diferença tanto na quantidade, quanto na tipologia destes espaços na área nascente e poente da cidade. Como retrata o próprio documento de diagnóstico: “Observa-se uma evidente concentração de espaços verdes expectantes, matas urbanas e espaços verdes de cultivo na área nascente da cidade, contrapondo uma concentração de espaços verdes associados a urbanizações e equipamentos na área poente.” (Câmara Municipal do Porto, p. 21, 2018c). Nomeadamente, equipamentos como os grandes parques e jardins de acesso público ficam ao lado poente que é reconhecidamente uma área mais nobre da cidade.

No mesmo documento existe outra metodologia de classificação das áreas verdes, nomeadamente o mapeamento de Habitats Urbanos. Esta tem base na altura da vegetação, que por fim indica o tipo que existe no lugar: arbóreo, arbustivo ou herbáceo. Usando esse critério se define três principais categorias: as clareiras, que são dominadas pelo estrato herbáceo, onde se há cobertura arbórea ou arbustiva ela deve ser inferior ou igual a 50%, e as dominadas por árvores e arbustos que se dividem em Matos, dominados por vegetação arbustiva, e os Bosques, que são compostos por árvores. Mediante as variações de presença das plantas criam-se as subdivisões:

<i>Clareira simples: espaços abertos cujo coberto arbóreo e/ou arbustivo é inferior ou igual a 25%; (ausência ou escassez de árvores e/ou arbustos).</i>
<i>Clareira-orla: espaços abertos com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 26 e 50%, em que a distribuição espacial de árvores e arbustos forma bordaduras ou composições lineares.</i>
<i>Clareira pontuada: espaços abertos com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 26 e 50%, em que a distribuição espacial de árvores e arbustos é dispersa e pontuada.</i>
<i>Clareira-mato: espaços abertos com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 26 e 50%, que se manifesta predominantemente como formações de arbustos.</i>
<i>Clareira-bosque: espaços abertos com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 26 e 50%, que surge sob a forma de manchas de árvores.</i>
<i>Mato-clareira: espaços dominados por vegetação arbustiva, com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 51 e 75%, formando áreas arbustivas relativamente densas, interceptadas por áreas abertas de menor dimensão (clareiras).</i>
<i>Bosque-clareira: espaços dominados por vegetação arbórea, com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 51 e 75%, formando áreas arbóreas relativamente densas, interceptadas por áreas abertas de menor dimensão (clareiras).</i>
<i>Bosque aberto: espaços dominados por vegetação arbórea, com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 51 e 75%, formando uma massa arbórea descontínua.</i>
<i>Mato: espaços dominados por vegetação arbustiva, com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 76 e 100%, formando áreas arbustivas densas e contínuas.</i>

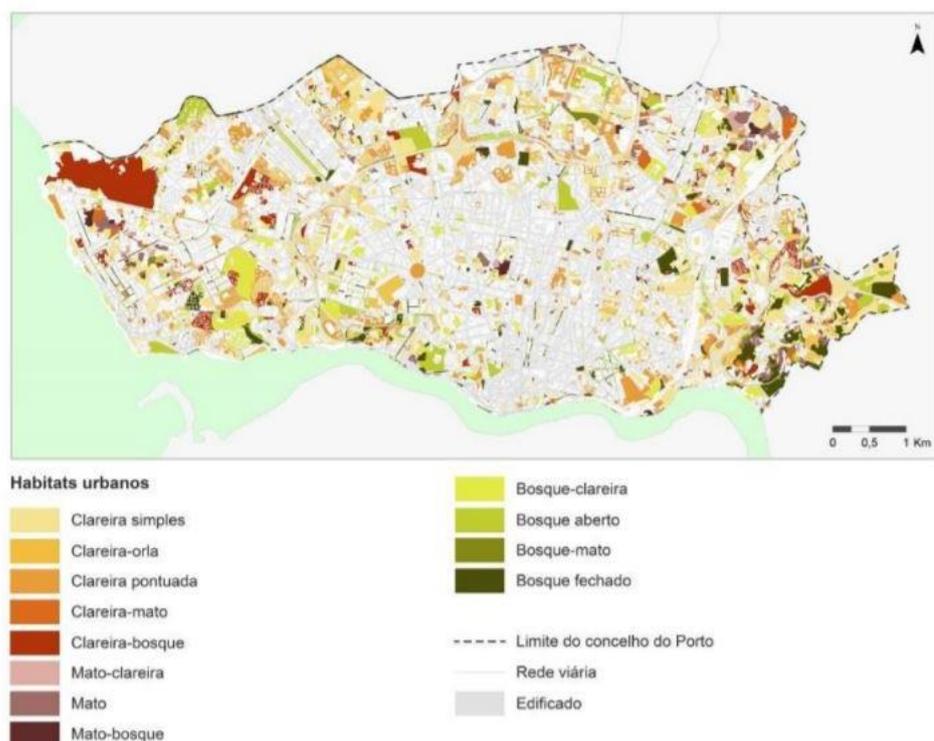
*Mato-bosque: espaços dominados por vegetação arbustiva, com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 76 e 100%, formando áreas arbustivas densas e contínuas, interceptadas por áreas arbóreas também densas, mas de menor dimensão (bosques).*

*Bosque-mato: espaços dominados por vegetação arbórea, com uma percentagem de coberto arbóreo e/ou arbustivo entre 76 e 100%, formando áreas arbóreas densas e contínuas, interceptadas por áreas arbustivas também densas, mas de menor dimensão (matos).*

*Bosque fechado: espaços dominados por vegetação arbórea, com uma percentagem de coberto fanerófito entre 76 e 100%, formando áreas arbóreas densas e contínuas.*

**Tabela 5 - Categorias dos Habitats Urbanos do Porto. Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. (2018).**

A figura 20 apresenta os Habitats Urbanos em Mapa.

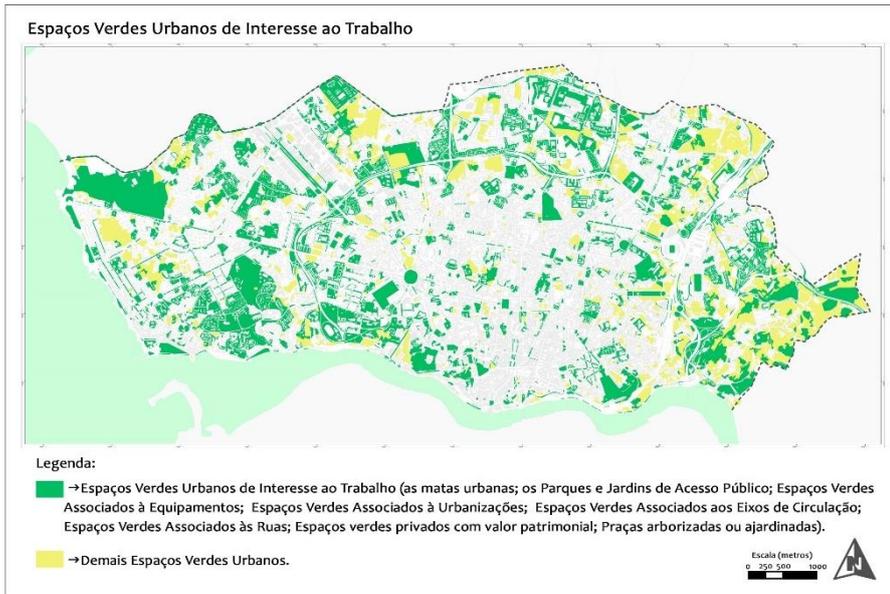


**Figura 21: Habitats Urbanos do Porto em Mapa. Fonte: CMP - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. (2018).**

Não há falta de espaços com natureza no Porto, sejam os espaços verdes, as praias e os mais diversos habitats. Há sim uma falta de qualificação em alguns deles, principalmente os que são residuais à urbanização. Existe uma grande possibilidade de criar bons exemplos nesses locais. Sendo praças, jardins ou até mesmo hortas e pomares comunitários.

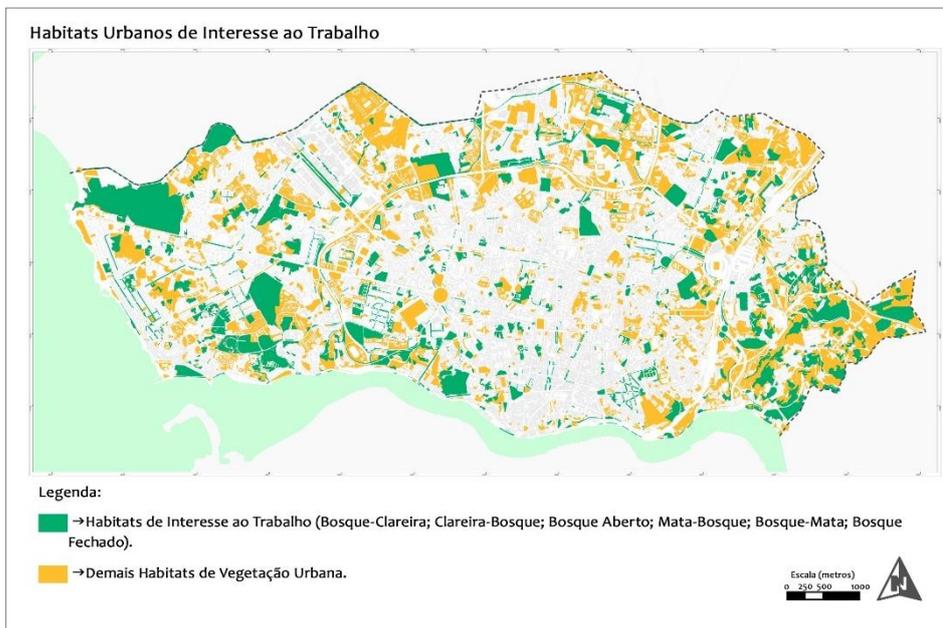
Mesmo havendo a disponibilidade de vegetação, a infraestrutura verde não é bem distribuída. Nota-se que há carência ou dificuldade de acesso para parte da população. Locais que apresentam grande vulnerabilidade social são os que apresentam a maior demanda por essas vias arborizadas, por isso espaços verdes como os associados às urbanizações e aqueles localizados no centro histórico do Porto são de grande interesse a este trabalho.

Norton et al. (2018) expõem que a Infraestrutura Verde Urbana é determinada por uma rede de espaço verdes planeados ou não, que se estende tanto de locais público quanto privados. Englobando todo tipo de vegetação nativa, parques, praças arborizadas, árvores nas ruas e até mesmo coberturas ajardinadas. Quando é pensado em criar uma malha de vias arborizadas no Porto que valorizem as outras áreas da UGI e que fortaleçam seus efeitos ecológicos, os seguintes tipos de espaços verdes urbanos devem ser valorizados de acordo com as definições à eles dada acima: *as matas urbanas, as áreas residuais na malha urbana, para que haja um movimento de qualificação desses espaços, os parques e jardins de acesso público, os espaços verdes associados a equipamentos, associados as urbanizações, associados aos eixos de circulação e aqueles associados as ruas.*



**Figura 23 - Mapa de Espaços Verdes Urbanos da CMP (2018) editado para demonstrar os Espaços Verdes Urbanos de Interesse ao Trabalho.**

Com base na cartografia inicial de Espaço Verdes Urbanos disponibilizada pela Câmara do Porto foi gerada outra que demonstra o que nessas áreas é de interesse ao trabalho. O resultado está na figura 21.



**Figura 22 - Mapa de Habitates do Porto da CMP (2018) editado para demonstrar os Habitates de Interesse ao Trabalho.**

Partindo do pressuposto de que os efeitos bioclimáticos das árvores são maiores que o de espaços gramados, pelo simples efeito do sombreamento são selecionados os habitats urbanos que na sua descrição já indicam por si a presença de árvores. Usando este critério, temos as seguintes classificações como de interesse: Bosque-Clareira, Clareira-Bosque, Bosque Aberto, Mato-Bosque, Bosque-Mato e Bosque Fechado. Assim, a figura 22 representa essas áreas demarcadas em verde.

Ao cruzar as informações dos dois mapas é gerado um que aponta, com maior probabilidade, as áreas verdes com a presença de árvores e, também, os locais que possuem relevância ao meio urbano e um aspecto social, como o jardim dos lázaros ou a rotunda da Boa Vista. As vias apontadas devem, portanto, conectar esses espaços já existentes na cidade. Contudo, antes de proceder para a demarcação das ruas de interesse para a arborização é devido que também seja feita uma leitura da Carta de Hierarquia da Rede Rodoviária, da 1ª alteração do PDM de 2012.

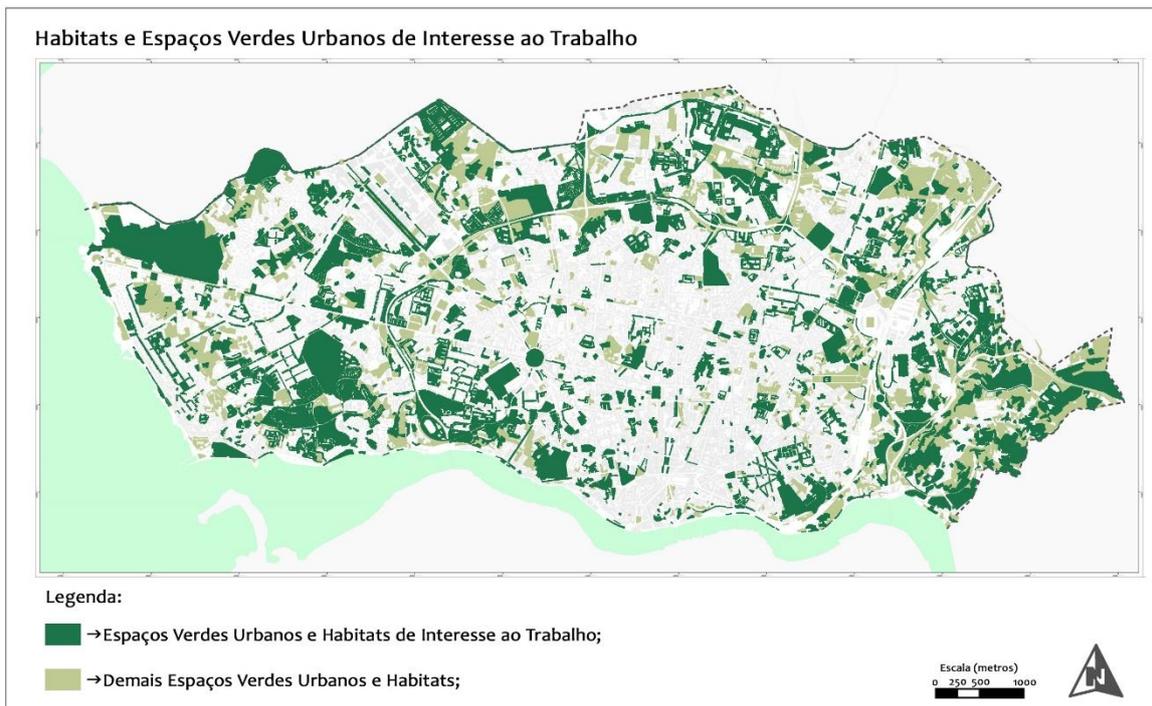
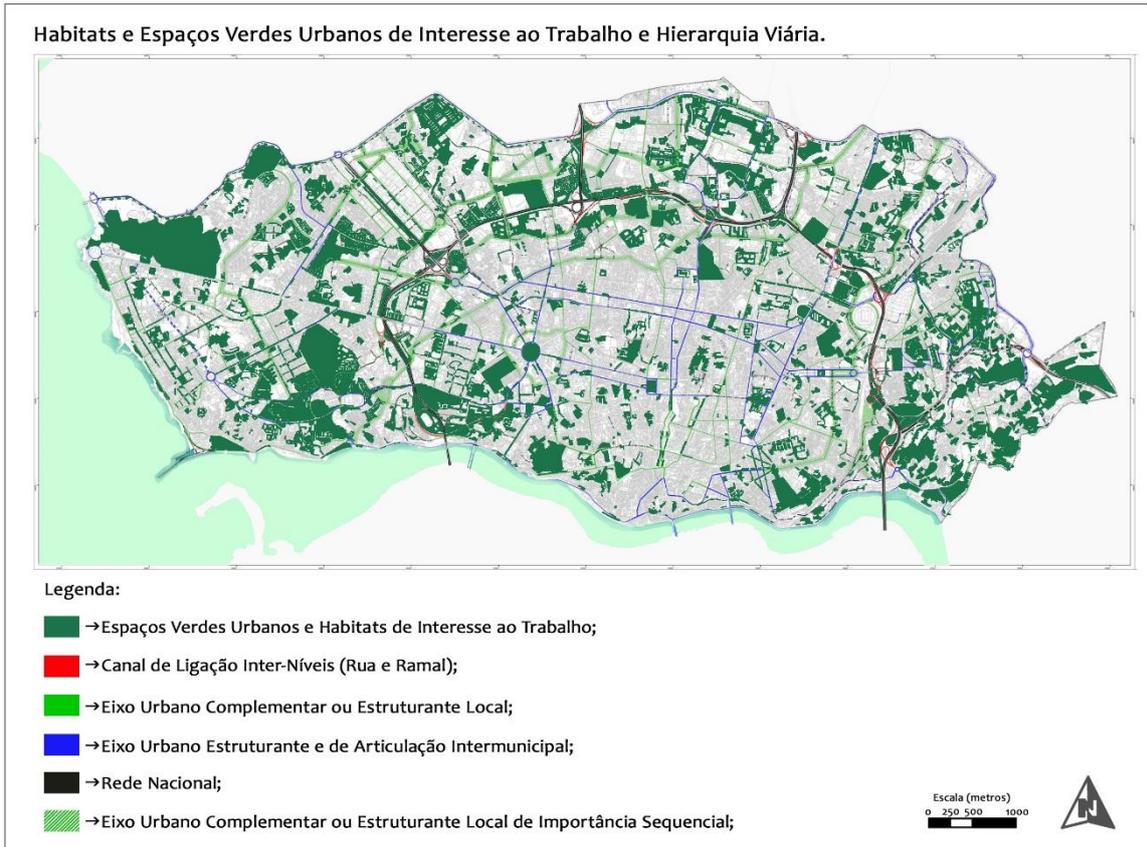


Figura 24 - Espaços Verdes Urbanos e Habitates de Interesse ao Trabalho. (CMP; 2018) editado.

*“(...) the need for comfort is strongly dependent on the use of the street. It is difficult to keep a whole street in optimal comfort situation because of other design imperatives. Fortunately, this is also not indispensable, and it is important to keep the space of the street at least partly comfortable.” (Rantzoudi e Georgi, p.1082, 2017).*

A hierarquia viária apresenta canais de interesse para a escolha dos caminhos arborizados. É necessário pensar que no ponto de vista dos pedestres pouco importa a arborização de vias como a Via de Circulação Interna (VCI), pois não haverá pedestres nesse local. Por outro, áreas movimentadas com grande oferta de serviços e comércios serão muito frequentadas por pedestres, por consequência são estas que devem ser climaticamente mais adequadas. Um exemplo na cidade seria a Rua de Gonçalo Sampaio que liga a rotunda da Boa Vista, local com muita oferta de transportes, ao mercado do Bom Sucesso, ao Shopping Cidade do Porto, ao terminal de autocarros do Bom Sucesso e mais adiante à Rua do Campo Alegre e às diversas Faculdades da Universidade do Porto.

