

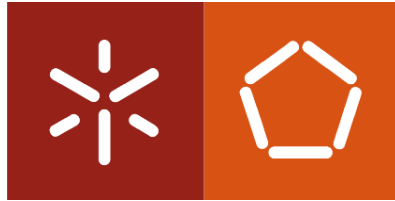


**Universidade do Minho**

Departamento de Engenharia Civil

Raquel Elisete Lago Lima

**Fachadas Verdes e Simulação  
Computacional**



**Universidade do Minho**

Departamento de Engenharia Civil

Raquel Elisete Lago Lima

**Fachadas Verdes e Simulação  
Computacional**

Dissertação de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professora Júlia Maria Brandão Barbosa Lourenço**

**Professor Daniel Souto Rodrigues**

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do Repositório da Universidade do Minho.

## **Agradecimentos**

A todos os que me ajudaram, da melhor ou da pior maneira. Por me colocarem obstáculos e me tornarem mais forte para os ultrapassar.

Aos professores, que me deram todo o apoio e fizeram com que tudo isto fosse possível.

À minha família e amigos.

À professora Júlia!

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.



## **RESUMO**

Face ao crescimento da população urbana mundial, as preocupações com a qualidade do ambiente urbano têm vindo, também, a aumentar e, cada vez mais, a sustentabilidade é um tema muito debatido em função das soluções adotadas na construção, com o objetivo de obter soluções mais económicas e mais amigas do ambiente. A formação de ilhas de calor urbano é consequência da densa edificação existente nos centros urbanos. Com a aplicação do conceito de fachadas verdes este problema pode ser atenuado, levando a níveis de conforto térmico superiores aos existentes nas cidades com esta problemática (Lopes, 2008).

Nesta dissertação, foram gerados vários cenários para realizar a comparação de diversas soluções com o intuito de mitigar as temperaturas que se fazem sentir no local do estudo de caso. Após a escolha do local, procedeu-se a coleta de dados relativa ao clima no local. Posteriormente, foram realizadas simulações para os diversos cenários idealizados. Esses cenários apresentam diferentes composições de material de fachada e a aplicação de fachadas verdes.

As simulações permitiram observar diferenças nos resultados obtidos com a alteração dos cenários. Posto isto, é possível obter dados de conforto térmico e, estes podem diferir consoante a composição das fachadas dos edifícios.

Pela análise dos resultados produzidos, concluiu-se que as fachadas verdes têm um impacto positivo na mitigação de temperaturas mais elevadas em ambiente urbano e, conseqüentemente, contribuem para a melhoria do conforto térmico em áreas edificadas.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Fachadas Verdes, Conforto térmico, Mitigação, ENVI-met

## **ABSTRACT**

Given the growth of the urban population worldwide, concerns about the quality of the urban environment have also been increasing and, increasingly, sustainability is a much-debated topic due to the solutions adopted in construction, in order to obtain more economical and more environmentally friendly solutions.

The formation of urban heat islands is a consequence of the dense edification existing in urban centers. Applying the concept of green façades, this problem can be mitigated, leading to levels of thermal comfort higher than those existing in cities with this problem (Lopes, 2008).

In this dissertation, several scenarios were generated to carry out the comparison between different solutions in order to mitigate the temperatures felt at the case study site. After choosing the location, climate data was collected.

Subsequently, simulations were carried out for the created scenarios.

These scenarios feature different compositions of façade material and the application of green façades.

Throughout the simulations it was possible to observe differences in the results obtained with the change of scenarios. That said, it is possible to obtain thermal comfort data and these may differ depending on the composition of the building facades.

From the analysis of the results, it was possible to conclude that green facades have a positive impact on the mitigation of higher temperatures in an urban environment and, consequently, contribute to the improvement of thermal comfort in built-up areas.

## **KEY WORDS:**

Green facades; Thermal Comfort; Mitigation; ENVI-met



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Hipóteses de Investigação .....	3
1.4. Metodologia .....	3
1.5. Estudo de Caso .....	3
1.6. Estrutura da Dissertação .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Introdução.....	6
2.2. Alterações Climáticas em Portugal.....	10
2.2.1. Importância do Conforto Térmico, em Espaço Exterior, na Saúde.....	11
2.2.1. Ilhas de Calor Urbano .....	17
2.3. Simulação Computacional dos Efeitos de Fachadas Verdes .....	18
2.3.1. Programa SketchUp .....	18
2.3.2. Programa ENVI-met.....	19
2.3.1. Aplicação do Programa ENVI-met .....	21
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>32</b>
4.1. Introdução.....	32
4.2. Enquadramento Local .....	32
4.3. Caraterização do Estudo de Caso .....	33
4.3.1. Caraterização Climática.....	33
4.3.2. Caraterização Urbanística.....	38
4.3.3. Dados a introduzir no ENVI-met.....	38
4.4. Apresentação dos Cenários Estudados.....	40
4.5. Preparação dos Dados para a Modelação .....	41
4.6. Obtenção de Resultados .....	44
<b>5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
5.1. Desenvolvimentos Futuros .....	61

<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>62</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
7.1. Anexo 1 – Cenários estudados .....	68
7.2. Anexo 2 – Mapas de saída – Envi-met .....	79
7.3. Anexo 3 – Comparações e máximos e mínimos dos parâmetros .....	139

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 – Esquema da dissertação. ....	5
Figura 2 - Paris - Pershing Hall Hotel & Restaurante. ....	6
Figura 3 – Fachadas norte, este e sul do pátio no edifício Natura Towers, Lisboa.....	7
Figura 4 - Diagrama Esquemático de exemplos de diferentes tipos de VGS. ....	8
Figura 5 - Classificação de paredes verdes de acordo com as suas características.....	9
Figura 6 - Esquema de diferentes componentes da cobertura verde.....	10
Figura 7 - Projeção da evolução da temperatura média anual até ao final do século. ....	11
Figura 8 - Onda de calor de julho-agosto de 2003, Portugal Continental.....	16
Figura 9 – Perfil térmico numa cidade em que é evidenciada uma ilha de calor urbana. ....	17
Figura 10 – SketchUp Pro 2021 .....	19
Figura 11 – Modelação ENVI-met.....	19
Figura 12 – Distribuição espacial de $\Delta$ PET às 14:00 h para todas as subáreas. ....	22
Figura 13 – Desvio padrão da temperatura do ar em diversos cenários (NV – Sem vegetação; OG – Só relva; CS – Situação corrente; DL – Duplo LAD; Tamanho das interfaces planta-atmosfera) .....	23
Figura 14 – Modelação para simulações no programa Envi-met com várias configurações. (caso A (configuração atual do solo), caso B (caso A sem árvores), caso C (caso B sem vegetação urbana) e caso D (caso C com árvores). ....	25
Figura 15 – Diferença de temperatura do ar entre o cenário A e B (efeito das árvores e das pastagens) relativo à Figura 12.....	25
Figura 16 – SketchUp - Definição da geolocalização. ....	27
Figura 17 – SketchUp - Instalação da extensão INX.....	28

Figura 18 – ENVI-met - Base de dados dos materiais. ....	28
Figura 19 – ENVI-met - Definição/Criação da workspace. ....	29
Figura 20 – ENVI-met - Modelação 2D/3D. ....	29
Figura 21 – ENVI-met - Introdução dos dados meteorológicos.....	30
Figura 22 - ENVI-met – Aplicação BIO-met .....	30
Figura 23 – ENVI-met – Aplicação Leonardo. ....	31
Figura 24 – Processos a seguir para o programa ENVI-met. ....	31
Figura 25 – Localização geográfica do Largo da Câmara Municipal de Guimarães. ....	33
Figura 26 – Temperaturas máximas e mínimas médias. ....	34
Figura 27 – Temperatura média horária.....	35
Figura 28 – Temperaturas médias. ....	36
Figura 29 - Humidade do ar máxima e mínima (média) diária, mensal e anual. ....	36
Figura 30 – Humidade relativa às 9h e 18h (Estação Climatológica de Braga, 1961-1990).....	37
Figura 31 – Velocidade do vento média horária.....	37
Figura 32 – Densidade populacional da cidade de Guimarães, por freguesia do concelho, em vista 3D. .....	38
Figura 33 – Material reintroduzido na base de dados. ....	42
Figura 34– Nova parede introduzida na base de dados. ....	42
Figura 35 – Novo solo introduzido na base de dados.....	43
Figura 36 – Modelação no programa SketchUp Pro 2021. ....	43
Figura 37 - Barra de tarefas da extensão de ligação dos programas (SketchUp e ENVI-met). ....	44

---

Figura 38 - Modelo importado do programa SketchUp. ....	44
Figura 39 - Mapa de temperatura do cenário 4 às 15:00 horas. ....	46
Figura 40 - Mapa de temperatura do cenário 3 às 15:00 horas. ....	47
Figura 41 - Mapa de PMV do cenário 3.1 às 10:00 horas. ....	49
Figura 42 - Mapa de PMV do cenário 4.2 às 10:00 horas. ....	50
Figura 43 - Mapas de PPD do cenário 3.1 às 20:00 horas. ....	52
Figura 44 - Mapa de PPD do cenário 5 às 20:00 horas. ....	53
Figura 45 - Mapa de Temperatura do cenário 1 às 15:00 horas. ....	55
Figura 46 - Mapa de Temperatura do cenário 3 às 15:00 horas. ....	56
Figura 47 - Barra de estado da simulação. ....	57
Figura 48 - Mapa de Temperatura do cenário 3 às 10:00 horas. ....	58
Figura 49 - Mapa de Temperatura do cenário 3.2 às 10:00 horas. ....	59
Figura 50 – Cenário 1. ....	68
Figura 51 – Cenário 1.2. ....	69
Figura 52 – Cenário 2. ....	70
Figura 53 – Cenário 2.1. ....	71
Figura 54 – Cenário 3. ....	72
Figura 55 – Cenário 3.1. ....	73
Figura 56 – Cenário 3.2. ....	74
Figura 57 – Cenário 4. ....	75
Figura 58 – Cenário 4.1. ....	76

Figura 59 – Cenário 4.2. ....	77
Figura 60 – Cenário 5. ....	78
Figura 61 - Cenário 1 – Temperatura .....	79
Figura 62 - Cenário 1 – PMV.....	80
Figura 63 – Cenário 1 - PPD .....	81
Figura 64 – Cenário 1 - PET .....	82
Figura 65 – Cenário 1 - UTCI.....	83
Figura 66 – Cenário 1 - SET .....	84
Figura 67 – Cenário 1.2 - Temperatura.....	85
Figura 68 – Cenário 1.2 - PMV .....	86
Figura 69 – Cenário 1.2 - PPD.....	87
Figura 70 – Cenário 1.2 - PET .....	88
Figura 71 - Cenário 1.2 – UTCI.....	89
Figura 72 - Cenário 1.2 – SET .....	90
Figura 73 – Cenário 2 - Temperatura .....	91
Figura 74 – Cenário 2 - PMV.....	92
Figura 75 – Cenário 2 - PPD .....	93
Figura 76 – Cenário 2 - PET .....	94
Figura 77 – Cenário 2 - UTCI.....	95
Figura 78 – Cenário 2 - SET .....	96
Figura 79 – Cenário 2.1 - Temperatura.....	97

---

Figura 80 – Cenário 2.1 - PMV.....	98
Figura 81 – Cenário 2.1 - PPD.....	99
Figura 82 – Cenário 2.1 - PET .....	100
Figura 83 – Cenário 2.1 - UTCI.....	101
Figura 84 – Cenário 2.1 - SE .....	102
Figura 85 – Cenário 3 - Temperatura .....	103
Figura 86 – Cenário 3 - PMV.....	104
Figura 87 – Cenário 3 - PPD.....	105
Figura 88 – Cenário 3 - PET.....	106
Figura 89 – Cenário 3 - UTCI.....	107
Figura 90 – Cenário 3 - SET.....	108
Figura 91 – Cenário 3.1 - Temperatura .....	109
Figura 92 – Cenário 3.1 - PMV.....	110
Figura 93 – Cenário 3.1 - PPD.....	111
Figura 94 – Cenário 3.1 - PET .....	112
Figura 95 – Cenário 3.1 - UTCI.....	113
Figura 96 – Cenário 3.1 - SET.....	114
Figura 97 – Cenário 4 - Temperatura .....	115
Figura 98 – Cenário 4 -PMV.....	116
Figura 99 – Cenário 4 - PPD.....	117
Figura 100 – Cenário 4 - PET .....	118

Figura 101 – Cenário 4 - UTCI.....	119
Figura 102 – Cenário 4 - SET .....	120
Figura 103 – Cenário 4.1 - Temperatura.....	121
Figura 104 – Cenário 4.1 - PMV .....	122
Figura 105 – Cenário 4.1 - PPD.....	123
Figura 106 – Cenário 4.1 - PET .....	124
Figura 107 – Cenário 4.1 - UTCI.....	125
Figura 108 – Cenário 4.1 - SET .....	126
Figura 109 – Cenário 4.2 - Temperatura.....	127
Figura 110 – Cenário 4.2 - PMV .....	128
Figura 111 – Cenário 4.2 - PPD.....	129
Figura 112 – Cenário 4.2 - PET .....	130
Figura 113 – Cenário 4.2 - UTCI.....	131
Figura 114 – Cenário 4.2 - SET .....	132
Figura 115 – Cenário 5 - Temperatura.....	133
Figura 116 – Cenário 5 - PMV .....	134
Figura 117 – Cenário 5 - PPD.....	135
Figura 118 – Cenário 5 - PET .....	136
Figura 119 – Cenário 5 - UTCI.....	137
Figura 120 – Cenário 5 - SET .....	138



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – PMV e PPD para cada uma das sensações térmicas. ....	12
Tabela 2 - Índices térmicos e variáveis recolhidas para o estudo do ambiente térmico e sensação térmica.....	13
Tabela 3 – Excessos de mortalidade por distrito em Portugal Continental no período de calor extremo (23 de junho a 14 de julho de 2013) e números de dias acima do limiar de temperatura de verão. ...	15
Tabela 4 – Os 10 eventos naturais mais mortíferos em Portugal nos últimos 100 anos. ....	16
Tabela 5 - Temperaturas máximas e mínimas e médias. ....	35
Tabela 6 – Dados de entrada para as simulações no programa ENVI-met. ....	39
Tabela 7 –Análise comparativa entre o cenário 3 e cenário 4 às 15:00 horas. ....	45
Tabela 8 - Análise comparativa entre o cenário 3.1 e cenário 4.2 às 10:00 horas. ....	48
Tabela 9 - Análise comparativa entre o cenário 3.1 e cenário 5 às 20:00 horas. ....	51
Tabela 10 - Análise comparativa entre o cenário 1 e cenário 3 às 15:00 horas. ....	54

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

H - Humidade

ITH - Índice Temperatura e Humidade

MOCI - *Mediterranean Outdoor Comfort Index*

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PDM – Plano Diretor Municipal

PET – *Physiological Equivalent Temperature*

PMV – *Predicted Mean Vote*

PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*

SET – *Standard Effective Temperature*

SVF - *Sky View Factor*

T - Temperatura

USA – *United the States of America*

UTCI – *Universal Thermal Climate Index*

WBGT - *Wet Bulb Globe Temperature*

$\Delta T_a$  – Diferença de Temperatura

UHI – *Urban Heat Islands*

VGS – *Vertical Garden System*

## **1. INTRODUÇÃO**

Este primeiro capítulo é introdutório à dissertação. Serão assim apresentados os objetivos da dissertação, as hipóteses de investigação e a metodologia a desenvolver para o estudo de caso apresentado.

### **1.1. Motivação**

A principal motivação para o desenvolvimento desta dissertação vai de encontro com a procura de possíveis melhorias na mitigação das alterações das condições climáticas para melhores resultados no conforto térmico dos indivíduos utilizadores dos espaços exteriores em centros urbanos.

O conforto térmico dos indivíduos tem um impacto notável na saúde dos mesmos. É demonstrado em vários estudos que as mortes devidas ao calor poderiam ser diminuídas com diversas soluções (Alcoforado *et al.* (2009) e Silva *et al.* (2016).

Face ao crescimento da população urbana mundial, as preocupações com a qualidade do ambiente urbano têm vindo também a aumentar e, cada vez mais, a sustentabilidade é um tema muito debatido em função das soluções adotadas na construção, com o objetivo de obter soluções mais económicas e mais amigas do ambiente. A formação de ilhas de calor urbano é consequência da densa edificação existente nos centros urbanos. Com a aplicação do conceito de fachadas verdes este problema pode ser atenuado, levando a níveis de conforto térmico superiores aos existentes nas cidades com esta problemática (Lopes, 2008). A utilização de fachadas verdes, em grandes centros urbanos, é uma importante ferramenta para o combate às alterações das condições climáticas, sendo, no entanto, necessário quantificar os benefícios obtidos no que toca ao desempenho das mesmas relativamente ao conforto térmico dos utilizadores cidadãos. Face a esta problemática, torna-se fundamental o estudo das alterações possíveis no ambiente urbano recorrendo às fachadas verdes, simulando diversas possibilidades de soluções. Para tal, é possível realizar uma simulação computacional de tecidos urbanos com fachadas verdes, que permite avaliar o impacto da utilização das mesmas nas áreas pretendidas e, ao mesmo tempo, comparar os resultados que se obtém aquando da alteração dos componentes da génese da fachada a utilizar no processo. Sendo assim, é possível avaliar aspetos

económicos e ambientais da sua utilização em função dos elementos escolhidos durante o processo de aplicação. O conforto dos peões é influenciado pelo meio ambiente que os rodeia e em que circulam. Estudos realizados mostram que é possível obter níveis de conforto superiores, fazendo uma comparação das áreas pré-existentes com simulações de densificação dessas áreas incluindo utilização de vegetação. Neste último caso, as temperaturas sentidas pelos peões são inferiores (Valeri *et al.*, 2013). Em Madrid, em medições realizadas no edifício da Caixa Fórum, com uma fachada verde, foi registada uma redução da temperatura entre os 2.5 e os 2.9°C. Assim, é possível afirmar que a vegetação assume um comportamento importante quando estamos perante microclimas nos centros urbanos (Jesus *et al.*, 2016). Num estudo de caso realizado, foi possível evidenciar que a utilização de pátios nos edifícios de construção, permite microclimas mais confortáveis (Taleghani *et al.*, 2015). Segundo outros estudos, é possível afirmar que a vegetação oferece grandes vantagens no arrefecimento no verão e afeta as temperaturas de inverno de uma forma positiva, sendo possível, utilizando o programa ENVI-met, quantificar as melhorias das diversas soluções possíveis (Yilmaz *et al.*, 2018).

## **1.2. Objetivos**

A realização desta dissertação visa a obtenção de conhecimentos relativos aos níveis de conforto urbano obtidos a partir da aplicação do conceito de fachadas verdes nos edifícios, permitindo a intervenção em espaços urbanos consolidados.

O principal objetivo desta dissertação é avaliar o impacto das fachadas verdes na mitigação das alterações climáticas numa zona do Centro Histórico de Guimarães (Largo da Câmara Municipal de Guimarães).

Para tal, é necessária a compreensão da aplicação de fachadas verdes e dos benefícios da utilização das mesmas.

### **1.3. Hipóteses de Investigação**

As hipóteses de investigação são direcionadas para as melhorias a fazer nas fachadas dos edifícios no Largo da Câmara de Guimarães. Com foco para o conforto térmico urbano e com a aplicação de vegetação nas fachadas, será estudada a melhoria que os utilizadores do largo irão sentir relativamente às temperaturas sentidas nos períodos mais quentes.

O estudo foi realizado tendo em conta diversos cenários, tais como: a utilização de fachadas verdes em 50% das paredes do largo; utilização de fachadas verdes em todos os edifícios do largo; e a utilização de materiais de construção diferentes.

### **1.4. Metodologia**

Inicialmente, foi efetuada uma revisão bibliográfica sobre a utilização de simulação computacional de fachadas verdes. Seguidamente, foi realizada uma análise sobre a simulação computacional de ambientes urbanos através de diferentes programas. Com os conhecimentos obtidos nas fases anteriores, foi feita a aplicação da simulação computacional a um pequeno tecido urbano, introduzindo diferentes composições de fachadas verdes e diferentes tipos de materiais utilizados. Por fim, foram apresentadas e discutidas as conclusões acerca da variabilidade de soluções encontradas.

### **1.5. Estudo de Caso**

Neste estudo, o foco foi na cidade de Guimarães. Por ser uma cidade com um clima muito característico, com temperatura máxima média diária de 28°C e uma máxima registada de 39.3°C, merece que seja estudada esta envolvente das alteações climáticas, motivo para que os peões se sintam mais confortáveis quando frequentam a cidade, mais concretamente, no Largo da Câmara.

### **1.6. Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação está dividida em sete capítulos que são descritos a seguir.

No capítulo I é feita uma introdução ao tema de fachadas verdes onde é incluída a motivação para a realização desta dissertação, os objetivos, as hipóteses de investigação, a metodologia utilizada, o estudo de caso e a estrutura da dissertação.

No capítulo II, relativo à revisão bibliográfica, é abordada a importância do conforto térmico em espaço exterior na saúde, as evidências de estudos em espaço exterior e as aplicações do programa ENVI-met.

No capítulo III é apresentada a metodologia necessária para a realização das simulações no programa ENVI-met.

No capítulo IV é feita a análise do estudo de caso selecionado para a dissertação, onde é feita a caracterização do mesmo, relativamente à caracterização meteorológica e urbanística e quais os dados introduzidos no programa ENVI-met. E, também é apresentada a discussão dos resultados obtidos.

No capítulo V são apresentadas as conclusões, discussão dos resultados e possíveis aplicações futuras a desenvolver.

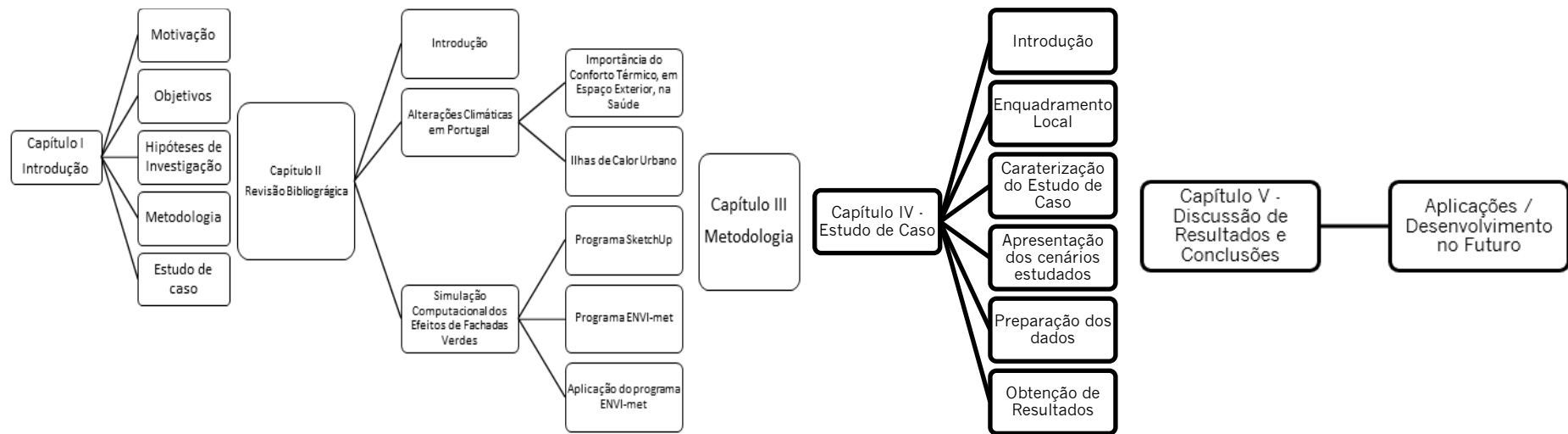


Figura 1 – Esquema da dissertação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados vários conceitos essenciais e resultados de estudos publicados que ajudarão a perceber o estado de desenvolvimento da temática em análise. Deste modo, procurar-se-á aprofundar o tema de interesse e as variáveis que a ele estão associadas.

### 2.1. Introdução

Os Jardins Suspensos de Semiramis, na Babilónia, estão entre as maravilhas mais lendárias do mundo antigo. Apesar de serem descritos pela primeira vez no século IV a.c., diz-se que Nabucodonosor II os construiu para a sua esposa Amyitis em 600 a.c.

O inovador moderno, Patrick Blanc, projetou o primeiro jardim vertical (Figura 2), em 2001, em contexto de design interior do Pershing Hall de Andrée Putman, em Paris.

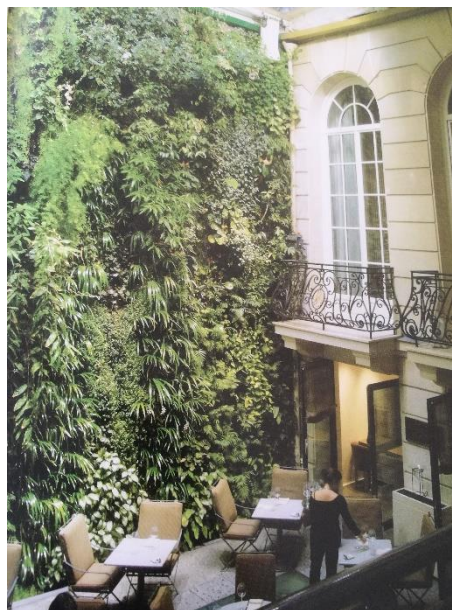


Figura 2 - Paris - Pershing Hall Hotel & Restaurante.

Fonte: Uffelen (2011)

Tanto na Europa como no resto do Mundo, nesta nova era de jardins verticais, é possível despertar curiosidade neste tema, observando alguns exemplos de fachadas verdes de diversas formas e cores.



Em Portugal, o Natura Towers (Figura 3) é um exemplo de edifício com fachadas verdes. É composto por um jardim interior e um jardim exterior em logradouros entre dois edifícios.



Figura 3 – Fachadas norte, este e sul do pátio no edifício Natura Towers, Lisboa.

Fonte: Uffelen (2011)

Com o aumento da população, as áreas urbanas têm sido submetidas a um desenvolvimento cada vez mais rápido e, como consequência, têm sofrido alterações a nível do solo. A implantação de edifícios, parques de estacionamento e pavimentação das ruas tornam os solos cada vez mais impermeáveis o que leva à formação de ilhas de calor urbano (*Urban Heat Islands*, UHI). Como consequência das UHI, o conforto térmico, torna-se comprometido relativamente aos seus utilizadores.

Os espaços verdes são o ponto chave para assegurar melhorias na qualidade de vida, contribuindo benéficamente para o conforto térmico e na diminuição da poluição.

Para uma melhor compreensão dos pontos chave da dissertação, neste capítulo são abordados vários temas, a saber: definições de ilha de calor urbano e onda de calor; a importância do conforto térmico em espaço exterior na saúde dos indivíduos; evidências em estudos de caso e a aplicação do programa ENVI-met na obtenção de melhores soluções para espaços exteriores.

- Fachadas verdes vs paredes vivas (Figura 5)

Bustami *et al.* (2018) mencionam a diferença entre fachadas verdes e paredes vivas (Figura 4), identificando-as como sistemas de jardim vertical (VGS).

As fachadas verdes compreendem a vegetação cultivada adjacente à superfície de construção. Esta, pode ser aplicada direta ou indiretamente à fachada, isto é, pode ser fixada na parede ou em guias paralelas à superfície.

As paredes vivas são referentes à vegetação plantada em caixas de plantio que se desenvolvem na fachada. Estas podem compreender sistemas mais desenvolvidos e mais independentes em relação à colocação da raiz e em relação ao sistema de rega. É possível o sistema de enraizamento em substrato ou hidropónico (Manso *et al.*, 2016).

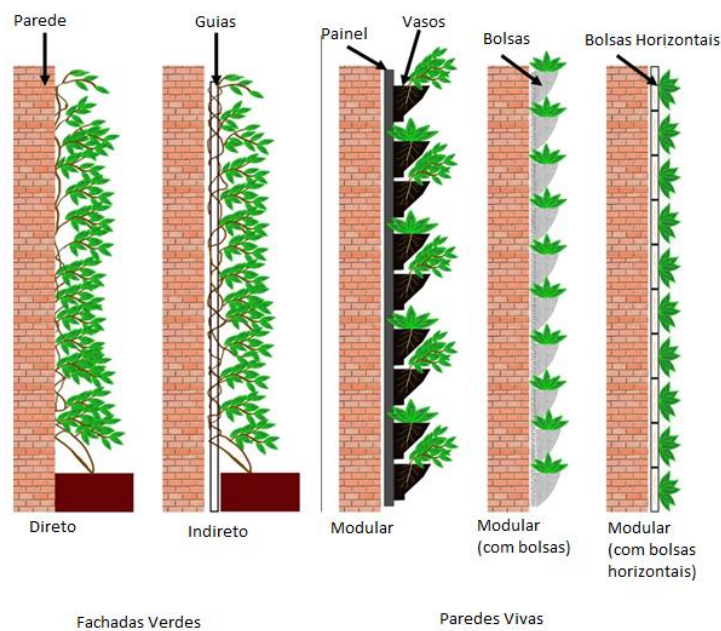


Figura 4 - Diagrama Esquemático de exemplos de diferentes tipos de VGS.

Fonte: Bustami *et al.* (2016)

- Hidroponia

A hidroponia permite o cultivo de plantas sem solo. Com esta técnica é possível que as plantas se desenvolvam com os nutrientes necessários utilizando soluções aquosas e evitando a sujidade gerada quando o cultivo é realizado com solo.

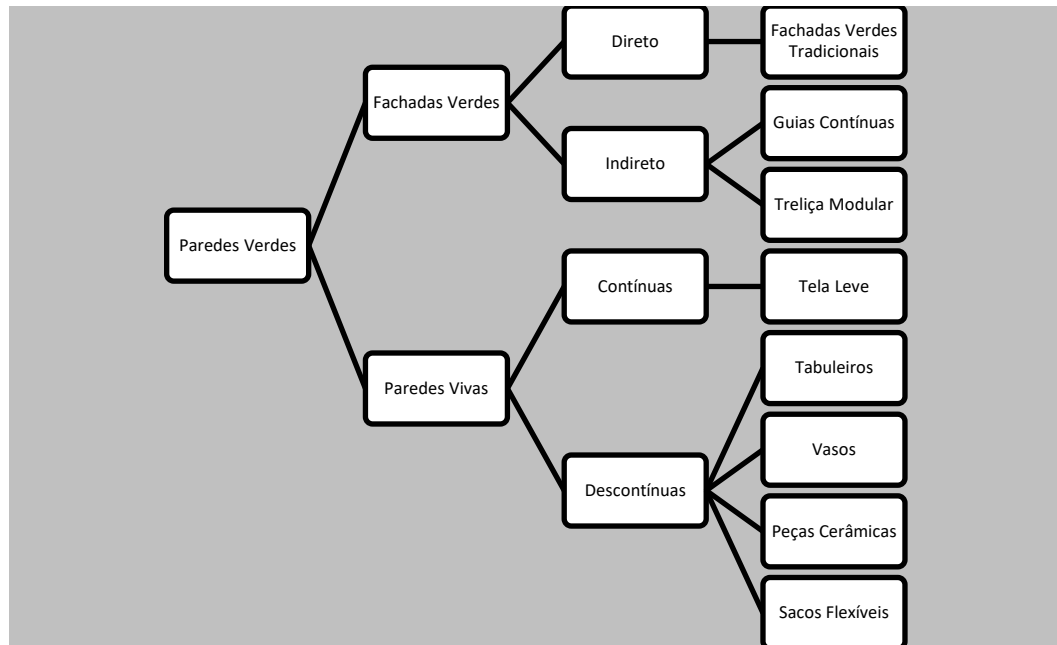


Figura 5 - Classificação de paredes verdes de acordo com as suas características.

Fonte: Manso *et al.* (2016)

- Coberturas verdes

As coberturas verdes são estruturalmente projetadas para mitigar os efeitos adversos da urbanização (Shafique *et al.*, 2018)

Depois de mencionados os jardins suspensos da Babilónia, estes voltaram ao destaque na década de 1960. O desenvolvimento e comercialização das coberturas verdes modernas tiveram início na Alemanha. Tornaram-se populares inicialmente nos seus países vizinhos e, posteriormente, no resto do mundo, no seu domínio mais atual (“nova era das coberturas verdes”).

As coberturas verdes trazem diversos benefícios que são mencionados por Vijayaraghavan (2016): atenuação de águas pluviais, benefícios térmicos, melhorias da qualidade da água, redução do ruído, aumento da qualidade do ar, entre outros (melhorias estéticas, benefícios ecológicos, sociais e económicos).

As coberturas verdes são compostas por várias camadas, sendo que, estas diferem de espessura consoante as espécies a implementar nas mesmas. Na Figura 6 é apresentada uma solução de coberturas verdes composta por uma camada impermeabilizante e barreira de raiz, uma camada de drenagem, uma camada de filtro, substrato de crescimento e vegetação.

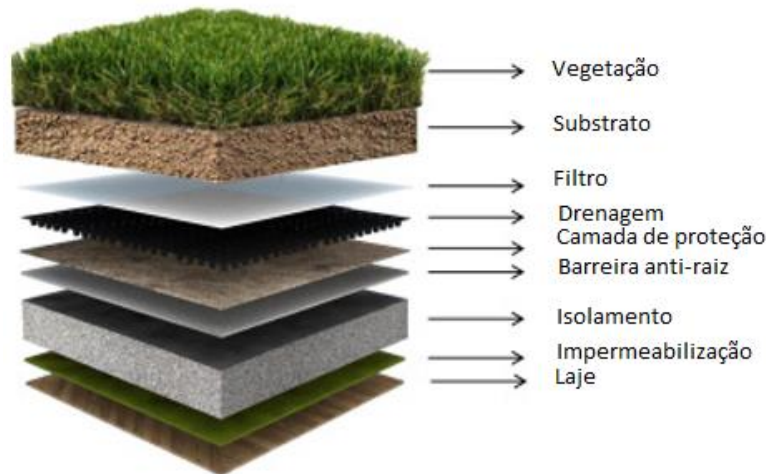


Figura 6 - Esquema de diferentes componentes da cobertura verde.

Fonte: Adaptado de Vijayaraghavan (2016)

## 2.2. Alterações Climáticas em Portugal

A temperatura e a precipitação são as variáveis mais afetadas pelas alterações climáticas. Estas alterações terão ainda repercussões nos recursos hídricos, na saúde humana e na biodiversidade. Por esse motivo, as áreas costeiras e urbanas portuguesas estão em situação mais suscetível a modificações.

Tal como referido em diversos estudos (Alcoforado *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2016), a saúde humana pode sofrer várias consequências mencionadas no próximo subcapítulo. Com recurso a modelos estatísticos, foram estimados aumentos da frequência e intensidade de ondas de calor que põem em risco a saúde humana. Posto isto, o número de dias muito quentes tende a aumentar e o número de dias muito frios tende a diminuir.

As cidades estão cada vez mais sensíveis ao agravamento do efeito de estufa, acentuado pela rápida e crescente urbanização das áreas. Neste contexto, é possível afirmar que, quanto menor o número de espaços verdes, maior será o acréscimo da temperatura (Alcoforado *et al.*, 2009).

Os principais impactos que afetam a região mediterrânica (onde se insere Portugal continental) são: a diminuição da precipitação anual, do caudal dos rios, da produtividade agrícola, da produção de energia hídrica e do turismo no verão; o aumento do número de incêndios, da hidro-intensividade agrícola, da mortalidade provocada por vagas de calor, do número de vetores de transmissão de doenças, do risco acrescido de desertificação e da perda de biodiversidade.

Na Figura 7, é possível observar a projeção da evolução da temperatura média anual, até ao final do século.

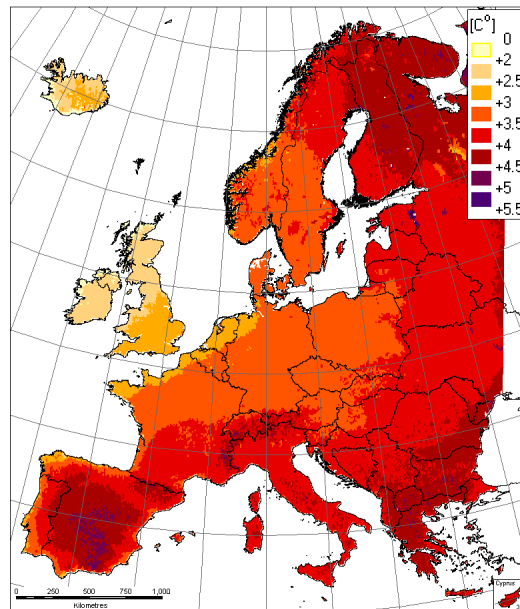


Figura 7 - Projeção da evolução da temperatura média anual até ao final do século.

Fonte: Alcoforado *et al.* (2009)

### 2.2.1. Importância do Conforto Térmico, em Espaço Exterior, na Saúde

O conforto térmico depende de fatores quantitativos (temperatura do ar, direção e velocidade do vento, humidade, etc.) e fatores não quantitativos (estado mental, hábitos, educação, etc.). Assim sendo, é um conceito que não implica uma temperatura exata para a obtenção do valor de conforto térmico.

O conforto térmico ocorre quando as trocas de calor entre o ambiente e o corpo humano são realizadas sem esforço, o que leva a uma capacidade de trabalho máxima. Caso as condições térmicas ambientais causem sensação de calor ou frio, o organismo reage de forma a perder calor, podendo causar défices na capacidade de trabalho do indivíduo.

Na Tabela 1, são apresentados os valores de *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) para as diferentes sensações térmicas (Trebien *et al.*, 2017).

Tabela 1 – PMV e PPD para cada uma das sensações térmicas.

Fonte: Trebien *et al.* (2017)

<b>Sensação Térmica</b>	<b>PMV</b>	<b>PPD (%)</b>
Muito quente	3	100
Quente	2	75
Pouco quente	1	25
Neutralidade	0	5
Pouco Frio	-1	25
Frio	-2	75
Muito frio	-3	100

É de grande importância, o nível de conforto térmico dos utentes, tanto em espaços fechados como em espaços abertos. Na Tabela 2, são mostrados os índices térmicos e as variáveis mais relevantes para cada tipo de espaço segundo recolha realizada por Morgado *et al.* (2014).

Tabela 2 - Índices térmicos e variáveis recolhidas para o estudo do ambiente térmico e sensação térmica.

Fonte: Morgado *et al.* (2014)

<b>Autor</b>	<b>Contexto</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Ambiente Térmico</b>	<b>Sensação Térmica</b>	<b>Variáveis Recolhidas</b>
Nogueira <i>et al.</i> (2014)	AeroStep (sala de fitness)	Avaliar a sensação térmica das praticantes de AeroStep	EsConTer; ITH (índice temperatura e humidade)	Escala de cores associada ao EsConTer	Temperatura do ar; humidade relativa do ar; sensação térmica (questionário)
Bakar <i>et al.</i> (2010)	Indústria automóvel da Malásia (espaço interior)	Determinar o conforto térmico dos trabalhadores da empresa	WBGT (wet bulb globe temperature);	PMV (predicted mean vote); PPD (predicted percentage dissatisfied); escala sétima de sensação térmica de ASHRAE	Velocidade do ar (m/s); humidade relativa do ar (%); temperatura média radiante; temperatura do ar; nível de atividade (metabolismo); isolamento do vestuário (clo)
Pereira (2013)	Salas de aulas de escolas públicas	Avaliar o desempenho da ventilação natural para a promoção de conforto térmico de salas de aulas de escolas públicas		PMV; PPD; escala sétima de sensação térmica de ASHRAE	Temperatura do termómetro húmido; temperatura do ar; temperatura do globo; sensação térmica (questionário)
Lin <i>et al.</i> (2010)	Espaço exterior - Campus da National Formosa University, Taiwan	Análise do efeito da sombra em ambientes exteriores, baseado no intervalo de conforto dos habitantes de Taiwan	PET (physiologically equivalent temperature)	Escala sétima de sensação térmica de ASHRAE	Temperatura média do globo; temperatura do ar; humidade relativa do ar; temperatura média radiante; velocidade do ar; isolamento do vestuário (clo); metabolismo (met); SVF (sky view factor)
Akimoto <i>et al.</i> (2010)	Escritório	Estudo da influência do comportamento e controlo da climatização na sensação de conforto dos trabalhadores		Escala sétima de sensação térmica de ASHRAE	Temperatura horizontal; humidade relativa do ar; temperatura vertical; velocidade do ar; temperatura média radiante; isolamento do vestuário (clo); metabolismo (met); sensação térmica (questionário)

Perante uma atualidade muito próxima, as autoridades de saúde alertam a população para os diversos riscos perante o calor que se faz sentir nos períodos de onda de calor. Foi noticiado pelo delegado de

saúde de Braga, a 06-07-2020, um alerta para os riscos e os cuidados a ter durante uma onda de calor.

Quando exposto a calor intenso, o organismo humano é sujeito a agressões cujas consequências variam de indivíduo para indivíduo. Pode ocorrer desidratação, agravamento de doenças crónicas, esgotamento ou golpe de calor (cãibras musculares, cansaço, fraqueza, desmaio, náuseas e vômitos, respiração rápida e superficial, elevada transpiração, palidez, pele fria e húmida, pulso fraco e rápido e dor de cabeça), sendo este último o mais grave, podendo provocar danos irreversíveis na saúde ou até levar à morte.

As faixas etárias mais vulneráveis são as crianças nos primeiros anos de vida, idosos, portadores de doenças crónicas, obesos, acamados, pessoas com problemas de saúde mental e pessoas que tomem medicamentos, tais como, anti hipertensores, antiarrítmicos, diuréticos, antidepressivos, neurolépticos, entre outros.