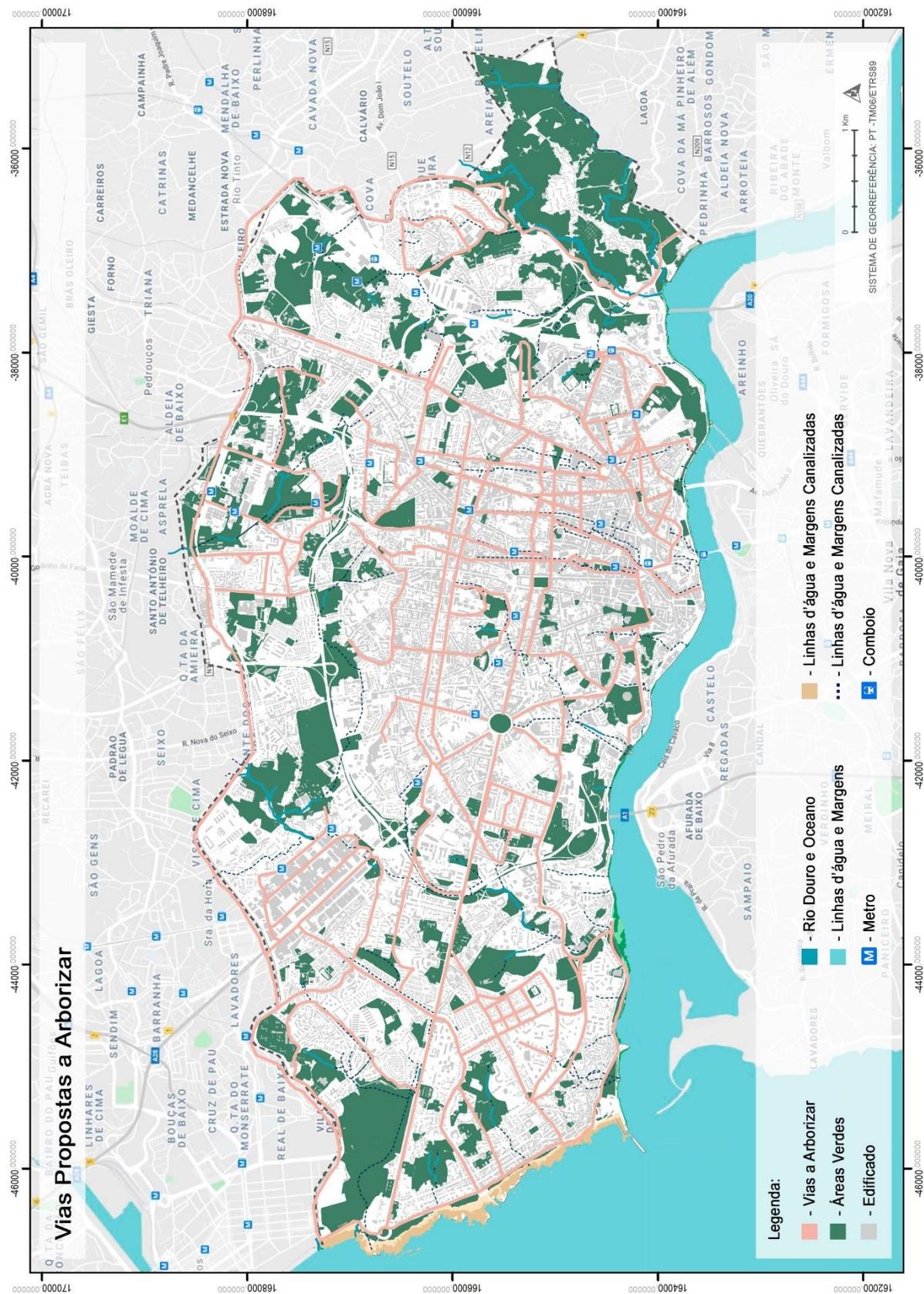
Já a Estrada da Circunvalação é uma barreira que delimita as fronteiras do Porto com os outros municípios vizinhos. É um eixo urbano muito importante e de Articulação Intermunicipal, mas é uma via de trânsito rápido e com muito tráfego, desta forma pode ser considerada muito poluente. Por isto, considerar o plantio das árvores no seu arredor além de ajudar na qualidade do ar ajuda também na qualidade visual desse espaço. O mapa abaixo demonstra como a hierarquia viária se relaciona com os espaços verdes.



**Figura 25 - Conjunção do Espaços Verdes Urbanos e Habitates de Interesse com a Hierarquia Viária da Cidade. (CMP; 2018) editado.**

Ponderando todos os conceitos e diagnósticos apresentados, assim como uma leitura global do território o mapa abaixo foi desenvolvido demarcando as Ruas de Interesse à Arborizar. É provável que algumas destas já tenham trechos arborizados, como é o caso da Avenida da Boavista, contudo, deve ser estudado se é uma arborização climaticamente eficiente.

Figura 26 - Mapa de Vias Proposta para Arborizar. (CMP; 2018) editado.



Priorizou-se a demarcação daquelas que possuem orientação geográfica Leste/Oeste, pois recebem muita insolação ao longo do dia, além de ser uma forma de conectar as áreas verdes nascentes/poentes do Porto. Outro critério foi o trânsito de veículos e pessoas, como dito, ruas mais movimentadas e que são eixos estruturantes locais ou intermunicipais têm maior fluxo de autocarros. Para além, também foi pensado na qualidade do ar nesses locais. Também foram analisadas a proximidade com as estações do Metro e a conexão entre os pequenos jardins, praças e parques do Porto. Por fim, tentou-se expandir os efeitos ambientais dos parques arborizando as ruas imediatamente próximas. Por fim, se sugeriu a arborização da Av. do Brasil, na Fóz do Porto, pois além de ter o edificado todo voltado ao sol poente, o que é ruim no verão, é um ótimo lugar para a criação de uma via paisagística.

Deve-se salientar que existem pequenos arruamentos que não são capazes de comportar uma arborização dada as suas dimensões. É perfeitamente normal que isso aconteça, principalmente nos núcleos mais antigos da cidade e em muitos casos isso dever ser mantido como está por se tratar de um local histórico. Já outras vias, como as grandes avenidas do Porto podem ter o desenho alterado possibilitando além do aumento das calçadas para o plantio de árvores a construção de uma ciclovia segura. O Guia Global de Desenho de Ruas aponta que: *“as ruas são catalisadores para a transformação urbana”*, ao pensar desta forma percebe-se que ao se retirar um pouco do espaço do automóvel particular para criar espaço de qualidade nada se perderá (NACTO - National Association of City Transportation Officials, p. 22, 2018).

### **3.5. Espaços Laboratório.**

O espaço Laboratório definido para o guia de Arborização do Porto é constituído por dois seguimentos de vias que se cruzam. A Rua da Constituição e a Rua de São Brás.. Ambas são definidas como eixos urbanos estruturantes e de articulação intermunicipal, logo, há sobretudo um grande tráfego de veículos. Contudo, a primeira apresenta uma orientação geográfica Leste/Oeste é desamente ocupada por edifícios residenciais e por





**Figura 29 - Vias Escolhidas para Análise**



**Figura 28 - Rua de São Brás. Fonte: Google Earth Pro.**



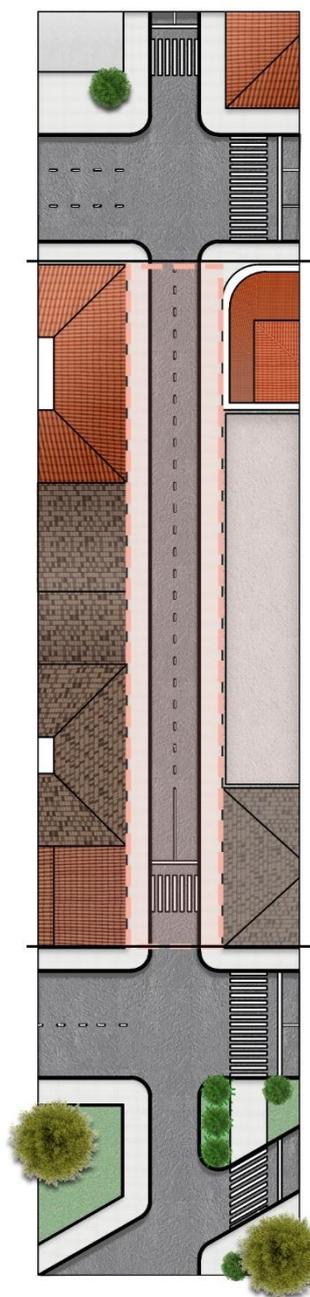
**Figura 30 - Rua da Constituição. Fonte: Google Earth Pro.**



**Figura 31 - Cruzamento entre a Rua de São Brás com a Rua da Constituição. Fonte: Google Earth Pro.**

É necessário, contudo, apresentar uma delimitação de estudo para secção das vias. Então, para os fins deste trabalho as ruas ficam definidas como sendo delimitadas pelo edificado, de forma que a largura é a medida de parede externa à parede externa das edificações ou muros para o caso de terrenos desocupados. Igualmente, ao se seguir a mesma lógica o comprimento das ruas é definido pelo início do edificado entre os cruzamento, de forma que as calçadas laterais ficam desconsideradas. Figura 31.

A demarcação da via como área de estudo foi optada por duas razões, a primeira por uma questão de projeto urbano, onde é preferível que não sejam colocados obstáculos visuais em áreas onde é necessário que o motorista tenha visão ampla, pois caso o fizesse os colocaria em risco e assim, como também, aos pedestres que atravessariam rua. Já a segunda é a simplificação da geometria urbana, visto que considerar a avaliação das ruas pela forma complexa que elas se apresentam seria um trabalho quase impossível uma vez que os próprios softwares de climatologia fazem essa simplificação.



**Figura 32 - Exemplo de seleção da área de análise de uma rua. Fonte: Autoria própria.**

## 4. Concepção do Guia:

A atual seção do documento trabalhará a concepção do guia de arborização viária bioclimática para o Porto. Para tal é necessário relembrar os seguintes pontos de resumo listados durante as análises climáticas:

- A elevada umidade ao longo do ano ( $\geq 70\%$ ), havendo alta manifestação de nevoeiro, sobretudo nas áreas próximas ao Rio Douro;
- A ventilação tende a ser provenientes de NW e N na época mais quente do ano e de NW, NE e SE na época mais fria do ano. Costumam ter velocidade de 20km/h e 25km/h;
- Apesar da boa ventilação há uma área no centro urbano onde quase não há corredores de vento (zona histórica);
- Existe a alta probabilidade, em toda a cidade de haver ondas de calor no verão, caso haja as condições climáticas;
- Existe a alta probabilidade de haver vagas de frio no inverno na zona oriental e sul do Porto;

Logo, por esses pontos listados já se pode inferir que haverá lugares onde será necessária a plantação de árvores caducifólias, ou seja, que perdem as folhas durante o outono e renascem à primavera. Essas árvores permitem que as ruas recebam sol durante os dias de inverno e por consequência aquecer o edificado.

Durante a revisão sistemática ficou estabelecido que as árvores são adequadas para a mitigação das ilhas de calor urbano por conta da sua capacidade de sombreamento. Portanto, para estabelecer a arborização bioclimática das ruas selecionadas é necessário saber como é o “comportamento” do sol nessas ruas, tanto no verão quanto no restante das estações. Para isto, ao retornar aos critérios levantados no capítulo 2 os seguintes parecem adequados ao tipo de trabalho a ser desenvolvido:

- Orientação Geográfica;
- Aspect Ratio (H/W), que determina a abertura das ruas ao sol e, portanto, ao calor.
- O padrão solar, como o a posição relativa do sol muda ao longo do ano.

*“Orientaion and H/W Ratio of a street Canyon influences solar access and radiation, thermal conditions as well as dispersion of air*

*pollutants (Oke, 1988). Solar access in a street canyon increases with a smaller h/w ratio” (Ketterer e Matzarakis, p.84, 2014).*

Os critérios escolhidos têm a principal função de dizer se há muita insidência solar recaindo nas calçadas e edifícios daquela rua. Já a análise do padrão solar define o número de horas dirigidas as fachadas dos edifícios durante as quatro datas de transição climática do ano: o equinócio de outono, equinócio de primavera, solstício de verão e solstício de inverno. Este estudo já foi apresentado no trabalho com a análise das cartas solar.

Tendo então o objetivo de: criar um sombreamento adequado às ruas selecionadas, ficam estabelecidas três perguntas a serem respondidas em favor de facilitar a construção do produto. As perguntas são: é necessário sombrear? Se sim, então como (apenas de um lado da via ou dos dois)? E por fim, o quanto é devido sombrear (qual o número de árvores necessário para tal)?

Inicialmente se estabelece que o planeador, ou quem fizer uso deste guia, precisa conhecer a área avaliada. É necessário que visite o local e ande pela rua com um olhar crítico sobre as condições climáticas vivenciadas. O uso do Google Earth Pro® pode ser conveniente para observação de árvores e vegetação local, mas não substitui o estudo presencial.

É necessário sombrear? Tentar responder essa pergunta é a parte preliminar do guia. Para isto é necessário, primeiramente, verifica a existência de árvores no local. Caso haja, elas são capazes de criar um ambiente confortável no verão ou é necessária uma estrutura verde complementar? Caso não seja então deve-se seguir para a próxima rua. Caso seja necessária mais vegetação então deve-se continuar a estudar a rua.



Figura 33 - Fluxograma de Processo do Guia, Parte 1. Fonte: Autoria Própria.

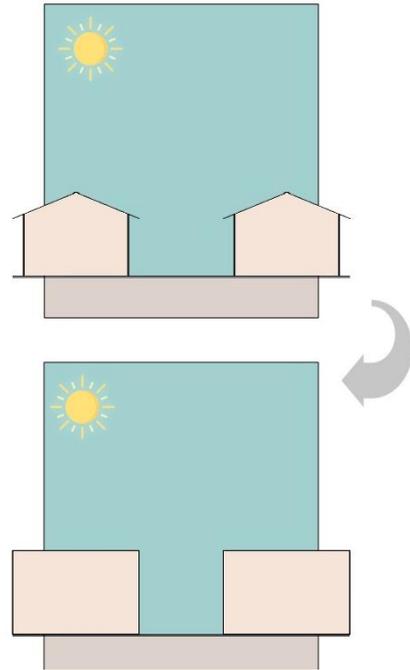
Em seguida é feito o estudo da geometria do Canyon Urbano pelo Aspect Ratio que é definido com a razão entre a Altura Média dos Edifício (H) e a Largura (W) da rua (Matzarakis, Rutz e Mayer, 2007)(Ketterer e Matzarakis, 2014). É necessário aqui um exercício de imaginação e simplificação da geometria da rua. Quanto à isso pode-se assumir, que a altura de cada pavimento edificado é de aproximadamente 4 metros e que as ruas, apesar de apresentarem alguma variação, costumam ter larguras que seguem padrões estabelecidos por regulamentação para o trânsito de veículos. Logo, pode-se gerar uma tabela que exprime, de forma aproximada, o aspect ratio nas ruas do Porto.

H/W		Aspect Ratio									
Altura (H)	24,00	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,71	1,20	0,96	0,80	
	20,00	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,43	1,00	0,80	0,67	
	16,00	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	0,80	0,64	0,53	
	12,00	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,86	0,60	0,48	0,40	
	8,00	2,00	1,33	1,00	0,80	0,67	0,57	0,40	0,32	0,27	
	4,00	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,20	0,16	0,13	
H/W		4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	20,00	25,00	30,00	
		Largura (W)									

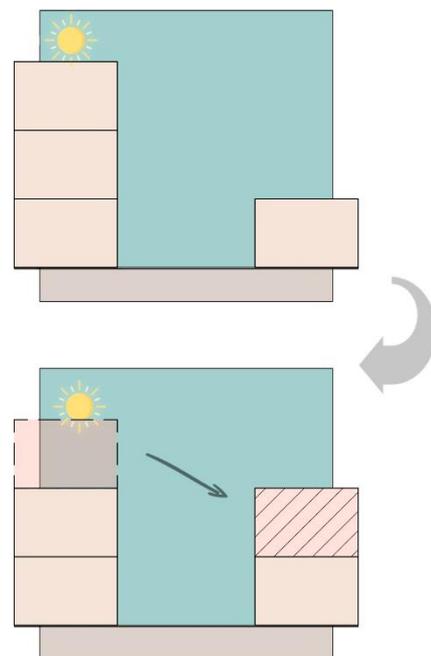
Tabela 6 - Aspect Ratios mais comuns no Porto. Ver anexos.

O Aspect Ratio (AR) está relacionado à “abertura” da rua ao sol. Ele aponta se haverá muita ou pouca incidência direta de radiação (Oke, 1982). Por exemplo: quanto maior o valor numérico maior será o aprisionamento de radiação no interior do canyon e mais lentamente será o resfriamento, logo ruas estreitas com edifícios muito altos serão frescas durante o dia e quentes durante a noite. A extensão dos valores do fator H/W têm significados diferentes em seus intervalos. Quando  $AR \leq 1$  trata-se de uma rua pouco profunda, podendo ser muito larga ou ter edifícios baixos, que permite uma alta incidência solar direta sobre a calçada e as paredes do edificados. Provavelmente, trata-se de uma rua muito desconfortável no verão. Já quando se tem um  $AR \geq 2$  se refere à uma rua muito profunda que permite pouca luz direta, mas que haverá muita difração de radiação (Morakinyo *et al.*, 2017). Logo, podemos resumir desta forma:

- $H/W < 0,5$  os prédios e casas não conseguem sombrear a calçada para os pedestres.
- $H/W \cong 1$  as fachadas das edificações e as calçadas podem estar sombreadas pelo construído.
- $H/W \geq 2$  Canyon muito profundo, com dias frescos e noites quentes.



**Figura 35 - Representação da simplificação da geometria da rua para o cálculo do Aspect Ratio. Fonte: Autoria própria.**



**Figura 34 – Representação de Simplificação Geométrica de Ruas Assimétricas. Fonte: Autoria Própria.**

Oke, (1988) faz um apontamento importante, o autor diz que quando há uma relação de  $AR > 0,5$  não há interação entre os ventos internos ao canyon e aqueles que passam por cima ou sua volta. Sendo algo bom durante o inverno, mas ruim durante o verão. À vista dos diferentes significados que se pode inferir desse valor numérico é criado uma legenda à tabela, que além de explicar as possíveis interpretações também atribui cores que irão relacionar este aos outros fatores, para auxiliar na utilização do guia.

Aspect Ratio											
H/W			Largura (W) *em metros								
			4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	15,00	20,00	25,00	30,00
Altura (H) *em metros	1 andar	4	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,27	0,20	0,16	0,13
	2 andares	8	2,00	1,33	1,00	0,80	0,67	0,53	0,40	0,32	0,27
	3 andares	12	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,80	0,60	0,48	0,40
	4 andares	16	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,07	0,80	0,64	0,53
	5 andares	20	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,33	1,00	0,80	0,67
	6 andares	24	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,60	1,20	0,96	0,80
	7 andares	28	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	1,87	1,40	1,12	0,93
	8 andares	32	8,00	5,33	4,00	3,20	2,67	2,13	1,60	1,28	1,07
*H é a média de alturas dos edifícios. W é a rua medida de parede à parede.											
Legenda											
Proporção H/W		Indicação		Explicação (ao nível da rua)							
$H/W \leq 0,5$		Muita exposição ao sol na calçada		Os edifícios não conseguem sombrear as calçadas e parte da rua.							
$0,5 < H/W \leq 1$		Exposição Intermediária na calçada		Calçadas e fachadas podem estar sombreadas.							
$1 < H/W \leq 2$		Baixa exposição na calçada.		Durante boa parte do dia haverá sombra nas calçadas e parte das fachadas. O edificado apresenta bom abrigo da ventilação.							
$2 > H/W$		Nenhuma exposição na calçada.		Apenas parte das fachadas recebem sol direto. Durante o dia é fresco durante o verão e quente durante a noite.							

**Tabela 7 - Estudo do Aspect Ratio em conjunto com seu significado.**

Essa primeira parte indica a exposição da rua ao sol, como dito anteriormente. Contudo, por si não é uma análise completa precisando de informações complementares. A fim de confirmar a exposição ao sol e a necessidade de sombras é calculado, com as aproximações de altura no edificado do Porto, o comprimento da sombra projetada nas ruas. Para essa conta usamos os ângulos do sol nos diferentes momentos do ano.