É aconselhável que as pessoas se protejam do sol, evitando a exposição direta, principalmente entre as 11 e as 16 horas, o uso de protetor solar, chapéu e óculos escuros, a diminuição de esforços físicos e repousos frequentes em locais de sombra, frescos e arejados. É necessário, para o combate às altas temperaturas, fazer uma alimentação saudável e beber água com bastante frequência. A procura e a oferta de ajuda são, também, muito importantes.

As ondas de calor têm um grande impacto na saúde humana e podem provocar graves consequências no bem-estar dos indivíduos.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), uma onda de calor ocorre, quando num intervalo de pelo menos seis dias consecutivos, a temperatura máxima diária é superior em 5°C ao valor médio diário no período de referência.

Em Portugal, as ondas de calor ocorrem, normalmente entre junho e agosto.

Em 2013, Portugal foi afetado por uma onda de calor, entre 23 de junho e 14 de julho, que causou um excesso de mortalidade na maioria dos distritos do continente português. Esses excessos podem ser observados na Tabela 3 e na Tabela 4 são apresentados os 10 eventos naturais mais mortíferos em Portugal nos últimos 100 anos.



A maior onda de calor registada em Portugal Continental (desde 1941 até 2020) ocorreu entre julho e agosto de 2003, com uma variação de 16-17 dias (Figura 8).

Tabela 3 – Excessos de mortalidade por distrito em Portugal Continental no período de calor extremo (23 de junho a 14 de julho de 2013) e números de dias acima do limiar de temperatura de verão.

Fonte: Silva *et al.* (2016)

<b>Distrito</b>	<b>Excesso/100.000 habitantes</b>	<b>Nº de dias acima do limiar de temperatura verão (limiar °C)</b>
Aveiro	17	13 (27)
Beja	3	14 (36)
Braga	13	13 (32)
Bragança	25	11 (33)
Castelo Branco	30	10 (36)
Coimbra	25	13 (32)
Évora	26	17 (35)
Faro	6	9 (31)
Guarda	40	13 (29)
Leiria	17	14 (29)
Lisboa	12	13 (32)
Portalegre	37	15 (34)
Porto	15	11 (28)
Santarém	17	15 (34)
Setúbal	11	13 (33)
Viana do Castelo	34	9 (30)
Vila Real	12	12 (33)
Viseu	32	10 (33)

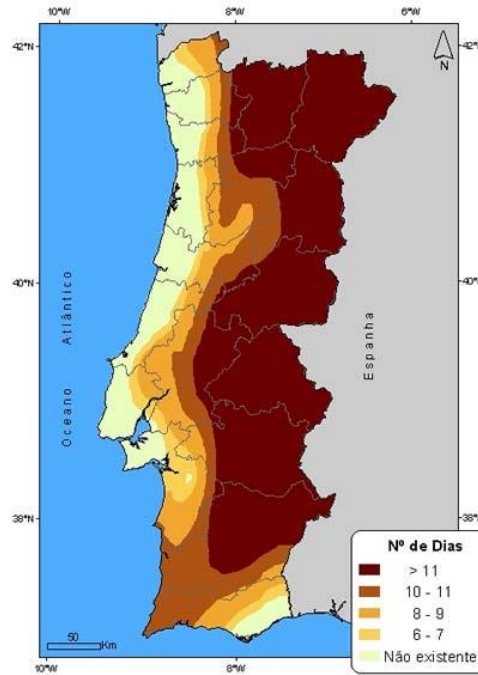


Figura 8 - Onda de calor de julho-agosto de 2003, Portugal Continental.

Fonte: IPMA (2020)

Tabela 4 – Os 10 eventos naturais mais mortíferos em Portugal nos últimos 100 anos.

Fonte: Cunha (2012)

Evento perigoso	Data	Nº de mortos
Onda de Calor	agosto (2003)	2696
Inundação	26 novembro (1967)	462
Inundação	20 fevereiro (2010)	43
Onda de Calor	julho (2006)	41
Inundação	29 dezembro (1981)	30
Tempestade	30 outubro (1997)	29
Inundação	janeiro (1979)	19
Inundação	18 novembro (1983)	19
Incêndios Florestais	15 junho (1986)	15
Incêndios Florestais	15 maio (2005)	15

### 2.2.1. Ilhas de Calor Urbano

As ilhas de calor urbano são caracterizadas pela diferença de temperatura notada entre as áreas urbanas e suburbanas comparativamente com as áreas rurais subjacentes. Numa cidade com uma população de 1 ou mais milhões de pessoas, a temperatura média anual pode sofrer um aumento de 1°C a 3°C em relação às áreas circundantes. Numa noite limpa e calma, essa diferença pode atingir os 12°C.

Na Figura 9 é apresentado um esquema modelo de uma ilha de calor urbano. Representa o aumento de temperatura notado entre a periferia e os centros urbanos.

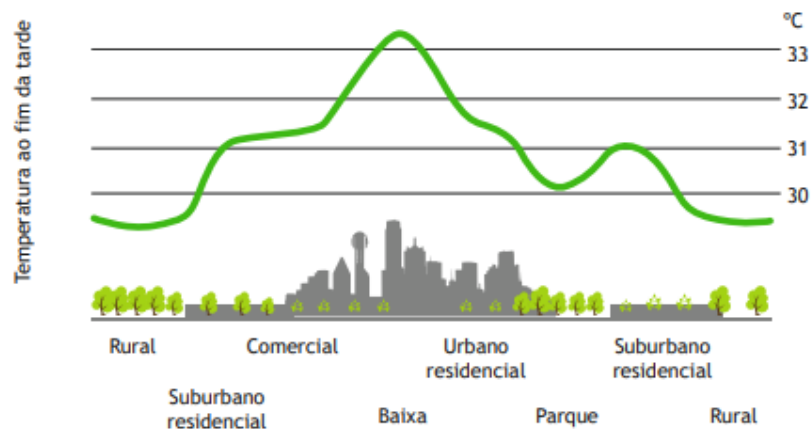


Figura 9 – Perfil térmico numa cidade em que é evidenciada uma ilha de calor urbana.

Fonte: Alcoforado *et al* (2009).

Os espaços verdes estão associados a diversos benefícios nos espaços urbanos. Com a existência de espaços verdes é possível a mitigação e a adaptação das alterações climáticas (redução da ilha de calor urbano, dos riscos de cheias urbanas, criação de áreas frescas e efeitos diretos sobre o comportamento energético dos edifícios). Existem, também outros benefícios, tais como, biofísicos, socioeconómicos e culturais e económicos (Alcoforado *et al.*, 2009).

## **2.3. Simulação Computacional dos Efeitos de Fachadas Verdes**

O efeito provocado pela implementação de fachadas verdes pode ser estudado a partir da simulação computacional em diversos programas. Nesta dissertação foram utilizados os programas SketchUp e ENVI-met.

### **2.3.1. Programa SketchUp**

Para auxílio na modelação dos edifícios a apresentar nesta dissertação, é possível a utilização do programa SketchUp. Na Figura 10, é possível observar um exemplo de modelação em SketchUp.

O programa ENVI-met é um programa complexo, por isso, a modelação 3D dos edifícios no programa SketchUp, simplifica muito nos trabalhos a realizar.

Com o programa SketchUp, a modelação será muito mais prática e de rápida obtenção, no entanto, se toda a estrutura for desenhada no programa ENVI-met, a tarefa será muito mais morosa e de complexa execução. Contudo, é necessária uma análise minuciosa para a compreensão da interligação feita entre os dois programas.

No programa SketchUp, é definida a localização da área de estudo, a grelha da área de trabalho a utilizar no programa ENVI-met e os materiais presentes nos edifícios.

Depois de definidos os parâmetros anteriormente mencionados, é necessário gerar o ficheiro que é importado para o ENVI-met e utilizado na realização de simulações.

No ENVI-met, é possível criar vários cenários para efetuar a comparação entre diferentes variáveis em estudo. Complementarmente, podem ser adicionadas fachadas verdes aos edifícios, espaços verdes e/ou pontos de água nos espaços circundantes.

Pela execução de simulações, são gerados mapas que indicam a temperatura, humidade relativa, velocidade do vento, entre outros, relativos à área em estudo previamente definida e correspondente aos parâmetros escolhidos.

O SketchUp é um programa de desenho que pode ser utilizado como auxílio no desenvolvimento da modelação dos edifícios para possíveis simulações em vários programas de modelação.



Figura 10 – SketchUp Pro 2021

Fonte: SketchUp Pro (2021)

### 2.3.2. Programa ENVI-met

O programa ENVI-met permite obter a simulação de microclimas ao ar livre em qualquer lugar da Terra. É utilizado no combate às alterações das condições climáticas, pois permite simular as alterações criadas com a alteração dos materiais de construção, especificamente, a utilização de vegetação nas paredes e/ou coberturas. Permite avaliar os impactos climáticos na implantação de um projeto em determinado local, e assim, a obtenção da melhor configuração possível. Na Figura 11 é apresentada uma imagem ilustrativa da modelação ENVI-met.

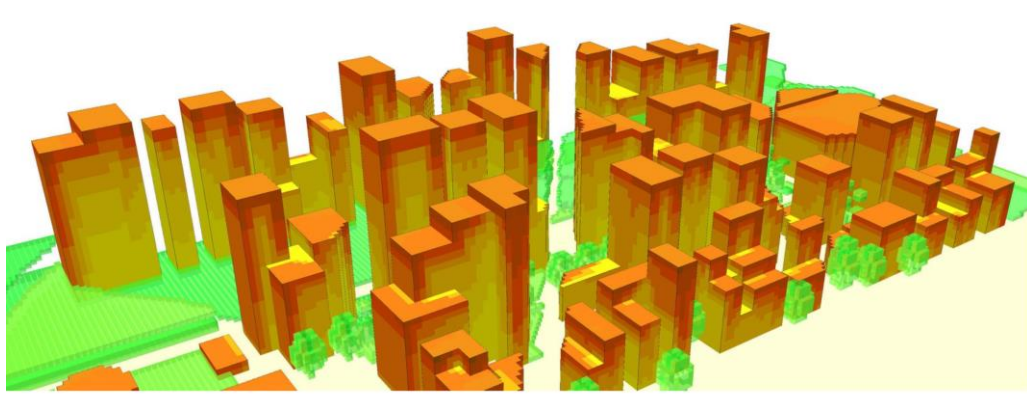


Figura 11 – Modelação ENVI-met.

Fonte: ENVI-met (2020)

É possível executar várias análises através do programa ENVI-met.

- Análise solar

Em excesso ou falta, a luz solar pode criar desconforto e, é possível analisar quais as melhores orientações de fachadas dos edifícios.

- Dispersão de poluentes do ar

Este fator é um dos maiores associados à saúde em ambiente urbano. Com a utilização de emissões de tráfego baseados na emissão padrão para veículos, é possível uma análise da exposição de pessoas e locais aos diversos tipos de poluentes existentes no ar.

- Construção Física

É possível simular as temperaturas da fachada, trocas de processos com paredes com vegetação, a interação entre os microclimas exteriores e interiores e o balanço hídrico e energético de sistemas de paredes vivas.

- Tecnologias Verdes e Azuis

Conhecimento dos benefícios de fachadas e coberturas verdes, do impacto de espaços verdes e das massas de água.

- Fluxo de vento

Como a luz solar, o excesso ou falta de vento também podem contribuir para uma sensação de desconforto no clima. É possível analisar padrões de vento em ambientes complexos, velocidade do vento ao redor de edifícios e árvores e o conforto do vento.

- Conforto térmico ao ar livre

Sendo o conforto térmico ao ar livre um dos aspetos mais importantes para o bem-estar dos ocupantes, o ENVI-met permite uma análise da temperatura do ar, temperatura radiante das superfícies circundantes, movimento do ar nas proximidades do corpo e humidade relativa. São os pontos chave para a obtenção de conforto térmico.

- Tree Pass

É possível fazer uma análise das condições de cultivo das plantas, simulação do stress do vento e danos às árvores e simulação do uso da água.

### **2.3.1. Aplicação do Programa ENVI-met**

Feita uma revisão aos artigos em que são realizados estudos recorrendo ao programa ENVI-met, é possível a observação de análise de estudos de caso em vários países onde são abordadas várias problemáticas que são expostas a seguir. Mais de 4000 simulações em 145 países diferentes (<https://www.envi-met.com/pt-pt/portfolio/>).

O país com mais estudos de caso é a China, onde as problemáticas estudadas são o comportamento ambiental e o conforto térmico dos peões relativamente à mitigação das alterações das condições climáticas, com aplicação de fachadas, telhados e superfícies verdes (Jin *et al.* 2018); a avaliação do impacto destas aplicações relativamente ao conforto térmico dos peões a nível exterior em espaços consolidados e, em zonas arquitetonicamente históricas; o efeito do design das ruas e da morfologia urbana no conforto térmico dos peões; o desempenho de diferentes espécies de vegetação, no combate às alterações climáticas, e a sua orientação no espaço (forma como será mais eficiente a sua colocação).

Os valores de variação da Temperatura Fisiológica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature*  $\Delta$ PET) variam em torno de 2°C, segundo Sun *et al.* (2017), um espaço verde contribui positivamente para melhores níveis de sensação térmica.

Na Figura 12 são mostrados os resultados de  $\Delta$ PET às 14:00 horas no estudo de caso com implementação de espaços verdes em determinados locais.

Como referido anteriormente, a combinação de relva e árvores pode levar a uma redução de, aproximadamente, 2°C na temperatura do ar em comparação com cenários sem vegetação, contribuindo para um microclima mais estável (Wu *et al.*, 2016).

Num estudo de caso em Guangzhou, na China, Zhang *et al.* (2017) afirmaram que a orientação de um desfiladeiro de rua tem influência no conforto térmico, indicando que a orientação mais favorável é SE-NW (Figura 13).

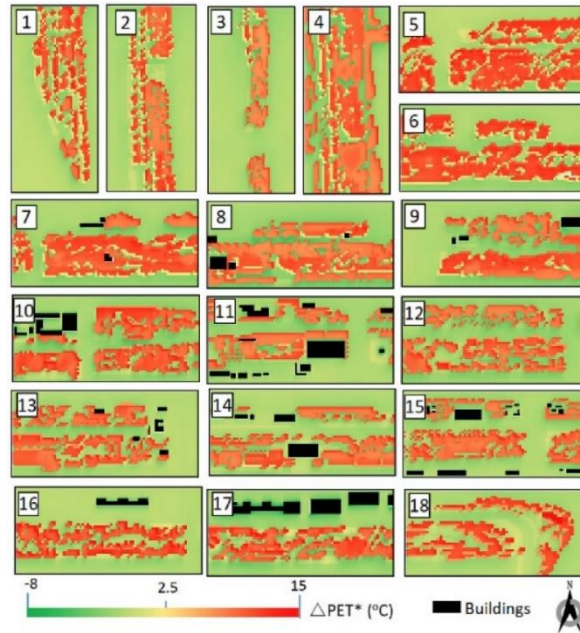


Figura 12 – Distribuição espacial de  $\Delta$  PET às 14:00 h para todas as subáreas.

Fonte: Wu *et al.* (2016)



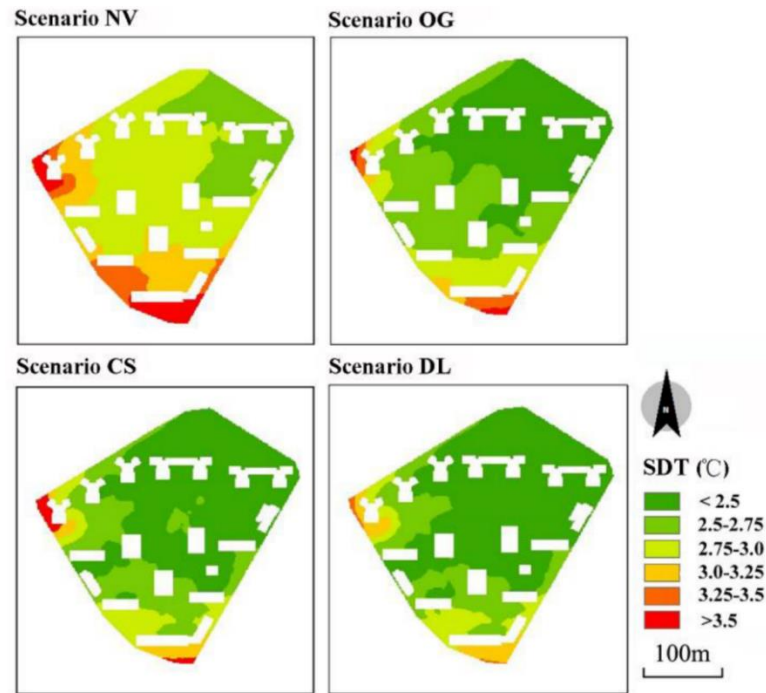


Figura 13 – Desvio padrão da temperatura do ar em diversos cenários (NV – Sem vegetação; OG – Só relva; CS – Situação corrente; DL – Duplo LAD; Tamanho das interfaces planta-atmosfera)

Fonte: Zhang *et al.* (2017)

Ainda em Guangzhou, num estudo que envolve quatro espécies de árvores comuns numa área subtropical quente e húmida, os valores observados de  $\Delta T_a$  são de 0.69°C e 2.10°C inferiores aos valores observados na primavera e verão, respetivamente (Lui *et al.*, 2018).

No Brasil, os estudos de caso foram realizados relativamente ao desempenho térmico dos materiais superficiais (Andrade *et al.*, 2018) ; a relação entre os parâmetros urbanísticos e o conforto térmico (Muniz-Gäal *et al.*, 2018); o impacto da geometria urbana no conforto térmico ao ar livre e na qualidade do ar (Krüger *et al.*, 2011); os efeitos da densidade e da morfologia urbana no microclima urbano (Barbosa *et al.*, 2019 e Gusson *et al.*, 2016); estratégias de melhoria do ambiente térmico diurno na situação de verão (Minella *et al.*, 2012); a contribuição e o impacto da vegetação no microclima urbano, no conforto térmico em espaços abertos, em função da interação solo-vegetação-atmosfera (Shinzato *et al.*, 2018).

No Irão foram realizados estudos onde são abordados os seguintes temas: mitigação do efeito da ilha de calor urbano (Sodoudi *et al.*, 2014); desenvolvimento de modelos de conforto térmico ao ar livre para turistas em zonas históricas urbanas (Nasrollahi *et al.*, 2017); as características dos modelos de conforto térmico de diferentes padrões de jardim (Ojaghlou *et al.*, 2014); o impacto do desenvolvimento do microclima urbano no conforto térmico humano (Abaas *et al.*, 2019).

Na Alemanha é estudado o conforto térmico dos peões relativamente ao aumento do albedo das paredes dos edifícios (Lee *et al.*, 2018), o impacto do stress térmico, os efeitos de fachadas verdes no bioclima humano em ambiente urbano e a sua contribuição para a mitigação do stress térmico humano (Lee *et al.*, 2020); diferentes métodos para a avaliação da ilha de calor urbano e da temperatura radiante média (Ketterer *et al.*, 2015); previsão do microclima urbano antes da modelação dinâmica de energia de construção (Ali-Toudert *et al.*, 2018).

Segundo Lee *et al.* (2016), as árvores são mais eficazes na mitigação do stress térmico humano relativamente ao uso de pequenos espaços de relvados.

Nas Figuras 14 e 15 podemos observar como são apresentadas as modelações feitas no programa ENVI-met e como são apresentados os mapas obtidos através das simulações.

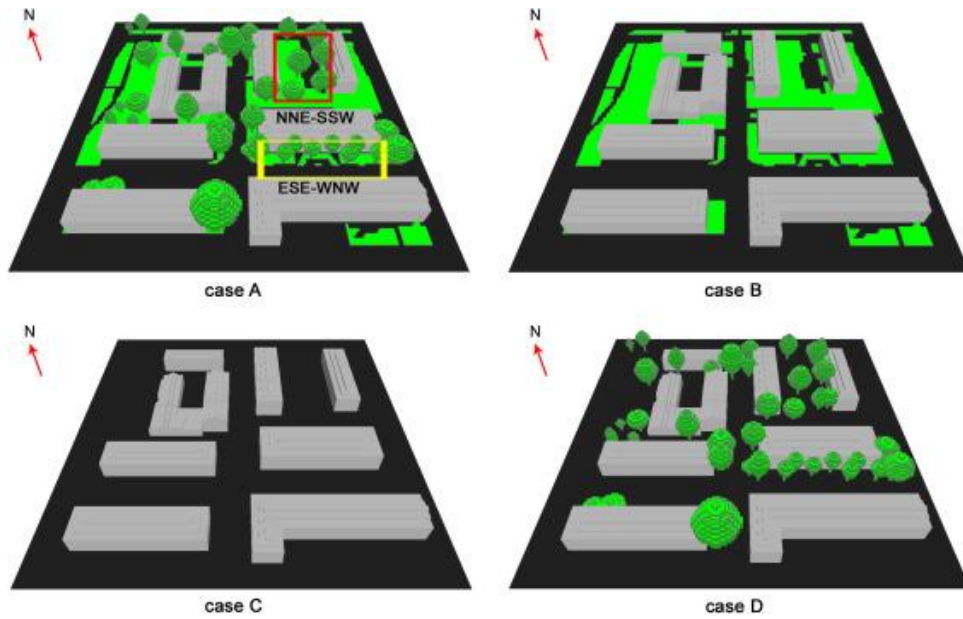


Figura 14 – Modelação para simulações no programa Envi-met com várias configurações. (caso A (configuração atual do solo), caso B (caso A sem árvores), caso C (caso B sem vegetação urbana) e caso D (caso C com árvores).

Fonte: Lee *et al.* (2016)

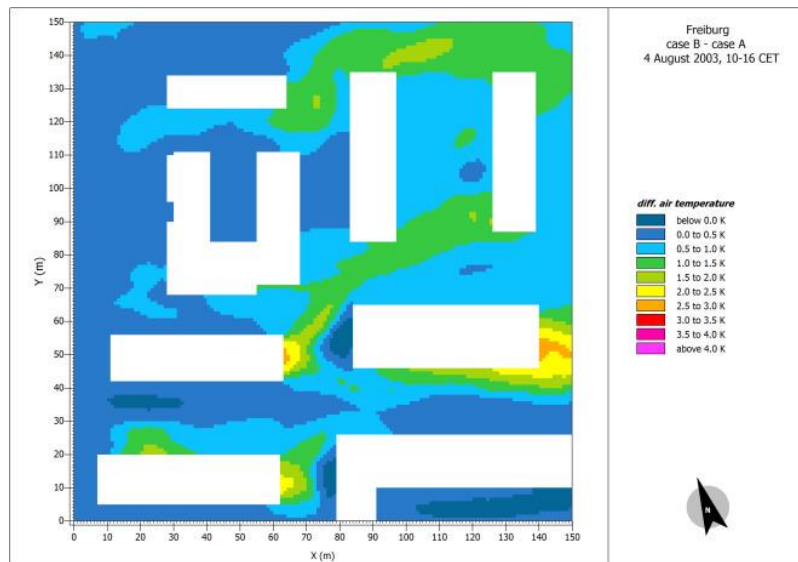


Figura 15 – Diferença de temperatura do ar entre o cenário A e B (efeito das árvores e das pastagens) relativo à Figura 12.

Fonte: Lee *et al.* (2016)

No Egito é possível observar que os estudos de caso avaliam os efeitos de diferentes árvores (Aboeleta *et al.*, 2020) e diferentes cenários de vegetação na mitigação da ilha de calor (Aboeleta, 2020); o conforto térmico humano em clima quente e árido (Elwy *et al.*, 2018).

Nos Estados Unidos da América (USA), os estudos de caso visam obter resultados de simulações para a previsão do impacto de estratégias na mitigação do calor no conforto térmico dos peões (Taleghani *et al.*, 2016), estudam a influência da geometria da forma urbana nas condições de conforto térmico ao ar livre e a melhor localização (Arghi *et al.*, 2016) e disposição das árvores nos microclimas exteriores e no conforto térmico urbano (Zhao *et al.*, 2016).

Na Itália, a avaliação tem incidido sobre os efeitos das estratégias de melhoria do conforto térmico ao ar livre nas ilhas de calor urbano (Evola *et al.*, 2017); a relação do microclima com o conforto térmico humano e a saúde durante as ondas de calor (Evola *et al.*, 2017 e Salata *et al.*, 2017); a influência das árvores no resfriamento de sombra da superfície do solo urbano (Speak *et al.*, 2017); a utilização de pavimentos frios na mitigação das temperaturas urbanas (Batista *et al.*, 2017).

Salata *et al.* (2017) concluíram que a combinação de coberturas frias, vegetação urbana e pavimentos frios leva a uma redução média de 2.5°C e máxima de 3.5°C do MOCI (*Mediterranean Outdoor Comfort Index*). Para além disso, poderá reduzir em cerca de 60% a exposição do risco na saúde.

Na Grécia, os estudos de caso abordam a morfologia e a geometria urbana no microclima local (Tsoka *et al.*, 2018 e Chatzidimitriou *et al.*, 2017); a aplicação de coberturas e pavimentos frescos (Kolokotsa *et al.*, 2018); a modelação de microclimas urbanos para melhorar as condições de sensação térmica em locais ao ar livre (Teseliou *et al.*, 2016).

O aumento da refletância solar dos pavimentos de asfalto e betão em 0.28 e 0.4, respetivamente, podem levar a reduções da temperatura da superfície atingindo os 9°C e 10.5°C, respetivamente (Teseliou *et al.*, 2016).

### 3. METODOLOGIA

Para desenvolver este trabalho, foi necessário compreender quais as etapas a seguir para obter os mapas de saída do programa ENVI-met.

Em primeiro lugar, é preciso definir a área do nosso estudo de caso. De seguida, é realizado o levantamento da área, saber as dimensões da mesma, conhecer o edificado e os materiais utilizados na construção e perceber quais os elementos que a definem (árvores, relva, fontes, etc.). A Figura 16 mostra a janela onde é definida a geolocalização definida para a área de estudo.

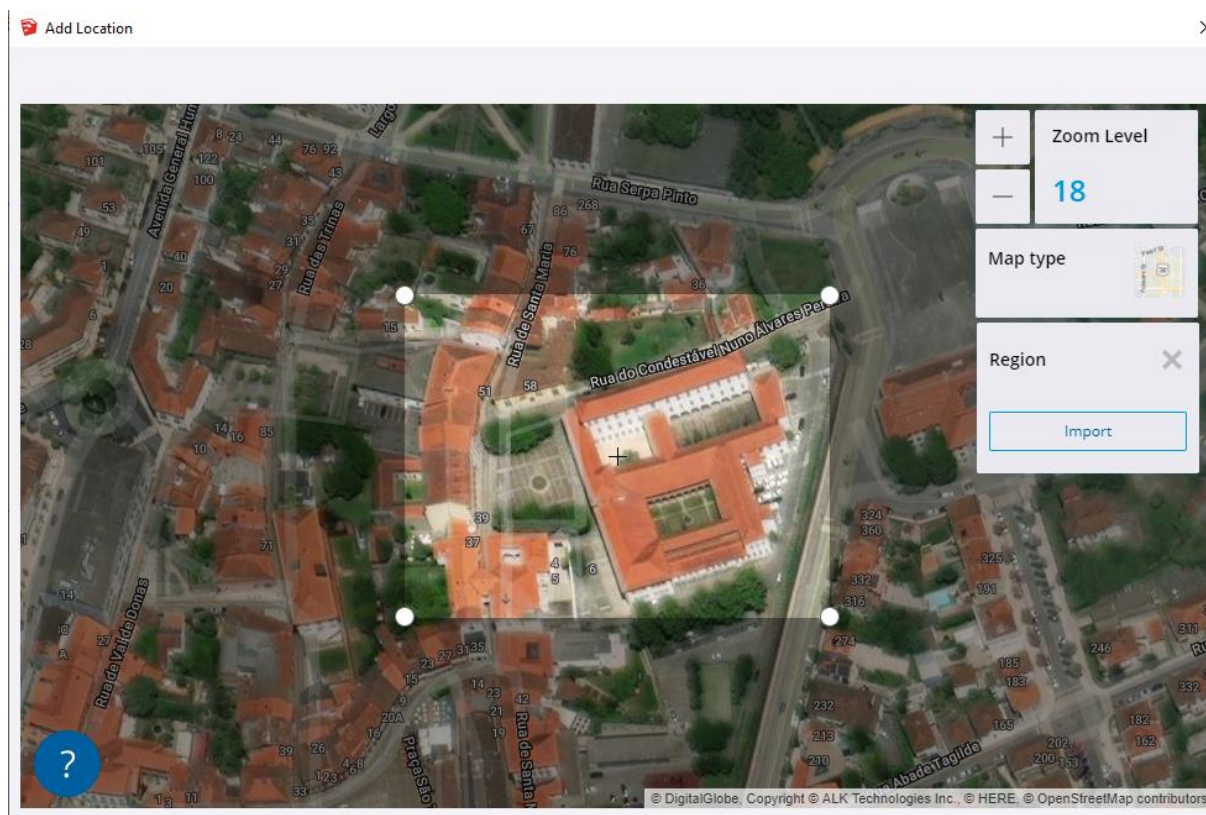


Figura 16 – SketchUp - Definição da geolocalização.

É preciso ter em conta quais os parâmetros que queremos analisar e, com base nisso, fazer o levantamento dos dados climáticos associados ao local a estudar.

Para efeitos de estudo de temperatura e conforto térmico em ambiente exterior, é necessário analisar a temperatura medida no local e a velocidade e direção do vento.

Para facilitar a modelação no programa ENVI-met, como já foi referido anteriormente, para o caso desta dissertação, foi utilizado o programa SketchUp.

É necessário descarregar a extensão que associa os dois programas (Figura 17) para a definição dos materiais, das camadas, da localização e da grelha. Se os materiais não estiverem todos disponíveis, podemos sempre criar uma nova base de dados de materiais no programa ENVI-met (Figura 18).

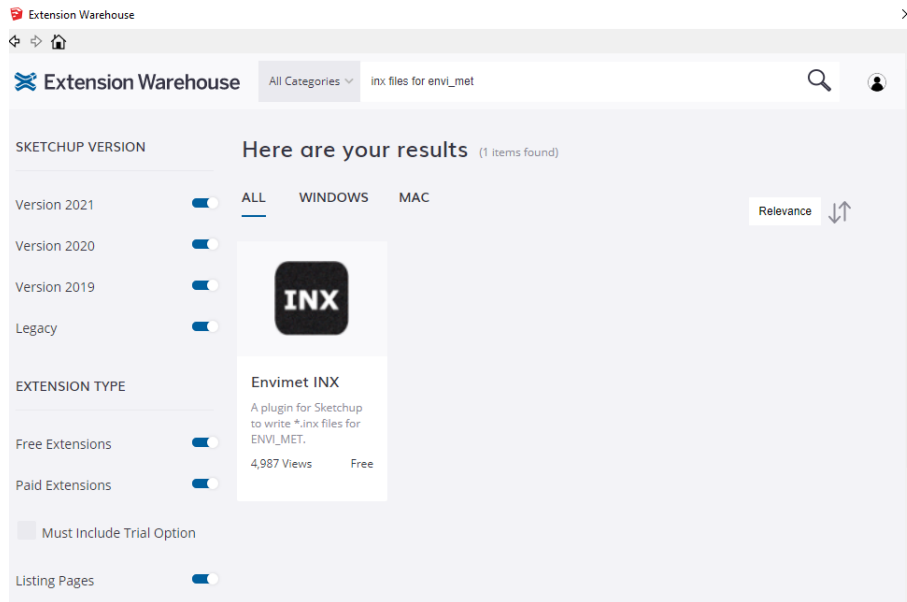


Figura 17 – SketchUp - Instalação da extensão INX.

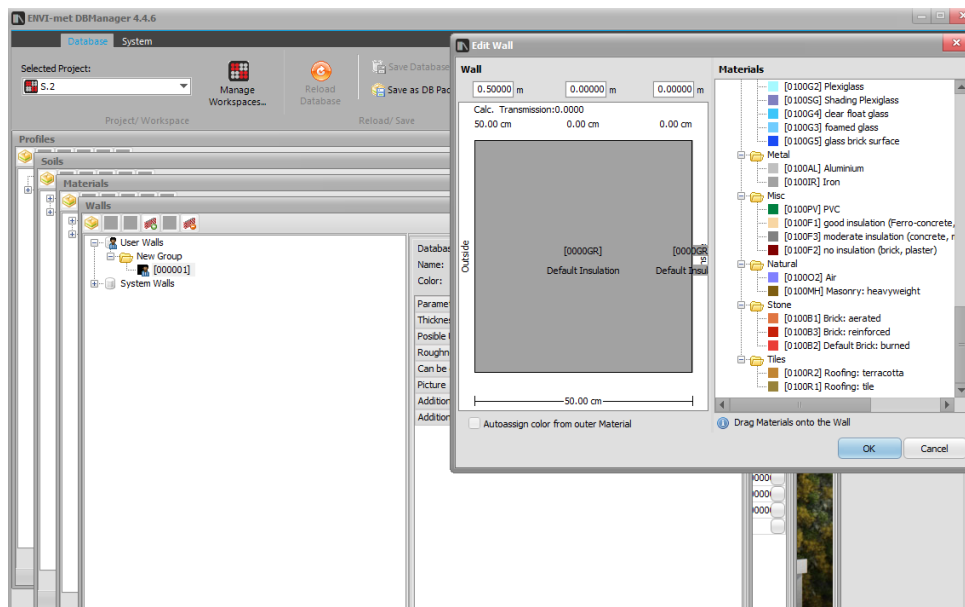


Figura 18 – ENVI-met - Base de dados dos materiais.

Depois de modelada toda a área de estudo e definidos todos os parâmetros, é necessário criar uma workspace (Figura 19) onde são guardados os ficheiros gerados para as simulações (exportação dos objetos ENVI-met e criação do ficheiro INX).

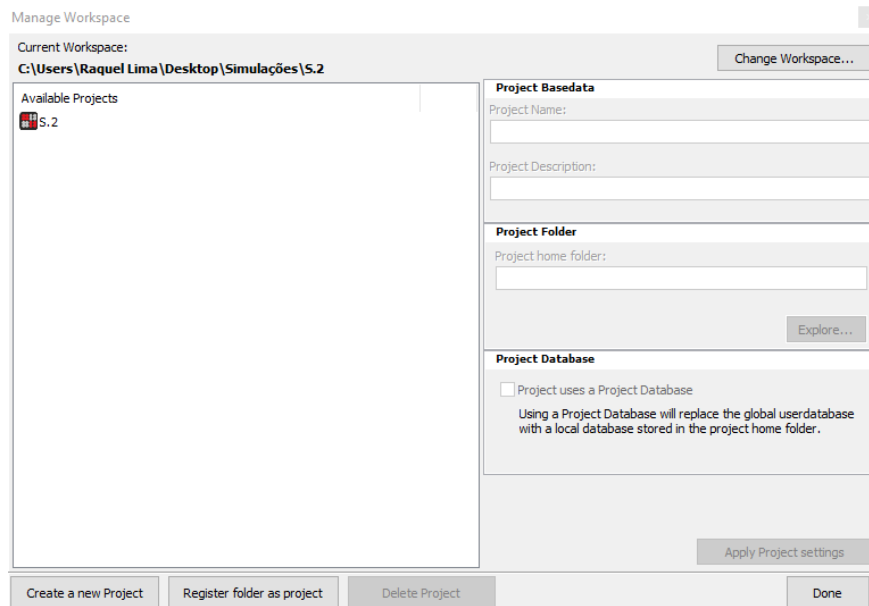


Figura 19 – ENVI-met - Definição/Criação da workspace.

Após este processo, é aberto o programa ENVI-met (Spaces (Figura 20)) e feita a verificação dos componentes para proceder à simulação.

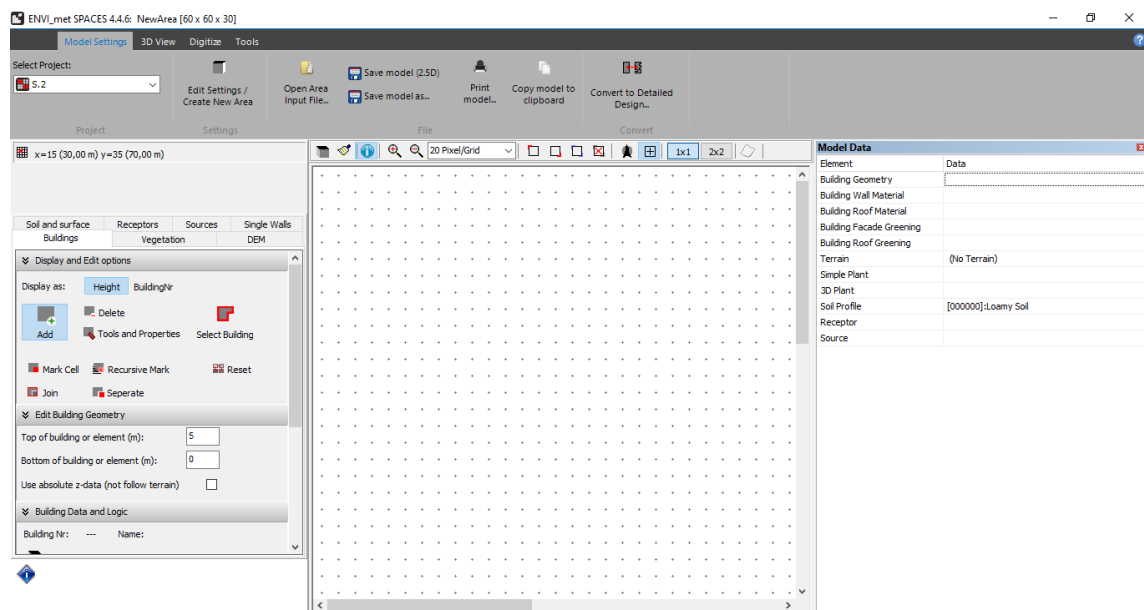


Figura 20 – ENVI-met - Modelação 2D/3D.

Na aplicação ENVI-guide (Figura 21), são introduzidos os dados meteorológicos e feita a simulação na aplicação ENVI-core (simulação).

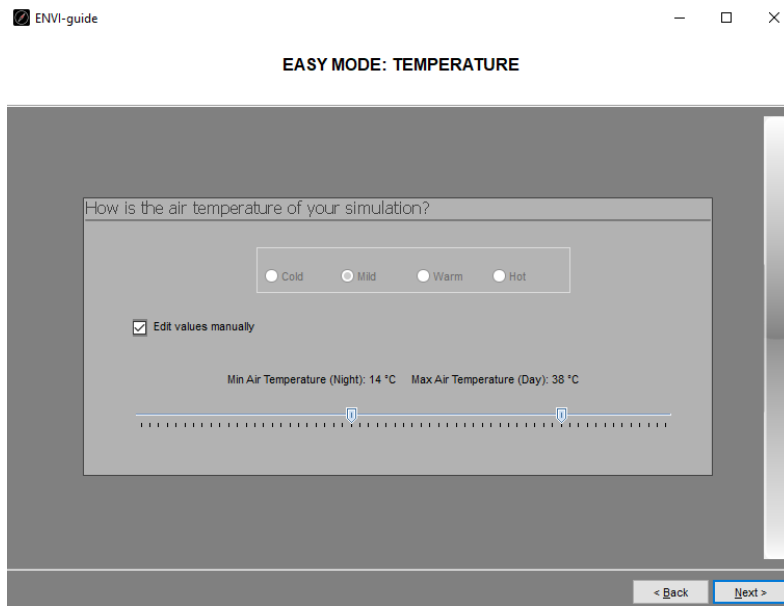


Figura 21 – ENVI-met - Introdução dos dados meteorológicos.

Durante a simulação, são gerados vários ficheiros que permitem obter os mapas de outras variáveis além da temperatura, vento, humidade, radiação e CO2. Na aplicação BIO-met (Figura 22), com os ficheiros gerados anteriormente, é possível obter os ficheiros para apresentar dos mapas de conforto térmico.

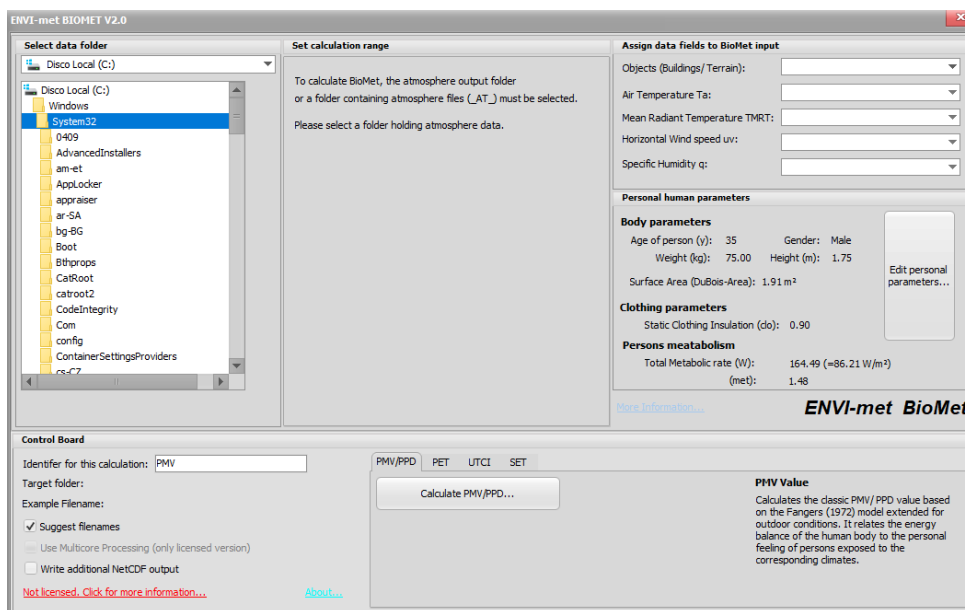


Figura 22 - ENVI-met – Aplicação BIO-met

Por último, para uma análise mais pormenorizada, são obtidos os mapas dos parâmetros a estudar, na aplicação Leonardo (Figura 23).