Dia Estacional do Ano	Ângulo Zênite $\theta$	Sen $\theta$	Cos $\theta$	Tg $\theta$
Solstício de Verão	72°	0,95	0,3	3,08
Equinócio de Primavera / Outono	49°	0,75	0,65	1,15
Solstício de Inverno	25°	0,42	0,9	0,47

**Tabela 8 - Ângulos Zênite do Porto.**

Com o conhecimento da altura do sol quando está no seu ângulo zênite pode-se determinar a sombra projetada na rua por trigonometria. A imagem exemplifica como é feito o cálculo da projeção da sombra  $S_h$ , pela altura  $H$  do prédio. Logo, temos por exemplo uma função da altura do edifício pela tangente do ângulo.

$$\text{Ex.: } \text{Tg } 72^\circ = H / S_h$$

Ao progredir com os cálculos para as alturas usadas no fator AR, se tem:

Dia Estacional do Ano		Solstício de Verão	Equinócio de Prim. / Out.	Solstício de Inverno	
Ângulo Zênite $\theta$		Ângulo $\theta$ 72°	Ângulo $\theta$ 49°	Ângulo $\theta$ 25°	
Tg $\theta$		3,08	1,15	0,47	
		Comprimento da Sombra Projetada ( $S_h$ )			
Altura (H) *em metros	1 andar	4	1,30	3,48	8,51
	2 andares	8	2,60	6,96	17,02
	3 andares	12	3,90	10,43	25,53
	4 andares	16	5,20	13,91	34,04
	5 andares	20	6,49	17,39	42,55
	6 andares	24	7,79	20,87	51,06
	7 andares	28	9,09	24,35	59,57
	8 andares	32	10,39	27,83	68,09
Legenda:	Maior probabilidade da projeção da sombra ser maior que a largura da via.				
*A posição do sol no Porto é inclinada para o sul, logo a sombra é projetada no sentido norte durante o meio-dia solar. Durante a manhã, é norte / oeste. Durante a tarde é projetada nos sentidos norte / leste.					

**Tabela 9 - Projeção das Sombras no Porto pela altura dos edifícios.**

A tabela acima apenas demonstra a probabilidade de a rua já estar sombreada. Isto aponta principalmente se a rua recebe ainda menos sol nos dias de inverno. Indicando a necessidade de árvores que mudam com a estação. Para se ter certeza o ideal é comparar o comprimento da sombra com a largura da rua analisada.

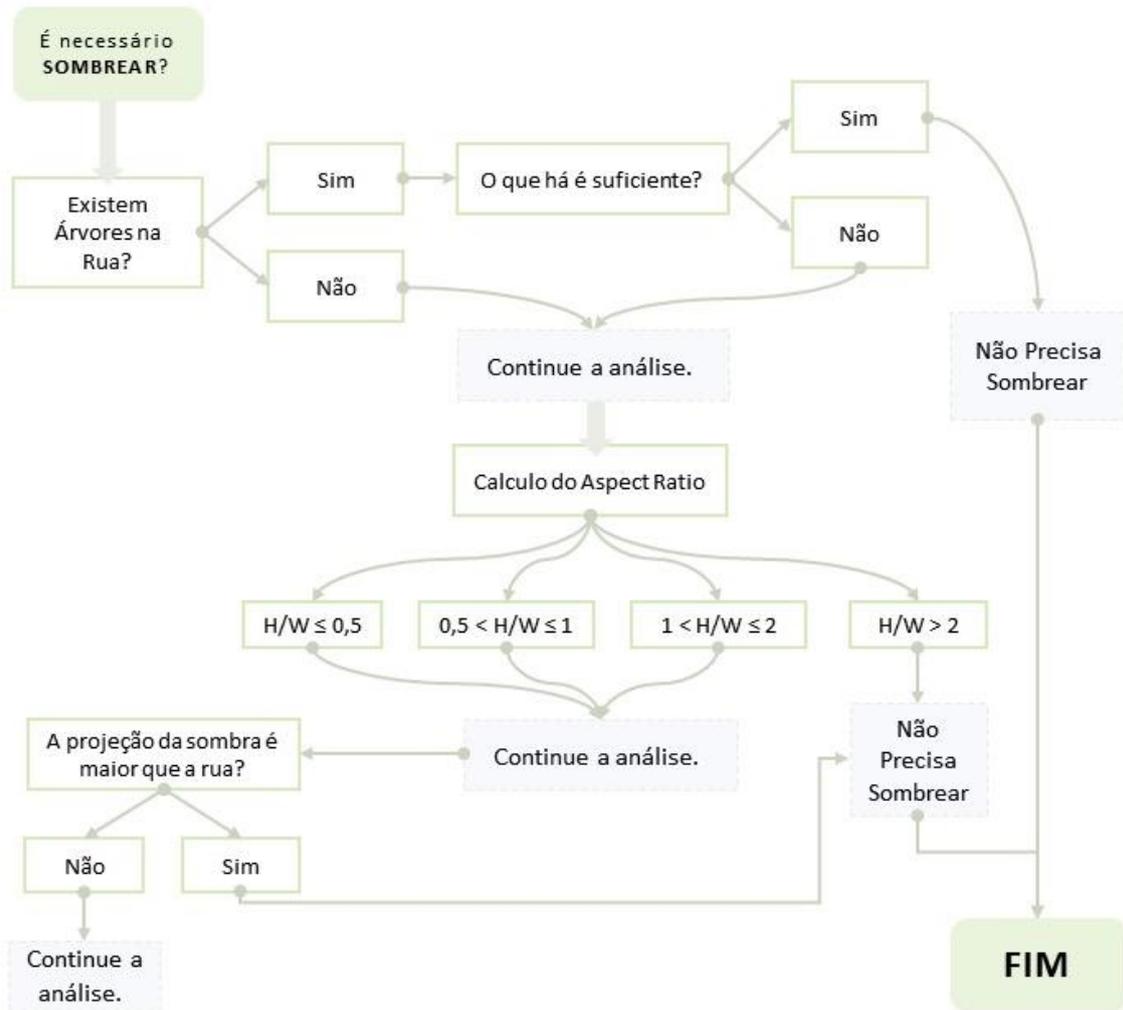


Figura 36 - Fluxograma do Processo do Guia, parte 2.

A segunda etapa do guia faz referência a qual lado arborizar. Já é possível saber se se trata de uma rua com muita ou pouca “abertura” ao sol, mas é necessário saber, de acordo com o percurso solar, se há muita incidência de sol ou não nessa rua. Como colocam Rantzoudi e Georgi, (p. 1082, 2017) isto é importante pois existe uma parte das ruas que estará exposta todos os dias do verão e essa é aquela área que deve ser

Turno	Horas de Sol No Verão ( duração do dia 15h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			7:30h		6h			
Vespertino				7:30h				6h
Misto - início da manhã e fim da tarde	7h					9h	9h	
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		8h						
Turno	Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			4:30h		1:30h			
Vespertino	Não recebe luz direta durante o inverno.			4:30h				1:30h
Misto - início da manhã e fim da tarde		9h						
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						7:30h	7:30h	
Turno	Horas de Sol Nos Equinócios (duração do dia 12h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			5:30h		4h		8h	
Vespertino	Não recebe luz direta durante a primavera e o outono.			6:30h				4h
Misto - início da manhã e fim da tarde / dia todo		12h				8h		
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia								

**Tabela 10 - Contabilização das horas de sol nas fachadas do Porto nas diferentes épocas do ano.**

**Estudo feito com as máscaras solares desenvolvidas anteriormente no trabalho.**

sombreada por árvores de folhas largas e copas densas. Isso pode ser visto através do estudo das fachadas e foi feito anteriormente neste trabalho.

Pode-se inferir pelo estudo desta tabela que:

- Quanto a orientação geográfica Leste/Oeste da rua as faces das edificações que são voltadas para sul irão receber sol diretamente durante o ano todo. Já aquelas que ficam frente ao Norte apanham sol apenas no verão durante as primeiras e últimas horas do dia, nas demais estações não há insolação direta. Logo, quando se trata de uma via Leste/Oeste recomenda-se sombrear apenas a fachada sul.
- Ao se observar o caminho solar para as ruas que apresentam a orientação geográfica Norte/Sul as horas de sol são equilibradas durante o dia. No sentido que, as fachadas e suas respectivas calçadas que estão voltadas ao Leste recebem sol diretamente ao longo da manhã e as voltadas à Oeste o recebem durante à tarde. Portanto aconselha-se uma arborização mista, ou caso haja de escolher, deve-se sombrear o edificado voltado ao oeste pois está a tomar sol nos momentos mais quentes do dia.
- Tratando-se das ruas Nordeste/Sudoeste a fachada sudeste quando comparada à noroeste recebe o dobro de horas de sol durante o verão, contudo é o sol durante a manhã até o início da tarde. A fachada noroeste apanha sol sempre ao fim da tarde. Assim sendo, é recomendado a arborização da fachada sudeste,

podendo haver uma arborização mista se se tratar de um canyon muito aberto com  $AR \leq 0,5$ .

- Por fim, as ruas que possuem orientação geográfica Sudeste/Noroeste e fachadas internas voltadas para sudoeste e nordeste. Neste caso as fachadas sudoestes começam a apanhar o sol em algum momento da manhã, a depender da estação do ano, e continuam até o sol se pôr, conseqüentemente são essas que deve se sombrear. Todavia, mantem-se a recomendação de sombrear ambos os lados caso se trate de uma rua com  $AR \leq 0,5$ .

Orientação da Rua	Fachadas Com maior Incidência no Verão	Prioridade de Arborização
Norte / Sul	Leste pela manhã/ Oeste pela tarde	Arborizar ambos os lados para ruas com $AR < 0,5$ arborizar em faixas alinhadas. Se $AR > 0,5$ pode ser uma arborização intercalada. Caso não seja possível plantar árvores em ambos os lados deve-se priorizar o lado Oeste.
Leste / Oeste	Sul - apanha sol durante o meio da manhã ao meio da tarde	Apenas a Sul, nunca sombrear a fachada Norte.
Nordeste / Sudoeste	Sudeste - apanha sol do nascer ao começo da tarde. Noroeste apanha a tarde.	Se, $AR \leq 0,5$ então arborização de ambos os lados. Se, $AR > 0,5$ sombrear a fachada sudeste.
Noroeste / Sudeste	Nordeste - apanha sol durante a manhã. Sudoeste - apanha sol do meio dia ao por do sol.	Se, $AR \leq 0,5$ então arborização de ambos os lados. Se, $AR > 0,5$ sombrear a fachada sudoeste.
*Priorizar áreas que recebem sol durante o meio dia e o período da tarde.		

**Tabela 11 - Resumo das considerações dos estudos das fachadas.**

Finalmente a terceira, e última etapa, do guia sinaliza o quanto deve ser arborizado. Para isto primeiro é necessário calcular a porcentagem de horas de sol que cada fachada recebe ao longo do dia com base na duração do dia em análise.

Turno	Horas de Sol No Verão ( duração do dia 15h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			50%		40%			
Vespertino				50%				40%
Misto - inicio da manhã e fim da tarde	46%					60%	60%	
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		54%						
Turno	Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			50%		14%			
Vespertino	Não recebe luz direta durante o inverno.			50%				14%
Misto - inicio da manhã e fim da tarde		100%						
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						86%	86%	

**Tabela 12 - Horas de sol em Porcentagens.**

Esse valor será usado para determinar, em conjunto com o AR, para determinar qual é a área, em porcentagem, necessária para se arborizar. É pressuposto que onde há mais horas de sol haverá, também, maior desconforto térmico no verão. Então, se desenvolve uma relação diretamente proporcional onde, quanto mais horas de sol maior será a necessidade de sombra.

Durante a revisão sistemática foram levantados trabalhos que indicam o desempenho das porcentagens de massa verde que podem reduzir as horas de desconforto térmico no verão. Estudos conduzidos em Melbourne na Austrália durante um evento de calor extremo sugerem que 10% do aumento na cobertura vegetal poderia reduzir as temperaturas diárias em até 1°C (Coutts e Harris, 2012; Norton *et al.*, 2018). Outros experimentos conduzidos em Florença demonstram que um acréscimo de 10% na área verde pode evitar 30 horas de desconforto térmico no verão em um raio de 250 metros da vegetação (Petralli *et al.*, 2015). Já, Edward Ng *et al.*, (p.266, 2012) encontrou, para Hong Kong, que uma cobertura de 16% já contribuiria para a redução das temperaturas máximas na rua. Este, também sugere que 30% demonstra uma eficácia adequada para locais densamente urbanizados e que 50% é um valor máximo para arborizar e manter bons espaços de circulação na via.

O aspect ratio (AR) também se relaciona com a capacidade térmica das árvores. Para Shashua-Bar *et al.*, (p. 56, 2010) os efeitos térmicos das árvores são diretamente relacionados com a geometria da rua e que para qualquer nível de cobertura arbórea não se pode considerar que haverá um efeito constante. Os autores também observam que quanto maior o fator H/W (canyons profundos) menor será o efeito “refrescante” da vegetação. Nesses casos é interessante propor um projeto paisagístico que faça uso de plantas como palmeiras que não oferecem muita sombra, mas são suficientes para o meio dia. Já na situação contrária,  $H/W \leq 0,5$ , é recomendado o uso de árvores de copa densa e folhas largas com pequenos intervalos entre elas.

Logo, se considerar estas informações é possível propor uma relação entre o AR, as horas de sol e a indicação de área a arborizar. Ver tabela 13.

Solstício de Verão			
Porcentagem (%) de horas de sol	Aspect Ratio (H/W; AR)		
	$H/W \leq 0,5$	$0,5 < H/W \leq 1$	$1 < H/W \leq 2$
0 - 29%	N. Arborizar	N. Arborizar	N. Arborizar
30 - 49%	20% da área da rua	10% da área da rua	10% da área da rua
50 - 74%	30% da área da rua	20% da área da rua	10% da área da rua
75 - 100%	50% da área da rua	30% da área da rua	20% da área da rua
Solstício de Inverno			
Porcentagem (%) de horas de sol	Aspect Ratio (H/W; AR)		
	$H/W \leq 0,5$	$0,5 < H/W \leq 1$	$1 < H/W \leq 2$
0 - 29%	N. Arborizar	N. Arborizar	N. Arborizar
30 - 49%	árvores caducas	árvores caducas	árvores caducas
50 - 74%	Manter a arborização	árvores caducas	árvores caducas
75 - 100%	Manter a arborização	Manter a arborização	árvores caducas

**Tabela 13 - Indicações de Área a Arborizar e Tipo de Árvore**

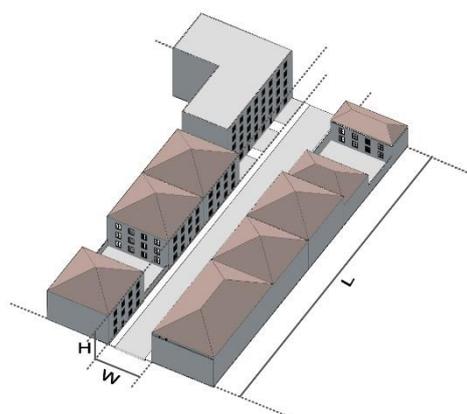
As percentagens de área a arborizar foram, então, escolhidas com base nos trabalhos publicados e pelo que se percebeu das ruas da cidade do Porto. Por se tratar de uma cidade com uma vasta história de ocupação é comum encontrar ruas com calçadas muito estreitas e que o pouco espaço disponível é disputado entre pessoas e automóveis. Dessa forma se optou por propor percentagens mais baixas. A percentagem de 10% foi indicada para as ruas que não apresentam grande desconforto ao longo do ano, sendo a estação crítica apenas no verão. Já 20% é indicado aquelas ruas que recebem muitas horas de sol direto e que podem demonstrar um desconforto razoável. A medida de 30% é para as ruas que possuem grande abertura para o sol e muitas horas de exposição, logo há um grande risco de desconforto térmico. Por fim, 50% é recomendado para casos críticos como avenidas que possuem muitas faixas. É necessário que haja um bom senso ao se aplicar este guia pois algumas etapas dependem da interpretação do espaço pelo projetista.

O sistema de cores ajuda a relacionar os resultados encontrados. Em uma escala de azul para, “não é necessário arborizar”, para vermelho que indica “é muito importante a arborização”. Além disto, as cores são associadas a informações sobre o tipo de arborização. Ver tabela 14.

Indicação de Árvores	
	- Sem árvores, mas pode-se propor jardins
	- Árvores menos densas, distanciadas e intercaladas com jardins
	- Árvores menos densas mas com pouco distanciamento.
	- Árvores densas com pouco distanciamento.
	- Árvores densas com sobreposição de alturas.

**Tabela 14 - Indicação de Composição da Arborização.**

Por fim é necessário transformar o valor da Porcentagem da área a arborizar por medidas que podem ser usadas em projetos paisagísticos. Para este fim existem alguns conceitos de design das vias urbanas que precisam ser introduzidos. As letras “H” e “W” dizem respeito à medida da altura média das edificações e a largura da rua, já a letra “L” representa o comprimento da rua (ver imagem 35).



**Figura 37 - Representação das medidas da Rua.**

Quanto ao posicionamento das árvores na calçada Russ, (2009) atesta que a distância mínima entre uma árvore, plantada na extremidade externa da calçada, e a parede externa de um prédio deve ser entre  $\frac{1}{3}$  ou  $\frac{1}{4}$  da altura da árvore ( $H_{arb.}$ ) adulta. Contudo, a norma portuguesa estabelece que deve haver um corredor livre de obstruções de no mínimo 1,2m nas calçadas (Cossio *et al.*, 2012). Logo, o mínimo espaço ideal em uma calçada é 1,5 m entre a árvore e a parede ou muro que limitam a calçada. Quanto à altura, é também determinado que haja uma altura mínima livre de 2,5m entre os galhos mais baixos das árvores e o chão (Russ, 2009)(ver imagem 36).

Então, sabendo-se a área a arborizar ( $A_{bor.}$ ) pode-se dizer que essa área é equivalente à uma porcentagem X da Área da Rua ( $A_{rua}$ ) e que a área da rua é igual ao

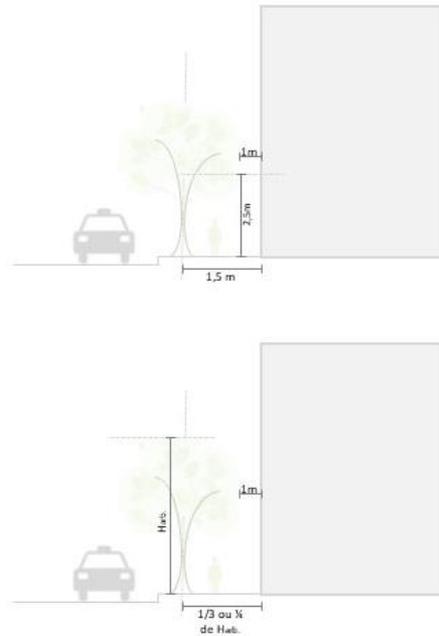
comprimento L multiplicado pela largura W. Portanto, têm-se o seguinte:  $A_{bor.} = X\% \times A_{rua}$ , e que  $A_{rua} = L \times W$ , pois o comprimento L da Rua é uma constante à faixa de árvores alinhadas na calçada. Pode-se presumir, portanto, que existe uma largura  $W_{arb}$  que corresponde à largura da faixa de arborização.

Isso permite uma segunda equação a determinar que:  $A_{bor.} = W_{arb} \times L$ , assim é possível calcular a largura da faixa de arborização. Essa medida é equivalente ao diâmetro das árvores, uma vez que elas serão plantadas em linhas. Desta forma, se

simplificar a forma da copa de uma árvore por um círculo pode-se perceber o tamanho mínimo necessário de uma árvore para preencher essa faixa da rua.