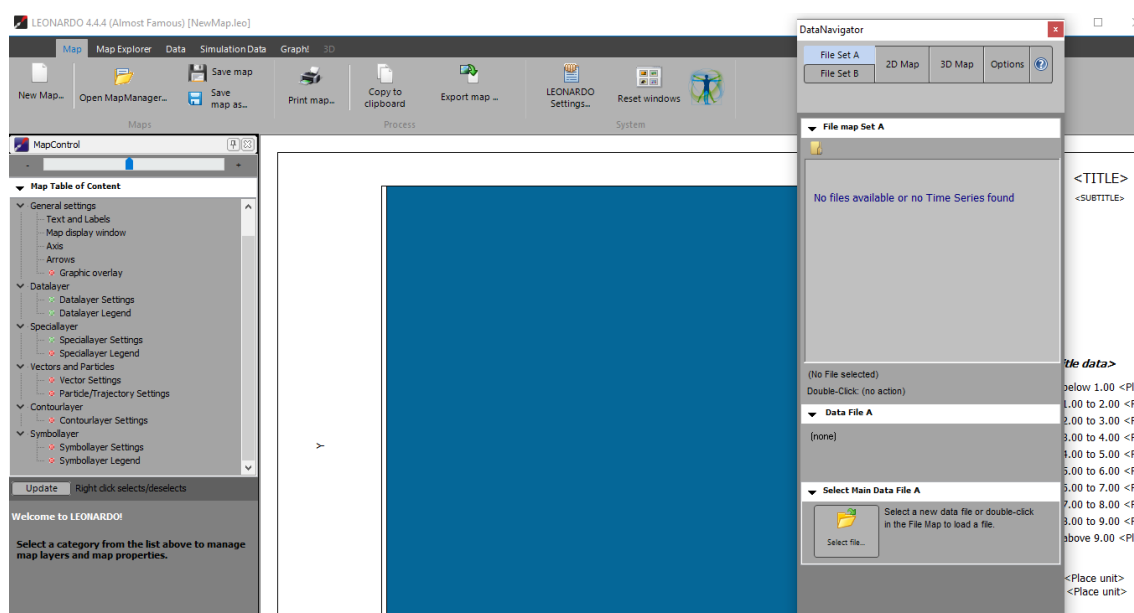


Figura 23 – ENVI-met – Aplicação Leonardo.

Na Figura 24 é apresentado todo o processo resumido para a obtenção dos mapas pretendidos.

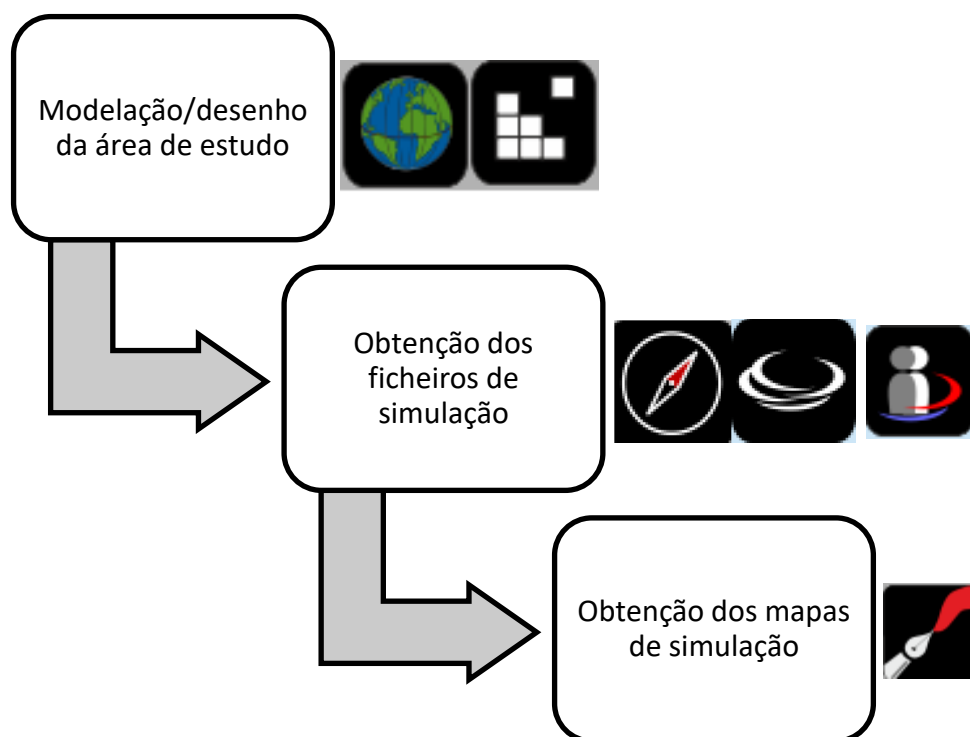


Figura 24 – Processos a seguir para o programa ENVI-met.

## **4. ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo, será apresentado o local do estudo de caso, a caracterização urbanística e climática e os dados a introduzir no programa ENVI-met para estudos a desenvolver.

### **4.1. Introdução**

Foram analisadas várias hipóteses de locais para investigação do estudo de caso, tais como, Guimarães, Évora e Madrid. A opção final foi estudar um espaço urbano na cidade de Guimarães, não só por ser mais familiar, mas também pela observação dos factos enquanto utilizadora da cidade. É de notar que é uma cidade com um microclima urbano desfavorável para o cidadão no verão, por ser uma cidade com o seu centro histórico muito abafado em termos de clima, comparativamente com as áreas subjacentes.

A área em estudo é o Largo da Câmara Municipal de Guimarães (Figura 25), inserido na zona do Centro Histórico de Guimarães.

### **4.2. Enquadramento Local**

Guimarães é uma cidade portuguesa continental (NUTS I), situada na região norte (NUTS II) na Bacia do Rio Ave (NUTS III).

Situada no distrito de Braga (é uma das sub-regiões mais industrializadas do país) e, também, pertencente à antiga província do Minho, conta com uma população de 54094 habitantes distribuídos por uma área de 241 Km<sup>2</sup>, em 48 freguesias e com uma densidade populacional de 656 hab/km<sup>2</sup>.

Guimarães é uma das mais importantes cidades históricas do país, sendo o seu centro histórico considerado Património Cultural da Humanidade e um dos maiores centros turísticos da região. As suas ruas e monumentos respiram história e encantam quem a visita.

GPS: 41°26'30.9"N 8°17'44.0"W



Figura 25 – Localização geográfica do Largo da Câmara Municipal de Guimarães.

Fonte: Google Maps (2020)

### 4.3. Caracterização do Estudo de Caso

Neste subcapítulo é feita uma caracterização climática e urbanística do Largo da Câmara Municipal de Guimarães. E são apresentados os dados a introduzir no programa ENVI-met para a realização das simulações.

O edifício onde se encontra atualmente a Câmara Municipal de Guimarães, em tempos, foi um dos mais ricos conventos de Guimarães. O convento de Santa Clara foi mandado contruir por Baltasar de Andrade no século XVI e é caracterizado pelo claustro de dois pisos e pela sua fachada barroca.

#### 4.3.1. Caracterização Climática

Recorrendo a um sítio da internet Weather Spark (2020) que disponibiliza registos com base numa análise estatística de relatórios horários históricos e reconstruções de modelo de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016, são apresentadas as condições meteorológicas características de Guimarães.

Em Guimarães, o verão pode ser classificado como curto, morno, seco e de céu quase sem nuvens. A estação morna começa a 21 de junho e termina a 16 de setembro, com temperatura máxima média diária de 28°C e temperatura mínima média diária de 16°C, normalmente, o dia mais quente do ano é o dia 28 de julho. A estação fresca começa a 16 de novembro e termina a 4 de março com temperatura máxima média diária abaixo dos 15°C, normalmente, o dia mais frio do ano é o dia 15 de janeiro com temperatura mínima e máxima média de 5°C e 12°C, respetivamente (Figura 26).

## TEMPERATURA

Durante o ano, a temperatura varia entre os 5°C e os 28°C e raramente é inferior a 0°C ou superior a 34°C (Figura 26).

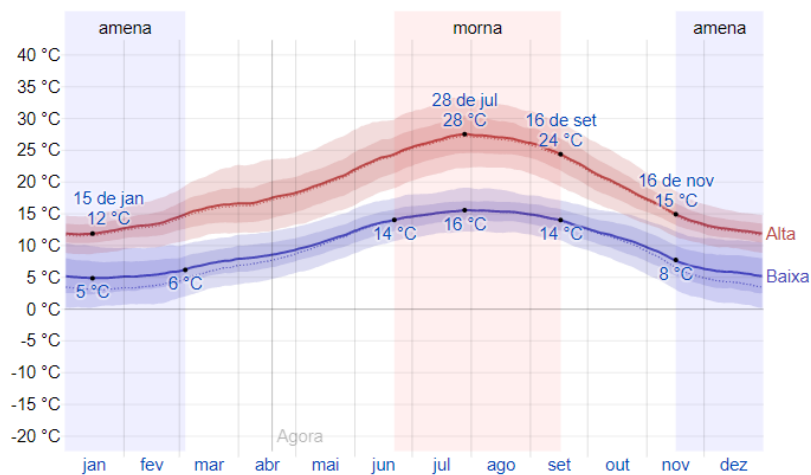


Figura 26 – Temperaturas máximas e mínimas médias.

Fonte: Weather Spark (2020)

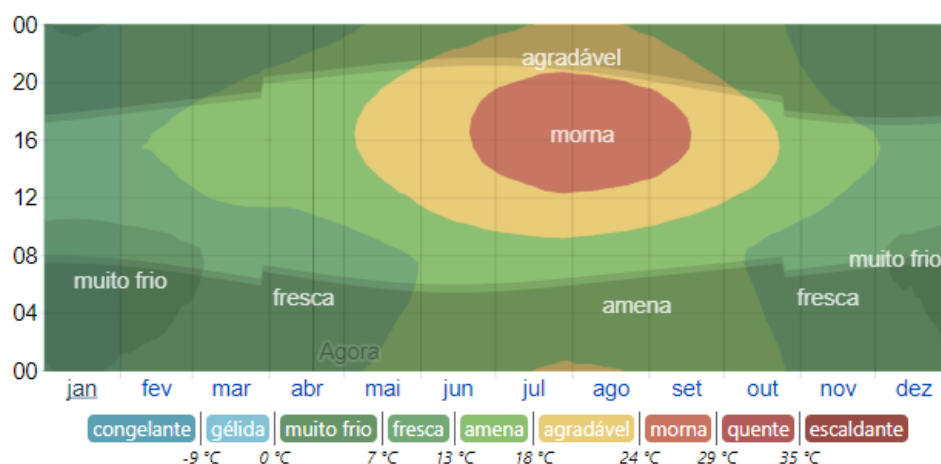


Figura 27 – Temperatura média horária.

Fonte: Weather Spark (2020)

Com uma temperatura média de 20.7 °C, julho é o mês mais quente do ano. A temperatura média em janeiro, é de 8.3 °C (Figura 27 e 28 e Tabela 5).

Tabela 5 - Temperaturas máximas e mínimas e médias.

	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
Temperatura Média (°C)	8,3	9,2	11,3	13,1	15,2	18,5	20,7	20,4	19	15,5	11,3	8,6
Temperatura Mínima (°C)	4,4	4,9	7	8,3	10,5	13,3	14,8	14,6	13,6	10,6	7,3	4,9
Temperatura Máxima (°C)	12,2	13,5	15,6	18	20	23,8	26,6	26,3	24,4	20,4	15,3	12,4
Chuva (mm)	161	150	114	103	87	47	15	22	63	126	157	160

Fonte: Climate-Data (Acesso em 10 de abril de 2020)

As temperaturas médias mínimas e máximas registradas são de 4,3°C no mês de janeiro e de 27,4°C no mês de agosto, respectivamente. Os valores máximos e mínimos absolutos são de 39,3°C em agosto e de -5,3°C em janeiro, respectivamente.

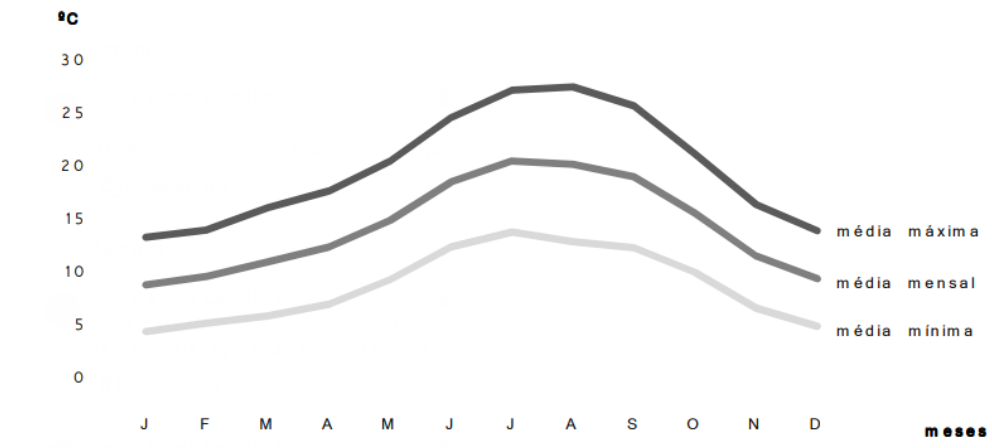


Figura 28 – Temperaturas médias.

Fonte: Plano Diretor Municipal (Estação Climatológica de Braga, 1961-1990)

## HUMIDADE DO AR



Figura 29 - Humidade do ar máxima e mínima (média) diária, mensal e anual.

Fonte: Câmara municipal de Guimarães (2020)

O clima da região é considerado húmido. Os valores médios anuais observados são de 81% às 9:00 horas, que diminuem ao longo do dia para 74% às 18:00 horas (Figura 30).

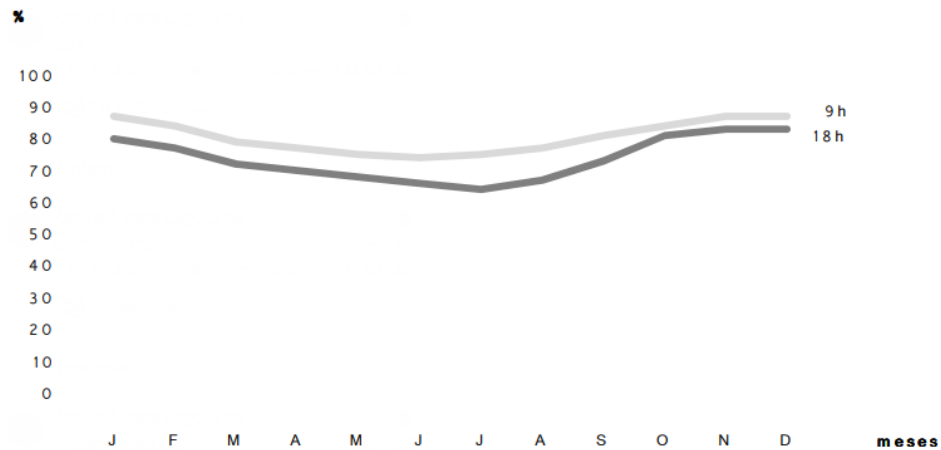


Figura 30 – Humidade relativa às 9h e 18h (Estação Climatológica de Braga, 1961-1990).

Fonte: Plano Diretor Municipal (Estação Climatológica de Braga, 1961-1990)

### VELOCIDADE DO VENTO

A velocidade do vento ao longo do ano em Guimarães, varia pouco, sazonalmente.

A época de mais ventos, com duração de aproximadamente 6.5 meses, passa por velocidades médias acima dos 8.5 km/h, sendo o dia de ventos mais fortes o dia 26 de dezembro, com 9.5 km/h em média. A época mais calma tem duração de aproximadamente 5.5 meses e o dia mais calmo a 27 de agosto com 7.5 km/h em média (Figura 31).

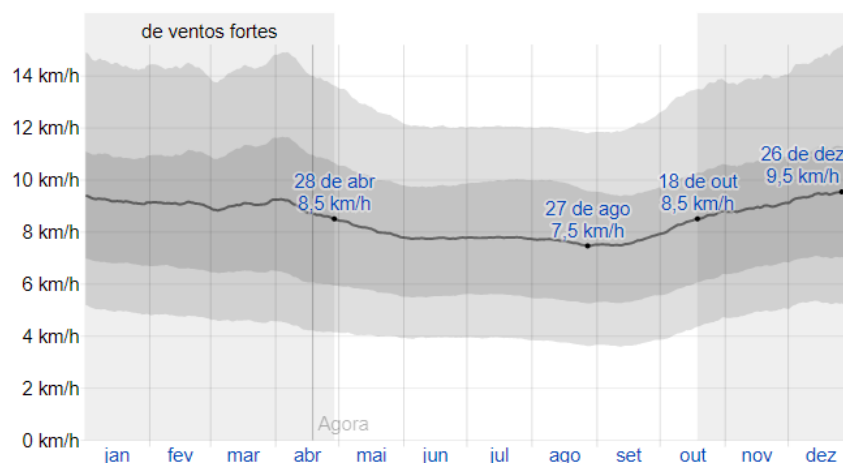


Figura 31 – Velocidade do vento média horária.

Fonte: Weather Spark (Acesso em 10 de abril de 2020)

### 4.3.2. Caraterização Urbanística

Considerando o centro histórico da cidade para efeitos de estudos populacionais, é considerada a união de freguesias de Oliveira, São Paio e São Sebastião com uma área de 1554889 m<sup>2</sup>.

O Largo da Câmara Municipal de Guimarães, inserido no centro histórico da cidade, tem uma área de, aproximadamente, 1596m<sup>2</sup> (42m\*38m) com uma percentagem de ocupação do solo na envolvente da praça de 43.42%, um índice de impermeabilização de 80% e uma densidade populacional de 52.33 hab/Km<sup>2</sup> (habitantes por quilómetro quadrado) (Figura 32).

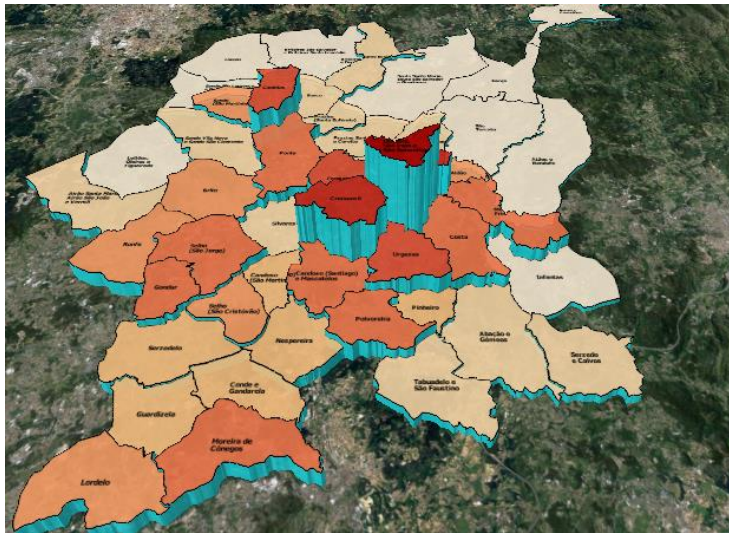


Figura 32 – Densidade populacional da cidade de Guimarães, por freguesia do concelho, em vista 3D.

Fonte: SIG – CM. Guimarães (2020)

### 4.3.3. Dados a introduzir no ENVI-met

Para efetuar as simulações, o programa ENVI-met pede dados de entrada. Estes dados foram retirados do site do IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). Foi feita uma recolha de dados desde o dia 29 de maio de 2020 até dia 30 de julho de 2020 de temperatura, temperatura sentida, humidade do ar e velocidade e direção do vento. Após uma análise de todos os dados recolhidos, foi selecionado o dia mais quente do período em que foi feita a recolha dos mesmos.



Na Tabela 6 são apresentados os dados introduzidos para as simulações que foram efetuadas.

Estes dados são alusivos ao dia 17 de julho de 2020, com temperatura mínima de 24°C e máxima de 38°C, velocidade média do vento de 3.3 m/s e direção média do vento Este. E, assumindo os parâmetros humanos os que são pré-definidos no programa, para um indivíduo do sexo masculino com 35 anos, 75 quilogramas e 1.75 metros de altura.

Tabela 6 – Dados de entrada para as simulações no programa ENVI-met.

Data	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura sentida (°C)	Humidade do ar (%)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento
	0	24	23	28	8	E
	1	25	24		12	E
	2	26	25		19	E
	3	25	24		18	E
	4	24	23		19	E
	5	24	23		20	E
	6	22	22		20	E
	7	24	23		19	E
	8	26	25		20	E
	9	28	27		19	E
	10	31	30		18	E
	11	32	32		16	E
	12	34	34		13	E
	13	36	36		12	E
	14	37	37		8	E
	15	38	37		7	E
	16	37	37		5	E
	17	37	37		5	E
	18	37	37		5	NE
	19	34	39		2	N
	20	30	30		7	N
	21	28	27		6	NE
	22	27	27		4	E
	23	25	25	4	E	

#### 4.4. Apresentação dos Cenários Estudados

No quadro a seguir, são apresentadas as configurações dos cenários realizados para comparação de resultados

Cenários Estudados	
Cenário 1	Sem vegetação e sem fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida
Cenário 1.2	Sem vegetação e sem fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida
Cenário 2	Com vegetação e com fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida
Cenário 2.1	Sem vegetação e com fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida
Cenário 3	Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados
Cenário 3.1	Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados
Cenário 3.2	Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados
Cenário 4	Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com todas as fachadas dos edifícios verdes
Cenário 4.1	Sem vegetação e sem fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com 50% dos edifícios com fachadas verdes (duas frentes do largo)
Cenário 4.2	Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com 50% dos edifícios com fachadas verdes (duas frentes do largo)
Cenário 5	Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com todas as fachadas dos edifícios verdes

Apenas foram estudados os cenários 3; 3.1; 4; 4.2 e 5 por serem os que mais se assemelham com a realidade do largo.

#### 4.5. Preparação dos Dados para a Modelação

As simulações feitas no programa ENVI-met foram realizadas com diferentes cenários possíveis e com diferentes resoluções (disponível no Anexo 1).

Os cenários adotados incluem a configuração atual da área de estudo, com e sem: elementos verdes, fontes de água e fachadas verdes.

Foi utilizada a versão estudante para que fosse possível criar ambientes com maior resolução, pois na versão gratuita estamos condicionados à criação de grelhas com máximo de 50\*50\*40 o que obrigaria a que cada quadrícula, para a área de estudo, tivesse pelo menos 3.5m\*3.5m. Assim, foi possível observar mapas com mais pormenor.

Também foi necessário criar uma nova base de dados para que os materiais utilizados fossem mais parecidos com a realidade. Para a modelação no programa SketchUp foi importada uma biblioteca de materiais a utilizar, sendo esta a que está criada por definição no programa ENVI-met, ou uma nova biblioteca contendo todos os materiais que serão utilizados. Assim, além dos materiais criados, foi também necessário introduzir os materiais necessários para a modelação (Figuras 33, 34 e 35). Na figura 36 é apresentado um modelo que foi usado para a modelação da área do estudo de caso. O modelo foi criado depois do levantamento dos seus componentes. O largo é composto por 11 edifícios com alturas variáveis entre os 10 e 4 metros de altura com construção em granito, o largo, passeios e rua com pavimento em granito, o canteiro onde, posteriormente no programa ENVI-met, são inseridas as árvores e a fonte de água que se insere no centro do largo. Este modelo foi obtido através de uma imagem do GoogleMaps.

A Figura 37 mostra a barra de ferramentas da extensão do programa ENVI-met que é exibida no programa SketchUp que permite definir a localização, as dimensões da grelha, inserir as camadas existentes, definir os materiais utilizados nos edifícios, solos, tipos de vegetação e fontes.

Na Figura 38 é apresentado o modelo que é importado do programa SketchUp para o programa ENVI-met.

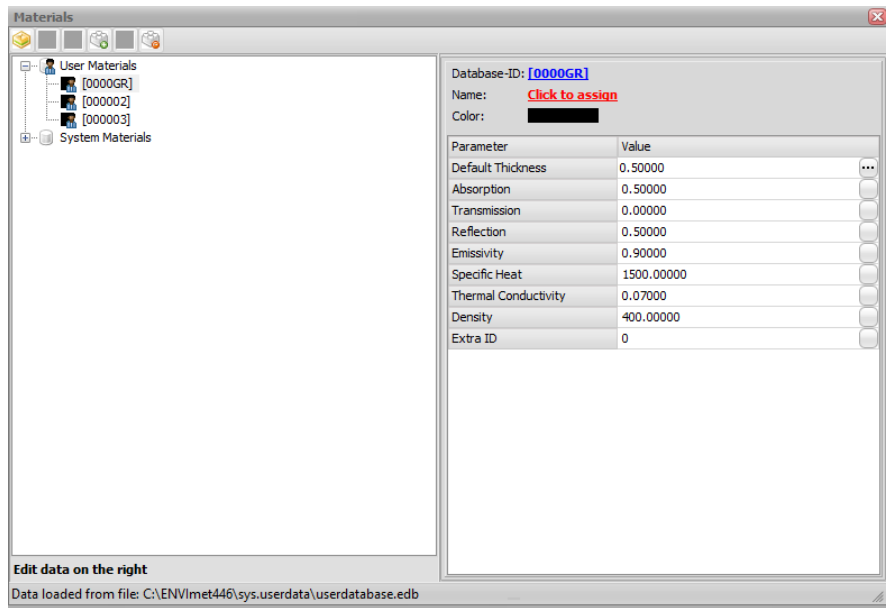


Figura 33 – Material reintroduzido na base de dados.

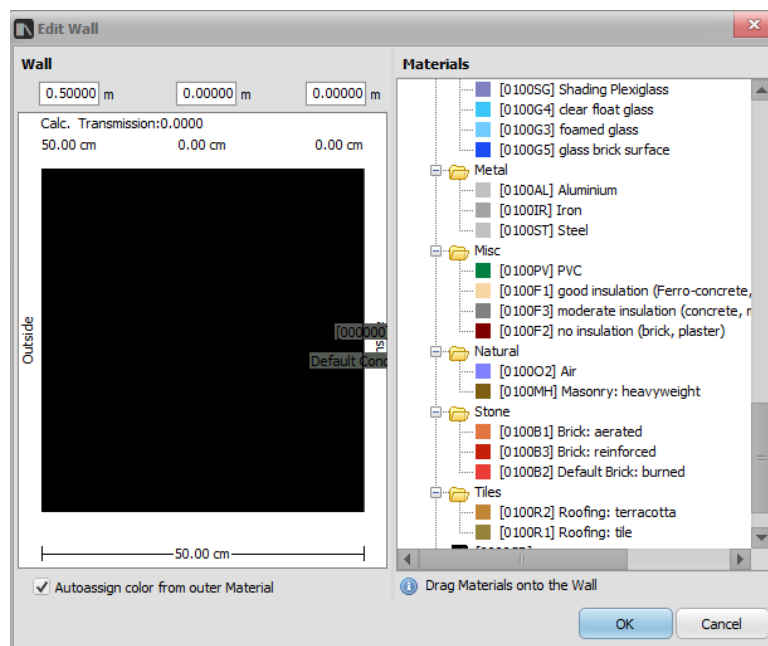


Figura 34– Nova parede introduzida na base de dados.

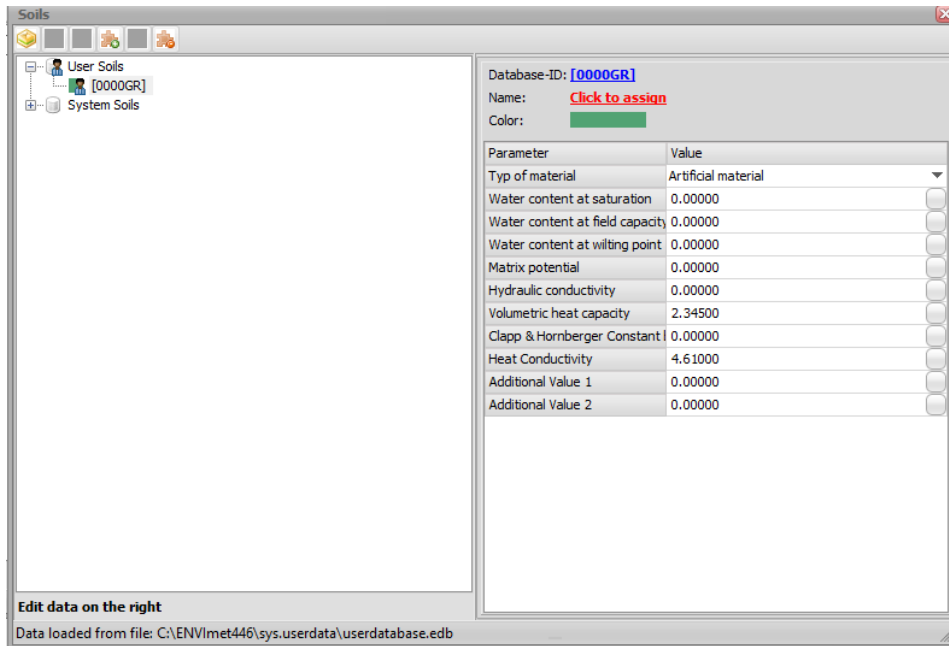


Figura 35 – Novo solo introduzido na base de dados.

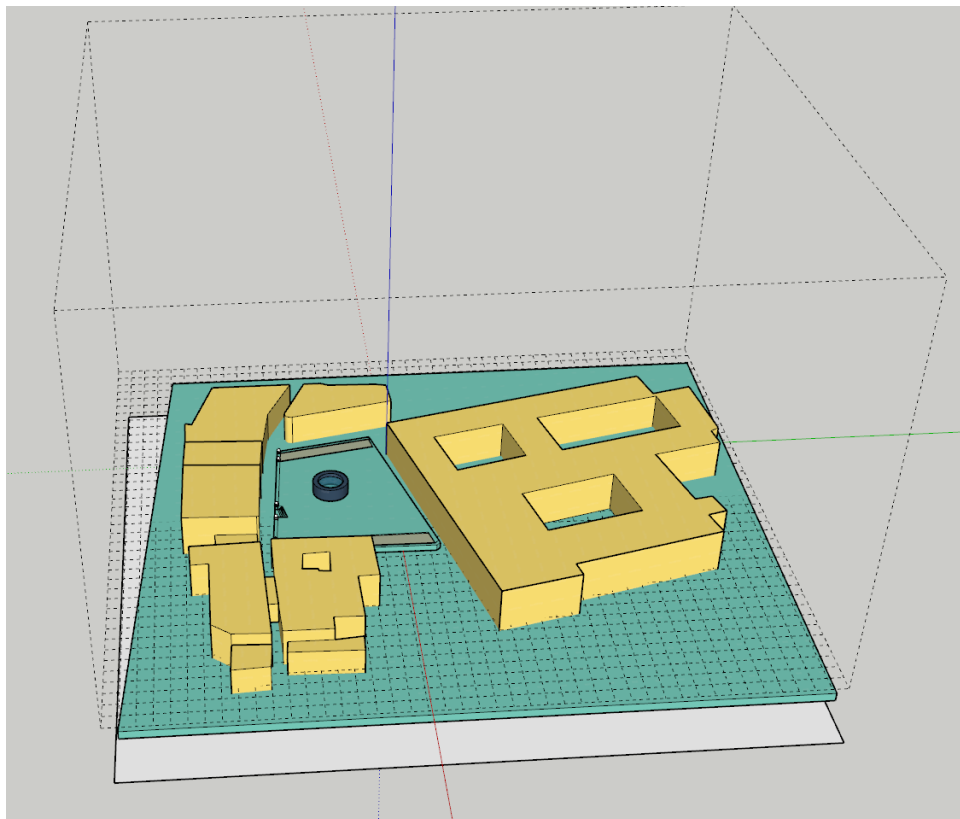


Figura 36 – Modelação no programa SketchUp Pro 2021.



Figura 37 - Barra de tarefas da extensão de ligação dos programas (SketchUp e ENVI-met).

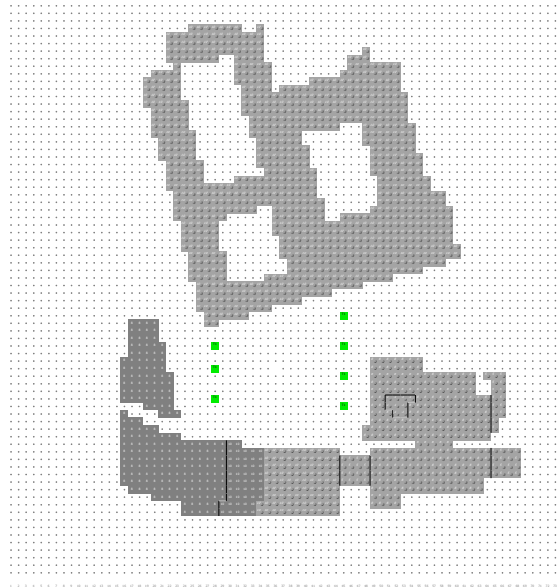


Figura 38 - Modelo importado do programa SketchUp.

#### 4.6. Obtenção de Resultados

Quando as dimensões das grelhas variam, os mapas não são comparáveis. Por exemplo, para o caso de um cenário com melhor desempenho (com resultados de conforto térmico melhorados), se este for simulado com maior resolução, num mesmo ponto de análise, os valores de conforto térmico podem ser piores para um ambiente melhorado, pois a simulação é mais precisa. De seguida, são apresentadas comparações a fazer onde foram selecionadas as mais interessantes, contudo, todos os mapas estão disponíveis em Anexo 2.

A análise que é feita, é relativa a três variáveis diferentes (T - Temperatura, PMV e PPD) comparando quatro simulações diferentes. No entanto, no Anexo 3, encontram-se disponíveis os restantes mapas simulados.

As comparações mais relevantes incidem sobre os cenários 3 e 4, no que toca à variável T às 15:00, entre os cenários 3.1 e 4.2 na variável PMV às 10:00 e entre os cenários 3.1 e 5 na variável PPD às 20:00.

Seguidamente, são apresentadas as comparações efetuadas entre os cenários mais significativos para o estudo.

- Cenário 3 e Cenário 4

Neste ponto, foi feita a comparação do cenário atual com o cenário em que são colocadas todas a fachadas verdes dos edifícios do largo.

A comparação é feita em relação à temperatura às 15:00 horas.

Observando a Tabela 7 e a Figuras 39 e 40, podemos concluir que, com a colocação das fachadas verdes, obtemos uma redução da temperatura em vários pontos do largo. Esta diferença não é muito notória, talvez devido ao horário em que estamos a analisar, pois às 15:00 é quando as temperaturas são mais elevadas.

Tabela 7 –Análise comparativa entre o cenário 3 e cenário 4 às 15:00 horas.

°C	Cenário 3	Cenário 4	Diferença
T mín	35.38	35.26	0.12
T máx	38.92	38.87	0.05
T centro do largo	36.54	36.33	0.21
T junto à fachada da biblioteca	35.83	35.72	0.11
T junto à fachada da câmara	37.84	37.70	0.14
T na rua perpendicular à biblioteca	36.30	36.02	0.28

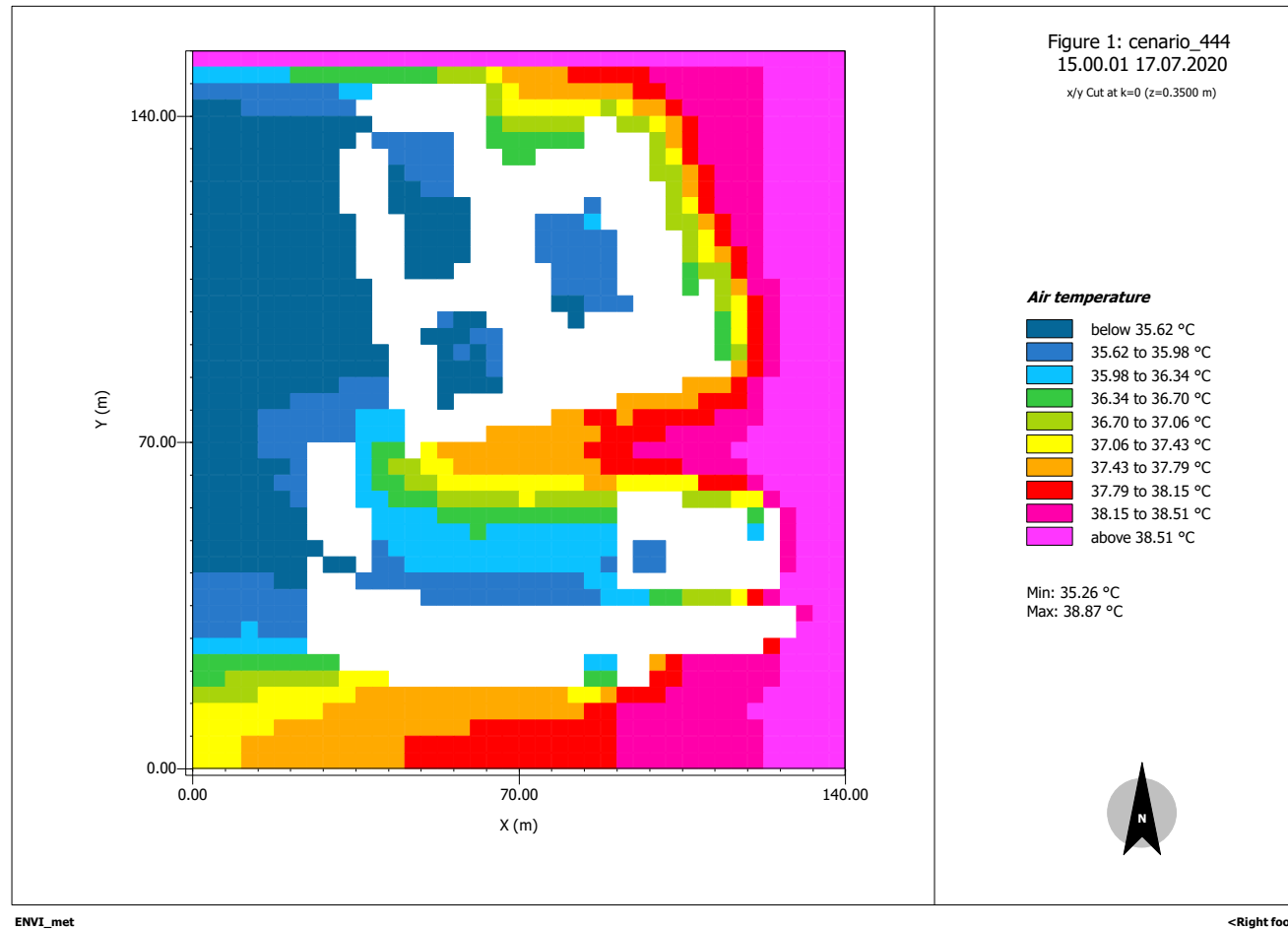


Figura 39 - Mapa de temperatura do cenário 4 às 15:00 horas.



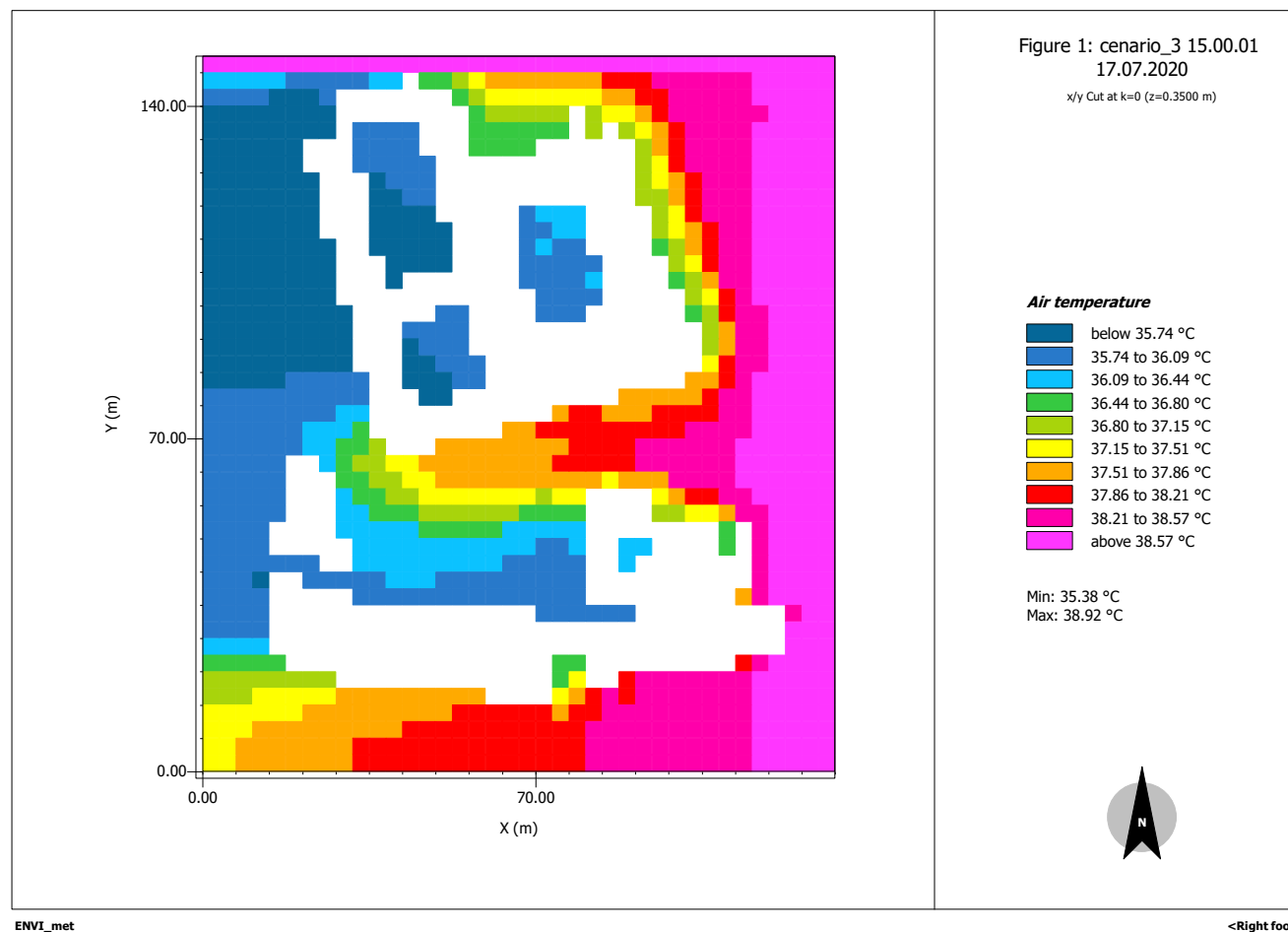


Figura 40 - Mapa de temperatura do cenário 3 às 15:00 horas.