Deste modo deve-se usar a fórmula  $A_{rua} = L \times W$  para descobrir a área da rua e então usar a segunda fórmula  $A_{bor.} = X\% \times A_{rua}$  para calcular a área a arborizar. Com este valor definido precisa-se, então, empregar  $A_{bor.} = W_{arb} \times L$  para poder ter o valor de  $W_{arb}$  e descobrir o tamanho das copas das árvores. Nota-se que as fórmulas acima permitem calcular o tamanho mínimo de uma árvore para o local e sem espaçamentos. Caso, se queira colocar as árvores a uma distância entre elas então, dentro do que é possível pelas normas de acessibilidade, pode-se sugerir uma quantidade menor de plantas, mas que são de tamanho maior.

A fim de obter mais informações sobre as características físicas das árvores a plantar pode-se usar a relação entre o distanciamento das árvores para o edificado, citada anteriormente. Sendo, essa distância (D) igual  $\frac{1}{3}$  Harb. ou  $\frac{1}{4}$  Harb (Russ, 2009). Assim é possível obter uma aproximação da altura da árvore quando madura. Desde que essa distância não seja inferior à 1,5m e que a altura dos galhos mais baixos não seja, também inferior, a 2,5m.



**Figura 38 - Relação de Russ (2009) ilustrada.**

**Fonte: Autorial Própria.**

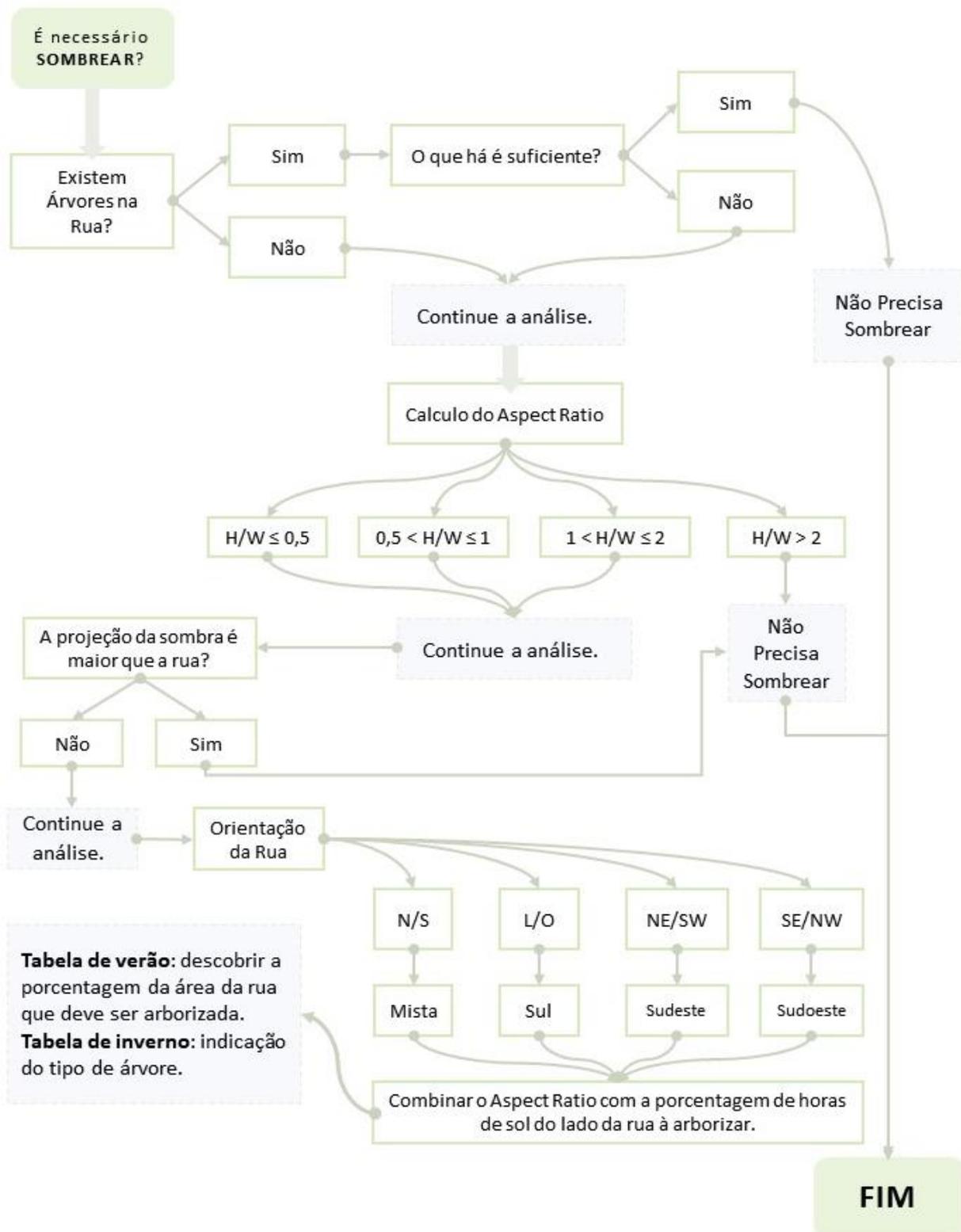


Figura 39 - Fluxograma do Guia completo.

#### 4.1. Aplicação do Guia:

Como definido anteriormente o Guia será aplicado em duas vias do Porto como teste. São duas vias que se cruzam, a primeira é a Rua de São Brás e a parte analisada será a que fica entre a Rua da Constituição e a Rua de Damião Goes. A segunda é a Rua da Constituição, a seção escolhida fica entre o cruzamento com a Rua de São Brás e o cruzamento com a Rua Faria Guimarães.

A Rua de São Brás fica orientada no sentido Norte/Sul. Trata-se de uma via com duas faixas de sentido único, para o centro histórico, e com calçadas de aproximadamente 2 metros de largura. No total a medida  $W = 11$  m, o comprimento  $L$  é de 100 m. É uma rua onde o edificado é em sua maioria de casas de 2 andares, mas com exceção de um prédio de 6 andares e outro de 5. Opta-se por usar a altura de dois pavimentos, logo 8 m de altura (H). Existem árvores dentro dos terrenos particulares, mas não na calçada na rua.

Ao calcular o Aspect Ratio da Damião Góes temos:

$$AR = \frac{8}{11} \rightarrow AR = 0,72$$

Ao se verificar a primeira tabela, que é referente ao AR:

H/W		Aspect Ratio									
		Largura (W) *em metros									
		4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	15,00	20,00	25,00	30,00	
Altura (H) *em metros	1 andar	4	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,27	0,20	0,16	0,13
	2 andares	8	2,00	1,33	1,00	0,80	0,67	0,53	0,40	0,32	0,27
	3 andares	12	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,80	0,60	0,48	0,40
	4 andares	16	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,07	0,80	0,64	0,53
	5 andares	20	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,33	1,00	0,80	0,67
	6 andares	24	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,60	1,20	0,96	0,80
	7 andares	28	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	1,87	1,40	1,12	0,93
	8 andares	32	8,00	5,33	4,00	3,20	2,67	2,13	1,60	1,28	1,07
*H é a média de alturas dos edifícios. W é a rua medida de parede à parede.											
Legenda											
Proporção H/W		Indicação				Explicação (ao nível da rua)					
$H/W \leq 0,5$		Muita exposição ao sol na calçada				Os edifícios não conseguem sombrear as calçadas e parte da rua.					
$0,5 < H/W \leq 1$		Exposição Intermediária na calçada				Calçadas e fachadas podem estar sombreadas.					
$1 < H/W \leq 2$		Baixa exposição na calçada.				Durante boa parte do dia haverá sombra nas calçadas e parte das fachadas. O edificado apresenta bom abrigo da ventilação.					
$2 > H/W$		Nenhuma exposição na calçada.				Apenas parte das fachadas recebem sol direto. Durante o dia é fresco durante o verão e quente durante a noite.					

O valor encontrado para o AR se refere a uma situação de exposição solar intermediária na calçada. Prosseguindo para a verificação da capacidade do edificado de sombrear a si mesmo e a rua.

Dia Estacional do Ano			Solstício de Verão	Equinócio de Prim. / Out.	Solstício de Inverno
Ângulo Zênite $\theta$			Ângulo $\theta$ 72°	Ângulo $\theta$ 49°	Ângulo $\theta$ 25°
Tg $\theta$			3,08	1,15	0,47
Comprimento da Sombra Projetada (Sh)					
Altura (H) * em metros	1 andar	4	1,30	3,48	8,51
	2 andares	8	2,60	6,96	17,02
	3 andares	12	3,90	10,43	25,53
	4 andares	16	5,20	13,91	34,04
	5 andares	20	6,49	17,39	42,55
	6 andares	24	7,79	20,87	51,06
	7 andares	28	9,09	24,35	59,57
	8 andares	32	10,39	27,83	68,09
Legenda:	Maior probabilidade da projeção da sombra ser maior que a largura da via.				
*A posição do sol no Porto é inclinada para o sul, logo a sombra é projetada no sentido norte durante o meio-dia solar. Durante a manhã, é norte / oeste. Durante a tarde é projetada nos sentidos norte / leste.					

Durante o inverno a rua estará sombreada nas horas mais quentes do dia. Aqui deve-se lembrar que existem 2 edifícios que são mais altos, mas ambos estão voltados a Leste, por isso sua sombra se projetaria ao fim do dia durante a tarde. A rua, de acordo com as análises, deve sim ser arborizada, contudo, ainda não há informações suficientes para determinar se deve-se optar por árvores que perdem as folhas ou não.

Turno	Horas de Sol No Verão ( duração do dia 15h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			7:30h		6h			
Vespertino				7:30h				6h
Misto - início da manhã e fim da tarde	7h					9h	9h	
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		8h						
Turno	Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			4:30h		1:30h			
Vespertino	Não recebe luz direta durante o inverno.			4:30h				1:30h
Misto - início da manhã e fim da tarde		9h						
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						7:30h	7:30h	
Turno	Horas de Sol Nos Equinócios (duração do dia 12h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			5:30h		4h		8h	
Vespertino	Não recebe luz direta durante a primavera e o outono.			6:30h				4h
Misto - início da manhã e fim da tarde / dia todo		12h				8h		
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia								

Orientação da Rua	Fachadas Com maior Incidência no Verão	Prioridade de Arborização
Norte / Sul	Leste pela manhã/ Oeste pela tarde	Arborizar ambos os lados para ruas com AR < 0,5 arborizar em faixas alinhadas. Se AR > 0,5 pode ser uma arborização intercalada. Caso não seja possível plantar árvores em ambos os lados deve-se priorizar o lado Oeste.
Leste / Oeste	Sul - apanha sol durante o meio da manhã ao meio da tarde	Apenas a Sul, nunca sombrear a fachada Norte.
Nordeste / Sudoeste	Sudeste - apanha sol do nascer ao começo da tarde. Noroeste apanha a tarde.	Se, AR ≤ 0,5 então arborização de ambos os lados. Se, AR > 0,5 sombrear a fachada sudeste.
Noroeste / Sudeste	Nordeste - apanha sol durante a manhã. Sudoeste - apanha sol do meio dia ao por do sol.	Se, AR ≤ 0,5 então arborização de ambos os lados. Se, AR > 0,5 sombrear a fachada sudoeste.

\*Priorizar áreas que recebem sol durante o meio dia e o período da tarde.

As ruas de orientação norte e sul são equilibradas quanto à quantidade de sol que a fachadas recebem. Os dois edifícios mais altos estão na fachada voltada ao leste, logo eles irão sombrear parte do lado orientado à oeste durante a tarde. Contudo, pela manhã eles recebem muito sol, nesse caso é realmente interessante arborizar de forma mista a rua, buscando uma arborização intercalada pela dimensão da rua.

Turno	Horas de Sol No Verão ( duração do dia 15h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			50%	50%	40%			40%
Vespertino								
Misto - inicio da manhã e fim da tarde	46%					60%	60%	
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		54%						
Turno	Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			50%	50%	14%			14%
Vespertino	Não recebe luz direta durante o inverno.							
Misto - inicio da manhã e fim da tarde	100%							
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						86%	86%	

Solstício de Verão			
Porcentagem (%) de horas de sol	Aspect Ratio (H/W; AR)		
	H/W ≤ 0,5	0,5 < H/W ≤ 1	1 < H/W ≤ 2
0 - 29%	N. Arborizar	N. Arborizar	N. Arborizar
30 - 49%	20% da área da rua	10% da área da rua	10% da área da rua
50 - 74%	30% da área da rua	20% da área da rua	10% da área da rua
75 - 100%	50% da área da rua	30% da área da rua	20% da área da rua
Solstício de Inverno			
Porcentagem (%) de horas de sol	Aspect Ratio (H/W; AR)		
	H/W ≤ 0,5	0,5 < H/W ≤ 1	1 < H/W ≤ 2
0 - 29%	N. Arborizar	N. Arborizar	N. Arborizar
30 - 49%	árvores caducas	árvores caducas	árvores caducas
50 - 74%	Manter a arborização	árvores caducas	árvores caducas
75 - 100%	Manter a arborização	Manter a arborização	árvores caducas

Indicação de Árvores	
	- Sem árvores, mas pode-se propor jardins
	- Árvores menos densas, distanciadas e intercaladas com jardins
	- Árvores menos densas mas com pouco distanciamento.
	- Árvores densas com pouco distanciamento.
	- Árvores densas com sobreposição de alturas.

De acordo com os estudos complementares ficou definida uma arborização de 20% da área da rua e com árvores caducas. Além disso deve-se optar por árvores menos densas e com pouco distanciamento entre elas. Então, para saber o tamanho dessas árvores podemos proceder para os cálculos:

$$A_{\text{rua}} = L \times W \rightarrow A_{\text{rua}} = 100 \times 11 \rightarrow A_{\text{rua}} = 1100 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{bor}} = 20\% \times A_{\text{rua}} \rightarrow A_{\text{bor}} = 0,2 \times 1100 \rightarrow A_{\text{bor}} = 220 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{bor}} = W_{\text{arb}} \times L \rightarrow 220 = W_{\text{arb}} \times 100 \rightarrow W_{\text{arb}} = 2,2 \text{ m}$$

Referindo-se ao diâmetro encontrado, para a copa de 2,2 m, percebe-se que é uma árvore que se adapta à geometria da rua, visto que com o espaço que se encontra atualmente na rua é possível plantar essa árvore. É sugerido que haja espaçamento entre as árvores, contudo, como se trata de uma rua com 7 m de largura entre as calçadas e as árvores devem ter cerca de 2,2 m de diâmetro, conclui-se que pela própria disposição das plantas elas já estarão distantes o suficiente. Dessa forma calcula-se o número de árvores como se não houvesse separação entre elas. Deve-se dividir 100 m por 2,2 m resultando em aproximadamente 45 árvores. Serão 23 para um lado e 22 para o outro.

Por fim, como foi utilizada a distância (D) mínima de 1,5m entre as árvores e os muros ao usarmos a relação  $D = \frac{1}{3} H_{\text{arb}}$  ou  $D = \frac{1}{4} H_{\text{arb}}$ . Nesse caso a altura dessas árvores pode ser de 4,5 m ou 6 m.

A Rua da Constituição é muito importante para o deslocamento das pessoas no Porto, seja a pé, de automóvel particular, autocarro ou mais recentemente têm-se incentivado o uso de trotinetes elétricas ou bicicletas. É uma via mais larga com espaço para três faixas de deslocamento ou duas faixas mais largas e uma de estacionamento. Contudo, um problema recorrente nesta via é o estacionamento de forma irregular dos

carros que atrapalha a todos que a utilizam. Isto posto, seria interessante junto à plantação de árvores criar uma estrutura de estacionamentos e espaço para os transportes suaves.

É uma rua de orientação Leste/Oeste, com o deslocamento apenas no sentido oeste, ou seja, no sentido Foz do Douro. O comprimento desse trecho da via é de 182 m e a média visual do edificado é de 5 andares, isto é, 20 metros de altura. Entretanto, é ressaltado que existe um campo de treinamento de futebol onde a altura é muito baixa, por isso cabe a observação. A largura da rua é de aproximadamente 15 m, sendo 2,5 m para cada calçada e 10 para o trânsito. Existe um pequeno jardim em uma das extremidades da via.

Ao se calcular o Aspect Ratio:

$$AR = \frac{20}{15} \rightarrow AR = 1,33$$

Aspect Ratio											
H/W		Largura (W) *em metros									
		4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	15,00	20,00	25,00	30,00	
Altura (H) *em metros	1 andar	4	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,27	0,20	0,16	0,13
	2 andares	8	2,00	1,33	1,00	0,80	0,67	0,53	0,40	0,32	0,27
	3 andares	12	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,80	0,60	0,48	0,40
	4 andares	16	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,07	0,80	0,64	0,53
	5 andares	20	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,33	1,00	0,80	0,67
	6 andares	24	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,60	1,20	0,96	0,80
	7 andares	28	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	1,87	1,40	1,12	0,93
	8 andares	32	8,00	5,33	4,00	3,20	2,67	2,13	1,60	1,28	1,07
*H é a média de alturas dos edifícios. W é a rua medida de parede à parede.											
Legenda											
Proporção H/W		Indicação		Explicação (ao nível da rua)							
$H/W \leq 0,5$		Muita exposição ao sol na calçada		Os edifícios não conseguem sombrear as calçadas e parte da rua.							
$0,5 < H/W \leq 1$		Exposição Intermediária na calçada		Calçadas e fachadas podem estar sombreadas.							
$1 < H/W \leq 2$		Baixa exposição na calçada.		Durante boa parte do dia haverá sombra nas calçadas e parte das fachadas. O edifício apresenta bom abrigo da ventilação.							
$2 > H/W$		Nenhuma exposição na calçada.		Apenas parte das fachadas recebem sol direto. Durante o dia é fresco durante o verão e quente durante a noite.							

Para o valor encontrado de 1,33, com as dimensões de H = 20m e W = 15m, encontra-se uma situação de baixa abertura ao sol. Contudo, ainda devem ser continuadas as análises pois pode ser que haja a necessidade da arborização.

Dia Estacional do Ano		Solstício de Verão	Equinócio de Prim. / Out.	Solstício de Inverno	
Ângulo Zênite $\theta$		Ângulo $\theta$ 72°	Ângulo $\theta$ 49°	Ângulo $\theta$ 25°	
Tg $\theta$		3,08	1,15	0,47	
Comprimento da Sombra Projetada (Sh)					
Altura (H) em metros	1 andar	4	1,30	3,48	8,51
	2 andares	8	2,60	6,96	17,02
	3 andares	12	3,90	10,43	25,53
	4 andares	16	5,20	13,91	34,04
	5 andares	20	6,49	17,39	42,55
	6 andares	24	7,79	20,87	51,06
	7 andares	28	9,09	24,35	59,57
	8 andares	32	10,39	27,83	68,09
Legenda:	Maior probabilidade da projeção da sombra ser maior que a largura da via.				
*A posição do sol no Porto é inclinada para o sul, logo a sombra é projetada no sentido norte durante o meio-dia solar. Durante a manhã, é norte / oeste. Durante a tarde é projetada nos sentidos norte / leste.					

De acordo com o estudo da projeção das sombras é percebido que apenas durante o verão é que não há sombra na rua.

Turno	Horas de Sol No Verão ( duração do dia 15h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			7:30h		6h			
Vespertino				7:30h				6h
Misto - inicio da manhã e fim da tarde	7h					9h	9h	
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		8h						
Turno	Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			4:30h		1:30h			
Vespertino	Não recebe luz direta durante o inverno.			4:30h				1:30h
Misto - inicio da manhã e fim da tarde		9h						
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						7:30h	7:30h	
Turno	Horas de Sol Nos Equinócios (duração do dia 12h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/Noroeste	Sudeste/Noroeste	Nordeste/Sudoeste	Nordeste/Sudoeste
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Matutino			5:30h		4h		8h	
Vespertino	Não recebe luz direta durante a primavera e o outono.			6:30h				4h
Misto - inicio da manhã e fim da tarde / dia todo		12h				8h		
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia								

Orientação da Rua	Fachadas Com maior Incidência no Verão	Prioridade de Arborização
Norte / Sul	Leste pela manhã/ Oeste pela tarde	Arborizar ambos os lados para ruas com AR < 0,5 arborizar em faixas alinhadas. Se AR > 0,5 pode ser uma arborização intercalada. Caso não seja possível plantar árvores em ambos os lados deve-se priorizar o lado Oeste.
Leste / Oeste	Sul - apanha sol durante o meio da manhã ao meio da tarde	Apenas a Sul, nunca sombrear a fachada Norte.
Nordeste / Sudoeste	Sudeste - apanha sol do nascer ao começo da tarde. Noroeste apanha a tarde.	Se, AR ≤ 0,5 então arborização de ambos os lados. Se, AR > 0,5 sombrear a fachada sudeste.
Noroeste / Sudeste	Nordeste - apanha sol durante a manhã. Sudoeste - apanha sol do meio dia ao por do sol.	Se, AR ≤ 0,5 então arborização de ambos os lados. Se, AR > 0,5 sombrear a fachada sudoeste.

\*Priorizar áreas que recebem sol durante o meio dia e o período da tarde.

A fachada sul das ruas orientadas a Leste/Oeste é uma das que apresenta o maior desconforto durante o verão e que, caso não haja obstáculos, irá receber luz direta durante todo o ano. Assim, mesmo sendo um AR mais alto ainda deve-se plantar algumas árvores na calçada sul.

Turno	Horas de Sol No Verão ( duração do dia 15h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Fachada da Edificação			50%		40%			
Matutino								
Vespertino				50%				40%
Misto - inicio da manhã e fim da tarde	46%					60%	60%	
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		54%						
Turno	Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste
Fachada da Edificação			50%		14%			
Matutino								
Vespertino	Não recebe luz direta durante o inverno.			50%				14%
Misto - inicio da manhã e fim da tarde		100%						
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						86%	86%	

Solstício de Verão			
Porcentagem (%) de horas de sol	Aspect Ratio (H/W; AR)		
	H/W ≤ 0,5	0,5 < H/W ≤ 1	1 < H/W ≤ 2
0 - 29%	N. Arborizar	N. Arborizar	N. Arborizar
30 - 49%	20% da área da rua	10% da área da rua	10% da área da rua
50 - 74%	30% da área da rua	20% da área da rua	10% da área da rua
75 - 100%	50% da área da rua	30% da área da rua	20% da área da rua
Solstício de Inverno			
Porcentagem (%) de horas de sol	Aspect Ratio (H/W; AR)		
	H/W ≤ 0,5	0,5 < H/W ≤ 1	1 < H/W ≤ 2
0 - 29%	N. Arborizar	N. Arborizar	N. Arborizar
30 - 49%	árvores caducas	árvores caducas	árvores caducas
50 - 74%	Manter a arborização	árvores caducas	árvores caducas
75 - 100%	Manter a arborização	Manter a arborização	árvores caducas

Indicação de Árvores	
	- Sem árvores, mas pode-se propor jardins
	- Árvores menos densas, distanciadas e intercaladas com jardins
	- Árvores menos densas mas com pouco distanciamento.
	- Árvores densas com pouco distanciamento.
	- Árvores desnsas com sobreposição de alturas.

A Rua da Constituição deve ser arborizada na calçada que fica adjacente aos edifícios voltados para sul. Deve ser uma arborização de cerca de 10% da área da rua e com árvores de copa aberta, que sejam caducas, e optar por um espaçamento entre elas intercalando com jardins. Prosseguindo com os cálculos:

$$A_{\text{rua}} = L \times W \rightarrow A_{\text{rua}} = 182 \times 15 \rightarrow A_{\text{rua}} = 2730 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{bor}} = 10\% \times A_{\text{rua}} \rightarrow A_{\text{bor}} = 0,1 \times 2730 \rightarrow A_{\text{bor}} = 273 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{bor}} = W_{\text{arb}} \times L \rightarrow 273 = W_{\text{arb}} \times 182 \rightarrow W_{\text{arb}} = 1,5 \text{ m}$$

Então, fica definida a medida de 1,5m para o diâmetro da copa das árvores nessa rua. Por se tratar de uma rua com calçada mais larga é possível plantar a linha de árvores a 2m das frentes dos edifícios. Assim sendo se for aplicada a relação de Russ (2009) onde a distância (D) são 2m e  $D = \frac{1}{3} H_{\text{arb}}$  ou  $D = \frac{1}{4} H_{\text{arb}}$ . Logo, a altura dessas árvores pode ser de 6 m ou 8 m.

Mediante a recomendação de espaçamento entre as árvores é recomendado estabelecer algo entorno de 1,5m a 2m, proporcionalmente ao próprio tamanho das árvores, entre as copas. Assim, para o comprimento da rua  $L = 182 \text{ m}$  serão necessárias aproximadamente 60 árvores. É importante ressaltar que 1,5m de diâmetro da copa é um tamanho mínimo para se ter alguma melhora no conforto térmico da rua. Caso seja de interesse é possível, no caso desta rua que é larga, optar por arvores de copas mais largas e aumentar o espaçamento entre elas ou simplesmente arborizar uma área maior.

## 4.2. Apresentação dos Resultados:

O Guia de Arborização Viária Bioclimática para o Porto (GuiArb) foi idealizado para ser um produto simples e intuitivo. Dessa forma buscou-se utilizar de critérios que pudessem ser transformados em tabelas e cuja leitura seria universal. Para seu uso é necessário saber as seguintes informações da rua analisada: altura do edificado (H), largura da via (W), comprimento de todo o edificado (L), orientação geográfica e estar no Porto, uma vez que as tabelas foram desenvolvidas para esta localização geográfica.

Seguindo os passos do GuiArb as Ruas de São Brás e da Constituição foram propostas como espaços laboratório, pois além de terem sido estabelecidas como prioritárias, são próximas e semelhantes quanto à tipologia de usos. Logo, seria interessante traçar uma comparação dos resultados à sua necessidade de sombreamento de acordo com o estudo. Contudo, apesar de todas as semelhanças elas divergem quanto aos critérios de análise do guia. A primeira é mais estreita, tem a média da altura do edificado mais baixa e orientação norte/sul, além de servir de espaço canal entre duas vias mais largas. Já a Rua da constituição é uma Rua Leste/Oeste, larga, com edifícios mais altos e é um eixo de conexão muito importante a cidade.

Para a Rua de São Brás ficou definida uma arborização mista, intercalada que permite que a ventilação flua por entre as árvores. Percebe-se que os edifícios mais altos da rua criam bastante sombra ao fim da tarde, por isso é imprescindível que as árvores sejam caducas, uma vez que como dito anteriormente no Porto se sofre muito no inverno pela falta de preparo do edificado. Logo, deve-se permitir que a exposição solar chegue ao edificado nesses momentos.

É possível observar que existem ruas que podem facilmente comportar uma estrutura verde, outras precisam de alguma adaptação. Contudo, existem aquelas que aceitam ainda mais opções de desenho urbano, é o caso da Rua da Constituição.

Uma rua é vista como atrativa quando ela dispõe de animação, sejam cafeterias, restaurantes e outros serviços. Razões de estar ou atravessar, quando ela conecta espaços importantes. Dinâmica, quando possibilita fazer um trajeto de diferentes

formas. E agradável, quando permite que as pessoas andem onde se sente confortáveis (NACTO - National Association of City Transportation Officials, 2018).

A Rua da Constituição é uma das ruas atrativas do Porto. Ela é ocupada por pequenas cafeterias, restaurante e outras distrações para os moradores das áreas próximas, assim como, também, abriga equipamentos importantes, por exemplo o quartel de bombeiros. Ela atravessa a cidade de Leste a Oeste conectando regiões como a do Marquês à Boavista. Além disso, alinhada às linhas de ônibus há mais recentemente o incentivo aos modos suaves de transporte, tendo um espaço delimitado para o uso desses. Contudo, uma de suas maiores vantagens está em sua orientação geográfica que em si já é capaz de promover a agradabilidade, durante parte do ano, por possibilitar que haverá um lado sombreado e outro ensolarado, dessa forma o pedestre pode escolher conforme sua predileção se vai andar à sombra ou não.

Ao propor essa rua como espaço de laboratório já se tinha em mente que o sombreamento das calçadas não seria a prioridade, uma vez que, o próprio edificado o provoca em um dos lados. Contudo, a Rua da Constituição também possui fachadas voltadas à sul que apanham exposição solar o ano inteiro, logo é uma vulnerabilidade. Assim, o sombreamento é necessário para os edifícios, principalmente no verão. Além disso a infraestrutura verde é necessária por seus outros benefícios, como por exemplo, a diminuição do ruído dos veículos, a melhora na qualidade do ar, o escoamento das águas da chuva e o bem estar social. Logo, já se esperava que o resultado do guia seria, para este pequeno seguimento da via, a recomendação da arborização mínima. Contudo, não é por ser mínima que não surtirá em algum efeito.

Tudo que está inserido no urban street canyon afeta em algum nível o conforto térmico, logo haverá muitas possibilidades de design que podem promover alguma melhoria. Além do mais árvores podem servir como formas de separar os espaços dos veículos e das pessoas ajudando a manter a cidade mais segura e evitando o estacionamento ilegal (Rantzoudi e Georgi, 2017). Ao se pensar nessa possibilidade foi proposto, com base no experimento composto pelo guia, uma proposta de redesenho para o trecho da Rua da Constituição.



Proposta de Arborização em planta

Figura 40 - Proposta de Arborização

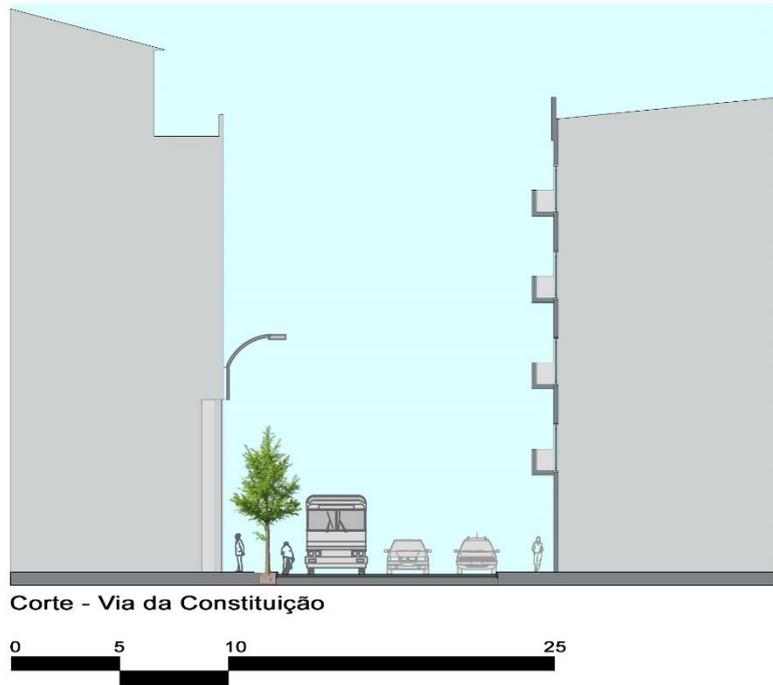


Figura 42 - Rua da Constituição, corte demonstrando a proposta do Guia.

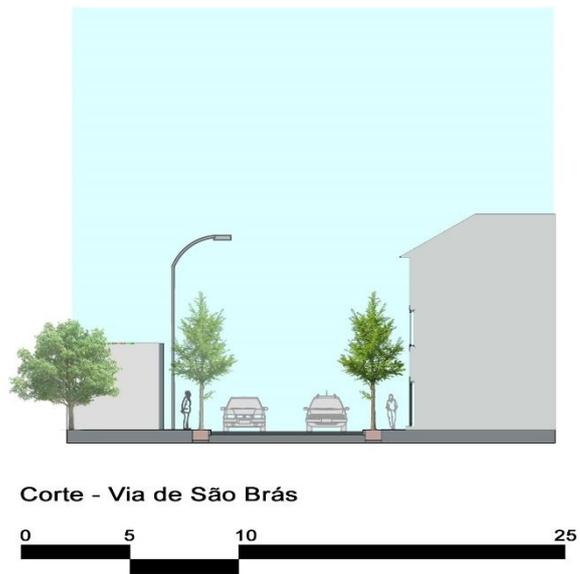


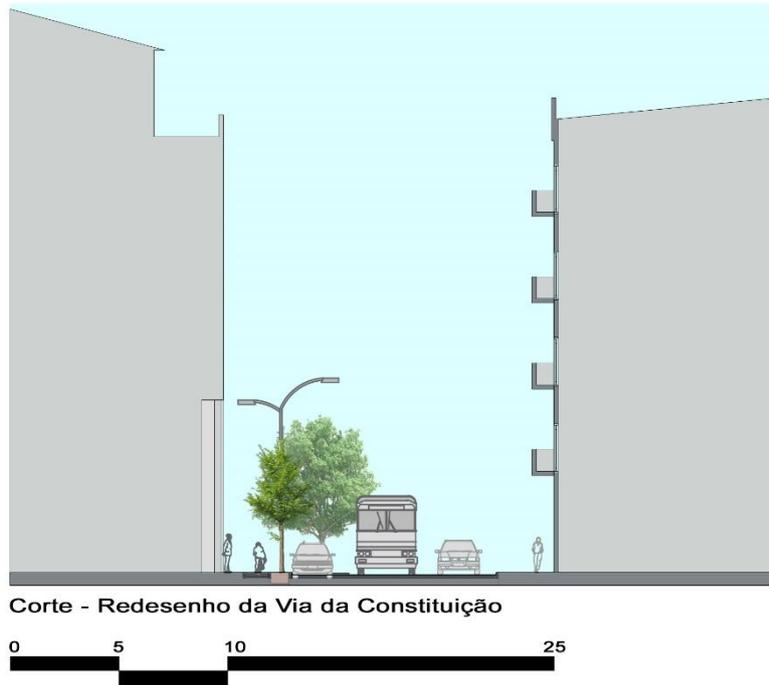
Figura 41 - Rua de São Brás, corte demonstrando proposta do Guia



### Proposta de Redesenho da Rua da Constituição



Figura 43 - Proposta de Redesenho da Rua da Constituição.



**Figura 44 - Corte da Proposta de Redesenho da Rua da Constituição.**

## 5. Considerações Finais:

Este trabalho buscou responder o questionamento: Quais os critérios para propor uma arborização viária na Cidade do Porto, tendo em vista a potencialização dos benefícios bioclimáticos? Para isto foi revisado o potencial bioclimático das árvores e como elas são capazes de induzir melhorias ao microclima urbano.

Percebeu-se logo ao início que muitos dos trabalhos desenvolvidos com este fim estavam a falar da mitigação dos efeitos das ilhas urbanas de calor. E que buscam o uso da vegetação, também nomeada Infraestrutura Verde Urbana, como uma das formas para reverter esses efeitos climatológicos (Lovell, Taylor, 2013; Tzoulas et al., 2007; Norton et al., 2014) e provavelmente uma das mais eficazes. Apesar do Porto apresentar Ilhas de Calor a cidade também apresenta ilhas de frescura, uma questão a ser considerada ao nível deste guia, mas que não foi vista durante o passo da revisão de literatura.

As árvores são capazes de atuar sobre o conforto térmico pois o seu maior benefício é promovido pelo sombreamento que diminui o total de radiação solar que chega à superfície abaixo das copas (Mohammed, Salman, 2017) então a rua não absorve tanto calor imediato e radiação. Assim, além de manter a temperatura mais amena durante os dias mais quentes elas também influenciam nas temperaturas noturnas.

Decidiu-se por priorizar critérios que fossem capazes de indicar a necessidade de sombra, mas que ao mesmo tempo pudessem utilizados de forma intuitiva. Logo, optou-se pelo estudo da insolação, da orientação geográfica, que aponta o “caminho” do sol ao longo do ano na cidade, e por um critério que indicasse como a morfologia urbana interfere nos dois pontos anteriores. Para isto determinou-se o uso do *Aspect Ratio* por ser uma razão de cálculo simples, mas que pode fornecer alguns parâmetros de comparação entre os resultados. Com base nos estudos lidos percebeu-se que há uma relação entre o valor do AR e a abertura da Rua à radiação solar. Quanto menor o valor, maior será essa abertura, logo maior a necessidade de sombreamento.

Deve-se salientar que existe sim insolação direta na fachada norte, das ruas orientadas a Leste/Oeste, durante os meses de verão. Isso decorre ao nascer do sol até pouco antes do meio da manhã, quando o sol “vira” para sul, e volta ao fim da tarde. Durante o dia mais longo do ano, o solstício de verão, são contabilizadas aproximadamente 7 horas de sol na fachada norte. Contudo, não é porque há sol que significa que será o suficiente para converter a radiação em temperatura. Outro ponto a ser considerado é que os estudos de insolação das fachadas foram feitos sem obstáculos, ou seja, como se fosse um edifício isolado. Por esta razão que é necessário compreender a importância do fator de AR neste guia, pois é o que apontará se haverá muito ou pouco obstáculo.

Percebe-se que no Porto as Ruas tendem a ser estreitas, sobretudo no centro histórico. O que torna difícil a criação de uma estrutura verde. Desta forma foi necessário optar por faixas mínimas de 10%, 20%, 30% (e 50% para casos extremos), mas que apresentaram resultados na revisão de literatura, do que propor algo que não seria viável e acabaria por desestimular o uso do guia. Observa-se também que são justamente as áreas com pouco espaço que tendem a precisar mais da presença das árvores. São em geral ruas com não mais de 4m de largura e um edificado antigo com um pavimento.

Ainda, quanto ao Porto, sua localização geográfica demonstra que o percurso solar ao longo do ano é inclinado à sul, fazendo com que as fachadas voltadas à sul recebam radiação direta o ano inteiro. Contudo, o clima e as vulnerabilidades climáticas da cidade não são compatíveis com uma arborização perene, cujas folhas se mantem o ano inteiro. Sendo assim, em muitos contextos será necessário buscar o uso das árvores caducas que perdem suas folhas quando o tempo fica frio e elas renascem à primavera.

Outra questão ao clima do Porto é a umidade relativa muito alta, sobretudo nas épocas mais frias. Para que esta questão seja regulada é necessário permitir que haja ventilação, este foi outro fator para não se propor árvores muito grandes que poderiam servir como obstáculos ao vento.

O fato de se decidir por criar um Guia de Arborização Bioclimática para o Porto, que fosse simples e intuitivo se deu para que este pudesse permanecer à mão do planeador e do arquiteto paisagista para auxiliar nas decisões sobre a Infraestrutura Verde Urbana a se estabelecer no Porto. Todavia, logo se percebeu que uma vez refinados os critérios e os seus níveis de influência sobre o conforto térmico este guia poderá se tornar uma ferramenta de computador programada, onde bastariam apenas inserir os mesmo dados necessários para fazer o uso do guia: altura do edificado (H), largura da via (W), comprimento da via (C), orientação e localização geográfica. Então, poderia ser ter os resultados da mesma forma, em área, a fim de deixar o desenho urbano a critério dos arquitetos.

A estudos futuros seria de interesse a possibilidade de estudar mais afunda a relação entre o AR, a orientação geográfica e a insolação, justamente a determinar quais destes são os aspectos de maior influência ao conforto térmico nas ruas.

O principal constrangimento a nível deste trabalho foi não ter sido possível o cálculo de PET para aferir a funcionalidade do Guia. Portanto, orienta-se para estudos futuros o uso o guia para propor uma área verde e calcular o valor de PET com e sem as árvores e depois verificar se há melhorias no conforto térmico ou não.

## Referências Bibliográficas

Lei n.º 74/2017 - Primeira alteração à lei de bases gerais da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo. [Em linha] (17- Disponível em WWW:<URL:https://dre.pt/application/file/a/108000751>.