- Cenário 3.1 e Cenário 4.2

Neste ponto, foi feita a comparação do cenário atual com o cenário em que são colocadas todas as fachadas verdes do edifício da Câmara e da biblioteca (aproximadamente 50% de fachadas verdes).

A comparação é feita em relação ao PMV às 10:00 horas.

Observando a Tabela 8 e a Figura 41 e 42, podemos concluir que, com a colocação das fachadas verdes em parte dos edifícios do largo, obtemos uma redução do PMV em vários pontos do largo. É possível observar que existem melhorias do índice PMV devido à introdução das fachadas verdes.

Tabela 8 - Análise comparativa entre o cenário 3.1 e cenário 4.2 às 10:00 horas.

	<b>Cenário 3.1</b>	<b>Cenário 4.2</b>	<b>Diferença</b>
<b>PMV mín</b>	4.95	4.83	0.12
<b>PMV máx</b>	6.53	6.48	0.05
<b>PMV centro do largo</b>	3.81	3.75	0.06
<b>PMV junto à fachada da biblioteca</b>	2.30	2.20	0.10
<b>PMV junto à fachada da câmara</b>	3.82	3.77	0.05
<b>PMV na rua perpendicular à biblioteca</b>	3.85	3.79	0.06

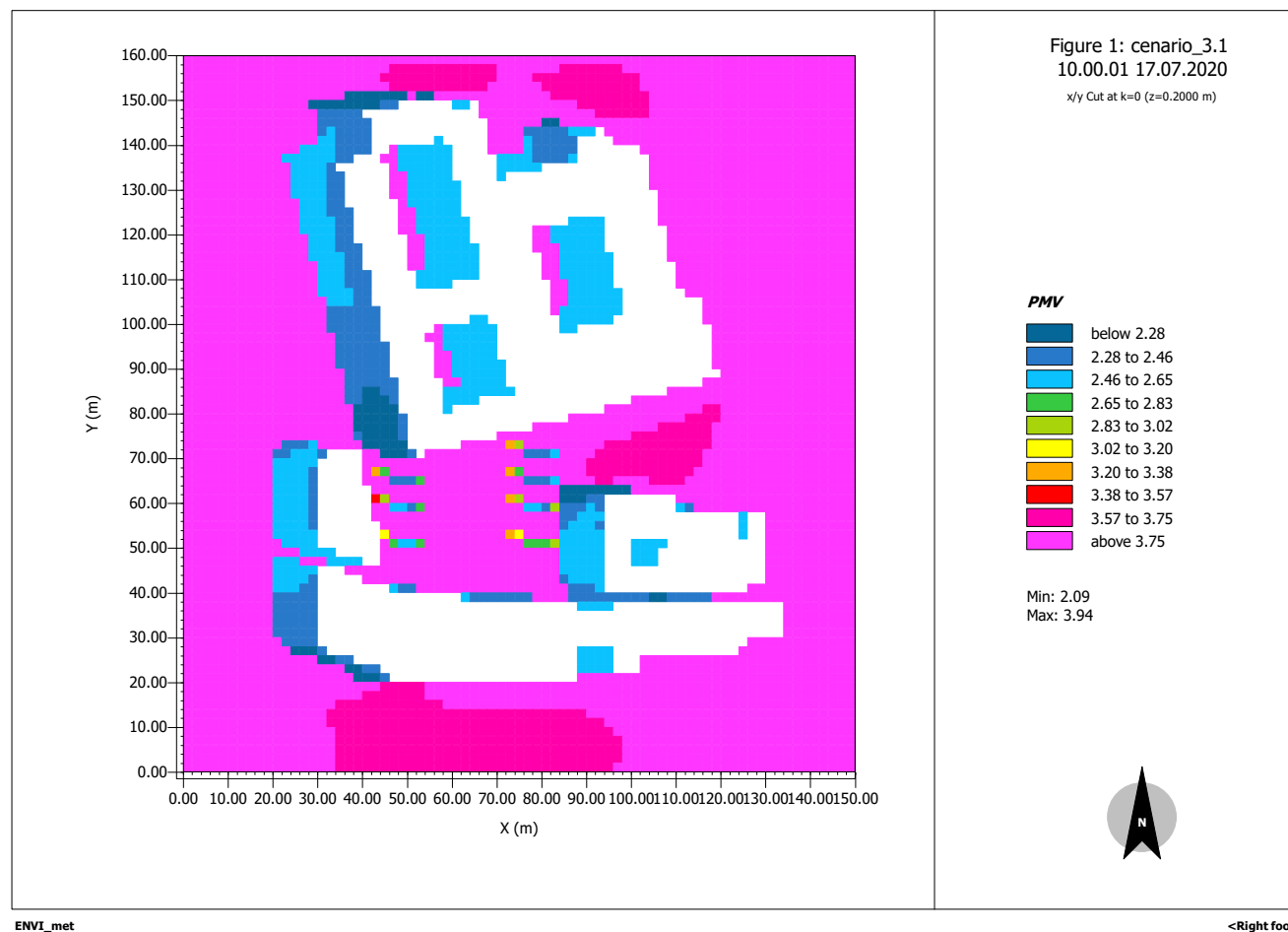


Figura 41 - Mapa de PMV do cenário 3.1 às 10:00 horas.

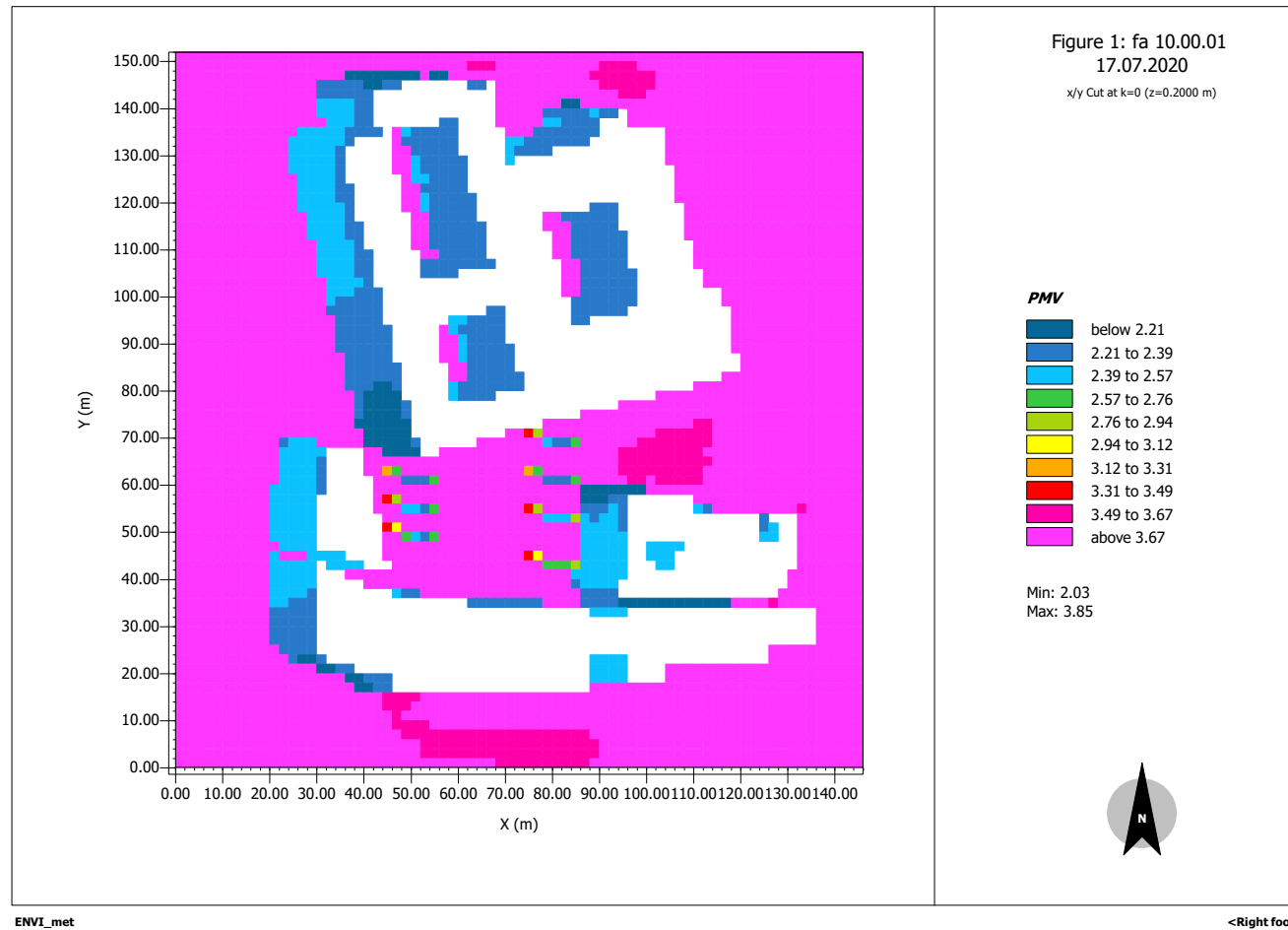


Figura 42 - Mapa de PMV do cenário 4.2 às 10:00 horas.

- Cenário 3.1 e Cenário 5

Neste ponto, foi feita a comparação do cenário atual com o cenário em que são colocadas todas as fachadas verdes dos edifícios do largo.

A comparação é feita em relação ao PPD às 20:00 horas.

Observando a Tabela 9 e a Figura 43 e 44, podemos concluir que, com a colocação das fachadas verdes em todos os edifícios do largo, obtemos uma redução do PPD em vários pontos do largo. É possível observar que existem melhorias do índice PPD devido à introdução das fachadas verdes.

Tabela 9 - Análise comparativa entre o cenário 3.1 e cenário 5 às 20:00 horas.

<b>%</b>	<b>Cenário 3.1</b>	<b>Cenário 5</b>	<b>Diferença</b>
<b>PPD mín</b>	88.11	86.62	1.49
<b>PPD máx</b>	98.60	97.91	0.69
<b>PPD centro do largo</b>	92.40	90.77	1.63
<b>PPD junto à fachada da biblioteca</b>	91.50	88.94	2.56
<b>PPD junto à fachada da câmara</b>	91.79	88.60	3.19
<b>PPD na rua perpendicular à biblioteca</b>	92.06	88.00	4.06

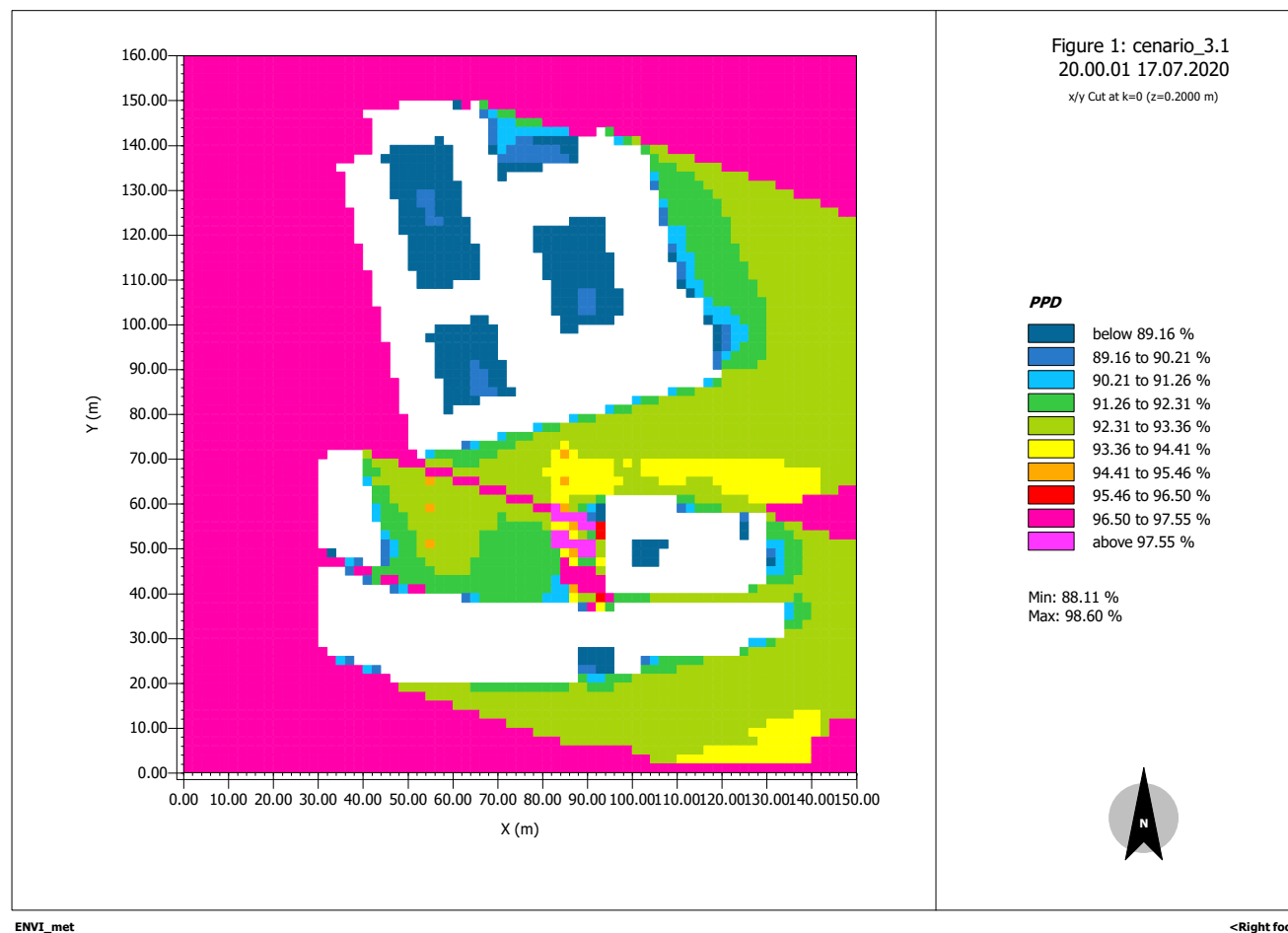


Figura 43 - Mapas de PPD do cenário 3.1 às 20:00 horas.

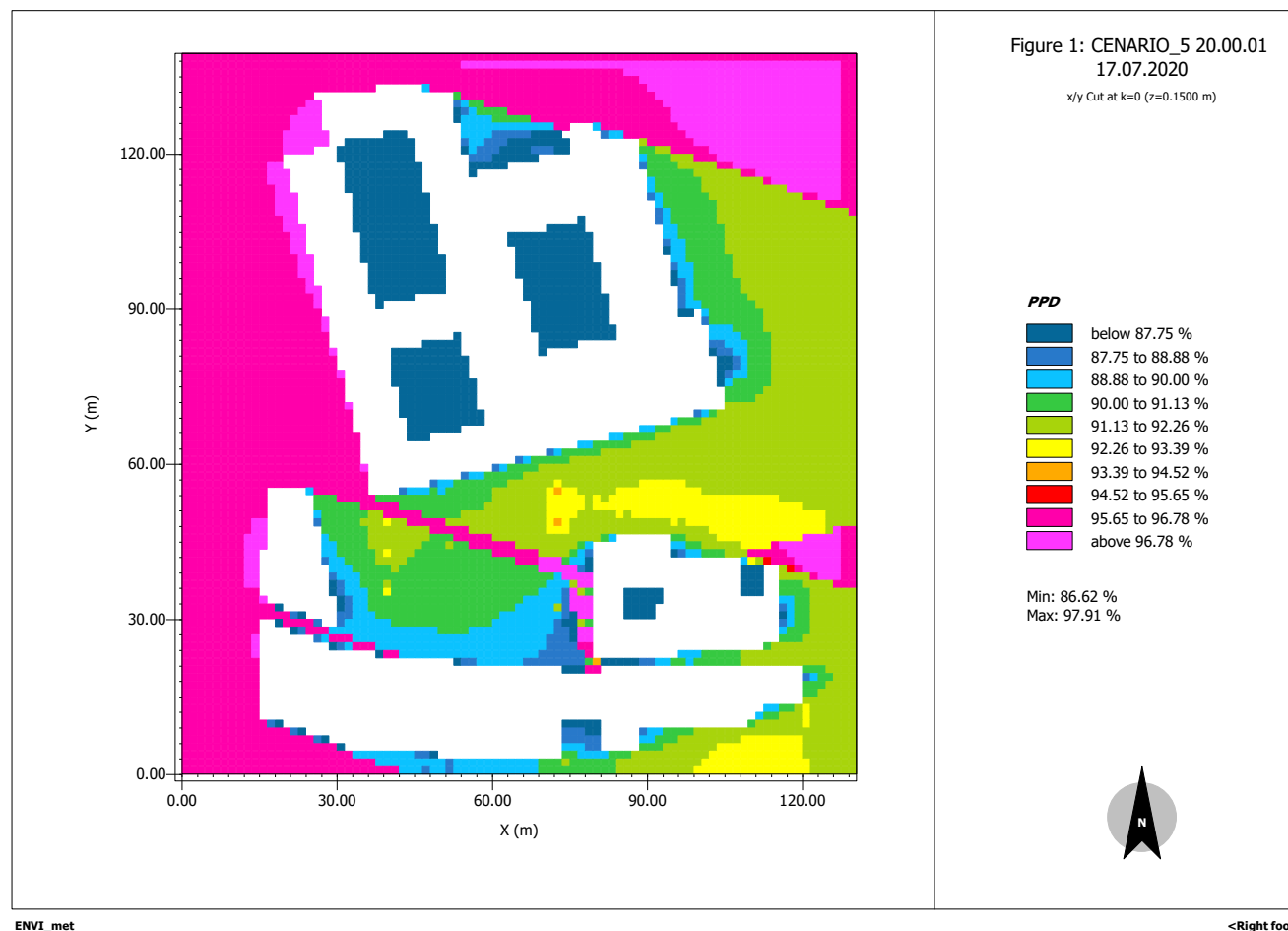


Figura 44 - Mapa de PPD do cenário 5 às 20:00 horas.

## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com este trabalho, foi possível concluir que os níveis de conforto térmico no exterior em ambientes quentes, podem ser melhorados com a introdução de fachadas verdes nos edifícios.

O principal objetivo do trabalho foi realizar simulações de diferentes cenários e comparar os resultados obtidos em função das parametrizações aplicadas.

Para desenvolver esta dissertação foram criados 11 cenários. No desenvolvimento da dissertação, foram exploradas as comparações entre 5 cenários, um mais semelhante com a realidade e os que contemplam a inclusão de fachadas verdes.

É possível observar que os materiais com que os edifícios são construídos também têm grande influência nos parâmetros observados. A comparação dos cenários 1 e 2 não é apresentada na obtenção de resultados, porque a composição dos edifícios não é semelhante à realidade, os materiais utilizados nestes cenários são blocos, enquanto que na realidade, estes são contruídos em pedra. Mas, é notório que a temperatura mínima no horário indicado seria mais baixa cerca de 15°C, um valor bastante interessante nesta envolvente dos materiais (ver Tabela 10 e Figuras 45 e 46).

Tabela 10 - Análise comparativa entre o cenário 1 e cenário 3 às 15:00 horas.

°C	Cenário 1	Cenário 3	Diferença
T mín	20.20	35.26	-15.06
T máx	38.45	38.87	-0.42



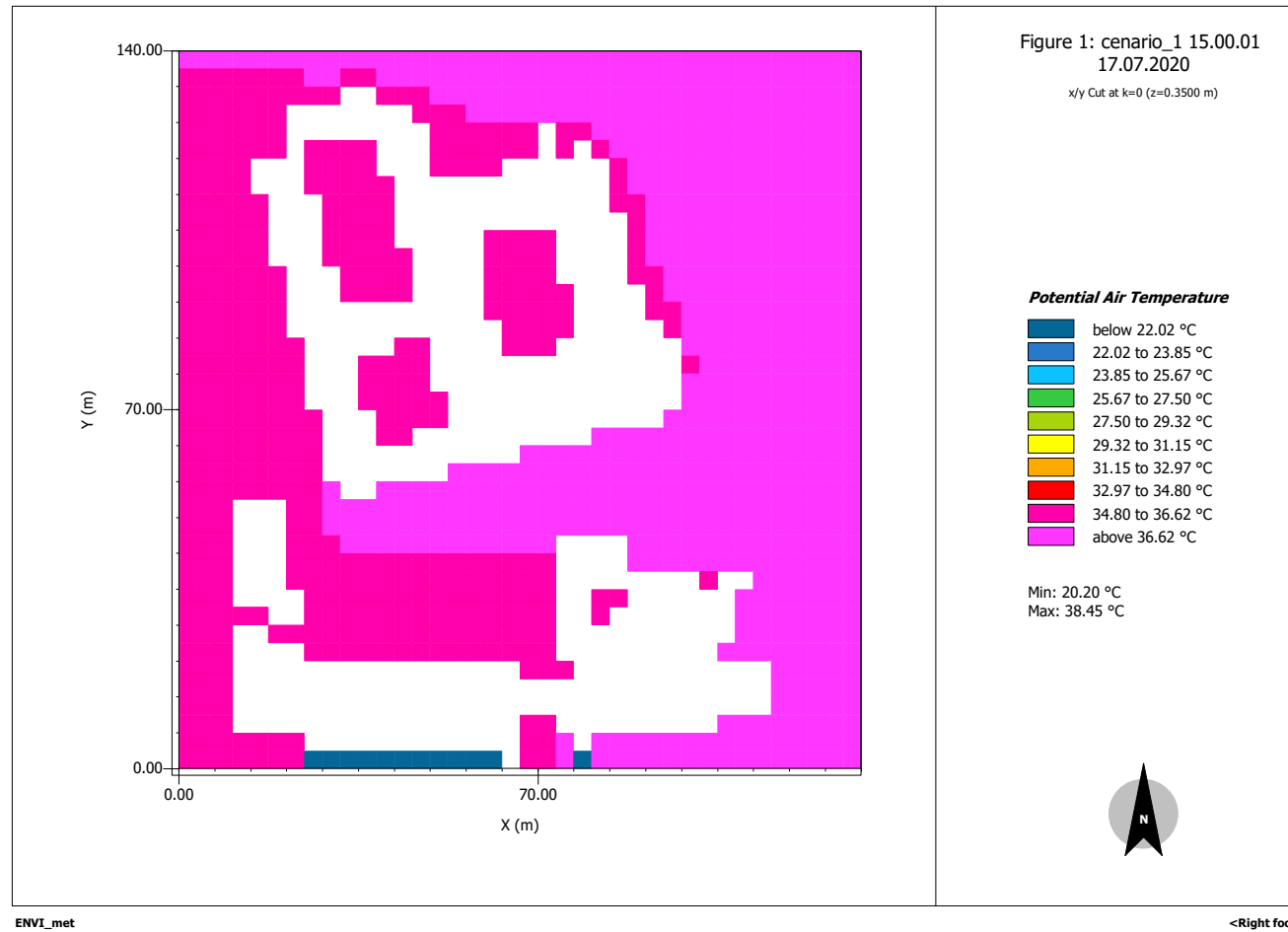


Figura 45 - Mapa de Temperatura do cenário 1 às 15:00 horas.

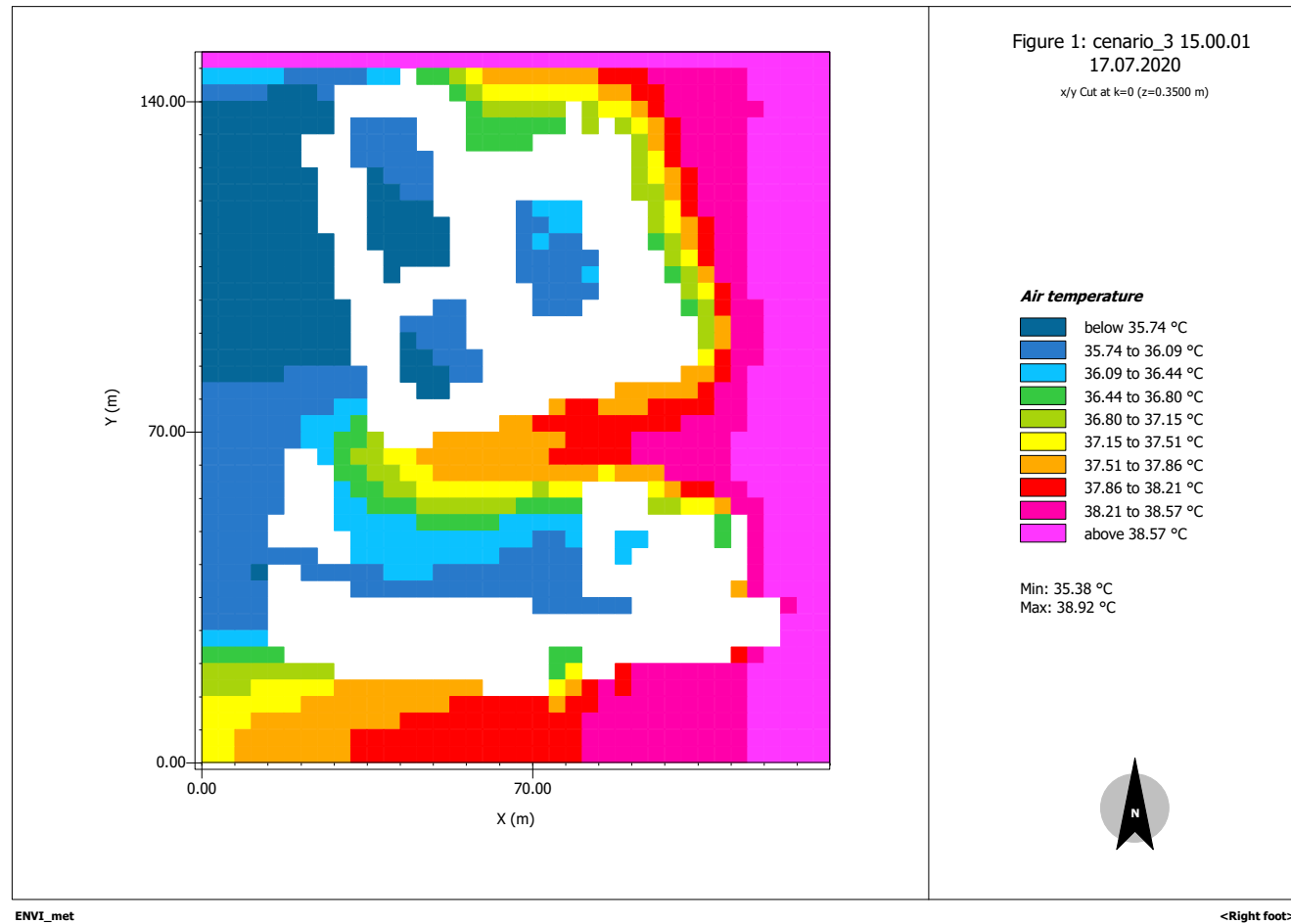


Figura 46 - Mapa de Temperatura do cenário 3 às 15:00 horas.

A resolução da modelação tem uma grande influência nos tempos de simulação (apresentado no Anexo 1 com os diferentes cenários). Quanto menor a resolução, mais rápida é feita a simulação, mas os resultados não são tão precisos e a comparação de cenários com resoluções diferentes não é coerente. Na comparação de resultados, é preciso ter este aspeto em conta. Por outro lado, quantos mais elementos adicionarmos na modelação, também mais demorado será o tempo de simulação. O programa faz uma análise a cada quadrícula desenhada em todos os parâmetros, logo, quanto mais pequenas forem as quadrículas para representar a mesma área, maior será o número de quadrículas. A análise é feita ao segundo analisando os parâmetros de entrada do programa para gerar os parâmetros de saída (Figura 47).

Nas Figuras 48 e 49, é apresentado um exemplo a comparar o mesmo cenário com diferentes resoluções. No cenário 3, cada quadrícula tem dimensões de 3.5\*3.5m e no cenário 3.2, cada quadrícula tem dimensões de 1\*1m.

Como pode ser observado, o rendimento do programa permite uma análise mais detalhada, mas os resultados são praticamente os mesmos.

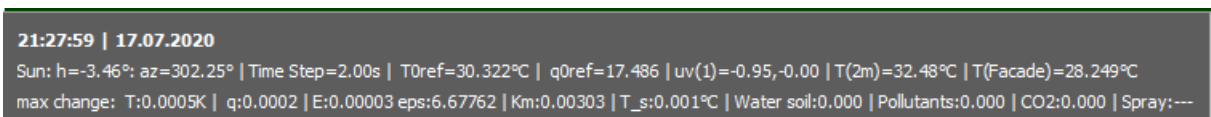


Figura 47 - Barra de estado da simulação

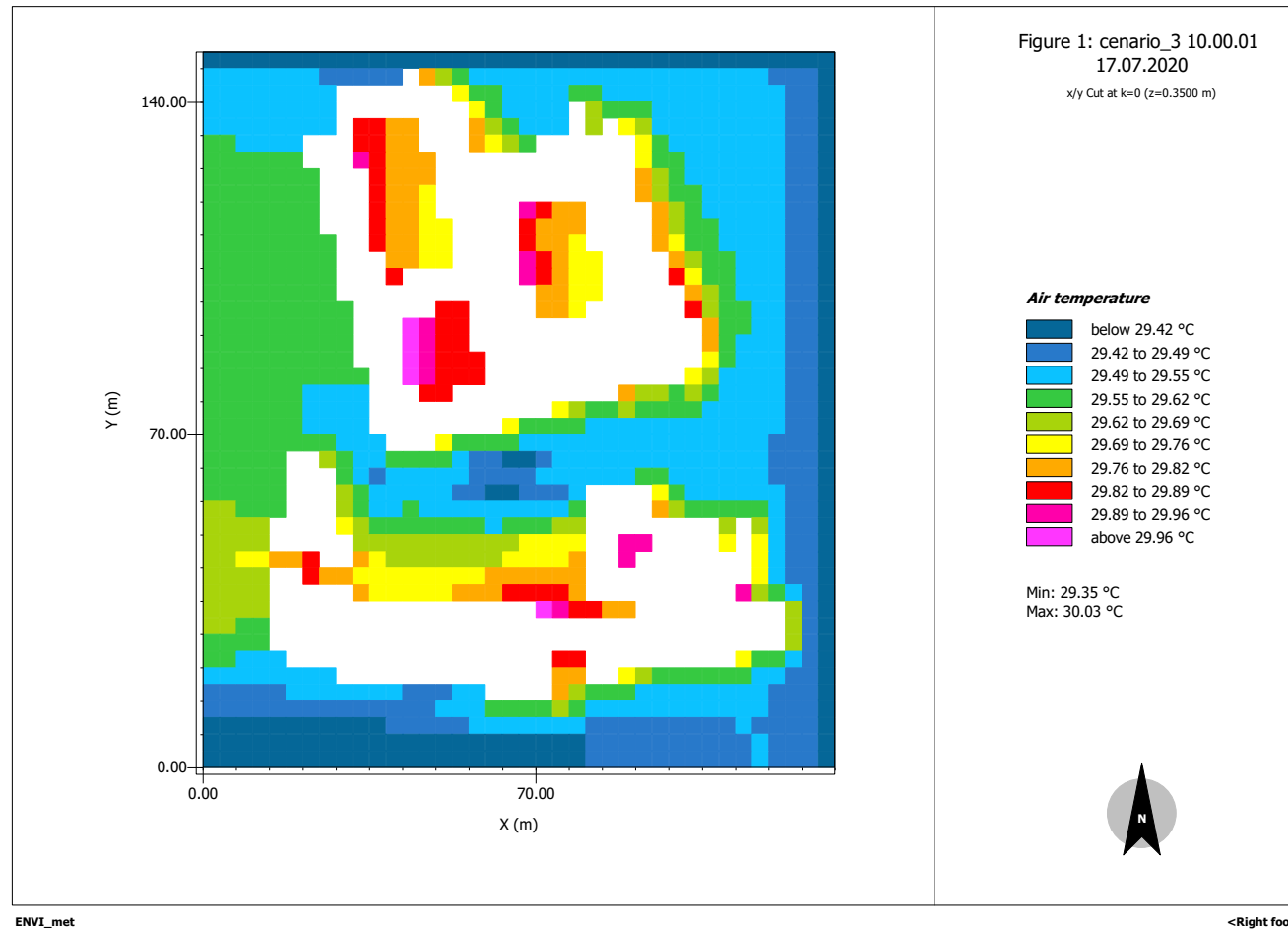


Figura 48 - Mapa de Temperatura do cenário 3 às 10:00 horas.

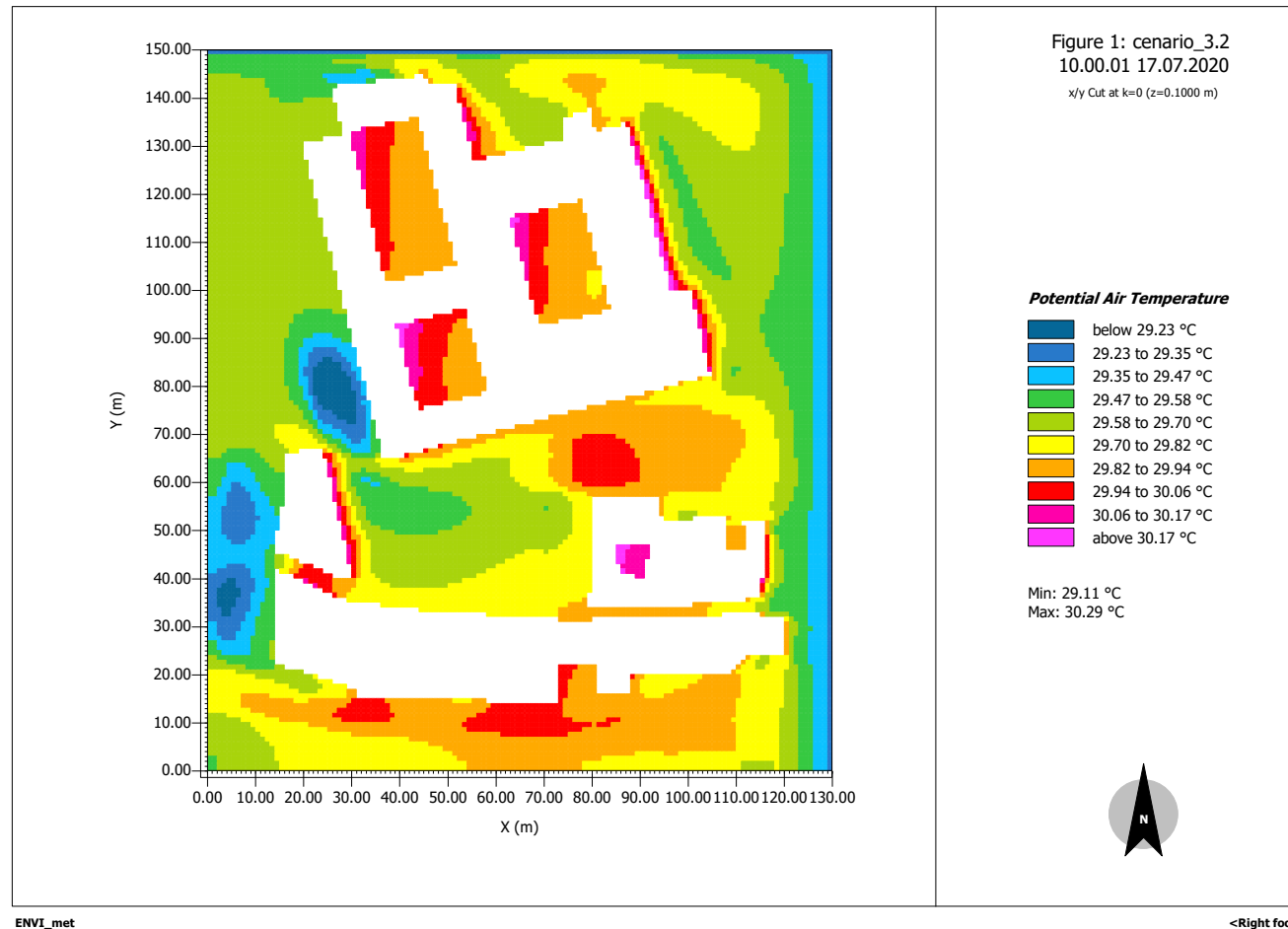


Figura 49 - Mapa de Temperatura do cenário 3.2 às 10:00 horas.

Em todos os processos foram encontradas dificuldades que foram ultrapassadas, não sozinha, mas pedindo ajuda.

Inicialmente, foram encontradas inúmeras dificuldades na compreensão do programa ENVI-met. É um programa complexo e que exige muita concentração e, principalmente, paciência. Houve uma tentativa de fazer toda a modelação no programa ENVI-met, mas atendendo às dificuldades, optei por desenvolver a modelação no programa SketchUp. Trata-se de uma ferramenta intuitiva que simplifica o processo de elaboração da geometria dos edifícios.

Na parte da simulação, no ENVI-met, as simulações foram realizadas na versão gratuita, mas depois de conseguir a versão estudante, foi possível fazer simulações mais precisas. É recomendado o uso de um computador com um processador de elevado desempenho, uma vez que o programa ENVI-met requer muito poder de processamento. Inicialmente, a versão estudante, foi instalada numa máquina de baixo desempenho com processador i5-5200U, com isto, a primeira simulação, esteve aproximadamente 6 dias em processamento inicial. Posteriormente, essa dificuldade foi ultrapassada, já que foi utilizado um computador com processador i5-7600k, tendo a mesma simulação sido reduzida para cerca de 2 horas.

A introdução de novos elementos tem uma grande influência nos tempos de todo o processo de simulação.

As simulações com Grid: 3.5\*3.5\*3.5 têm duração entre 2 e 6 horas e as simulações com Grid: 2\*2\*2 têm duração entre 9 e 48 horas, considerando as características do computador utilizado.

No entanto, para uma simulação (Grid:1\*1\*1) o tempo foi até às 182 horas.

A introdução dos novos materiais na base de dados do programa ENVI-met também é de complexa compreensão. Neste aspeto, é necessário introduzir os parâmetros que são pedidos no material e depois criar, por exemplo, as paredes.

## **5.1. Desenvolvimentos Futuros**

Este é um tema que deve ser desenvolvido futuramente.

Com a consolidação das zonas urbanas, têm que ser adotadas medidas para o combate às alterações das condições climáticas. Neste aspeto, as fachadas verdes, têm um papel que pode ser fundamental. Como é de senso comum, as plantas transformam o dióxido de carbono em oxigénio e pode ter um contributo direto na descarbonização das cidades.