ABREU-HARBICH, Loyde V.; LABAKI, Lucila C.; MATZARAKIS, Andreas - Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**. . ISSN 14344483. 115:1–2 (2014) 333–340. doi: 10.1007/s00704-013-0886-0.

ÁREA METROPOLITANA DO PORTO - **Portal da AMP** [Em linha] Disponível em WWW:<URL:http://portal.amp.pt/pt/>.

BODNARUK, E. W. *et al.* - Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs. **Landscape and Urban Planning**. . ISSN 01692046. 157:(2017) 457–467. doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.08.016.

CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO - **Portal da Câmara Municipal do Porto** [Em linha], atual. 2014. Disponível em WWW:<URL:https://www.cm-porto.pt/>.

CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO - Revisão do PDM: Clima e Ambiente Urbano. 2018).

CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO - Revisão do PDM: Ocupação do Solo. 2018).

CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO - Revisão do PDM: Estrutura Ecológica e Biodiversidade. 2018).

COSSIO, María Laura T. *et al.* - Acessibilidade e Mobilidade para Todos. **Uma ética para quantos?** . ISSN 0717-6163. XXXIII:2 (2012) 81–87. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

COUTTS, Andrew; HARRIS, Richard - A multi-scale assessment of urban heating in Melbourne during an extreme heat event: policy approaches for adaptation. 27 February 2014 (2012).

DIREÇÃO-GERAL DO TERRITÓRIO - **Cidades Sustentáveis 2020** [Em linha]. Lisboa : [s.n.] Disponível em WWW:<URL:https://www.dgterritorio.gov.pt/node/397>. ISBN 978.989.8785.03.9.

DIREÇÃO-GERAL DO TERRITÓRIO - **PNPOT: Diagnóstico**. Lisboa : [s.n.]

GILL, Susannah E. *et al.* - Characterising the urban environment of UK cities and towns: A template for landscape planning. **Landscape and Urban Planning**. . ISSN 01692046. 87:3 (2008) 210–222. doi: 10.1016/j.landurbplan.2008.06.008.

HWANG, Won Hoi; WISEMAN, P. Eric; THOMAS, Valerie A. - Tree planting configuration influences shade on residential structures in four U.S. cities. **Arboriculture and Urban Forestry**. . ISSN 19355297. 41:4 (2015) 208–222.

I-TREE - **i-tree:tools for assessing and managing community forests** [Em linha] [Consult. 24 ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:https://www.itreetools.org/>.

KARMEN POLJANŠEK *et al.* - **Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less**. [Em linha]. EUR 28034 ed. Luxembourg : Publications Office of

- the European Union, 2017 Disponível em WWW:<URL:https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/science-disaster-risk-management-2017-knowing-better-and-losing-less>. ISBN 9789279606786.
- KETTERER, Christine; MATZARAKIS, Andreas - Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. **Landscape and Urban Planning**. . ISSN 01692046. 122:2014) 78–88. doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.11.003.
- LOBACCARO, Gabriele *et al.* - Effects of orientations, aspect ratios, pavement materials and vegetation elements on thermal stress inside typical urban canyons. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. . ISSN 16604601. 16:19 (2019). doi: 10.3390/ijerph16193574.
- LOURENÇO, Luciano (Coord. ..; VIEIRA, António (Coord. .. - **Catástrofes naturais: uma abordagem global** [Em linha]. Coimbra : Imprensa da Universidade de Coimbra, 2020 Disponível em WWW:<URL:https://digitalis.uc.pt/handle/10316.2/47869>. ISBN 9789892619361.
- MAIMAITIYIMING, Matthew *et al.* - Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. . ISSN 09242716. 89:2014) 59–66. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.12.010.
- MARSH, Dr. Andrew - **2DSunPath** [Em linha], atual. 2014. [Consult. 30 jul. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://andrewmarsh.com/software/sunpath2d-web/>.
- MARSH, Dr. Andrew - **3DSunPath** [Em linha], atual. 2015. [Consult. 27 ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://andrewmarsh.com/software/sunpath3d-web/>.
- MATZARAKIS, A; RUTZ, F. - RayMan : A TOOL FOR RESEARCH AND EDUCATION IN APPLIED CLIMATOLOGY. **Physics**. 2006) 161–168.
- MATZARAKIS, Andreas; RUTZ, Frank; MAYER, Helmut - Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**. . ISSN 00207128. 51:4 (2007) 323–334. doi: 10.1007/s00484-006-0061-8.
- MATZARAKIS, Andreas; RUTZ, Frank; MAYER, Helmut - Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**. . ISSN 00207128. 54:2 (2010) 131–139. doi: 10.1007/s00484-009-0261-0.
- Decreto-Lei n.º 80/2015 - A lei de bases de política pública de solos, do ordenamento do território e do urbanismo. [Em linha] (15- 2469–2512. Disponível em WWW:<URL:https://dre.pt/application/file/a/67212910>.
- MOHAMMED, Younis; SALMAN, Aws - Effect of urban geometry and green area on the formation of the urban heat island in Baghdad city. **MATEC Web of Conferences**. . ISSN 2261236X. 162:2018) 1–9. doi: 10.1051/matecconf/201816205025.
- MONTEIRA, Ana; MADUREIRA, Helena - Ventos Forte e Temperaturas Excepcionais:

Riscos para a Sociedade. Em VIEIRA, LUCIANO LOURENÇO; ANTÓNIO (Ed.) - **Catástrofes Naturais: Uma Abordagem Global**. [S.l.] : Imprensa Universidade de Coimbra, 2020

MONTEIRO, Ana; VELHO, Sara - Health heat stress in the Porto Metropolitan Area - A matter of temperature or inadequate adaptation? **Erde**. . ISSN 00139998. 145:1–2 (2014) 80–95. doi: 10.12854/erde-145-7.

MORAKINYO, Tobi Eniolu *et al.* - A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. **Building and Environment**. . ISSN 03601323. 115:2017) 1–17. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.01.005.

NACTO - NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS - **Guia global de desenho de ruas**. ISBN 8539624583.

NG, Edward *et al.* - A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment**. . ISSN 03601323. 47:1 (2012) 256–271. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.07.014.

NORTON, Briony A. *et al.* - Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. **Planning for Climate Change: A Reader in Green Infrastructure and Sustainable Design for Resilient Cities**. 134:2018) 233–249.

OKE, T. R. - The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. . ISSN 00359009. 108:455 (1982) 1–24. doi: 10.1002/qj.49710845502.

OKE, T. R. - Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**. . ISSN 03787788. 11:1–3 (1988) 103–113. doi: 10.1016/0378-7788(88)90026-6.

PETRALLI, Martina *et al.* - Thermal comfort and green areas in Florence. **Italian Journal of Agrometeorology**. . ISSN 20385625. 20:2 (2015) 39–48.

RANTZOU, Eleni C.; GEORGI, Julia N. - Correlation between the geometrical characteristics of streets and morphological features of trees for the formation of tree lines in the urban design of the city of Orestiada, Greece. **Urban Ecosystems**. . ISSN 15731642. 20:5 (2017) 1081–1093. doi: 10.1007/s11252-017-0655-4.

RODRÍGUEZ ALGECIRAS, José Abel; MATZARAKIS, Andreas - Quantification of thermal bioclimate for the management of urban design in Mediterranean climate of Barcelona, Spain. **International Journal of Biometeorology**. . ISSN 00207128. 60:8 (2016) 1261–1270. doi: 10.1007/s00484-015-1121-8.

RUIZ, M. Angélica *et al.* - Design tool to improve daytime thermal comfort and nighttime cooling of urban canyons. **Landscape and Urban Planning**. . ISSN 01692046. 167:November 2016 (2017) 249–256. doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.07.002.

RUSS, Thomas H. - **Site Planning and Design Handbook**. Maryland : MC GRW HILL, 2009. ISBN 978-0-07-160559-5.

SETO, Karen C.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, Roberto; FRAGKIAS, Michail - The new geography of contemporary urbanization and the environment. **Annual Review of Environment and Resources**. . ISSN 15435938. 35:2010) 167–194. doi:

10.1146/annurev-environ-100809-125336.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. - Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. **Energy and Buildings**. . ISSN 03787788. 31:3 (2000) 221–235. doi: 10.1016/s0378-7788(99)00018-3.

SHASHUA-BAR, Limor *et al.* - Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. **International Journal of Climatology**. . ISSN 08998418. 30:1 (2010) 44–57. doi: 10.1002/joc.1869.

SHASHUA-BAR, Limor; HOFFMAN, Milo E. - Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. **Energy and Buildings**. . ISSN 03787788. 35:1 (2003) 61–68. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00080-4.

UNIÃO EUROPEIA UE - **Horizon 2020: Environment & Climate Action** [Em linha]

Disponível em

WWW:<URL:<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/environment-climate-action>>.

UNITED NATIONS (UN) - **Climate Change** [Em linha] [Consult. 1 fev. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/>>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - **WMO statement on the status of the global climate in 2019** [Em linha] Disponível em

WWW:<URL:[http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/documents/WMO\\_1108\\_EN\\_web\\_000.pdf](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/documents/WMO_1108_EN_web_000.pdf)><URL:[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10211](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211)>. ISBN 9789263111081.

ZHENG, Senlin *et al.* - Influence of trees on the outdoor thermal environment in subtropical areas: An experimental study in Guangzhou, China. **Sustainable Cities and Society**. . ISSN 22106707. 42:2018) 482–497. doi: 10.1016/j.scs.2018.07.025.

# Anexos

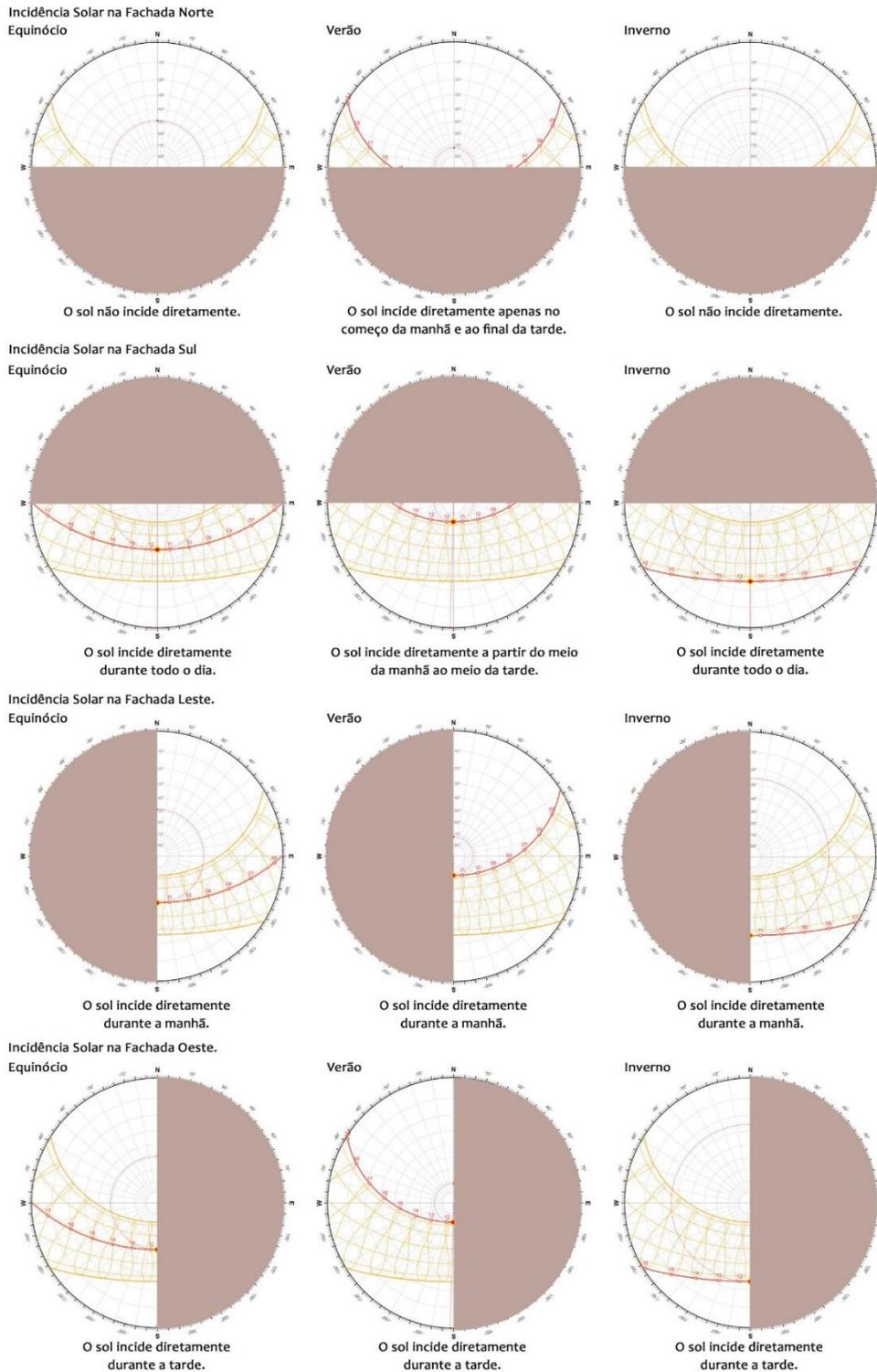


Figura 45 – Cartas Solares. Desenvolvido pelo autor com ajuda da Ferramenta 2D Sun Path, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html>

## Anexos 1

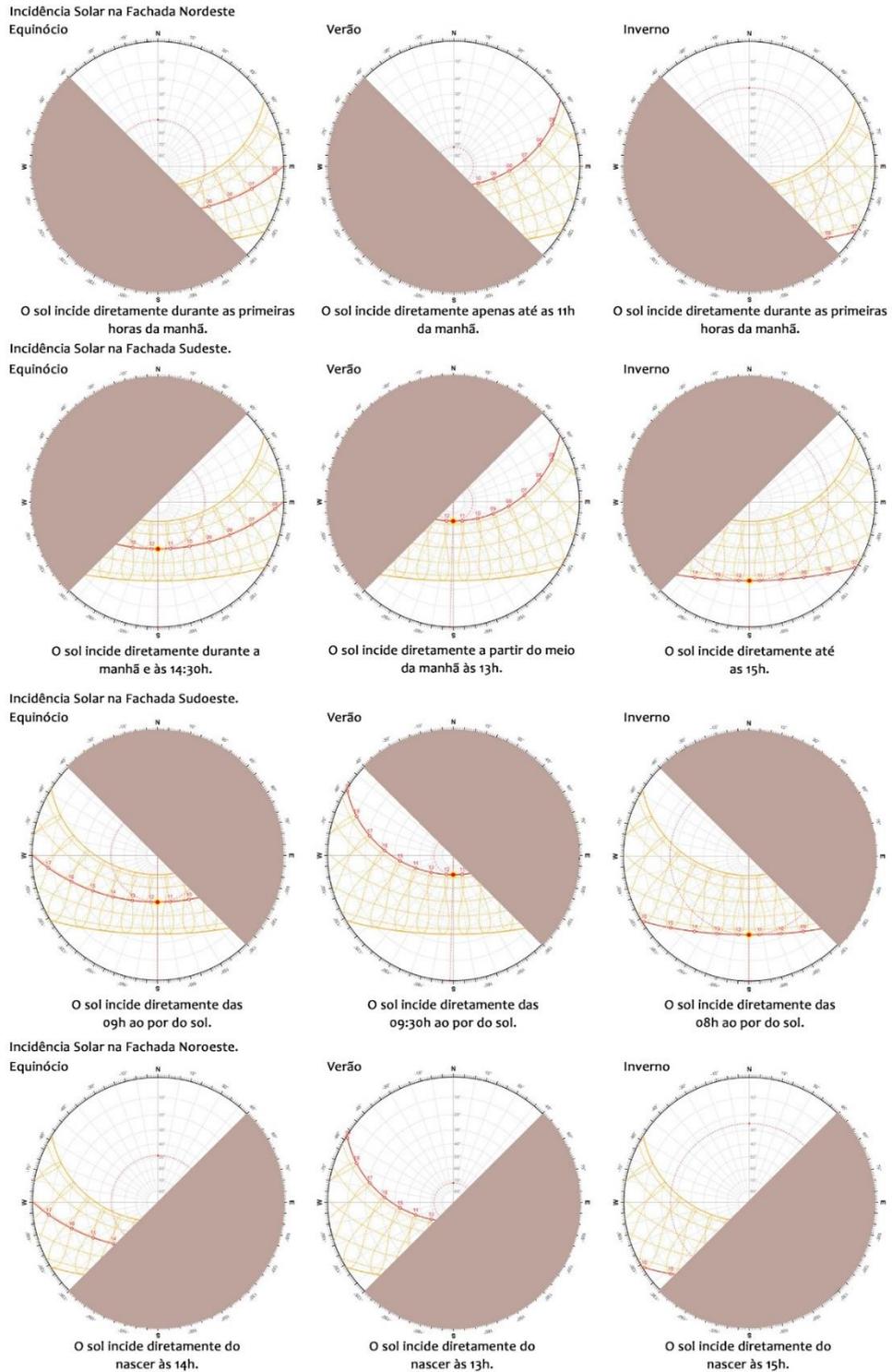


Figura 46 - Cartas Solares. Desenvolvido pelo autor com ajuda da Ferramenta 2D Sun Path, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html>

## Anexo 2

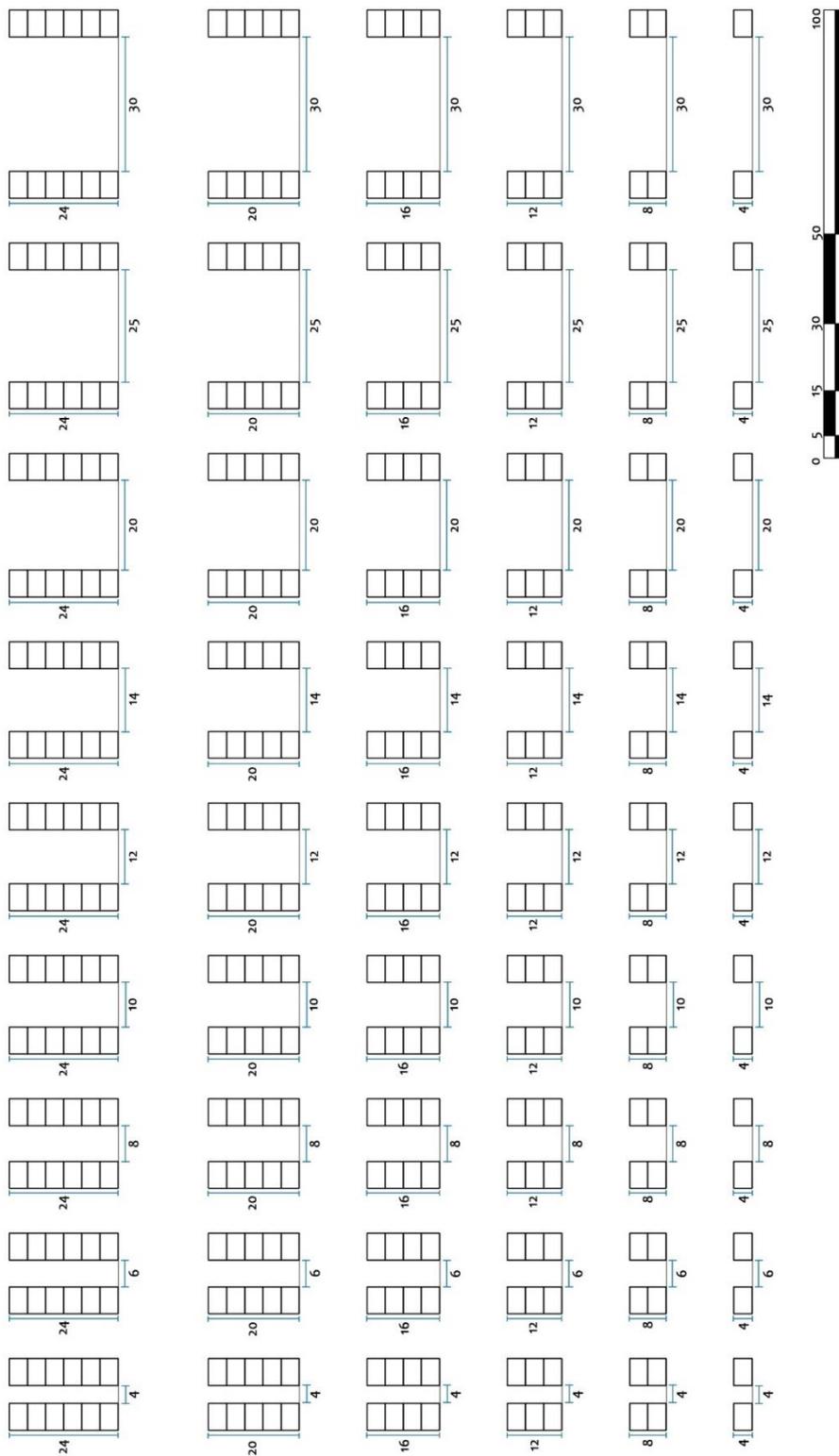


Figura 47 - Simplificações dos Possíveis Aspect Ratios (H/W) na Cidade do Porto

## Anexos 3

Percursos Solares no Porto para uma Rua de orientação Norte/Sul.

Verão:

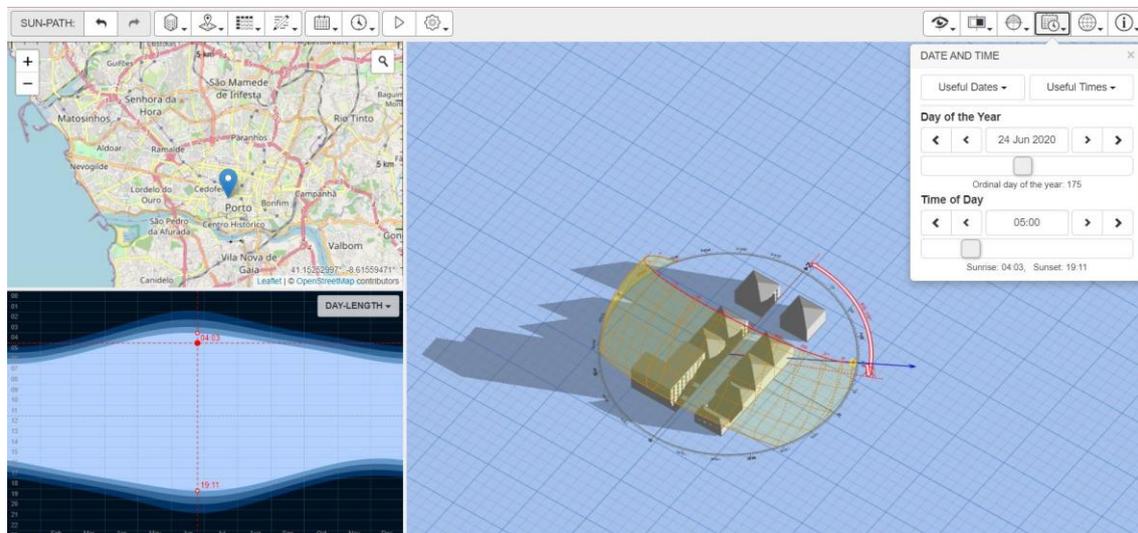


Figura 49 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

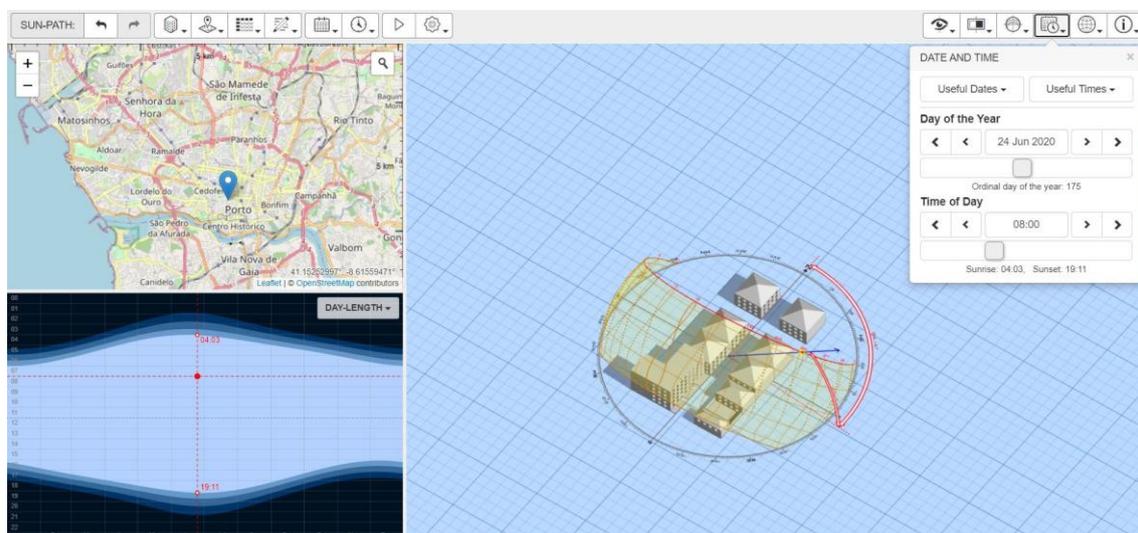
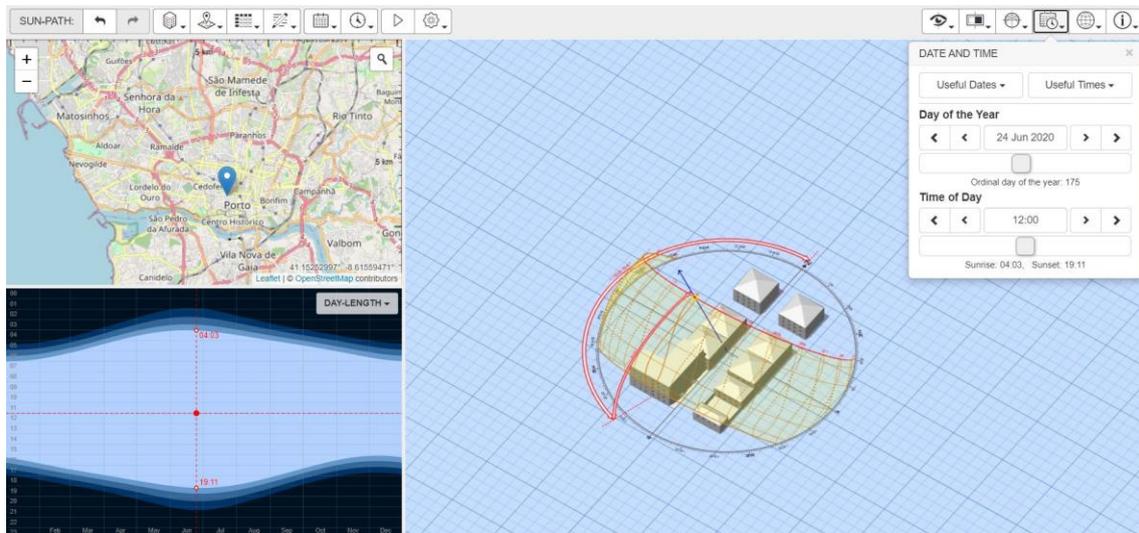
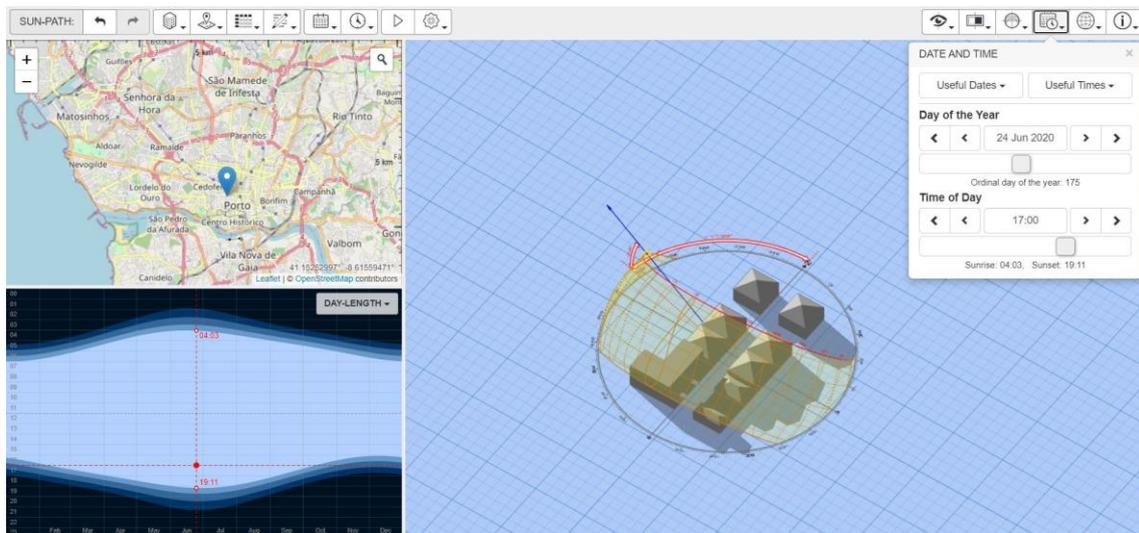


Figura 48 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>



**Figura 51 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>**



**Figura 50 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>**

Primavera / Outono:

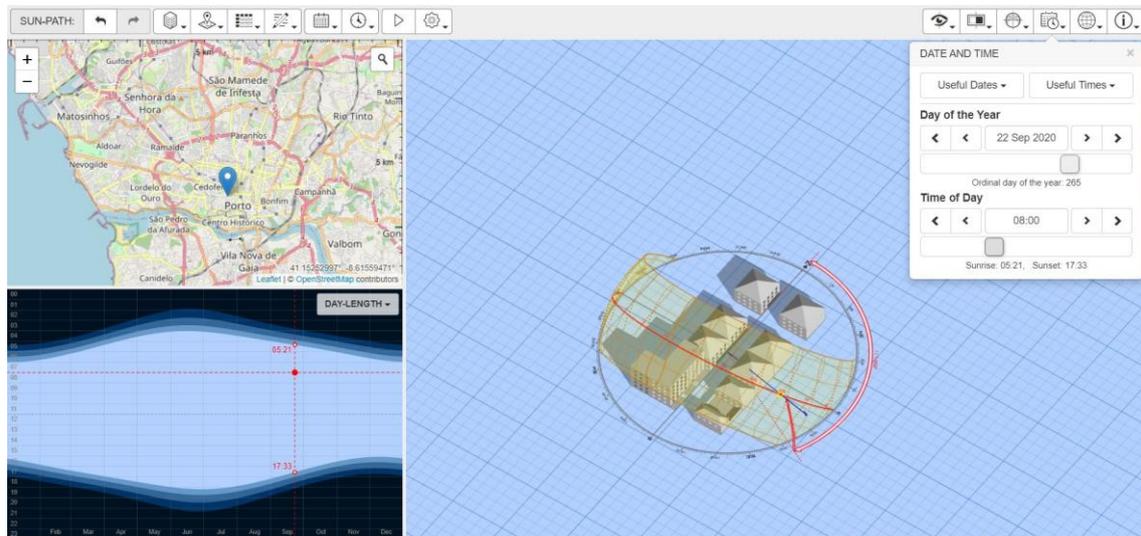


Figura 53 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

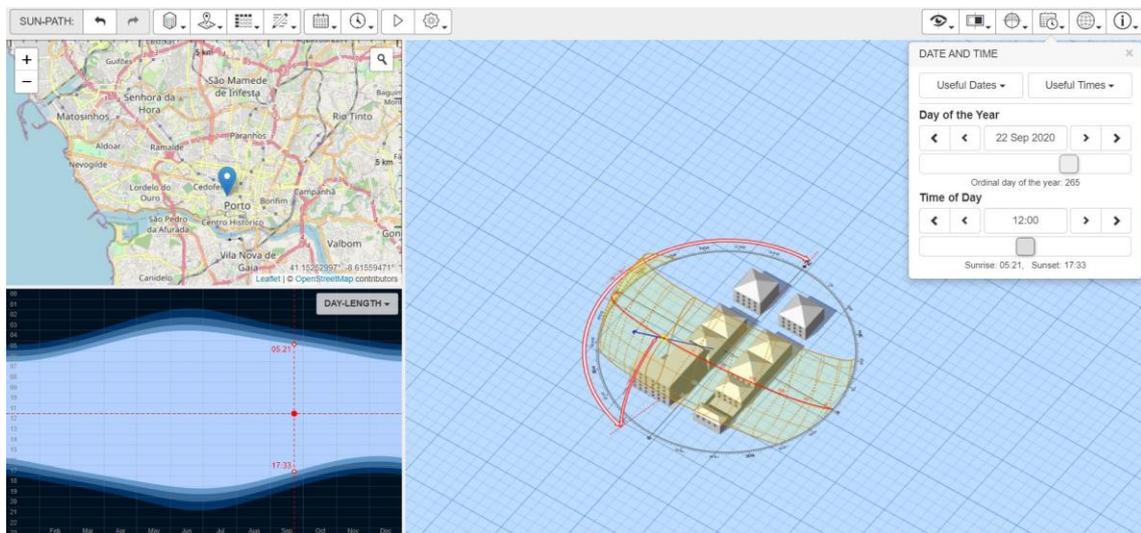


Figura 52 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

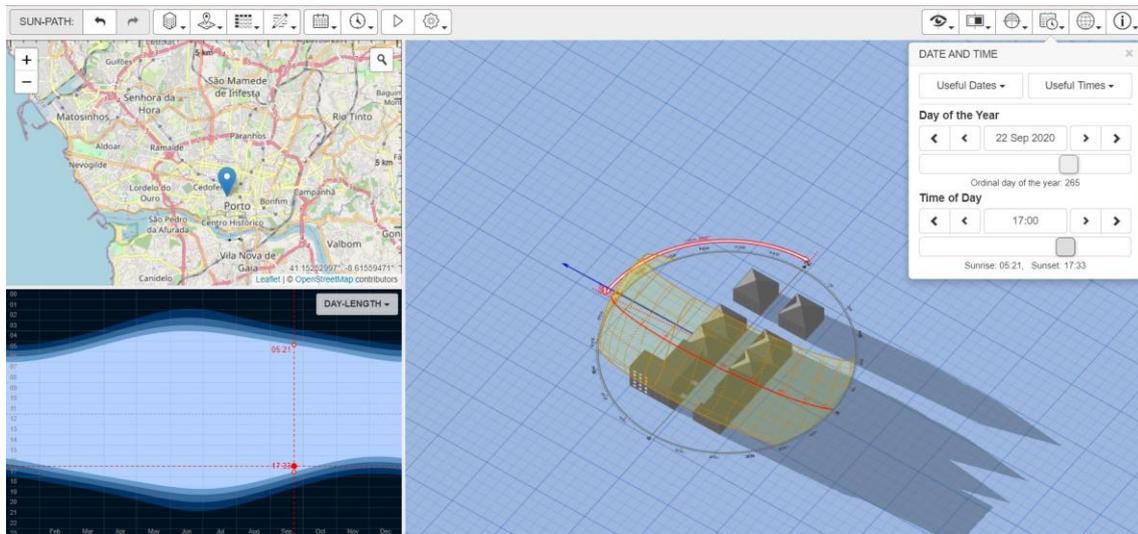


Figura 55 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

Inverno:

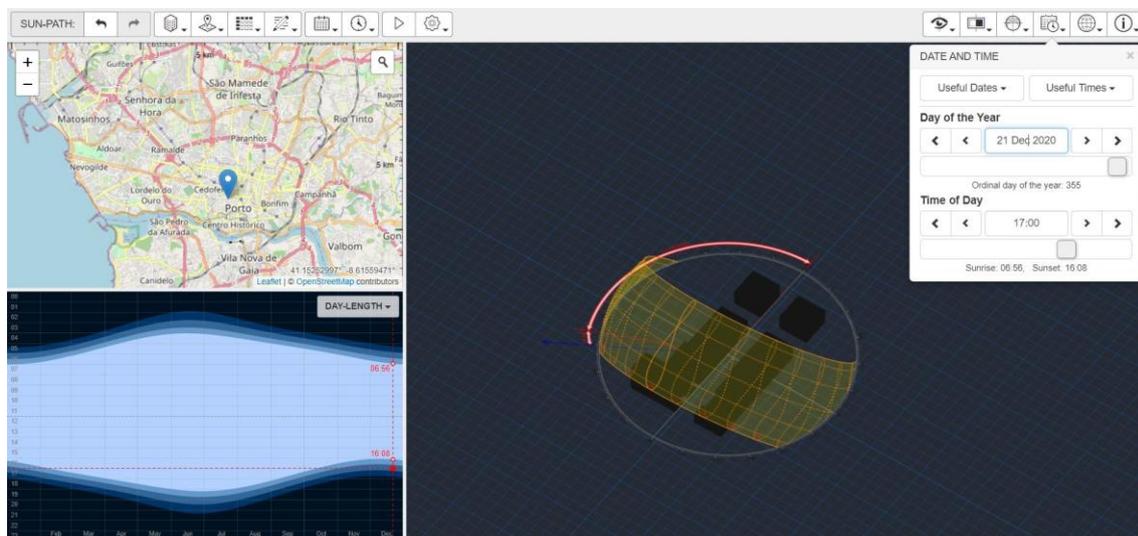


Figura 54 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

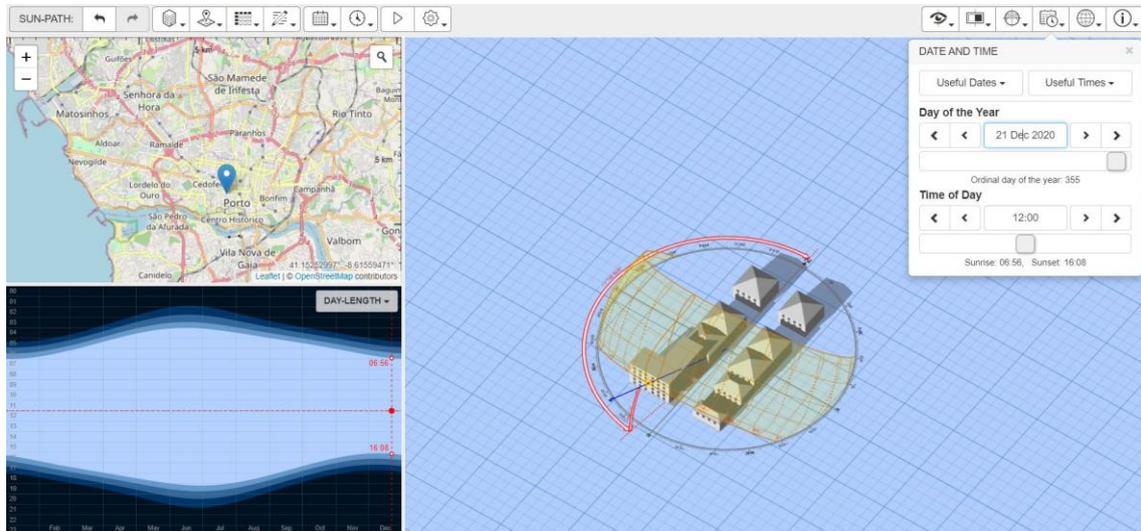


Figura 56 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

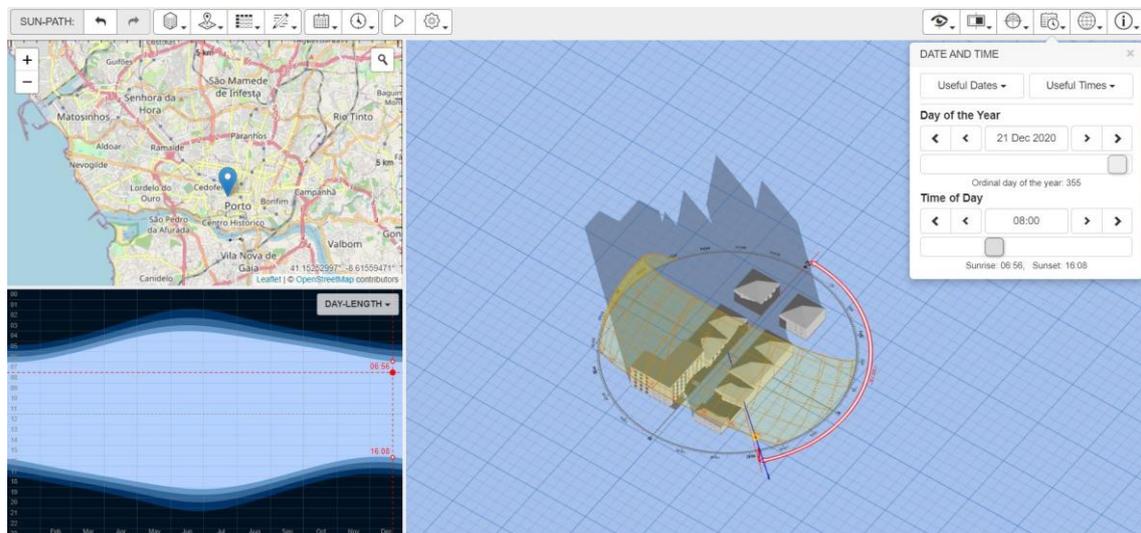


Figura 57 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

## Anexo 4

Percursos Solares no Porto para uma Rua de orientação Leste/Oeste.