É certo que são notadas melhorias na implementação das fachadas verdes, mas as que foram implementadas são compostas por heras. Seria interessante, no futuro, perceber quais as componentes de fachadas verdes melhores para o combate ao aumento da temperatura nos espaços exteriores, que se sente nos centros urbanos e analisar, por exemplo, a poluição e os custos das diferentes plantas a introduzir nas fachadas.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Abaas, Z. R. (2019) Impact of development on Baghdad's urban microclimate and human thermal Comfort. *Alexandria Engineering Journal*, 59 (1): 275-290

Aboelata, A. (2020) Vegetation in different street orientations of aspect ratio (H/W 1:1) to mitigate UHI and reduce buildings' energy in arid climate. *Building and Environment* 172

Aboelata, A.; Sodoudi, S. (2020) Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo. *Building and Environment* 168

Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Oliveira, S.; Festas, M.J.; Rosa, F. (2009) Alterações climáticas e desenvolvimento urbano. *Política de Cidades* 4

Ali-Toudert, F.; Böttcher, S. (2018) Urban microclimate prediction prior to dynamic building energy modelling using the TEB model as embedded component in TRNSYS. *Theor Appl Climatol* 134: 1413-1428

Andrade, P. C. R.; Romero, M. A. B. (2018) Análise do desempenho térmico dos materiais superficiais do contexto urbano do SIS/DF. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, (22): 51-71

Arghi, M.Z.; Van Dessel, S. (2015) Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA. *Procedia Engineering*, 118: 1153-1161

Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (2016). <http://www.proci.pt/pt-pt/RISCOSPREV/RISCOSNAT/ONDASCALOR/Paginas/default.aspx>

Barbosa, G. S.; Drach, P. R. C.; Corbella, O. D. (2019) Intraurban Temperature Variations: Urban Morphologies of the Densification Process of Copacabana Neighborhood, Brazil. *Climate*, 7(5): 65

Battista, G.; Pastore, E.M. (2017) Using Cool Pavements to Mitigate Urban Temperatures in a Case Study of Rome (Italy). *Energy Procedia* 113: 98-103

Bustami, A. R.; Belusko, M.; Ward, J.; Beecham, S. (2018) Sistemas de vegetação vertical: Uma revisão sistemática das tendências de pesquisa. *Construção e Meio Ambiente* 146 226-237



Câmara municipal de Guimarães. Estações meteorológicas <https://www.cm-guimaraes.pt/pages/1527>. (Acedido em 20 junho 2020)

Chatzidimitriou, A.; Axarli, K. (2017) Street Canyon Geometry Effects on Microclimate and Comfort; A Case Study in Thessaloniki. *Procedia Environmental Sciences*, 38: 643-650

Crank, P. J.; Sailor, D. J.; Ban-Weiss, G.; Taleghani, M. (2018) Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. *Urban Climate* 26: 188-197

Cunha, L. (2012) Riscos climáticos no Centro de Portugal. Uma leitura geográfica. *Revista Geonorte*, Edição especial, 4 (4): 105-115

de Jesus, M. P.; Lourenço, J.M.; Macias, M.; Ruiz, R. M. A. (2016) Fachadas Verdes e Comportamento Térmico Urbano. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9 (7): 2364-2376

Elwy, I.; Ibrahim, Y.; Fahmy, M.; Mahdy, M. (2018) Outdoor microclimatic validation for hybrid simulation workflow in hot arid climates against ENVI-met and field measurements. In 5th International Conference on Energy and Environment Research 153: 29-34

Evola, G.; Gagliano, A.; Fichera, A.; Marletta, L.; Martinico, F.; Nocera, F.; Pagano, A. (2017) UHI effects and strategies to improve outdoor thermal comfort in dense and old neighbourhoods. *Energy Procedia* 134: 692-701

Gusson, C.S.; Duarte, D.H.S (2016) Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, IC2UHI 2016, 169: 2-10

IPMA. <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.onda.calor.xml> (Acedido várias vezes)

Jin, C.; Bai, X.; Luo, T.; Zou, M. (2018) Effects of green roofs' variations on the regional thermal environment using measurements and simulations in Chongqing, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29: 223-237

Ketterer, C.; Matzarakis, A. (2015) Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany. *International Journal of Biometeorology* 59: 1299-1309

Kolokotsa, D.; Giannariakis, G.; Gobakis, K.; Giannarakis, G.; Synnefa, A.; Santamouris, M. (2018) Cool roofs and cool pavements application in Acharnes, Greece. *SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY*, 37: 466-474

Krüger, E.L.; Minella, F.O.; Rasia, F. (2011) Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3):621-634

Lee, H.; Mayer, H. (2018) Thermal comfort of pedestrians in an urban street canyon is affected by increasing albedo of building walls. *International Journal of Biometeorology*, 62 (7): 1199-1209

Lee, H.; Mayer, H.; Chen, L (2016) Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning* 148: 37-50

Lee, H.; Mayer, H.; Kuttler, W. (2020) Impact of the spacing between tree crowns on the mitigation of daytime heat stress for pedestrians inside E-W urban street canyons under Central European conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48: 126558

Liu, Z.; Zheng, S.; Zhao, L. (2018) Evaluation of the ENVI-Met Vegetation Model of Four Common Tree Species in a Subtropical Hot-Humid Area. *Atmosphere* 9(5): 198

Lopes, A. (2008). O sobreaquecimento das cidades causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium: Revista Internacional de Riscos* 15: 39-52

Manso, M.; Castro-Gomes, J (2016) Sistemas de parede verde: Uma revisão de suas características. *Revisões de energia renovável e sustentável* 41 863-871

Middel, A.; Häb, K.; Brazel, A.J.; Martin, C.A.; Guhathakurta, S (2014) Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning* 122: 16-28

Minella, F. C. O; Honjo, S.; Krüger, E. L. (2012) Strategies for improving the daily thermal environment of a urban fraction of the city of São Paulo in the summer. *Ambiente Construído*, 12(4): 139-158

Morgado, M.; Teixeira, L.; Talaia, M. (2014) Conforto térmico na construção de ambientes de saúde e segurança: Revisão da literatura.

- Muniz-Gäal, P. L.; Pezzuto, C. C.; Carvalho, M. F. H.; Mota, L. T. M. (2018) Urban legislation and thermal comfort in urban street canyons: a case study in Campinas. *Ambiente Construído*, 18(2): 177-196
- Nasrollahi, N.; Hatami, Z.; Taleghani, M. (2017) Development of outdoor thermal comfort model for tourists in urban historical areas; A case study in Isfahan. *BUILDING AND ENVIRONMENT*, 125: 356-372
- O Minho (2020). Delegado de Saúde de Braga alerta para os perigos da onda de calor.
- Ojaghlou, M.; Khakzand, M. (2019) Thermal Comfort Characteristic of 5 Patterns of a Persian Garden in a Hot-Arid Climate of Shiraz, Iran. *Journal of Landscape Ecology*, 12 (3): 1-33
- Salata, F.; Golasi, I.; Petitti, D.; de Lieto Vollaro, E.; Coppi, M.; de Lieto Vollaro, A. (2017) Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. *Sustainable Cities & Society*, 30: 79-96
- Shafique, M.; Kim, R.; Rafiq, M. (2018) Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90 757-773
- Shinzato, P.; Duarte, D. H. S. (2018) The impact of vegetation in urban microclimates and thermal comfort as a function of soil-vegetation-atmosphere interactions. *Ambiente Construído*, 18(2): 197-215
- Silva, P. (2006) Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE
- Silva, S. P.; Roquette, R.; Nunes, B.; Dias, C. M. (2016) A onda de calor de junho e julho de 2013: análise dos seus impactes na mortalidade por distrito de Portugal Continental. *Boletim Epidemiológico Observações*. 5 (15): 27-29
- Sodoudi, S.; Shahmohamadi, P.; Vollack, K.; Cubasch, U.; Che-Ani, A. I. (2014) Mitigating the Urban Heat Island Effect in Megacity Tehran. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Meteorology*, ID 547974
- Speak, A.; Montagnani, L.; Wellstein, C.; Zerbe, S. (2020) The influence of tree traits on urban ground surface shade cooling. *Landscape and Urban Planning* 197

Sun, S.; Xu, X.; Lao, Z.; Liu, W.; Li, Z.; Higuera García, E.; He, L.; Zhu, J. (2017) Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation. *Building and Environment* 123: 277-288

Taleghani, M.; Sailor, D.; Ban-Weiss, G. A. (2016) Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. *Environmental Research Letters* 11(2): 1

Taleghani, M.; Kleerekoper, L.; Tenpierik, M.; van den Dobbelsteen. (2015) Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. In *Special Issue: Climate adaptation in cities*, *Building and Environment* 83: 65-78

Trebian, R.; Mendes, N.; Oliveira, G. H. C. (2017) Sensibilidade do índice PMV e regiões de conforto visando ao aperfeiçoamento de climatizadores. *Ambiente Construído* 7(3): 71-87

Tseliou, A.; Tsiros, I.X. (2016) Modeling urban microclimate to ameliorate thermal sensation conditions in outdoor areas in Athens (Greece). *Building Simulation*, 9 (3): 251-267

Tsoka, S.; Tsikaloudaki, A.; Theodosiou, T. (2018) Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society* 43: 55-76

Tsoka, S.; Tsikaloudaki, K.; Theodosiou, T. (2017) Urban space's morphology and microclimatic analysis: A study for a typical urban district in the Mediterranean city of Thessaloniki, Greece. *Energy & Buildings*, 156: 96-108

U.S. Environmental Protection Agency. 2008. "Urban Heat Island Basics." In: *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

Uffelen, C. (2011) *FaçadeGreenery contemporary landscaping*.

Valeri, G.; Kurbjuhn, C.; Bernhofer, C. (2013) How relevant is urban planning for the thermal comfort of pedestrians? Numerical case studies in two districts of the City of Dresden (Saxony/Germany). *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 739-751

Vijavaraghavan, K. (2016) Green roofs: a critical review on the role of componentes, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 57 740-752

Weather Spark. Condições meteorológicas médias de Guimarães Portugal. <https://pt.weatherspark.com/y/32437/Clima-caracter%3ADstico-em-Guimar%3A3es-Portugal-durante-o-ano#Sections-Temperature>. (Acesso em 10 de abril de 2020)

Wu, Z.; Kong, F; Wang, Y.; Sun, R.; Chen, L. (2016) The Impact of Greenspace on Thermal Comfort in a Residential Quarter of Beijing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13 (12): 1217

Yilmaz, S.; Mutlu, E.; Yilmaz, H. (2018) Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. *Environmental Science and Pollution Research* 25(26): 26307-26321

Zhang, Y., Du, X. e Shi, Y. 2017 Effects of street canyon design on pedestrian thermal comfort in the hot-humid area of China. *Int J Biometeorol* 61: 1421-1432

Zhao, Q.; Sailor, D. J.; Wentz, E. A. (2018) Impact of tree locations and arrangements on outdoor microclimates and human thermal comfort in an urban residential environment. *Urban Forestry & Urban Greening* 32: 81-91

## 7. ANEXOS

### 7.1. Anexo 1 – Cenários estudados

- Cenário 1

Sem vegetação e sem fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida (0100B1 – Brick: areated (blocos); 0000GS – Pavimento em Granito).

Grelha: 38\*40

Duração da simulação: 2:01 horas

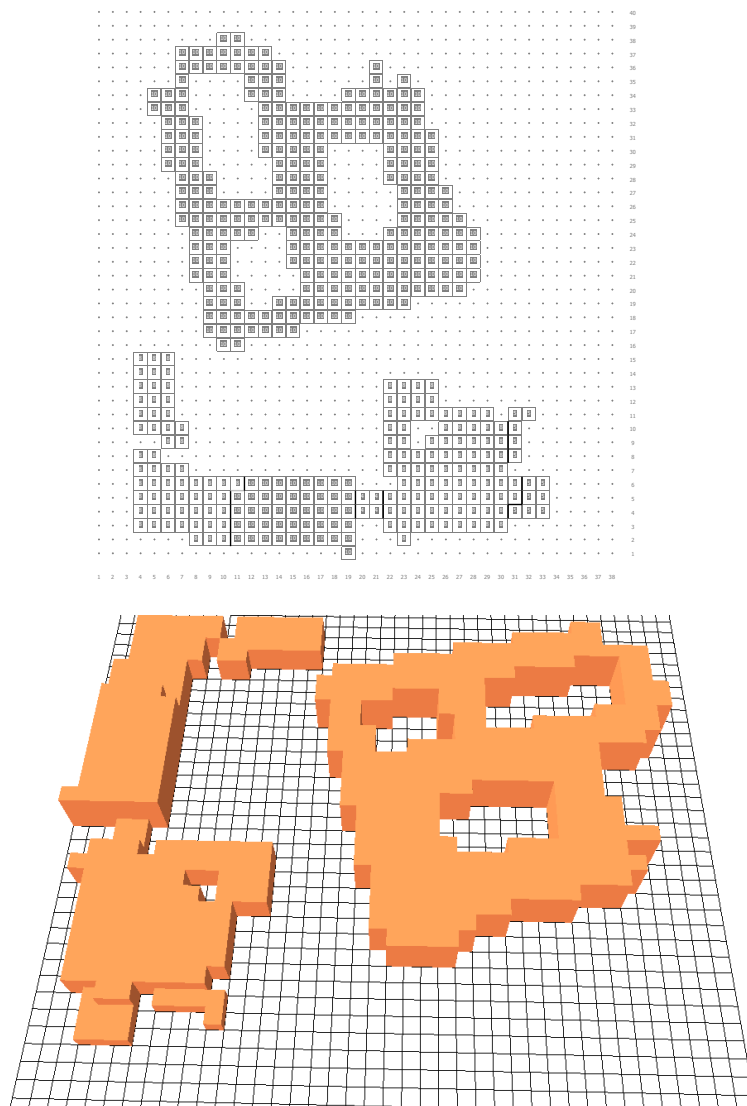


Figura 50 – Cenário 1

- Cenário 1.2

Sem vegetação e sem fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida (0100B1 – Brick: areated (blocos); 0000GS – Pavimento em Granito).

Grelha: 65\*75

Duração da simulação: 9:09 horas

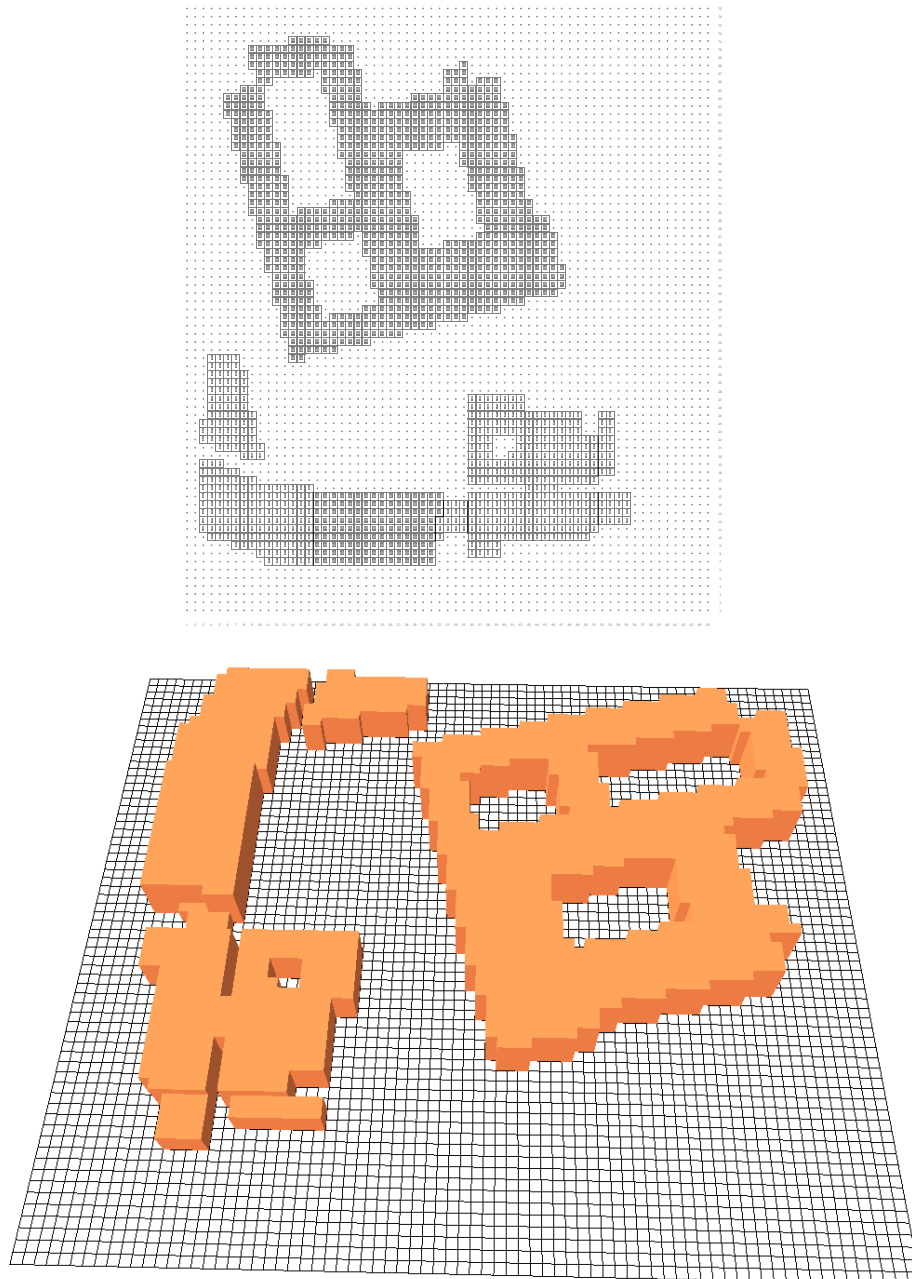


Figura 51 – Cenário 1.2.

- Cenário 2

Com vegetação e com fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida (0100B1 – Brick: areated (blocos); 0000GS – Pavimento em Granito).

Grelha: 38\*40

Duração da simulação: 6:02 horas

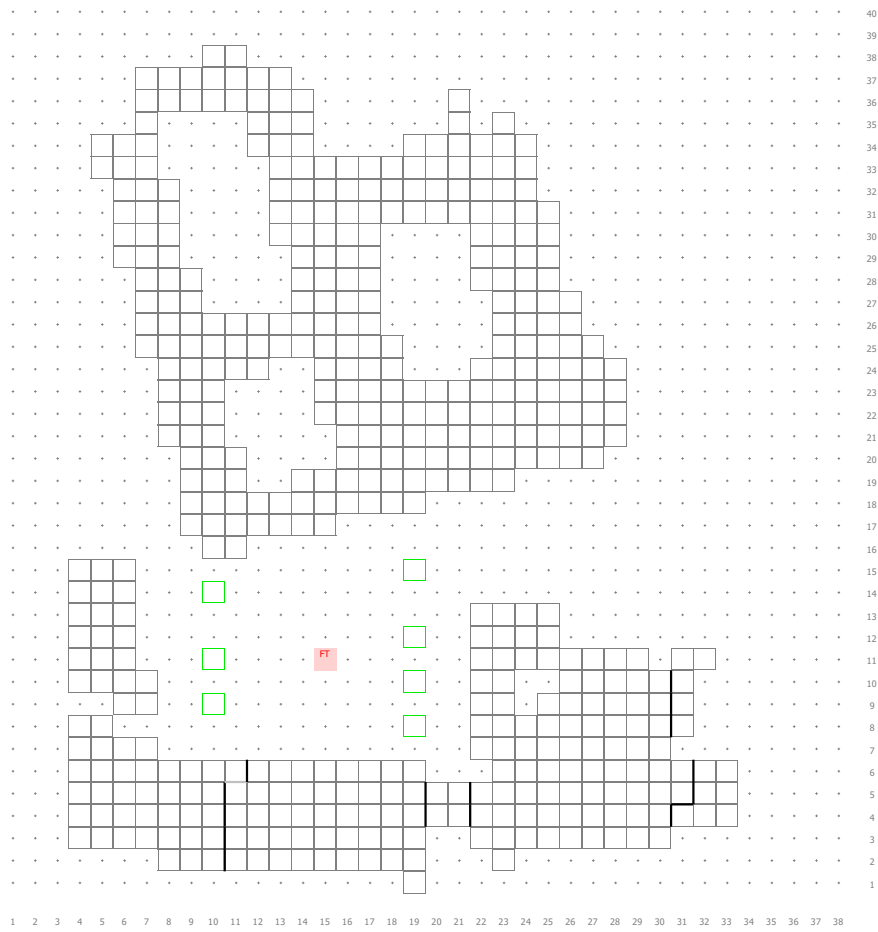


Figura 52 – Cenário 2.



- Cenário 2.1

Sem vegetação e com fonte, com os materiais disponíveis na base de dados pré-definida (0100B1 – Brick: areated (blocos); 0000GS – Pavimento em Granito).

Grelha: 69\*79

Duração da simulação: 33:42 horas

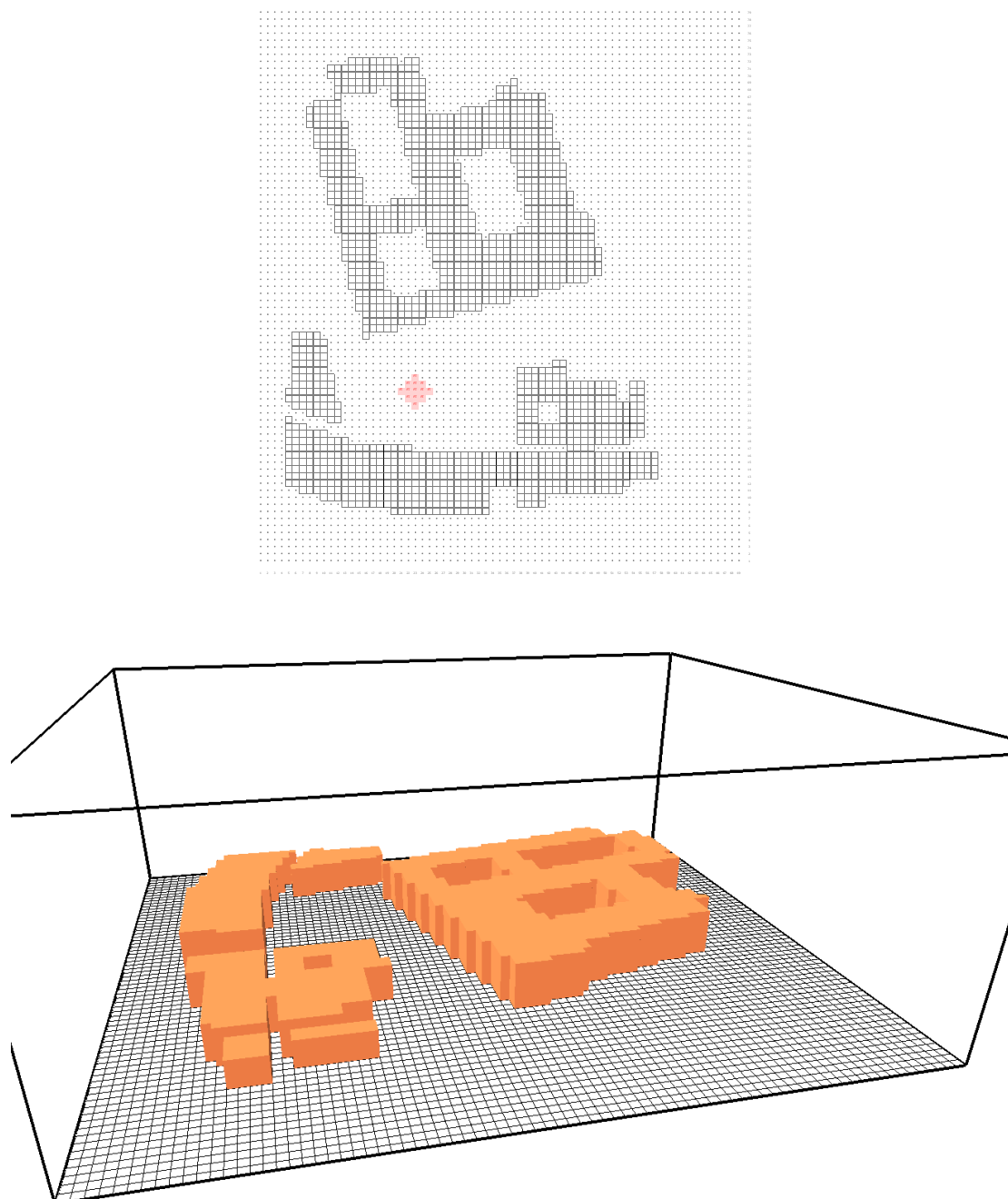


Figura 53 – Cenário 2.1.

- Cenário 3

Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados

Grelha: 38\*43

Duração da simulação: 3:21 horas

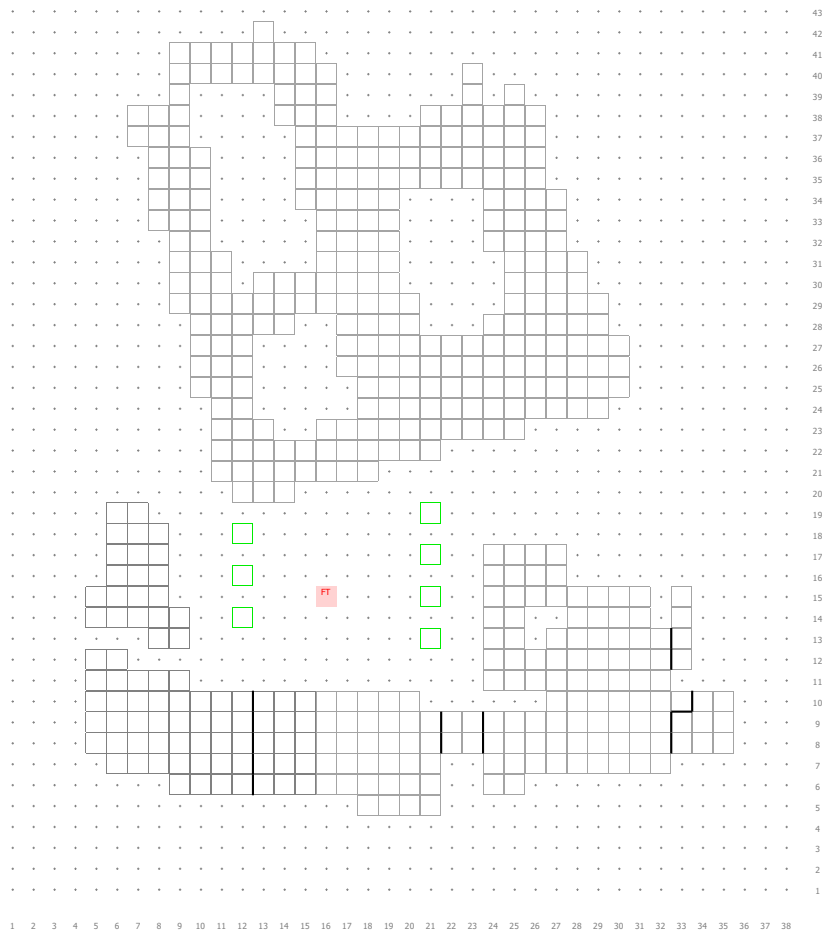


Figura 54 – Cenário 3.

- Cenário 3.1

Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados

Grelha: 75\*80

Duração da simulação: 14:05 horas

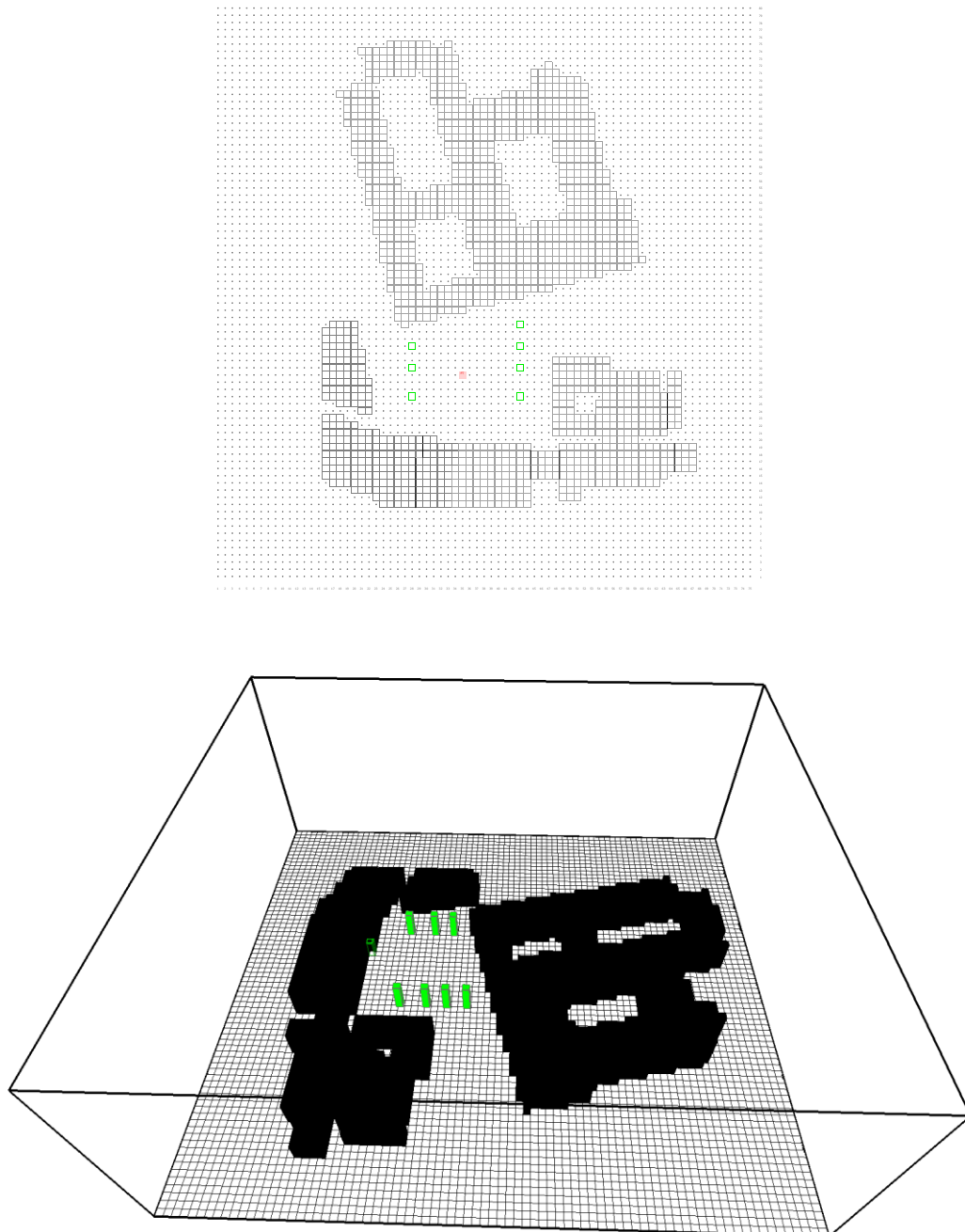


Figura 55 – Cenário 3.1.

- Cenário 3.2

Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados

Grelha: 130\*150

Duração da simulação: 182:24 horas

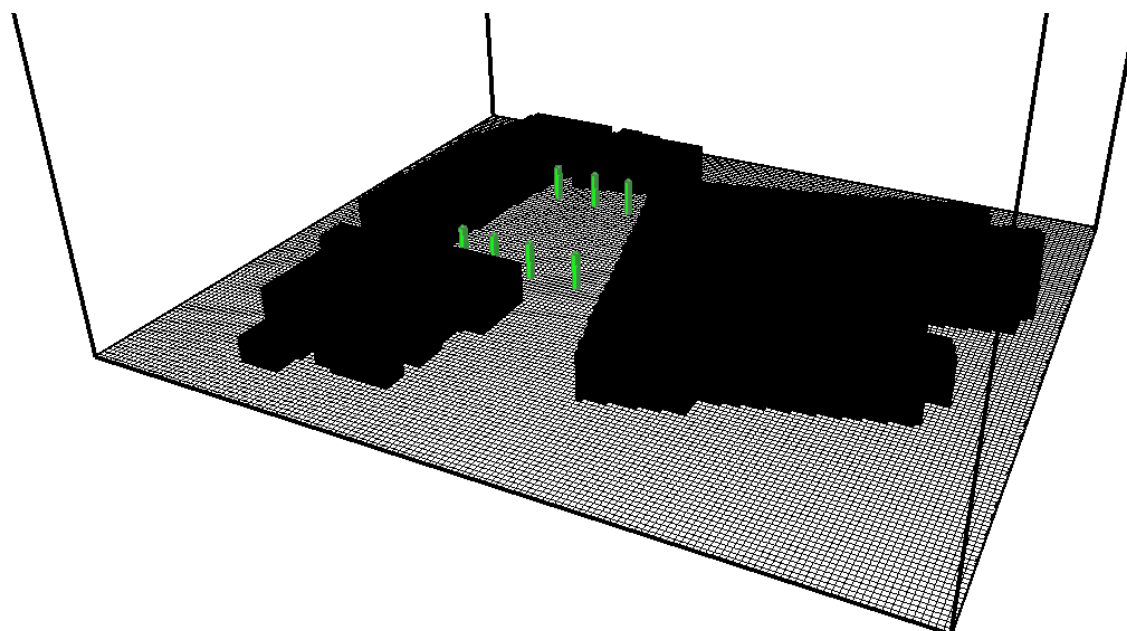
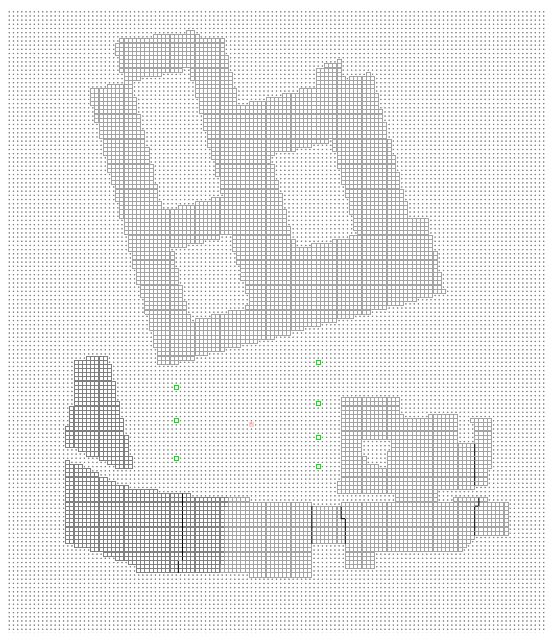


Figura 56 – Cenário 3.2

- Cenário 4

Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com todas as fachadas dos edifícios verdes

Grelha: 40\*44

Duração da simulação: 4:11 horas

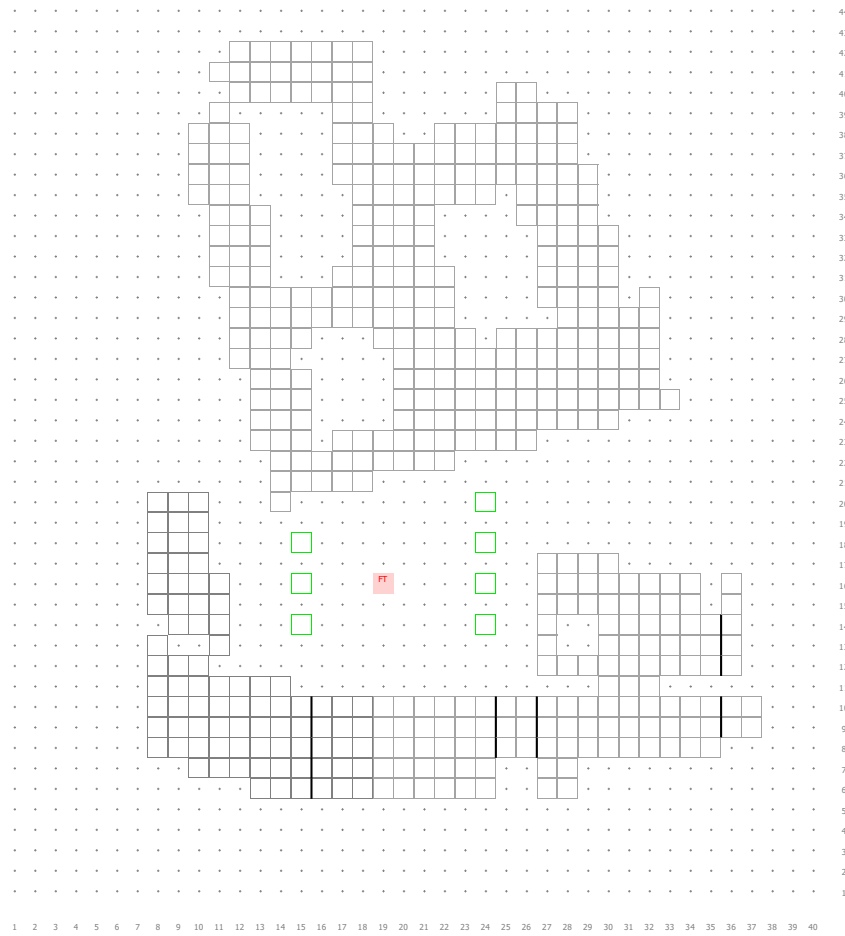


Figura 57 – Cenário 4.

- Cenário 4.1

Sem vegetação e sem fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com 50% dos edifícios com fachadas verdes (duas frentes do largo)

Grelha: 73\*76

Duração da simulação: 12:50 horas

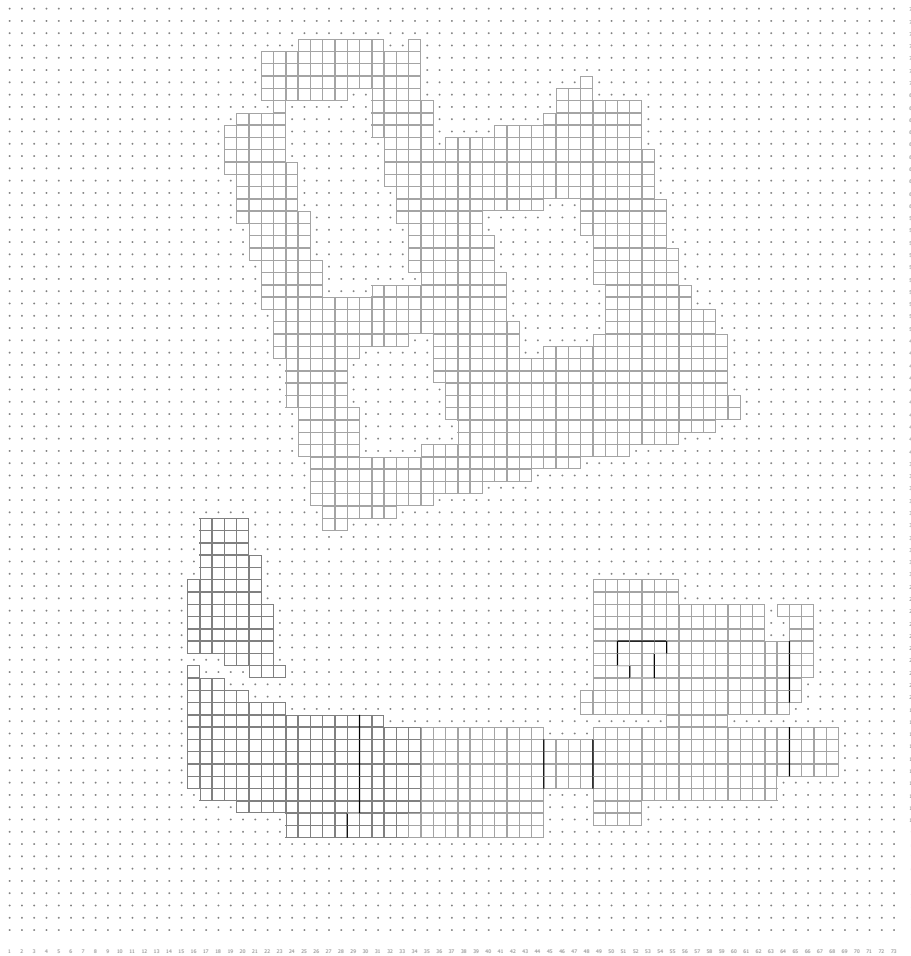


Figura 58 – Cenário 4.1.

- Cenário 4.2

Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com 50% dos edifícios com fachadas verdes (duas frentes do largo)

Grelha: 73\*76

Duração da simulação: 12:34 horas

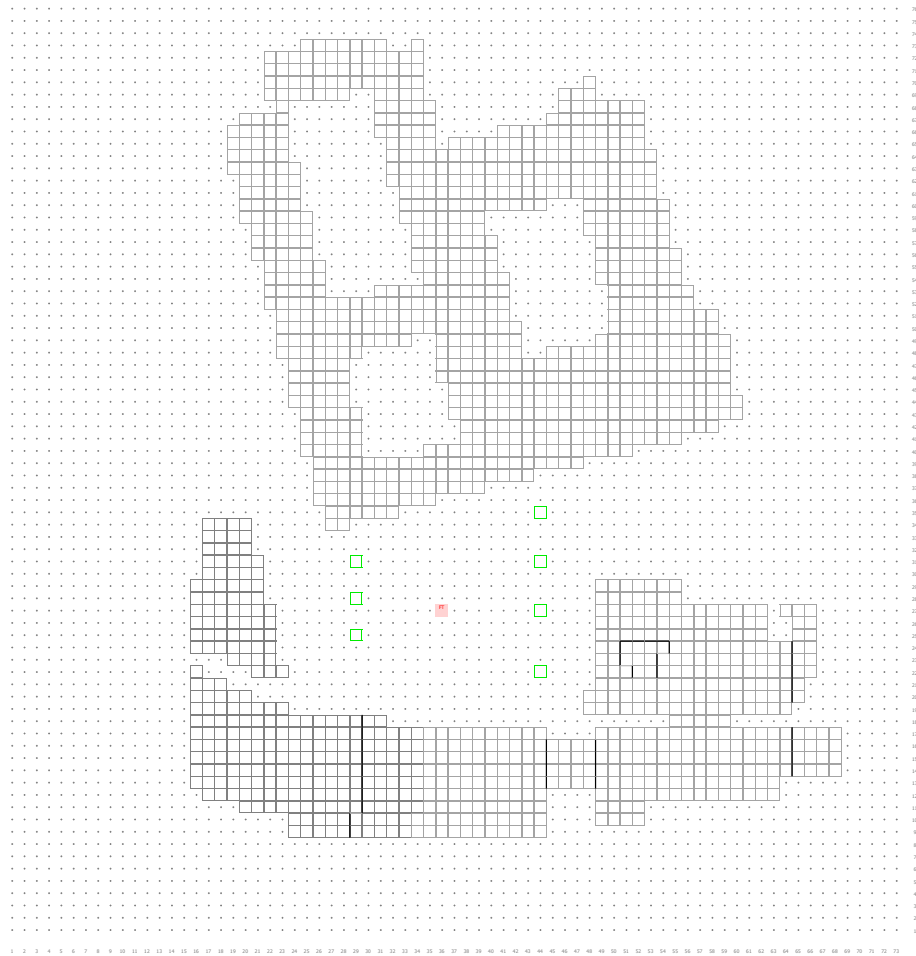


Figura 59 – Cenário 4.2.

- Cenário 5

Com vegetação e com fonte, com novos materiais introduzidos na base de dados e com todas as fachadas dos edifícios verdes

Grelha: 87\*93

Duração da simulação: 48:36 horas

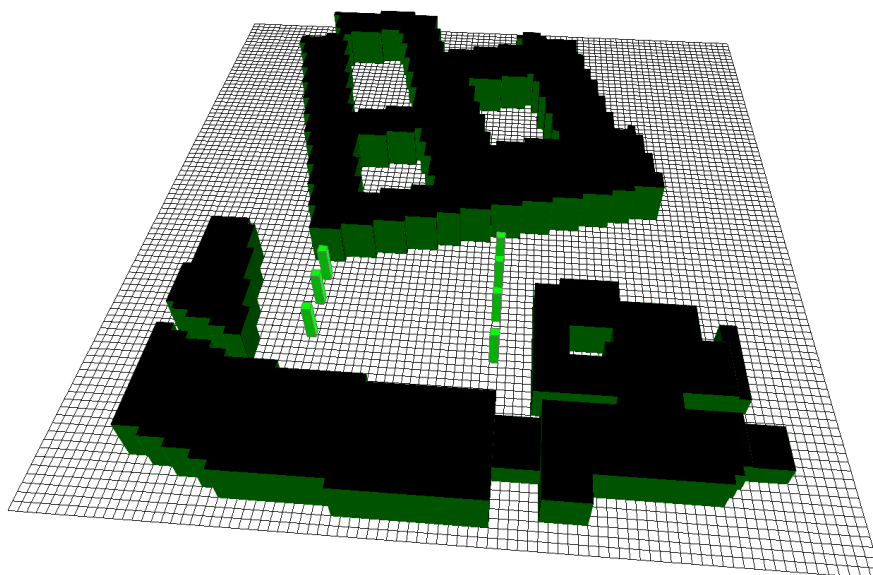
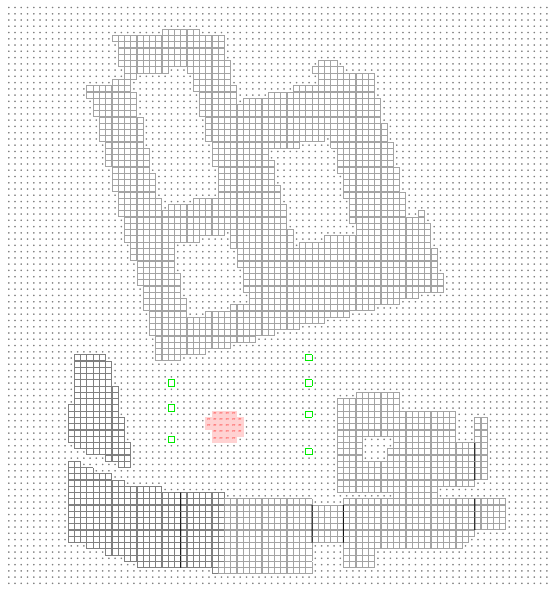


Figura 60 – Cenário 5.



## 7.2. Anexo 2 – Mapas de saída – Envi-met

- Cenário 1

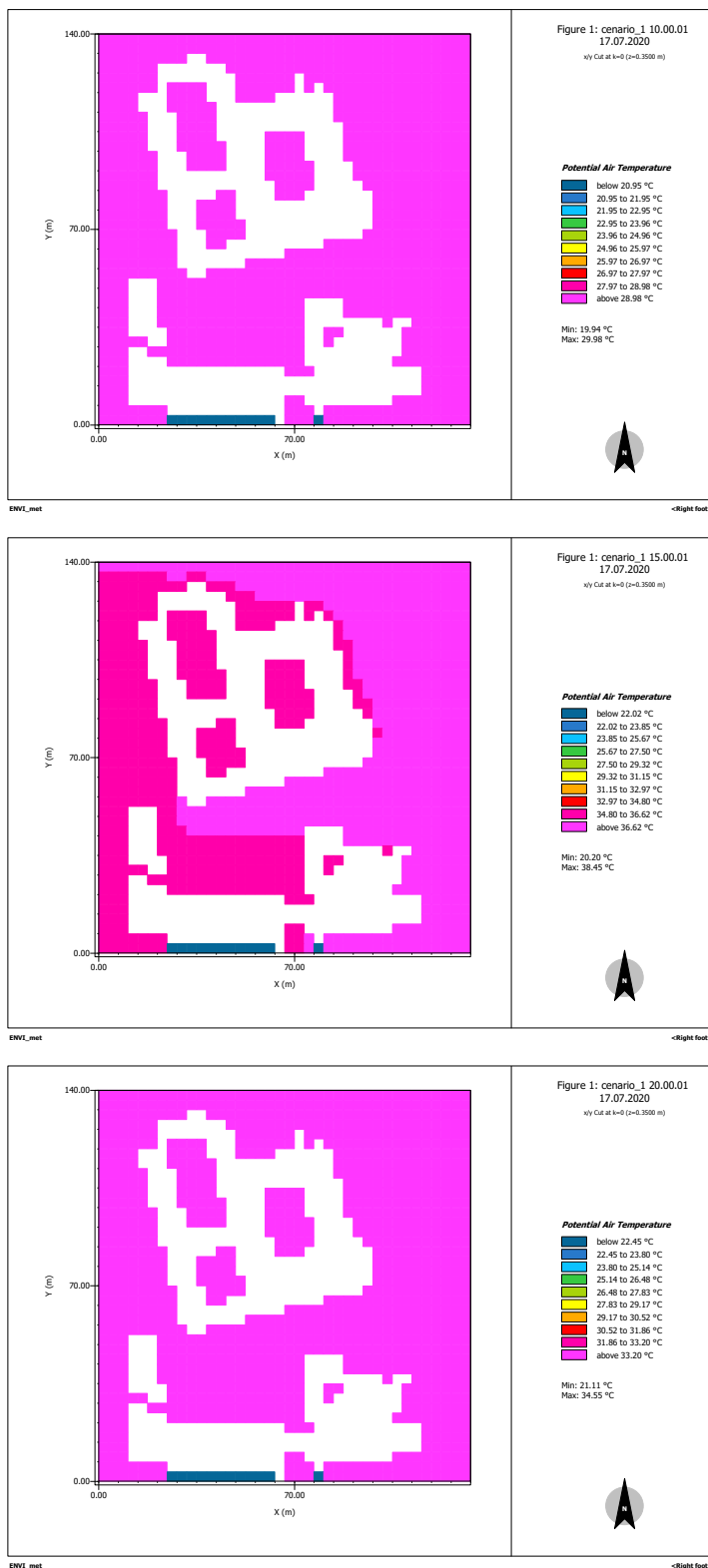


Figura 61 - Cenário 1 – Temperatura

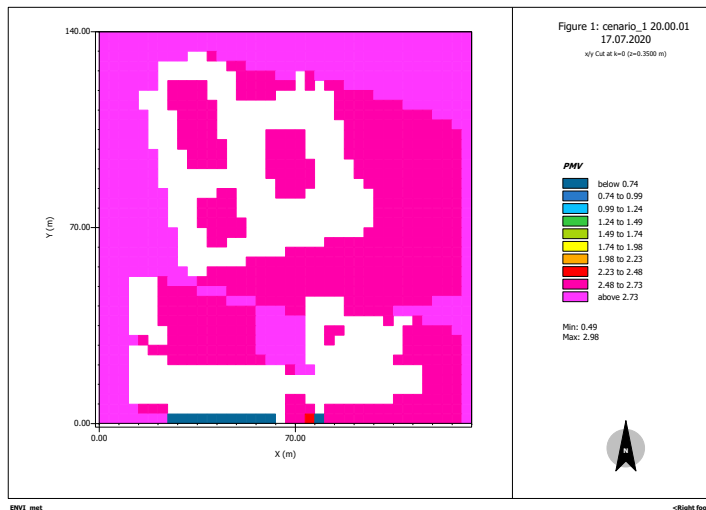
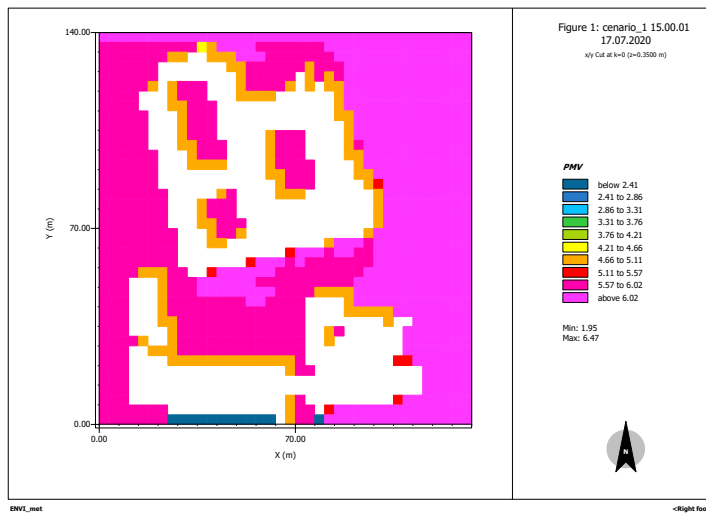
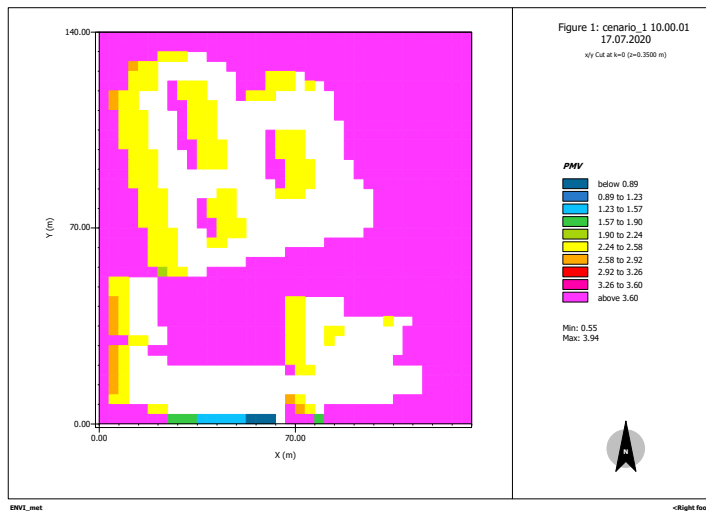


Figura 62 - Cenário 1 – PMV

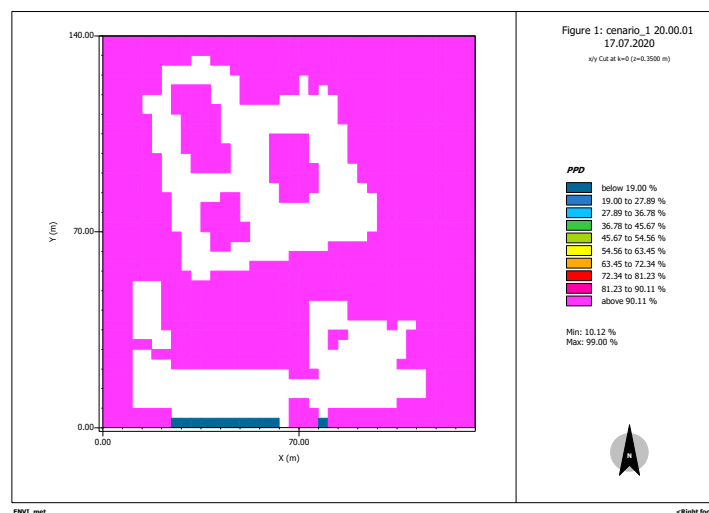
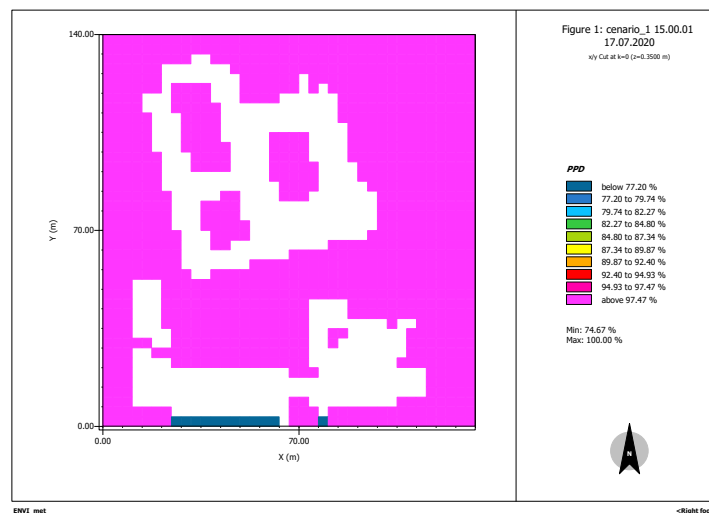
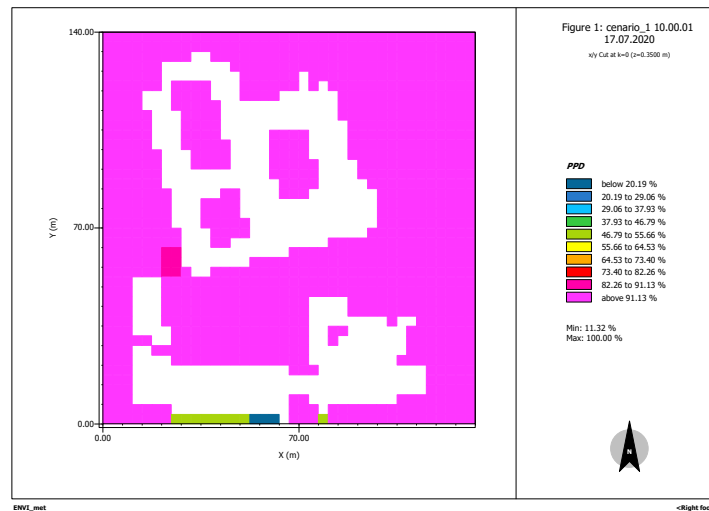


Figura 63 – Cenário 1 - PPD

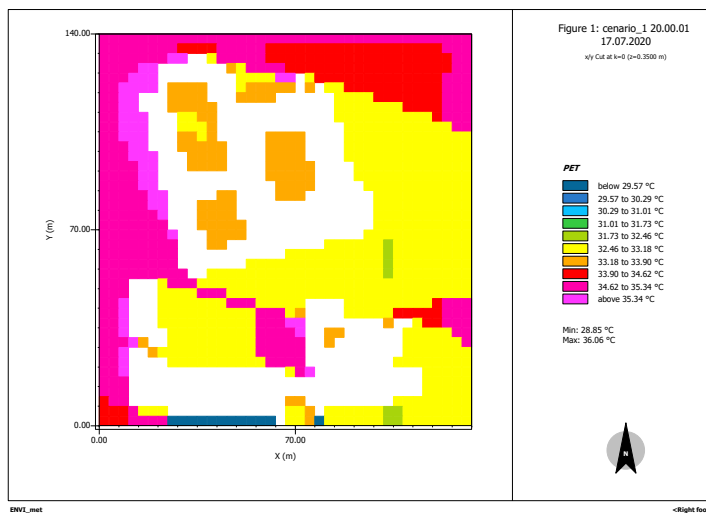
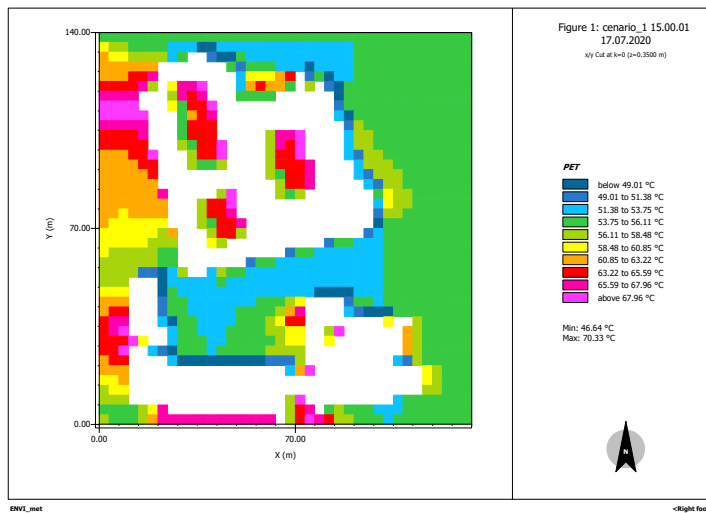
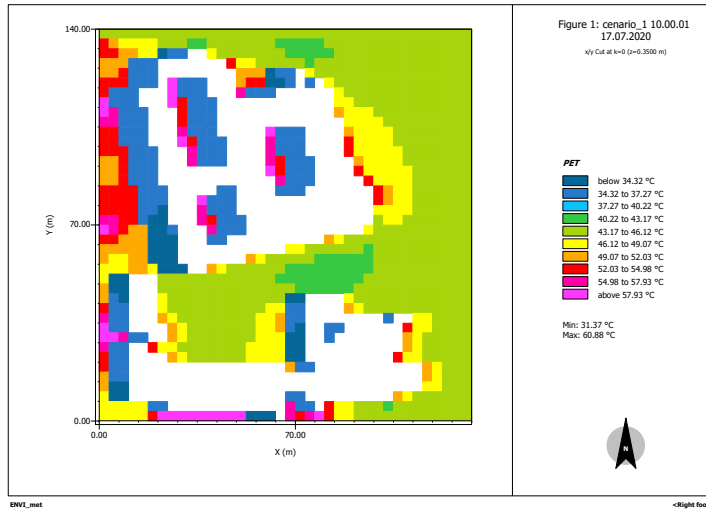


Figura 64 – Cenário 1 - PET

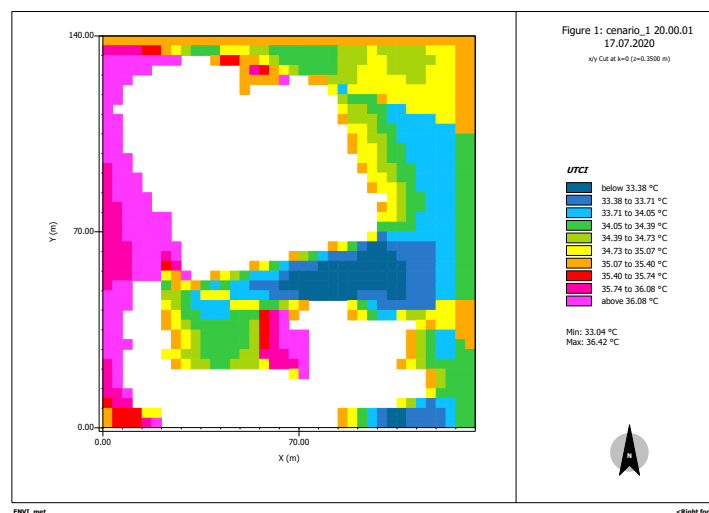
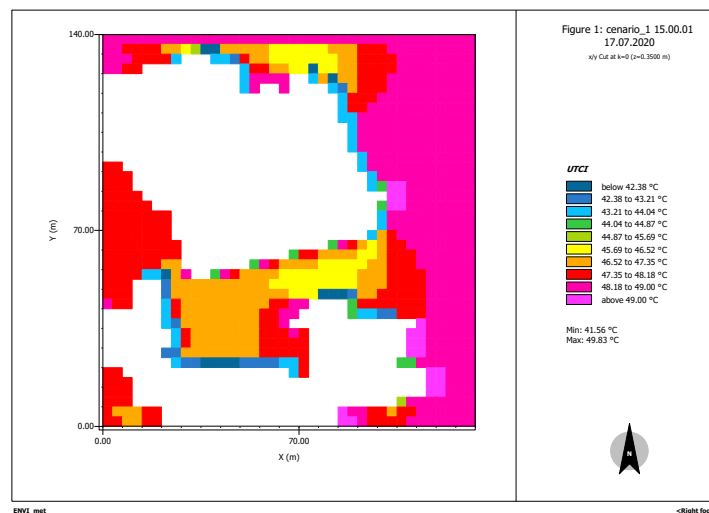
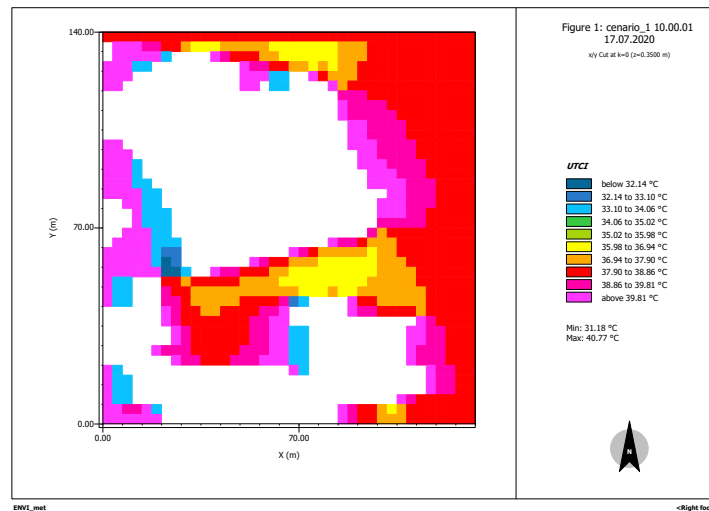


Figura 65 – Cenário 1 - UTCI

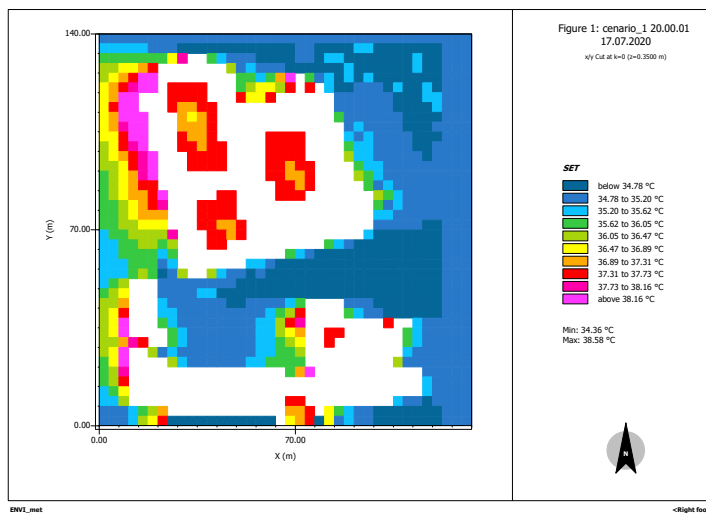
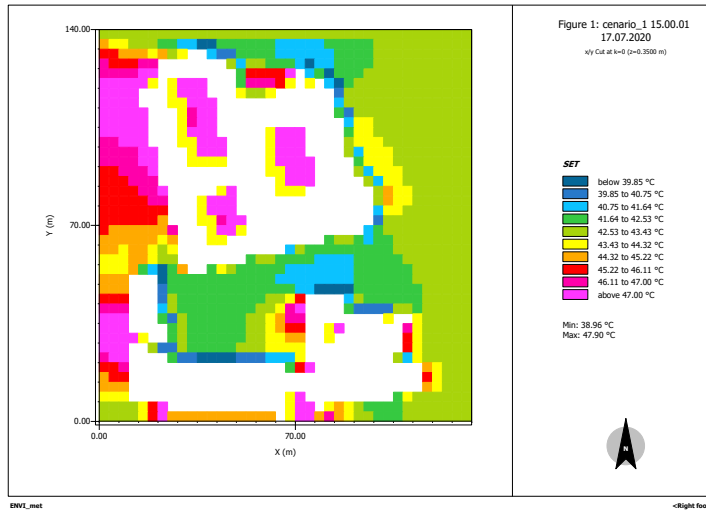
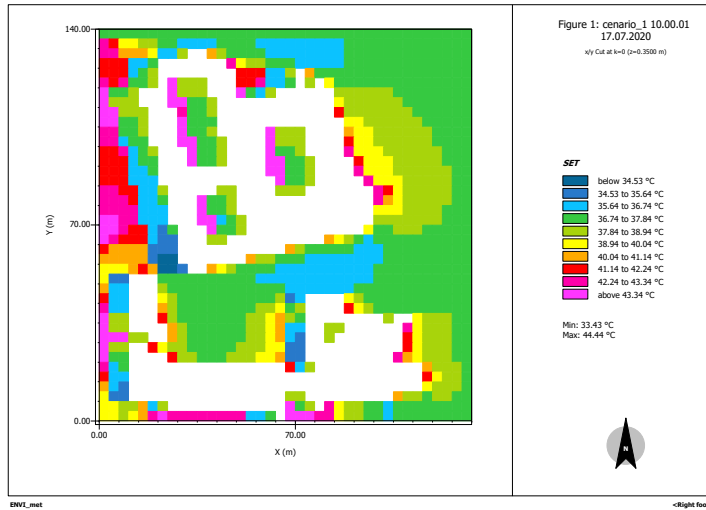


Figura 66 – Cenário 1 - SET

- Cenário 1.2

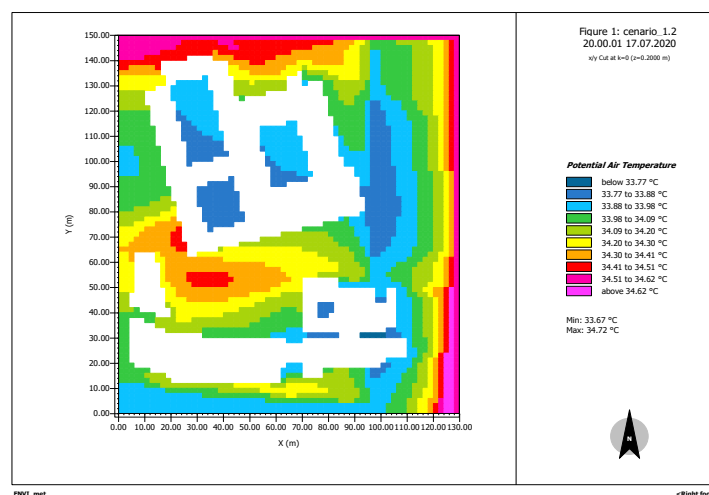
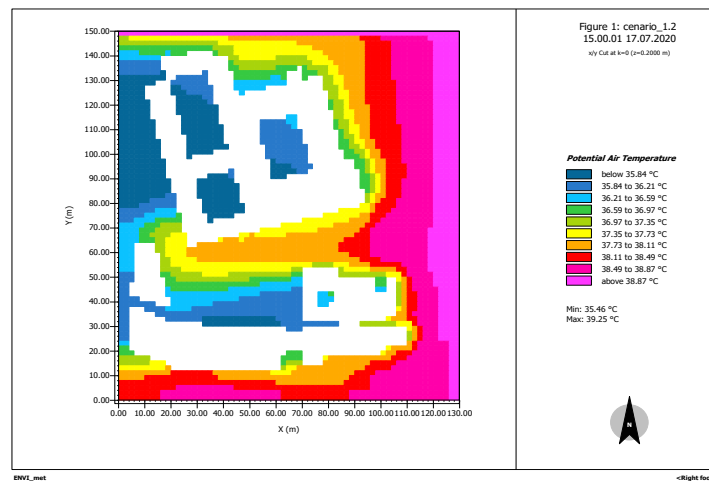
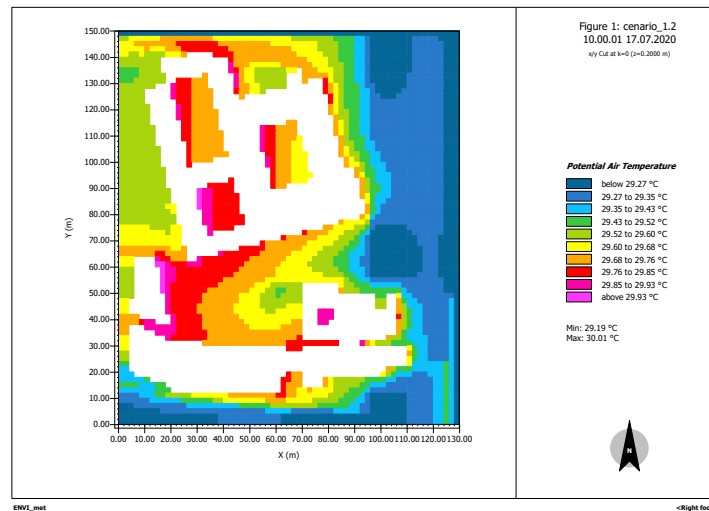


Figura 67 – Cenário 1.2 - Temperatura

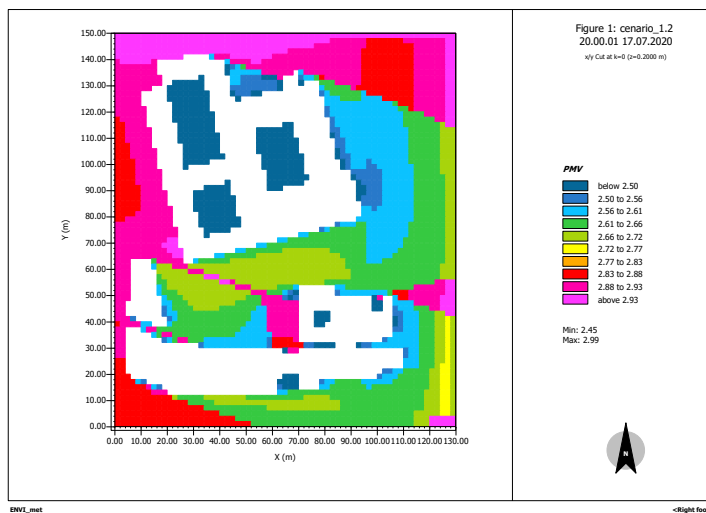
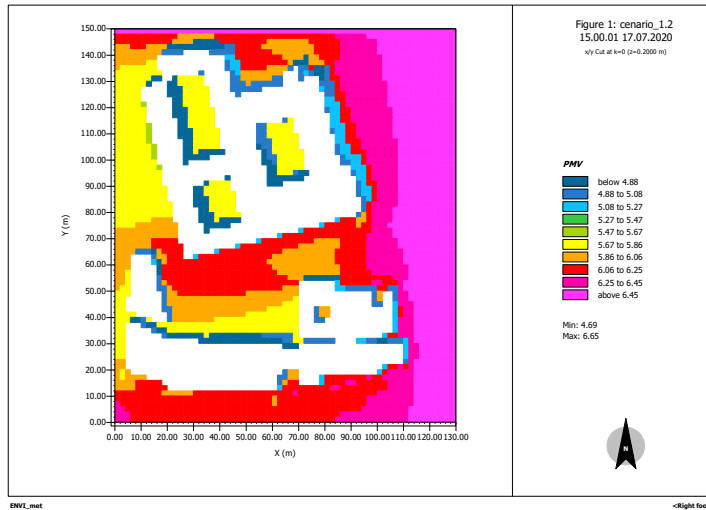
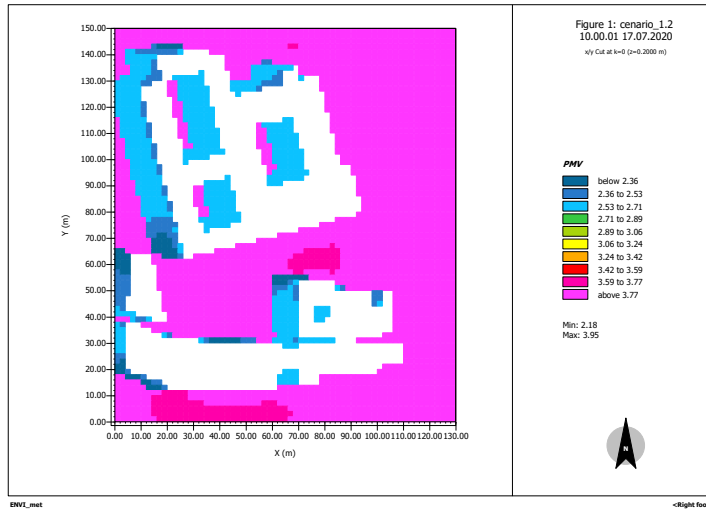


Figura 68 – Cenário 1.2 - PMV



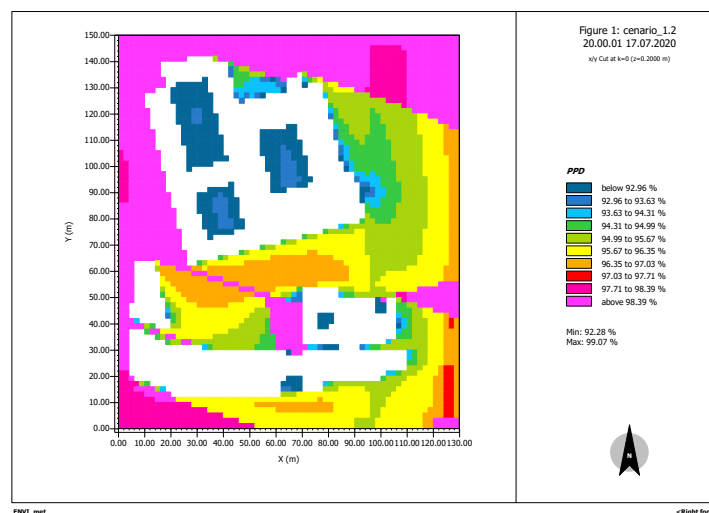
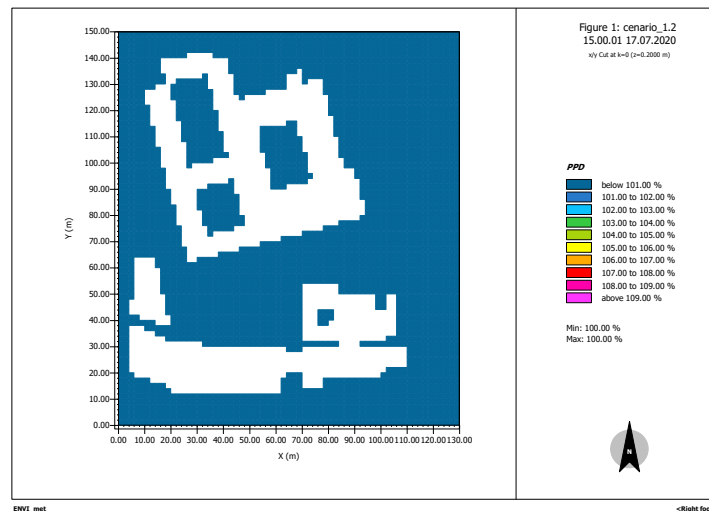
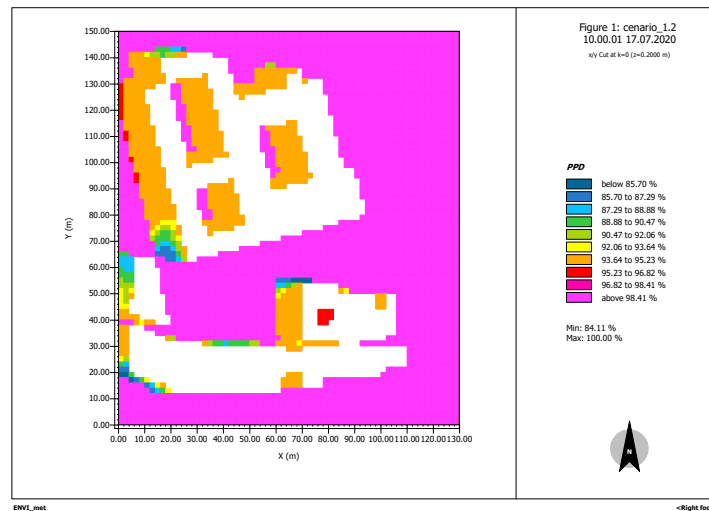


Figura 69 – Cenário 1.2 - PPD

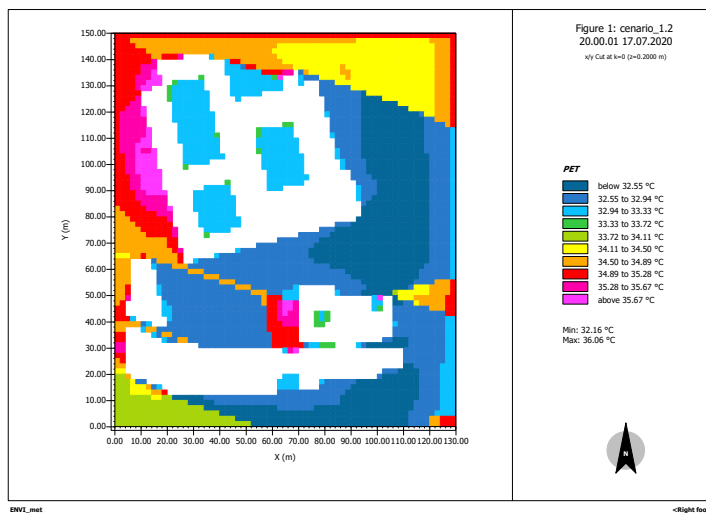
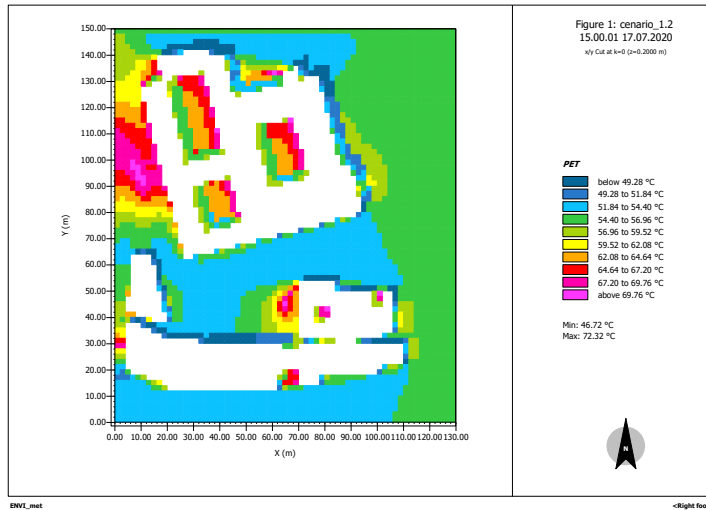
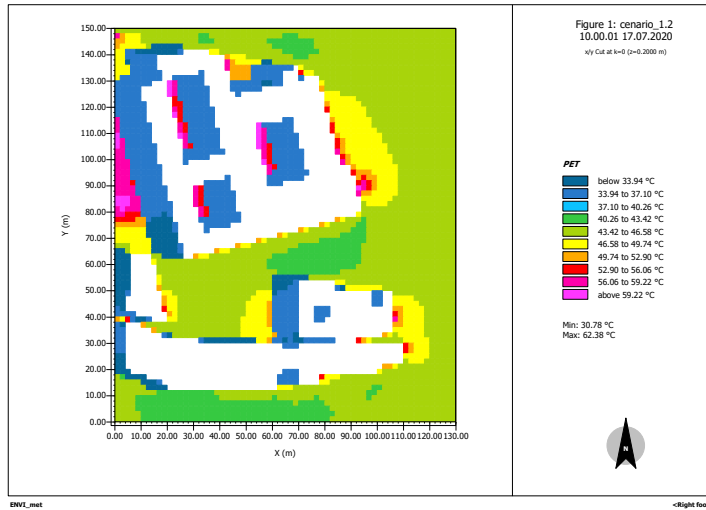