Verão:

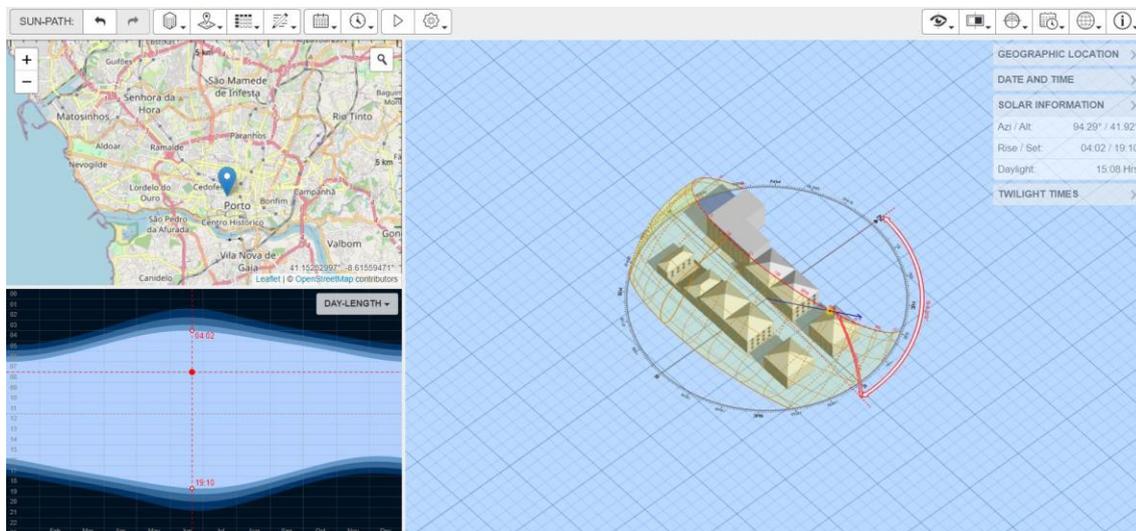


Figura 59 - Estudo de Projecção de sombras com auxilio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew

Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

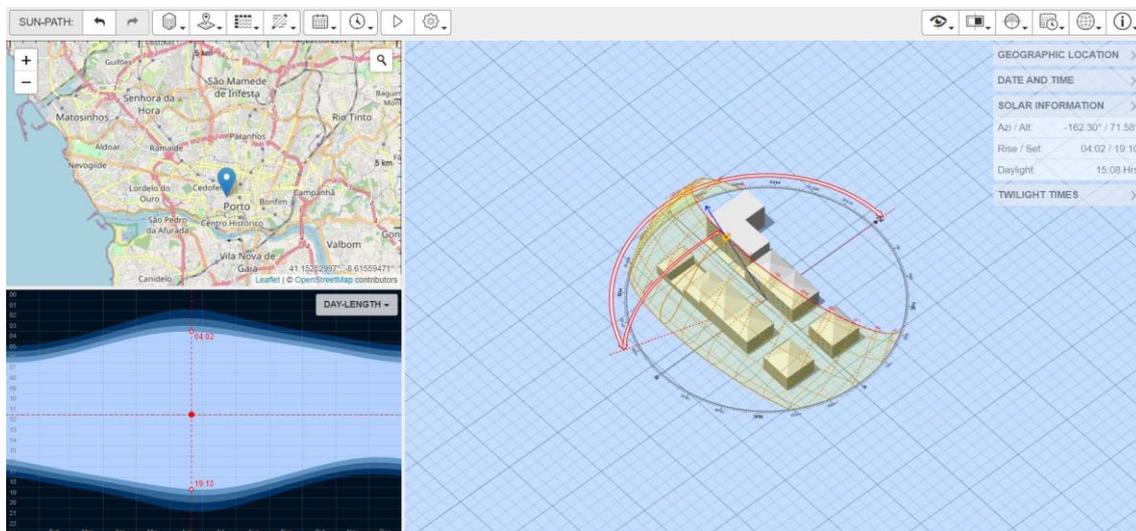
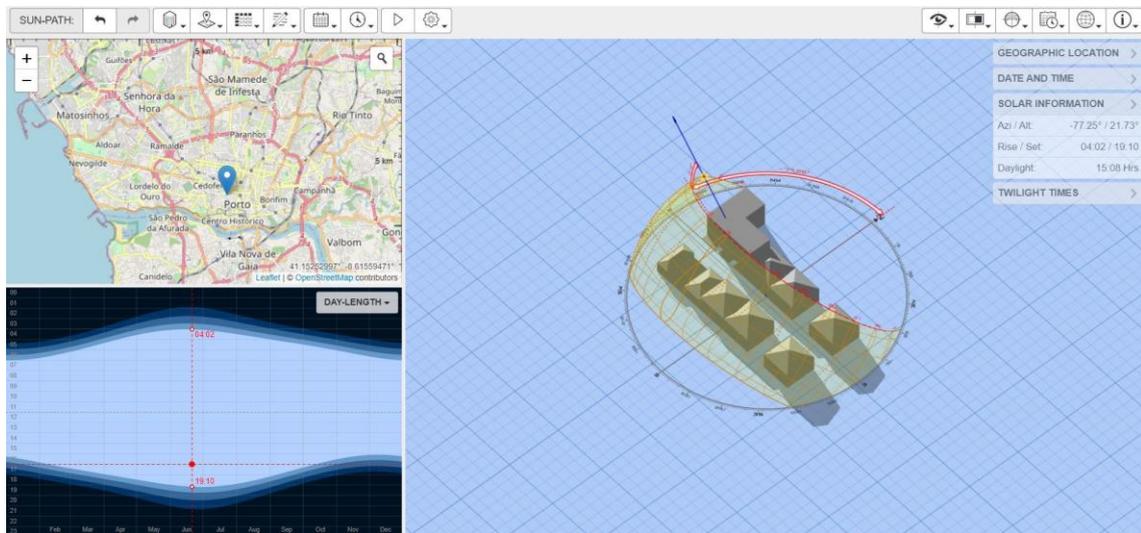


Figura 58 - Estudo de Projecção de sombras com auxilio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew

Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>



**Figura 60 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>**

Primavera / Outono:

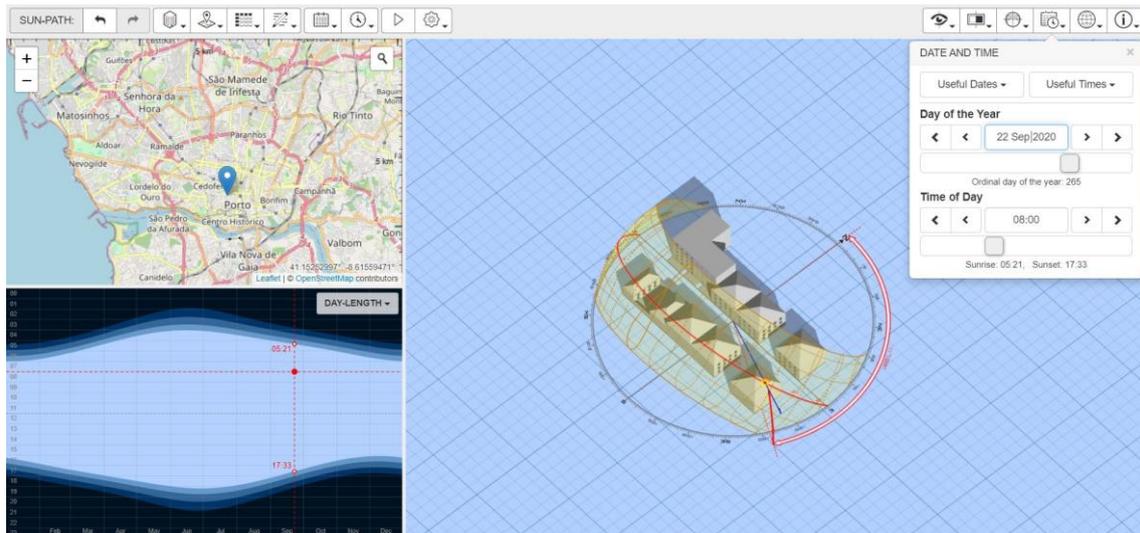


Figura 61 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh.

Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

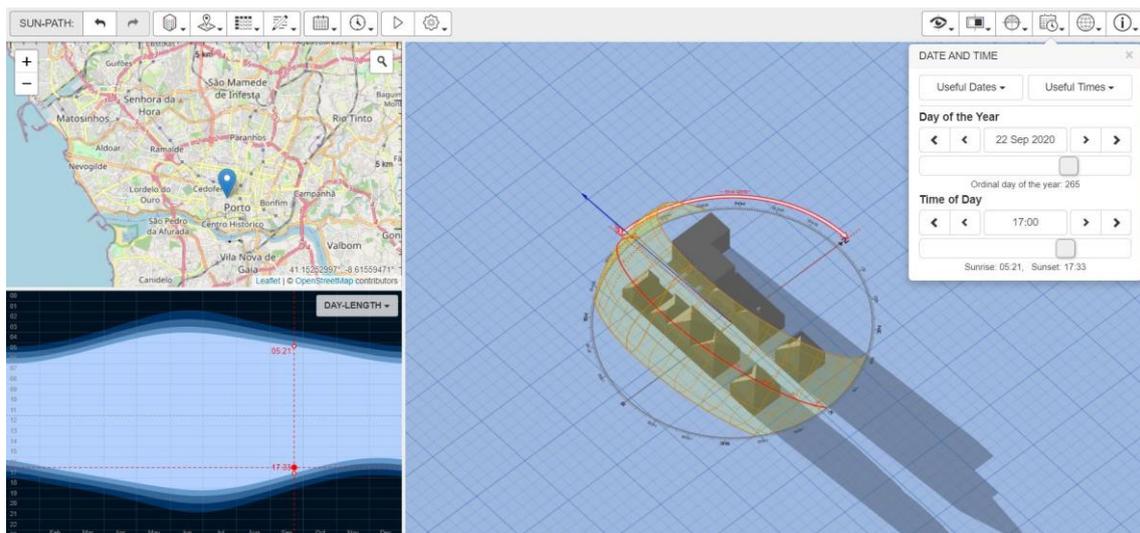


Figura 62 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew

Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

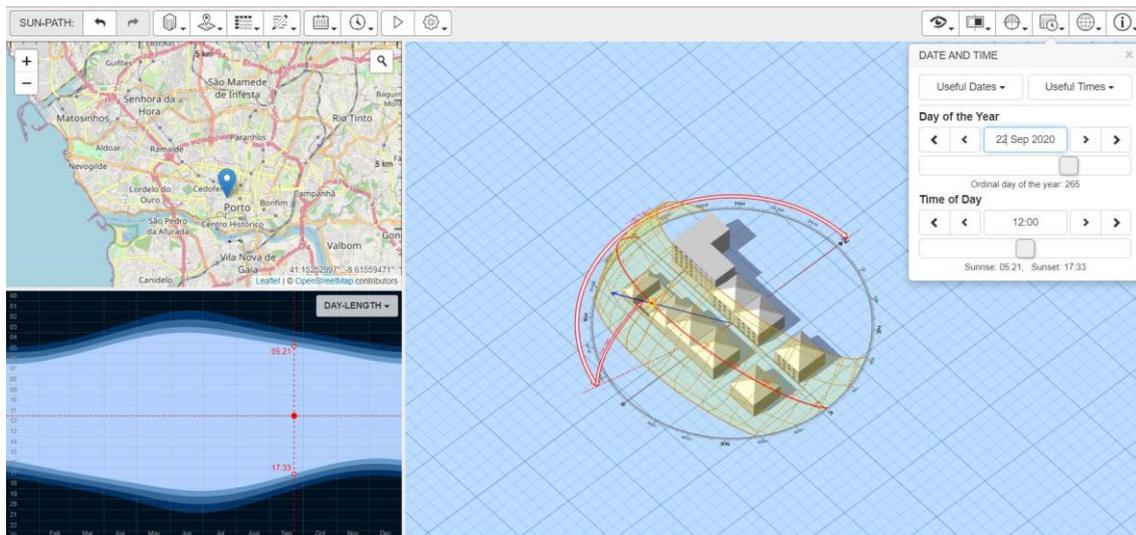


Figura 63 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

Inverno:

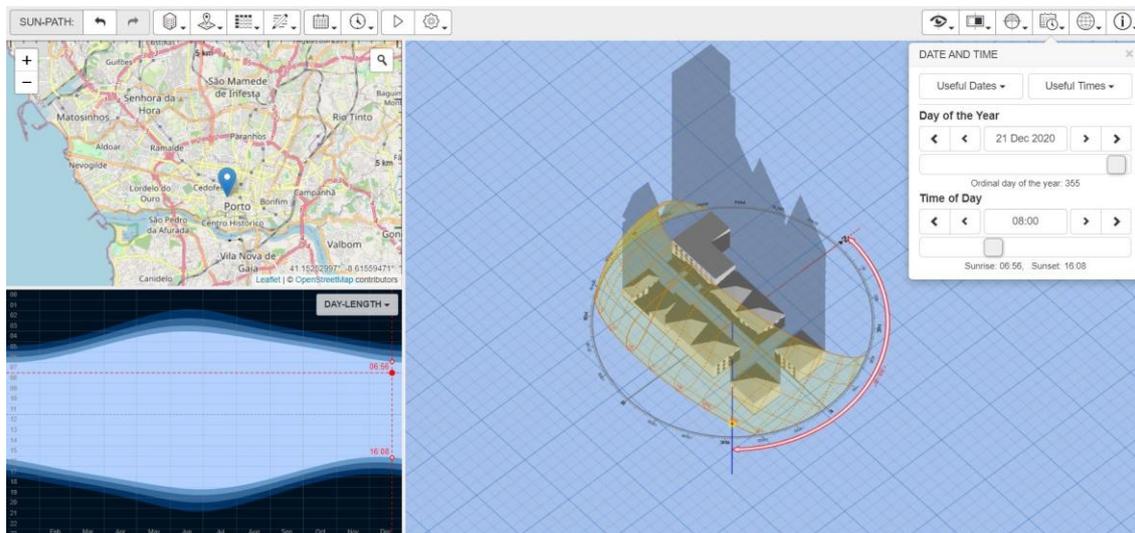


Figura 64 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

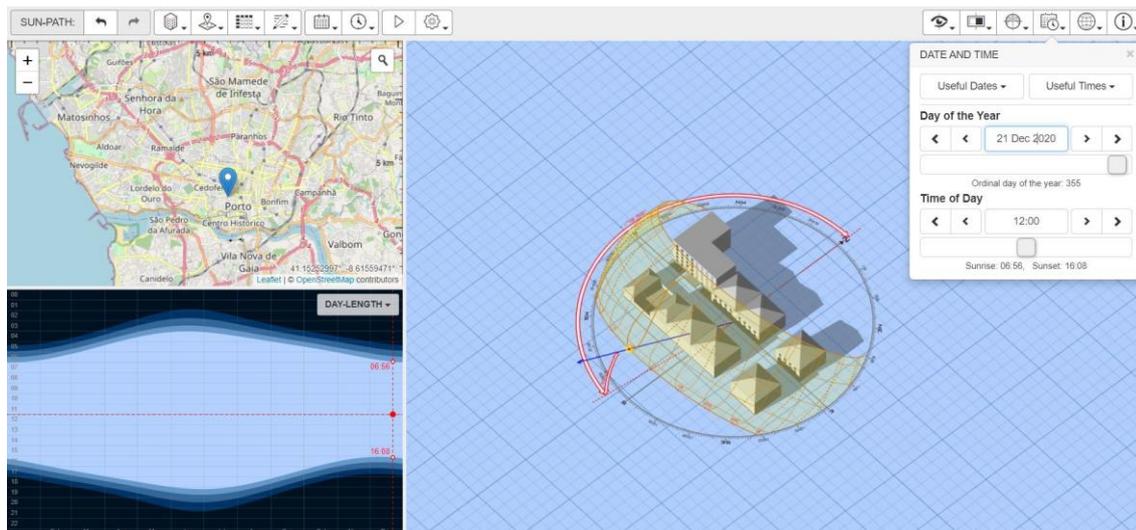


Figura 66 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew

Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>

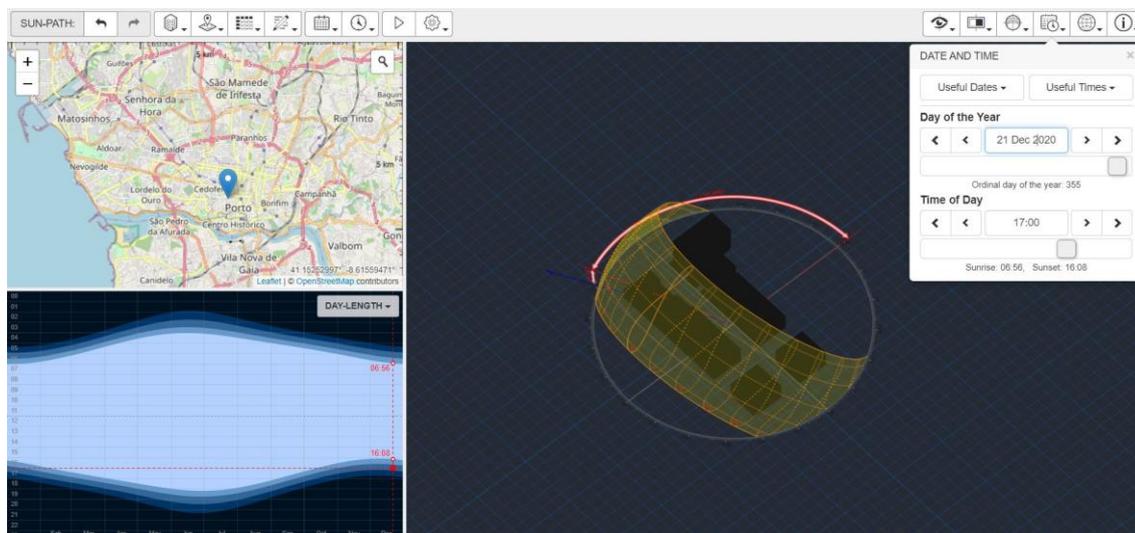


Figura 65 - Estudo de Projeção de sombras com auxílio da ferramenta 3D SUN PATH, por Andrew

Marsh. Link: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>