Figura 70 – Cenário 1.2 - PET

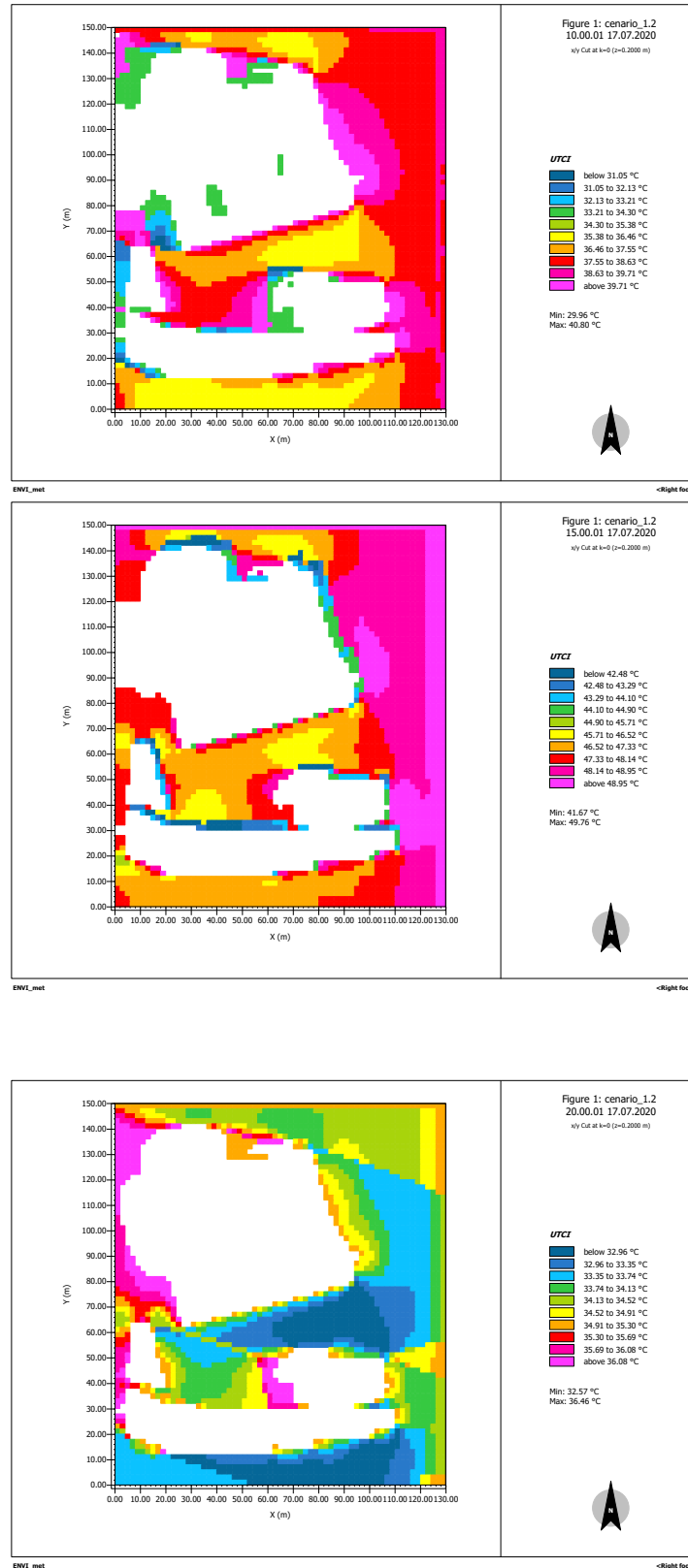


Figura 71 - Cenário 1.2 – UTCI

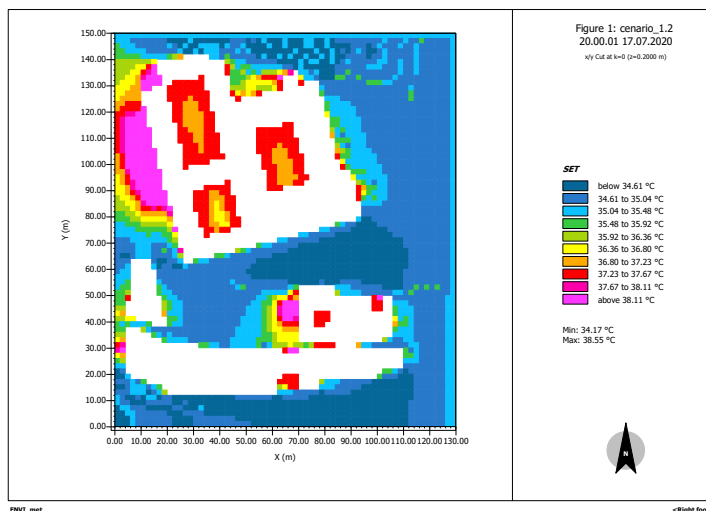
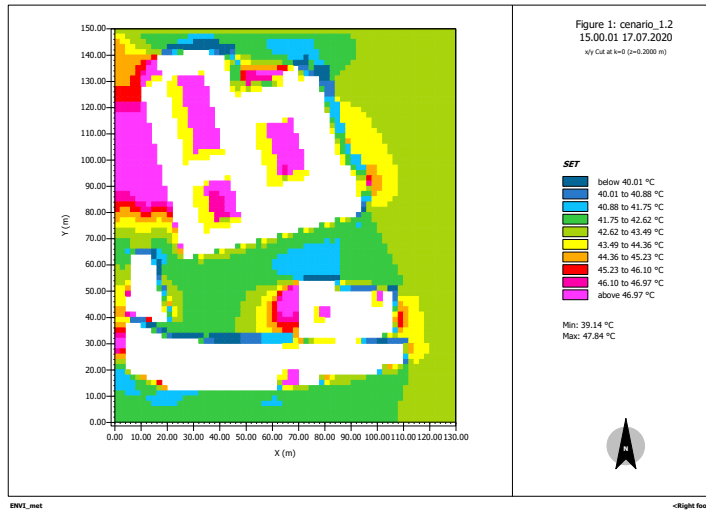
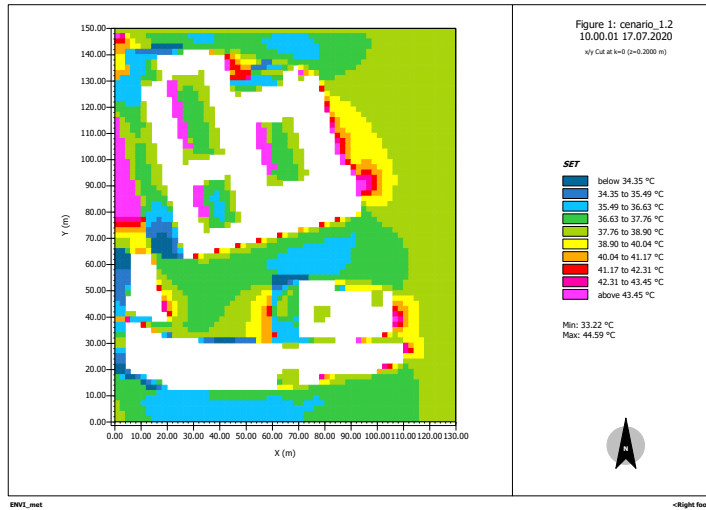


Figura 72 - Cenário 1.2 – SET

- Cenário 2

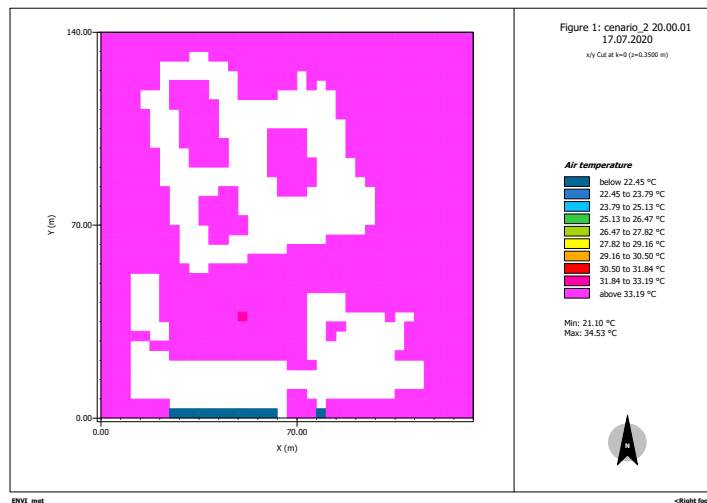
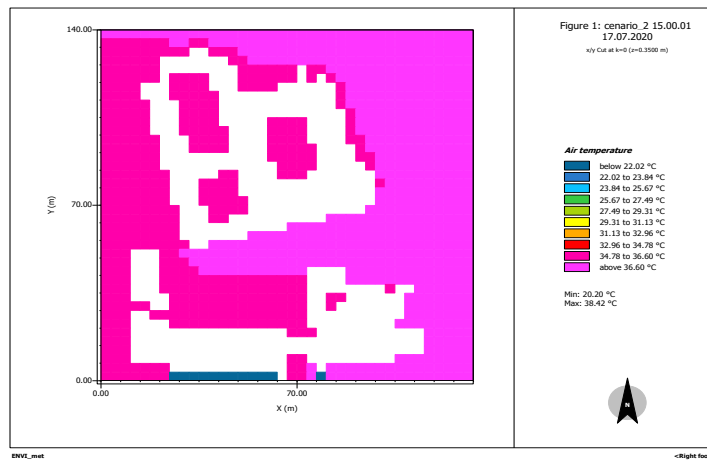
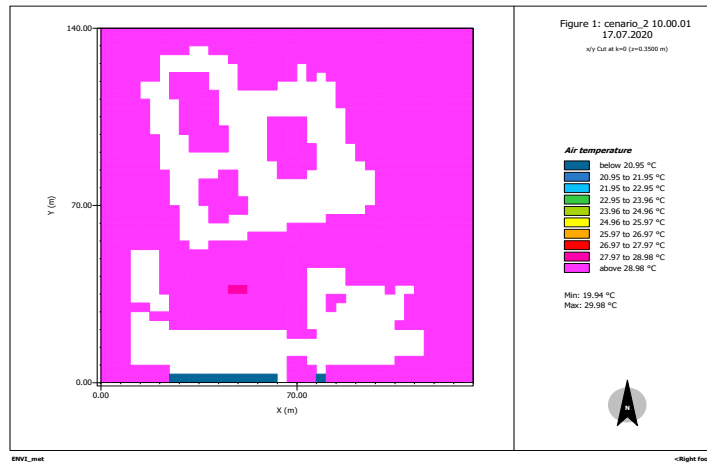


Figura 73 – Cenário 2 - Temperatura

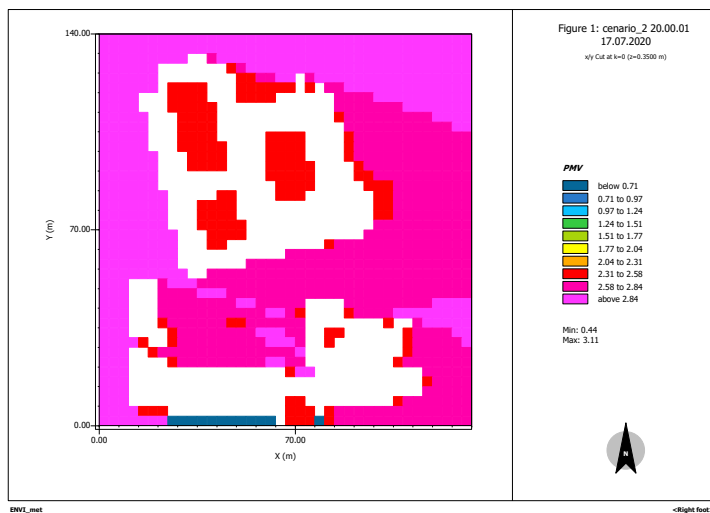
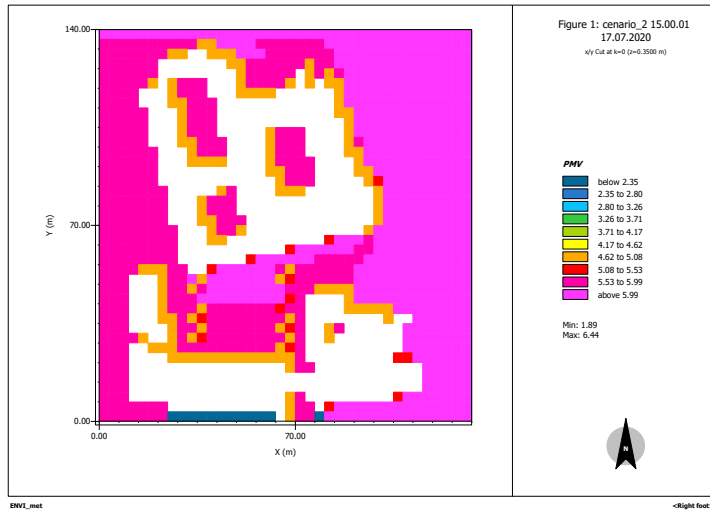
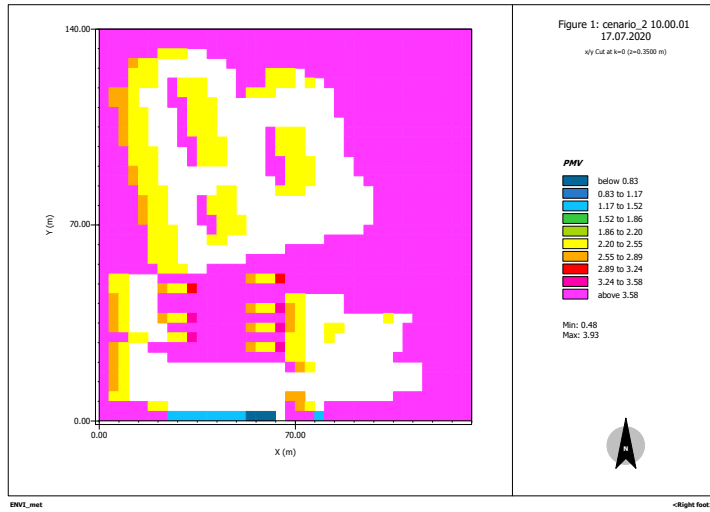


Figura 74 – Cenário 2 - PMV

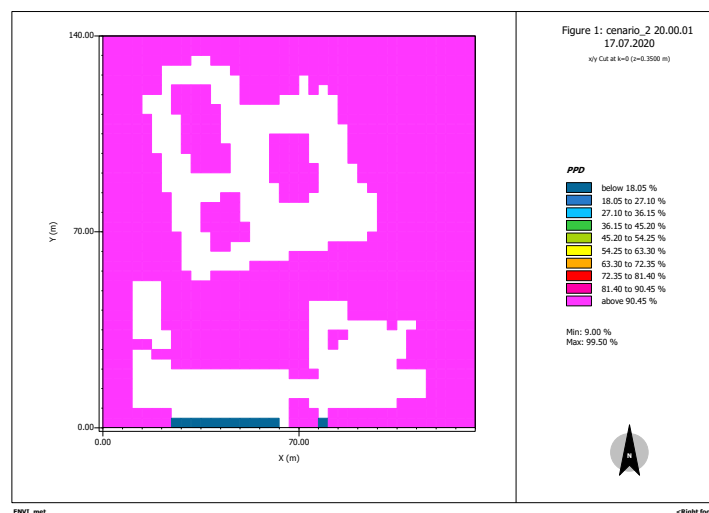
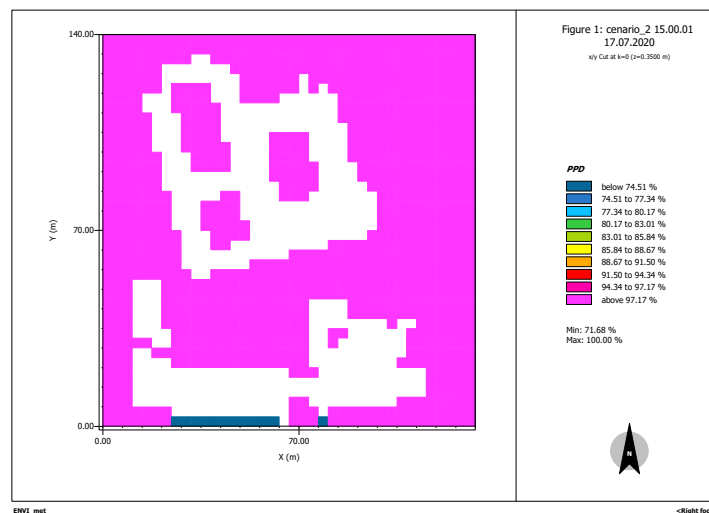
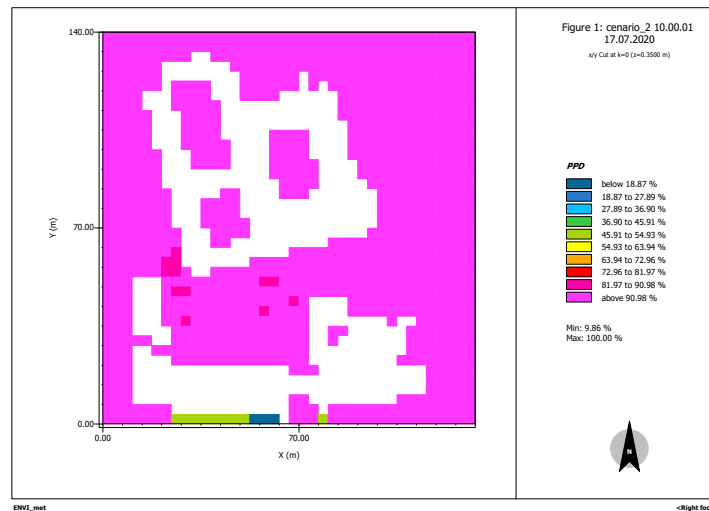


Figura 75 – Cenário 2 - PPD

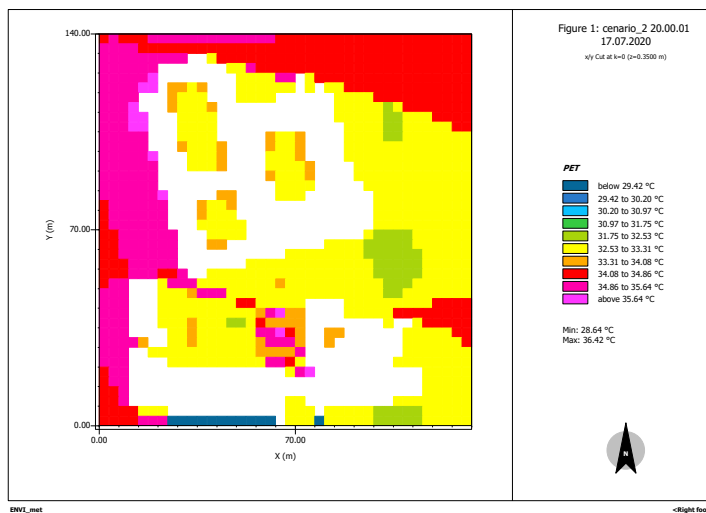
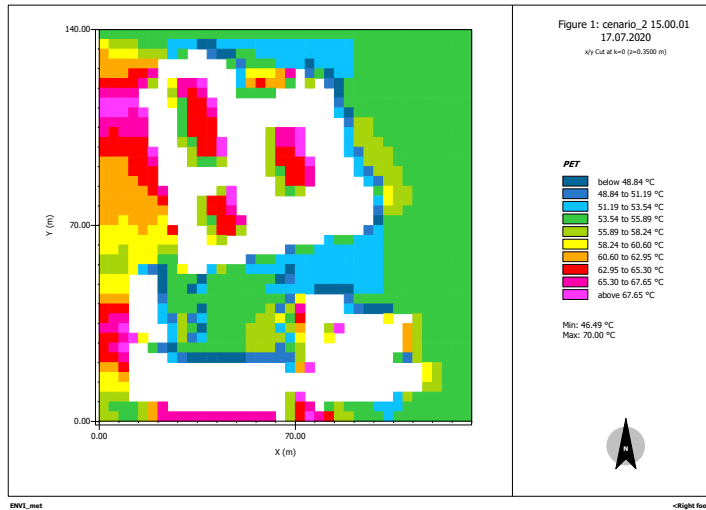
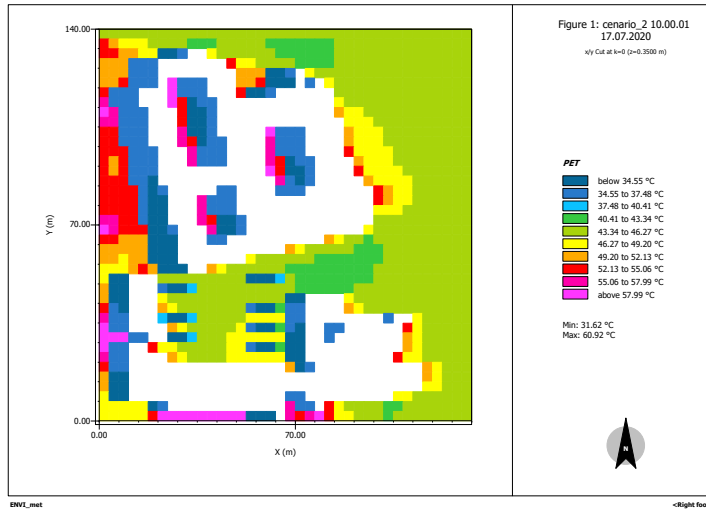


Figura 76 – Cenário 2 - PET



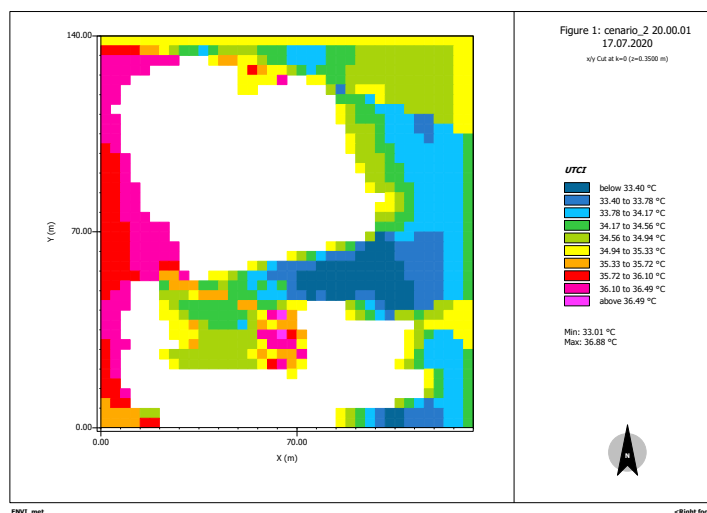
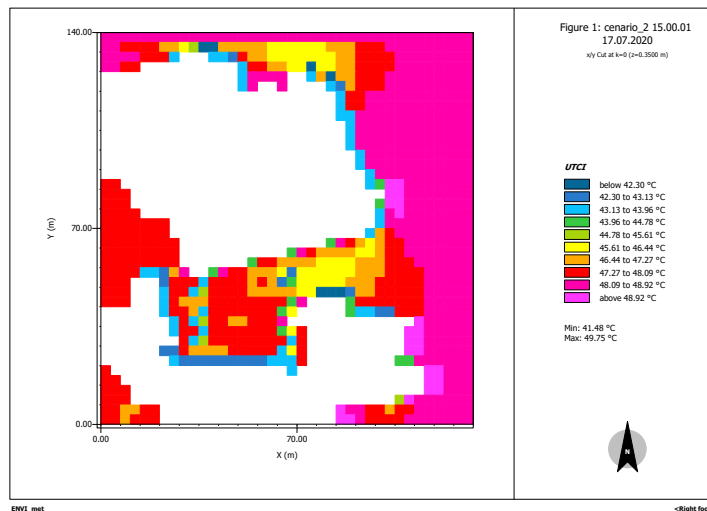
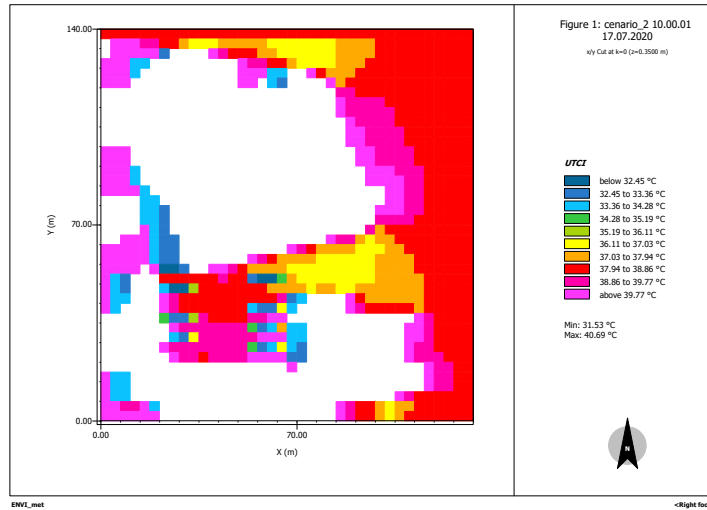


Figura 77 – Cenário 2 - UTCI

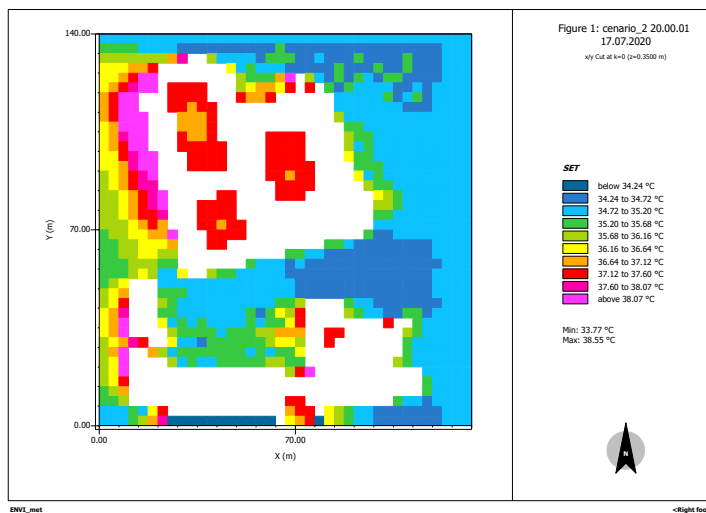
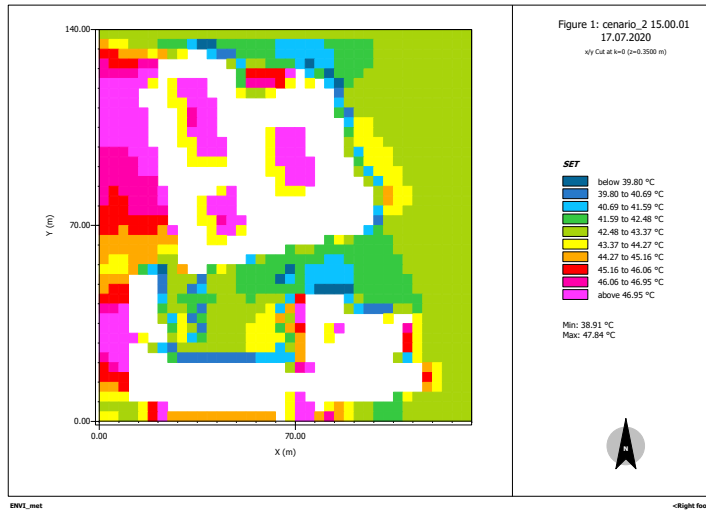
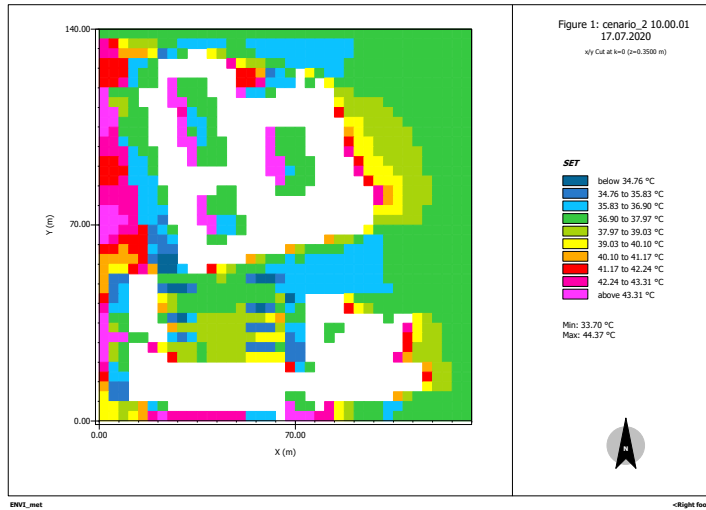


Figura 78 – Cenário 2 - SET

- Cenário 2.1

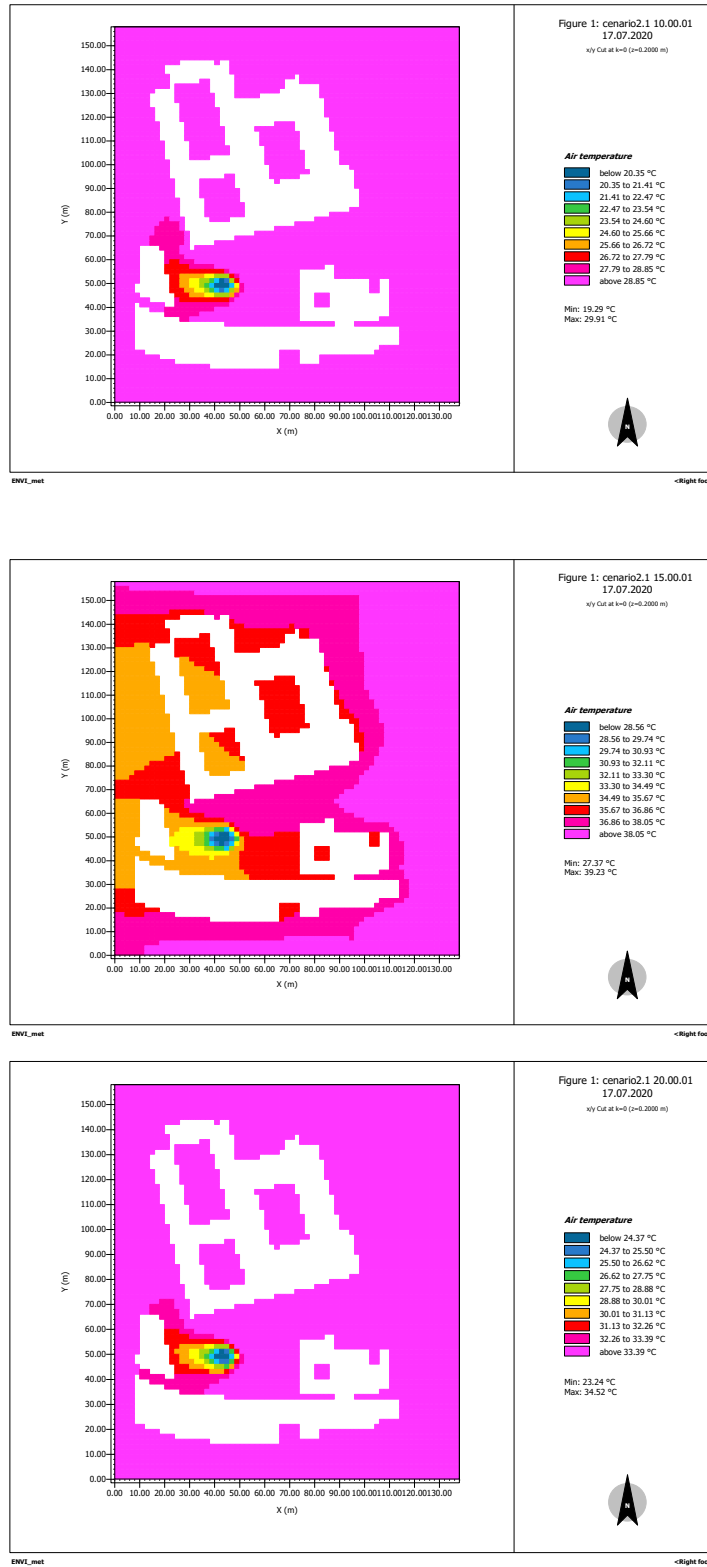


Figura 79 – Cenário 2.1 - Temperatura

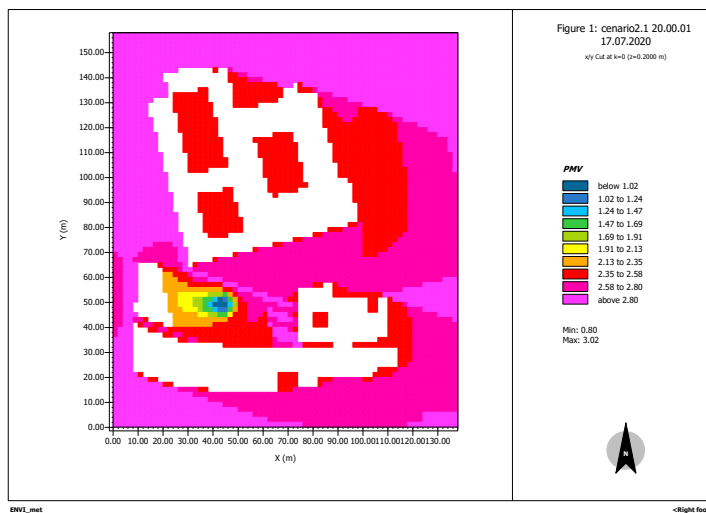
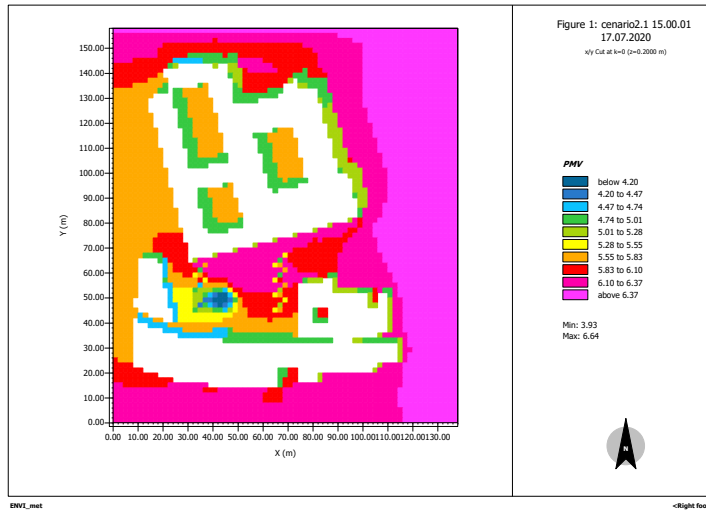
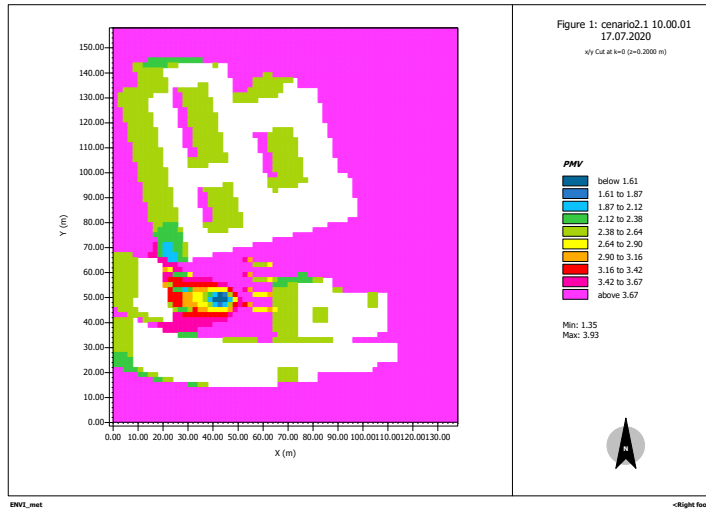


Figura 80 – Cenário 2.1 - PMV

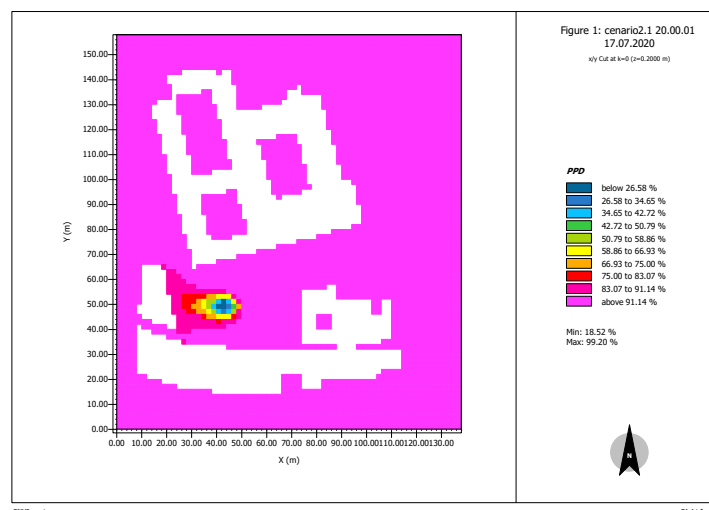
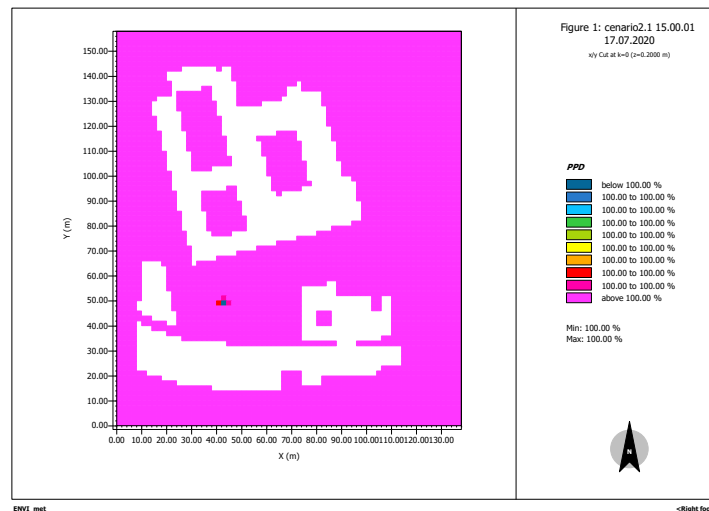
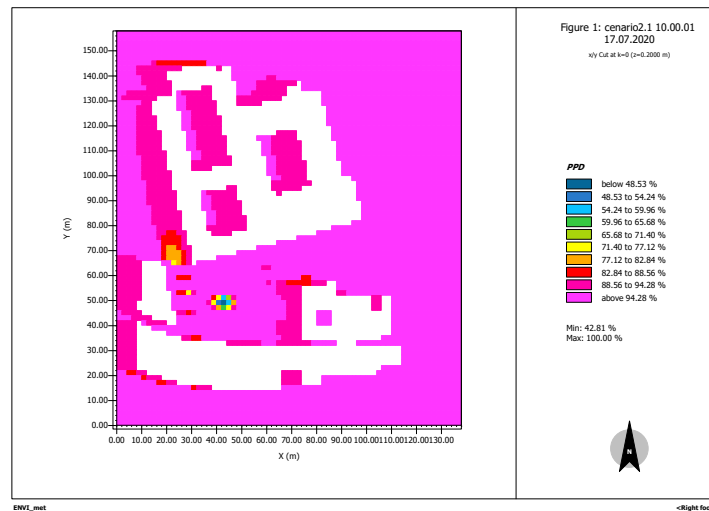


Figura 81 – Cenário 2.1 - PPD

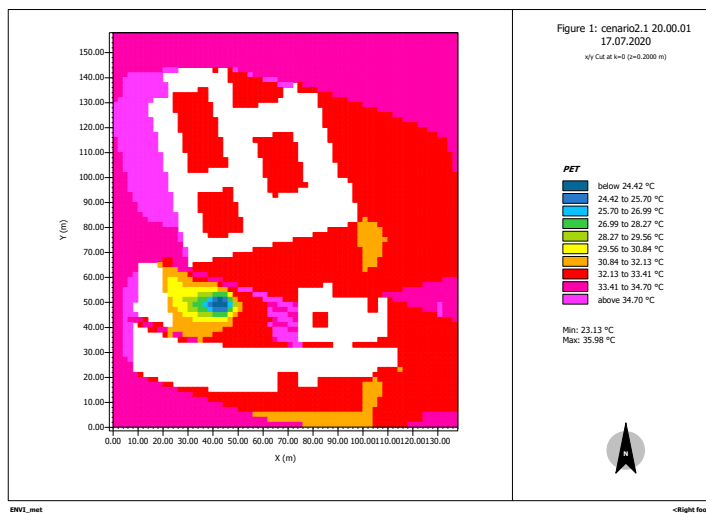
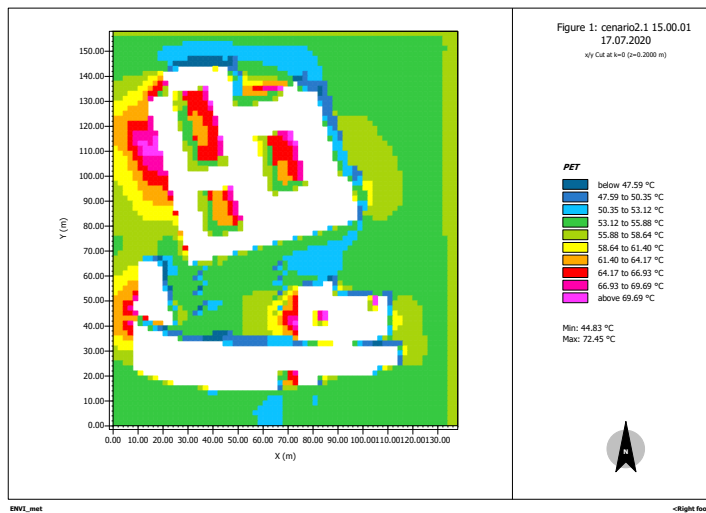
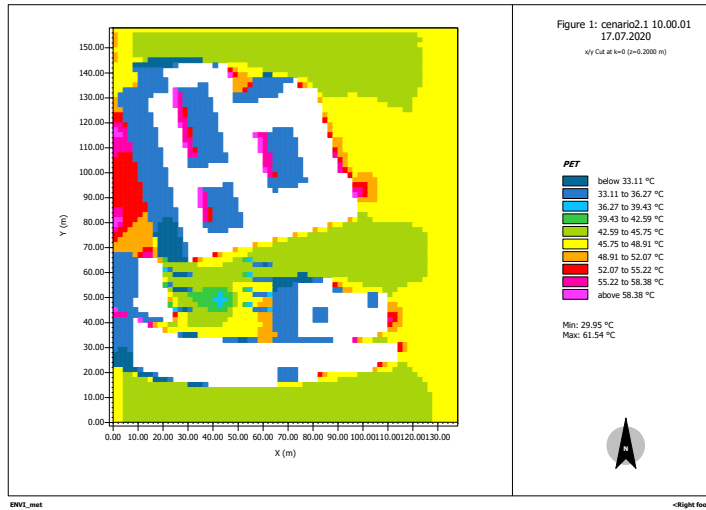


Figura 82 – Cenário 2.1 - PET

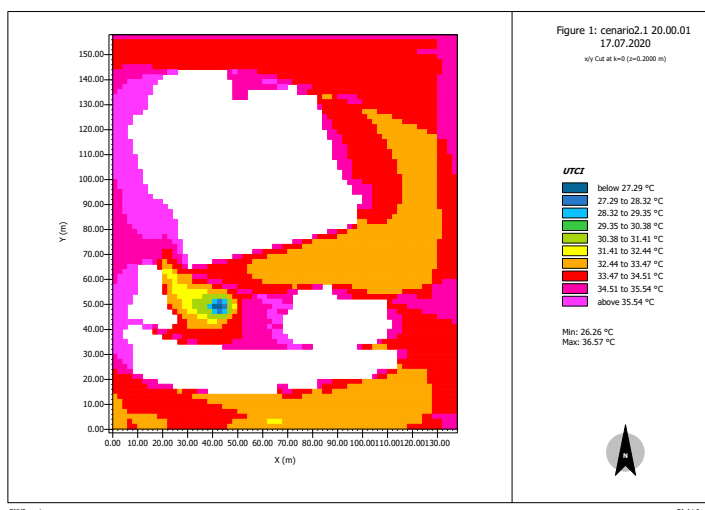
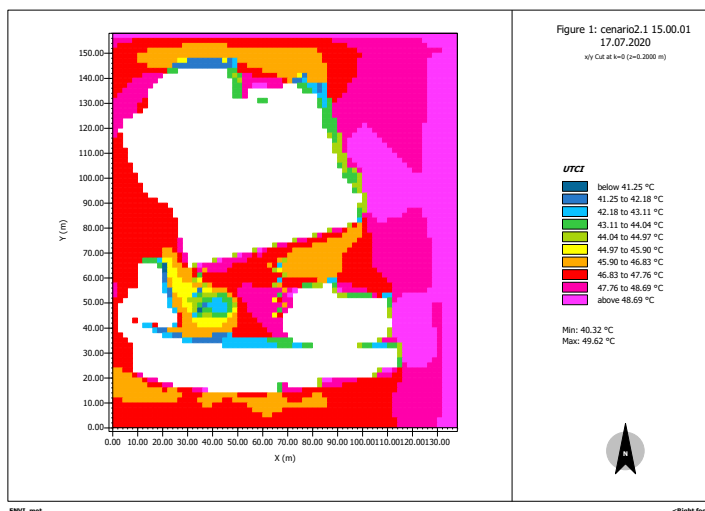
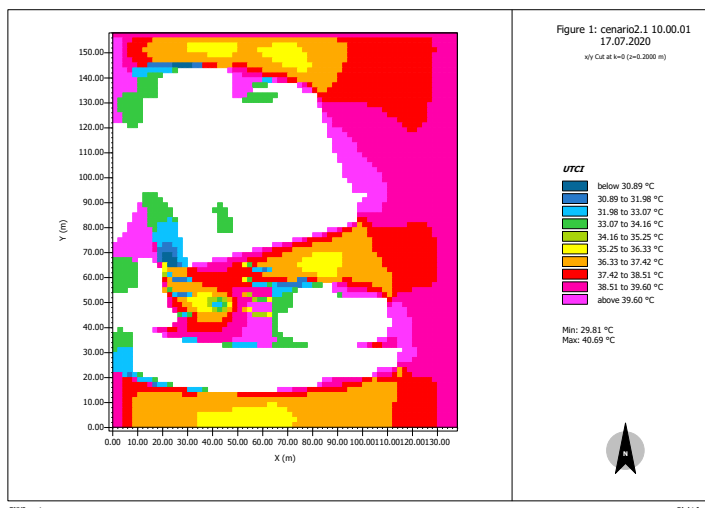


Figura 83 – Cenário 2.1 - UTCI

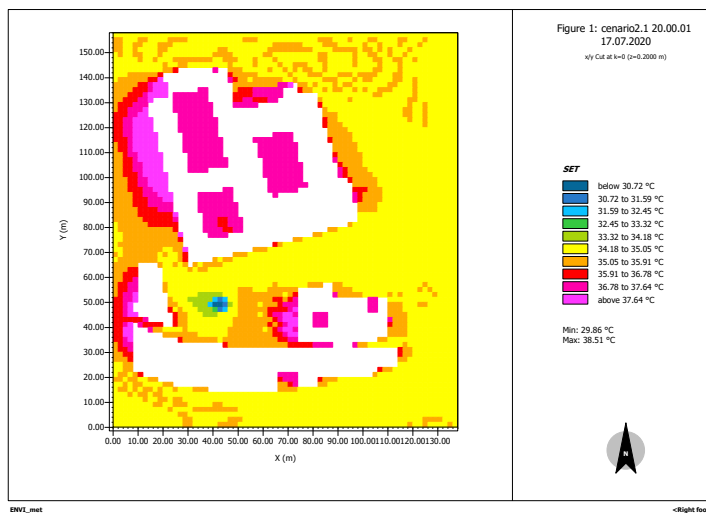
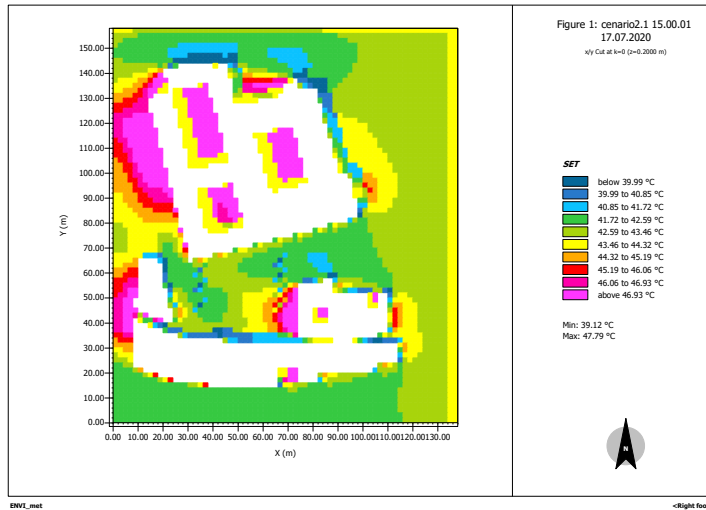
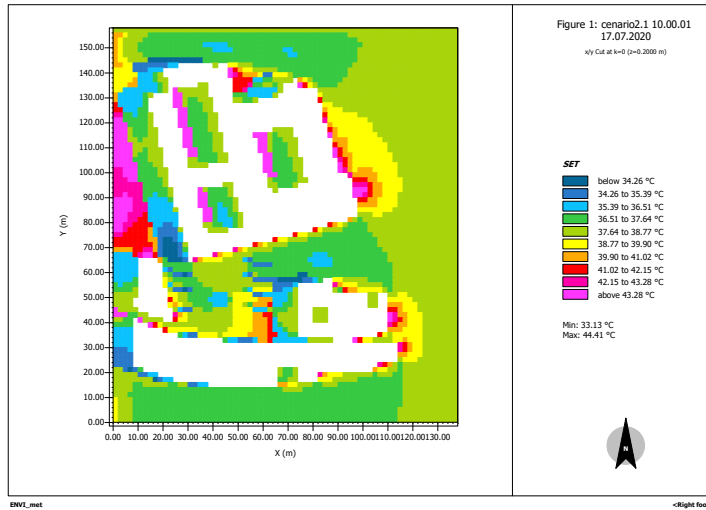


Figura 84 – Cenário 2.1 - SE



- Cenário 3

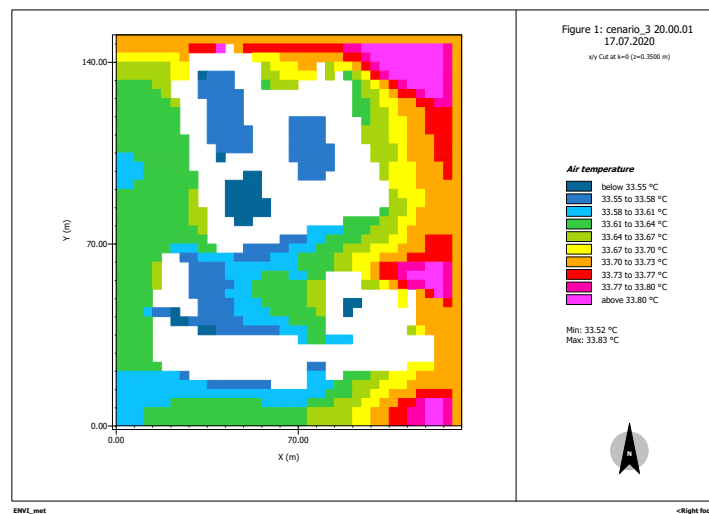
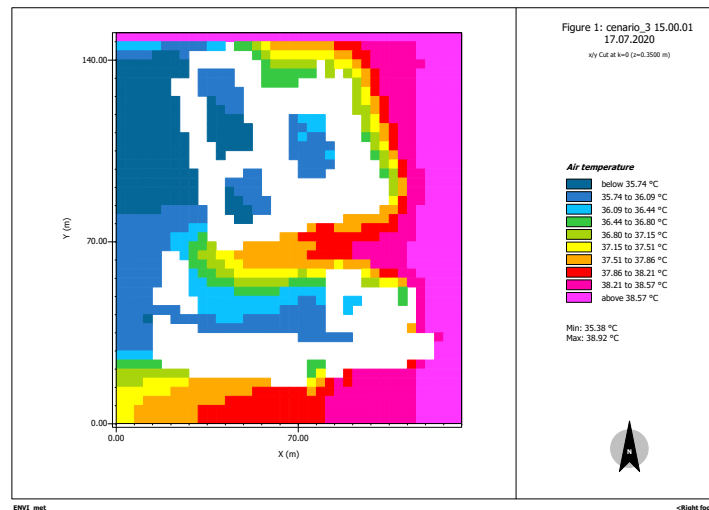
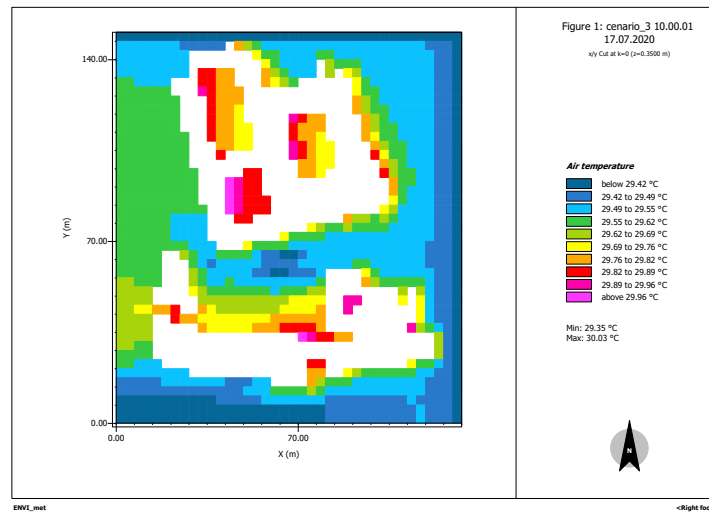


Figura 85 – Cenário 3 - Temperatura

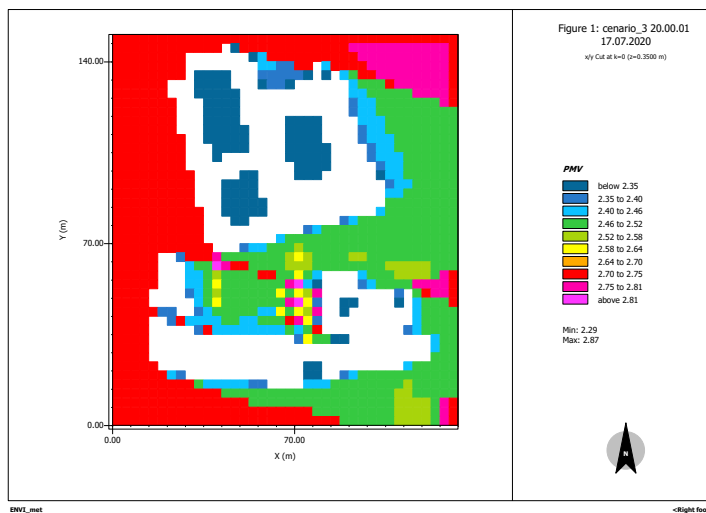
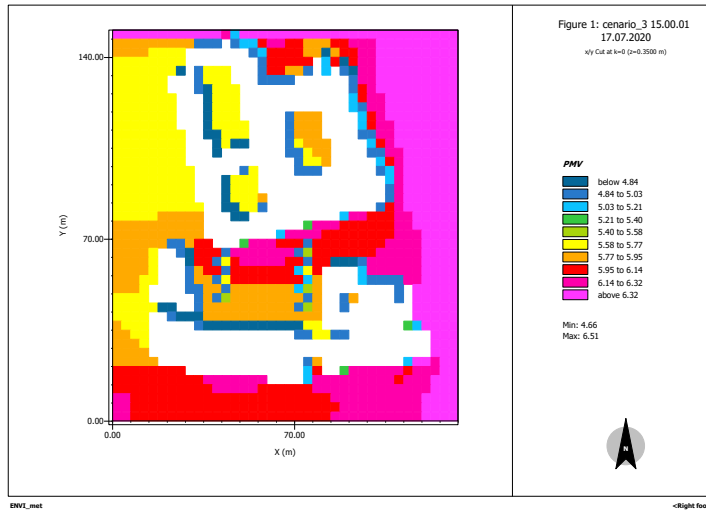
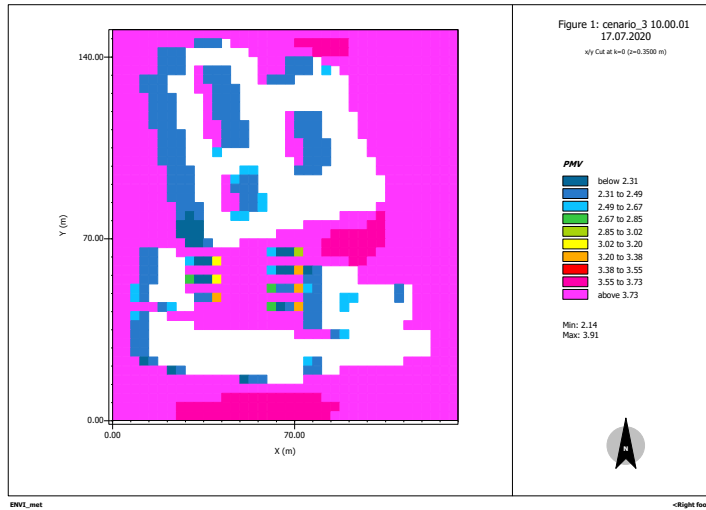


Figura 86 – Cenário 3 - PMV

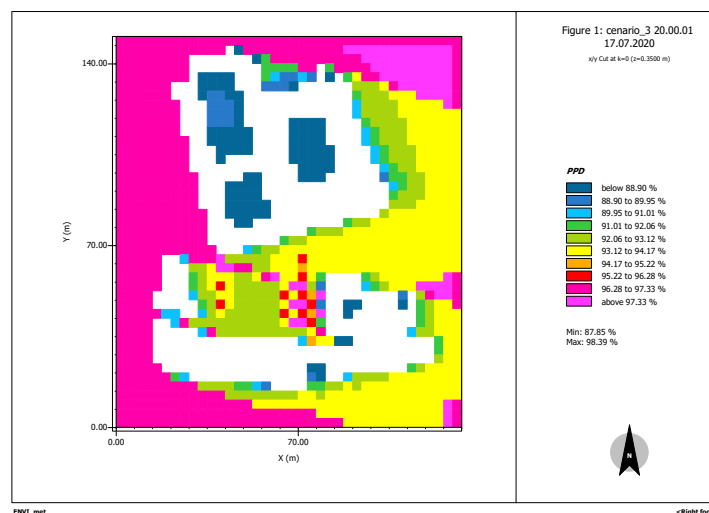
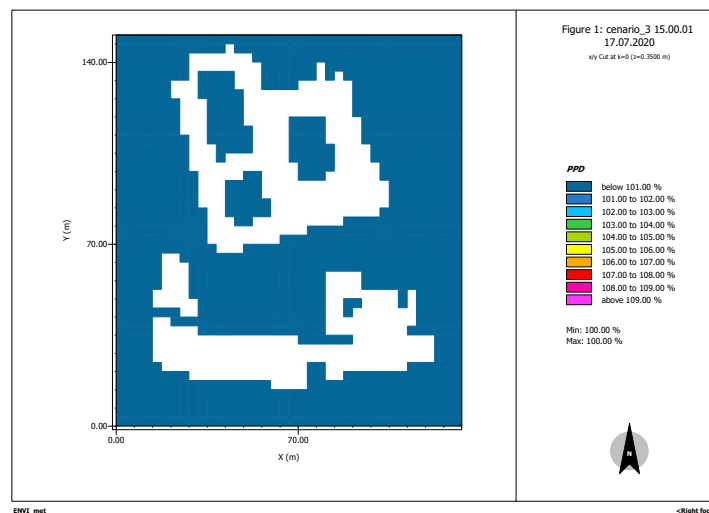
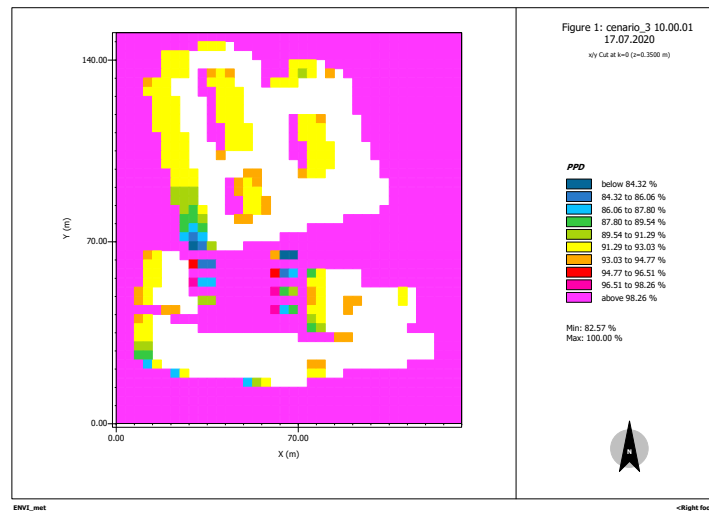


Figura 87 – Cenário 3 - PPD

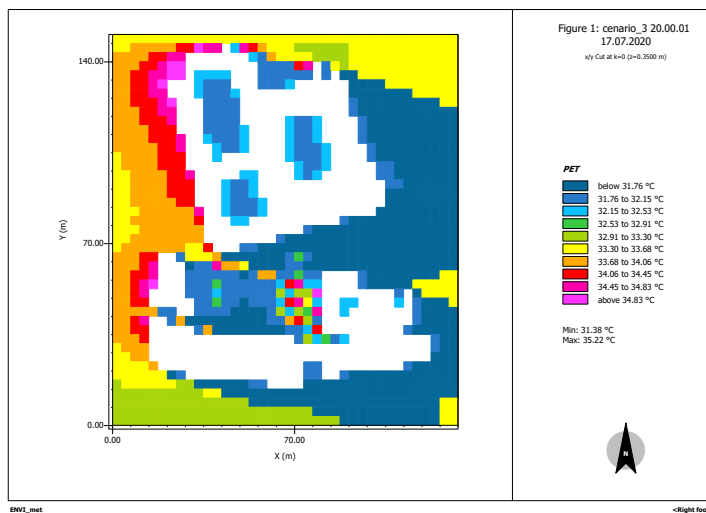
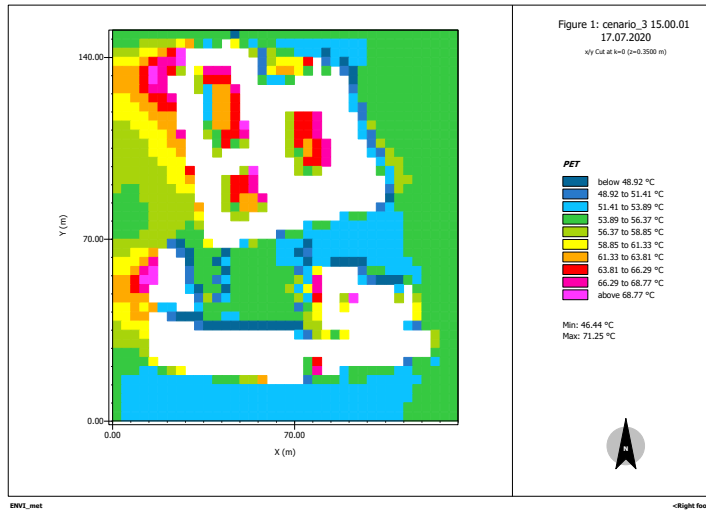
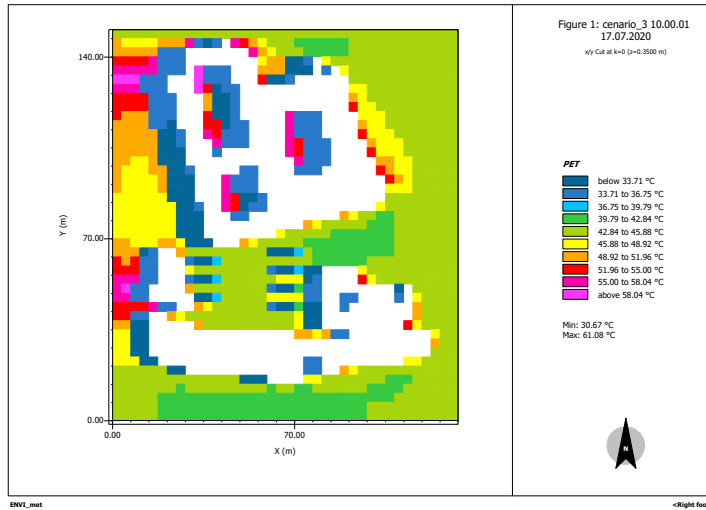


Figura 88 – Cenário 3 - PET

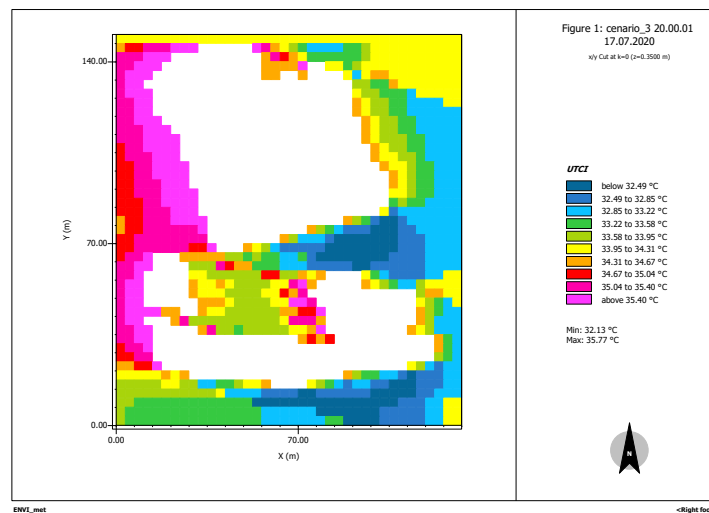
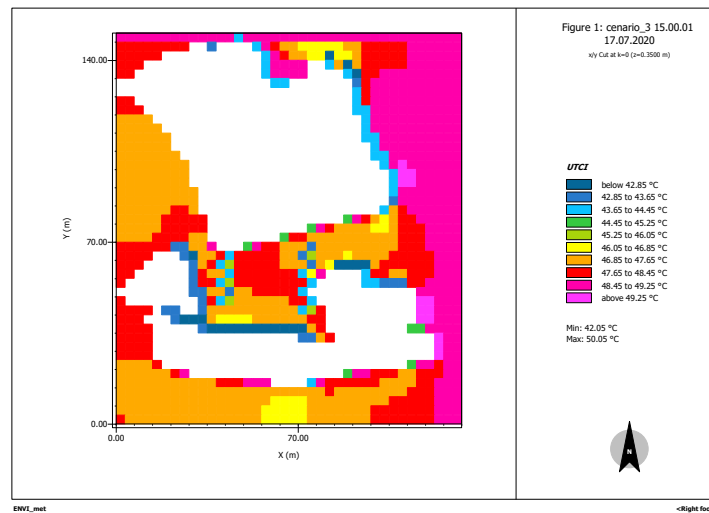
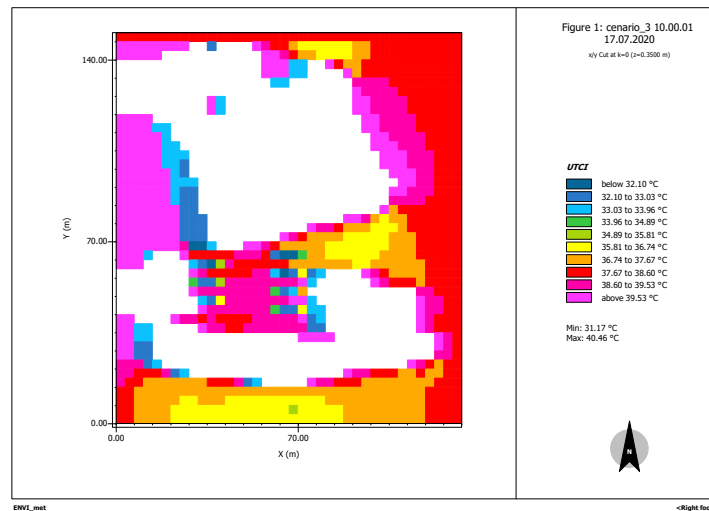


Figura 89 – Cenário 3 - UTCI

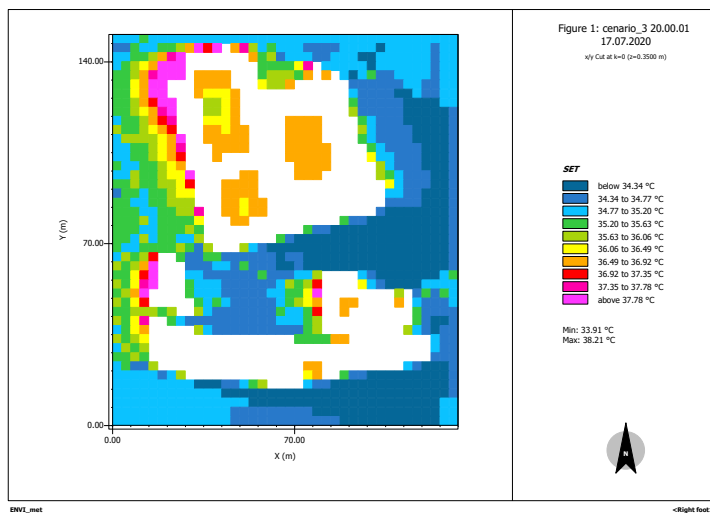
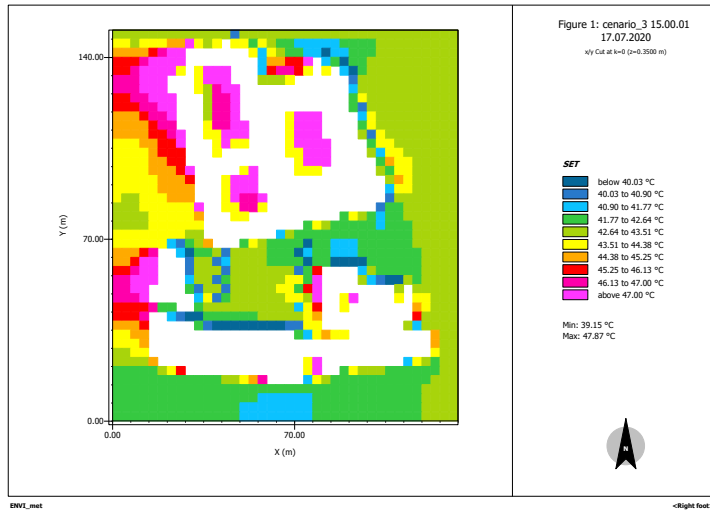
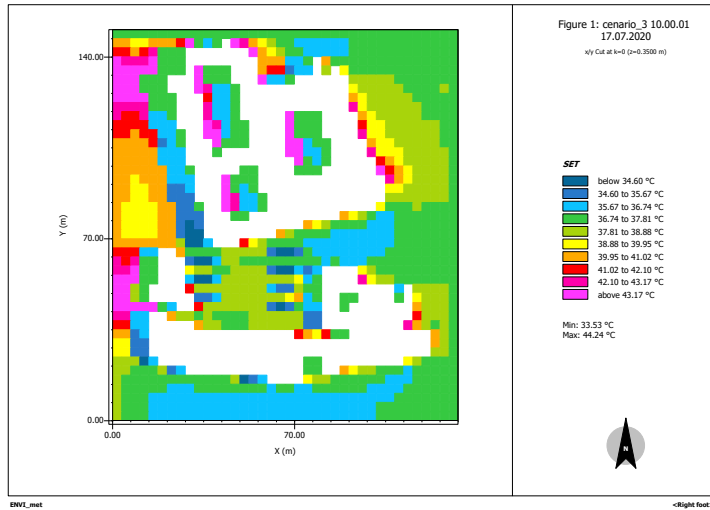


Figura 90 – Cenário 3 - SET

- Cenário 3.1

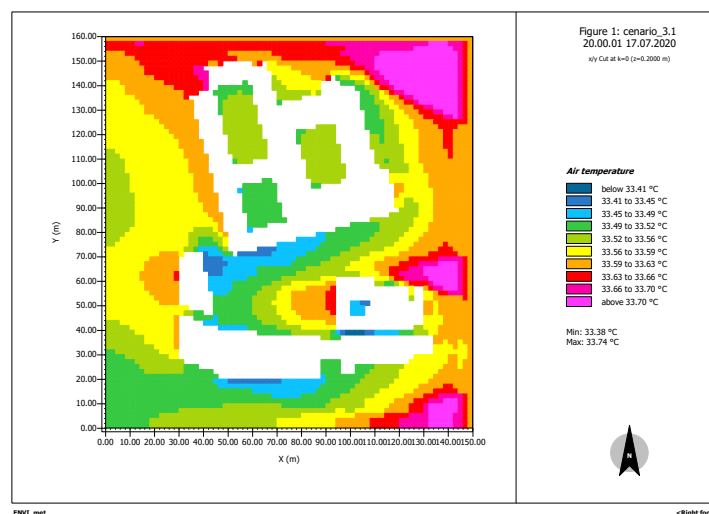
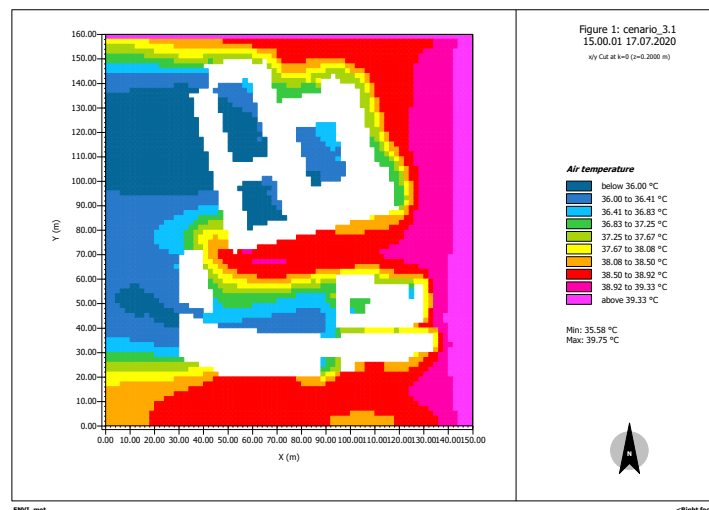
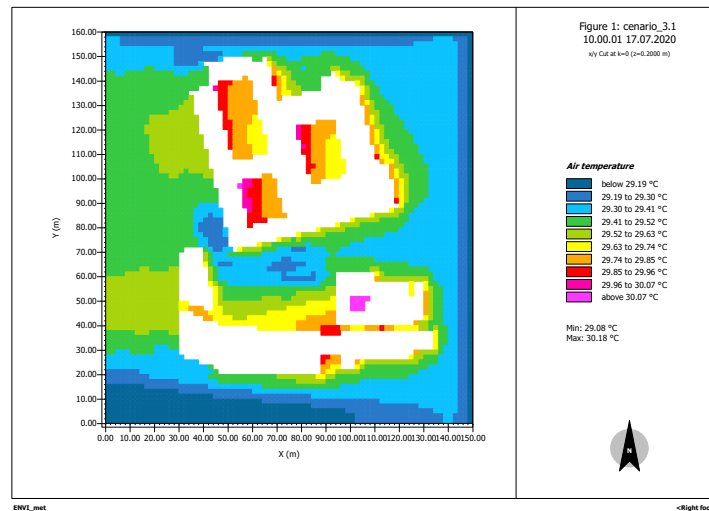


Figura 91 – Cenário 3.1 - Temperatura

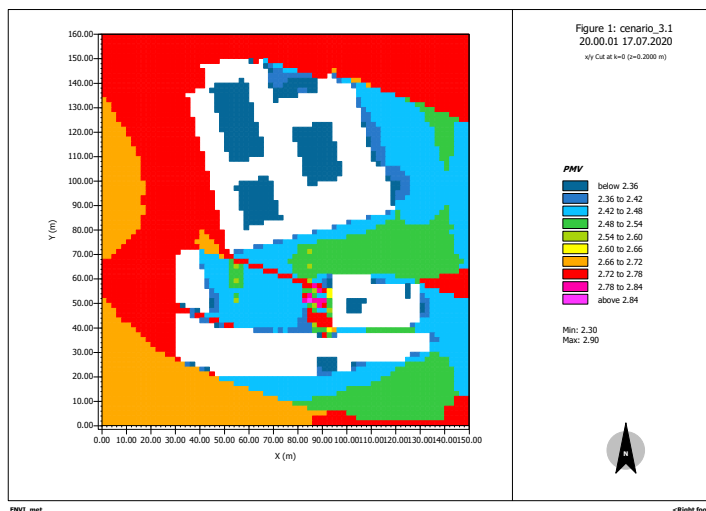
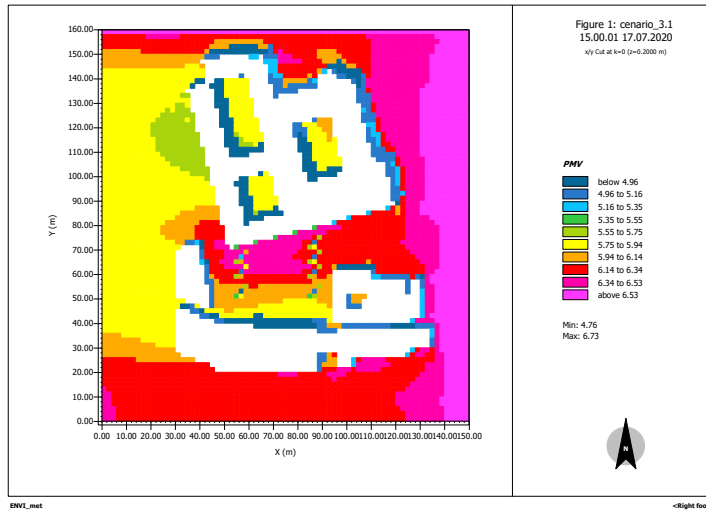
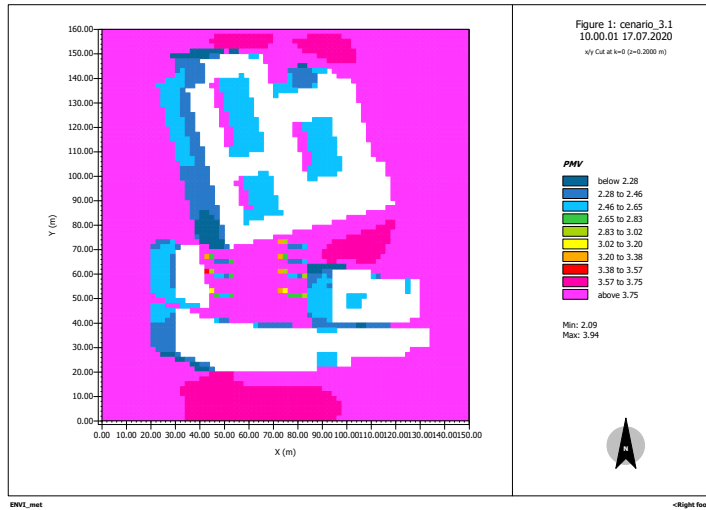


Figura 92 – Cenário 3.1 - PMV



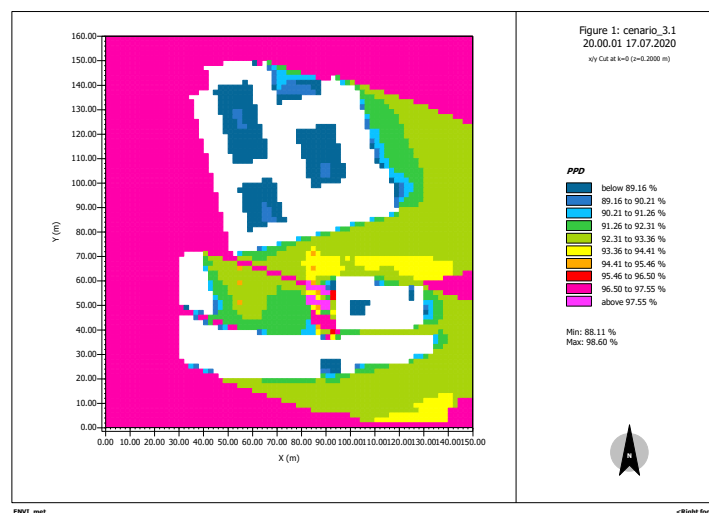
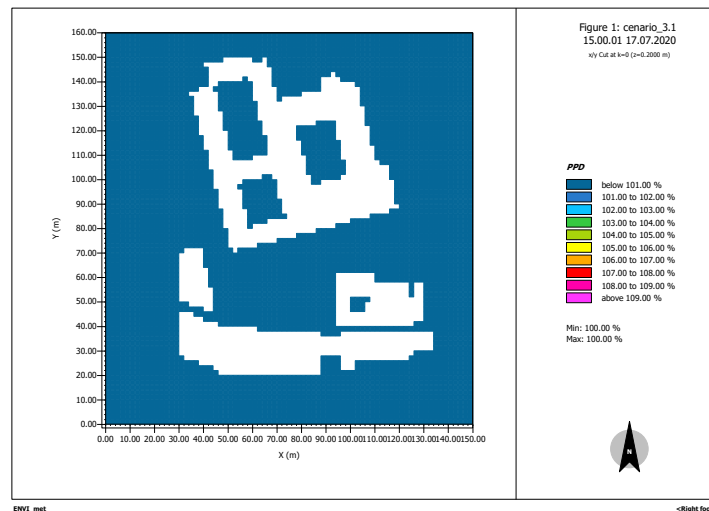
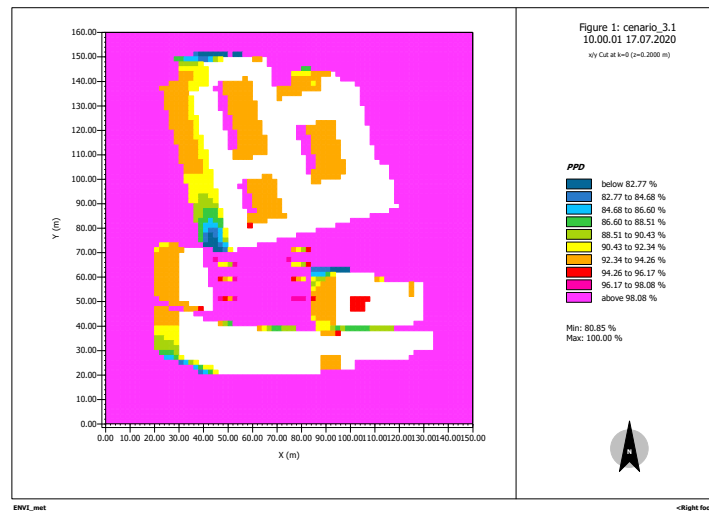


Figura 93 – Cenário 3.1 - PPD

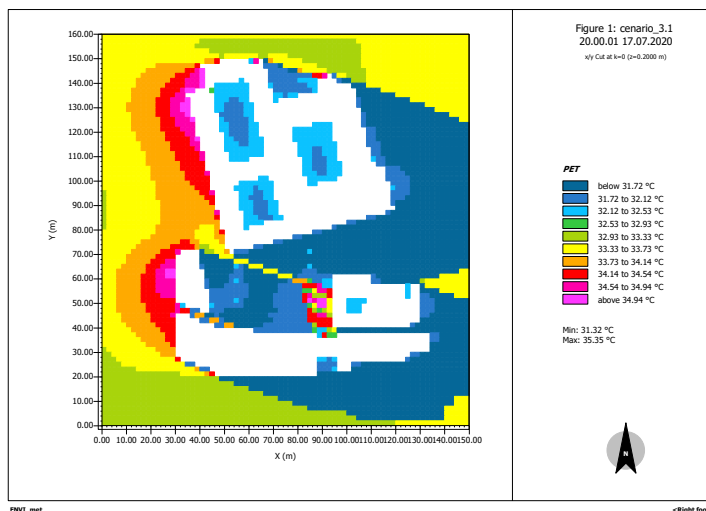
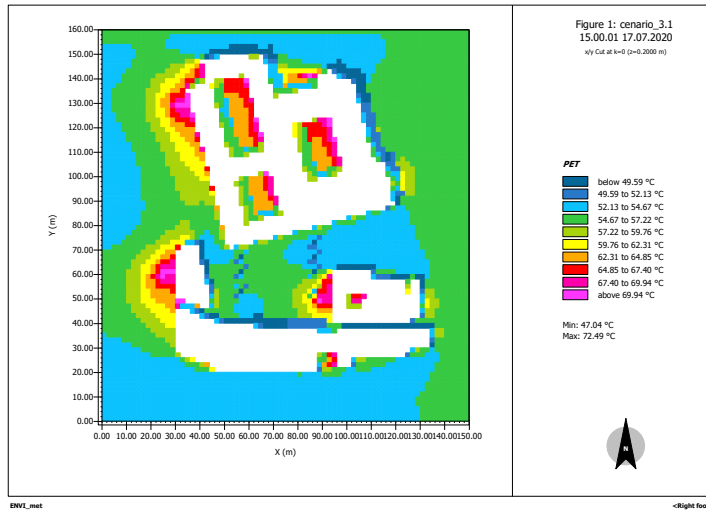
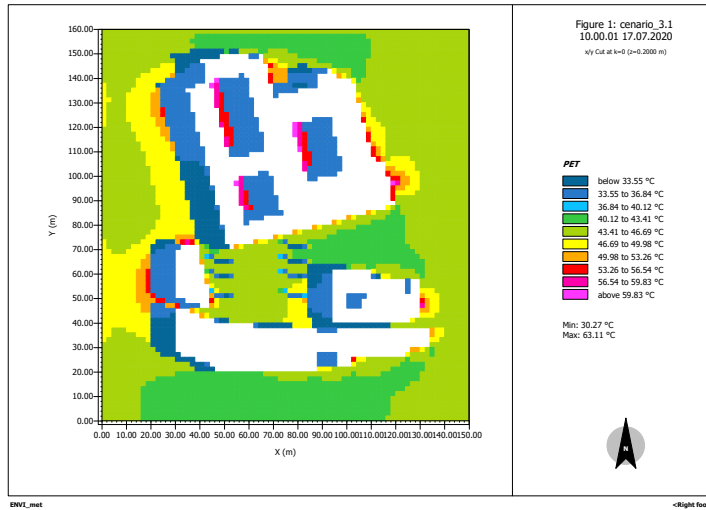


Figura 94 – Cenário 3.1 - PET

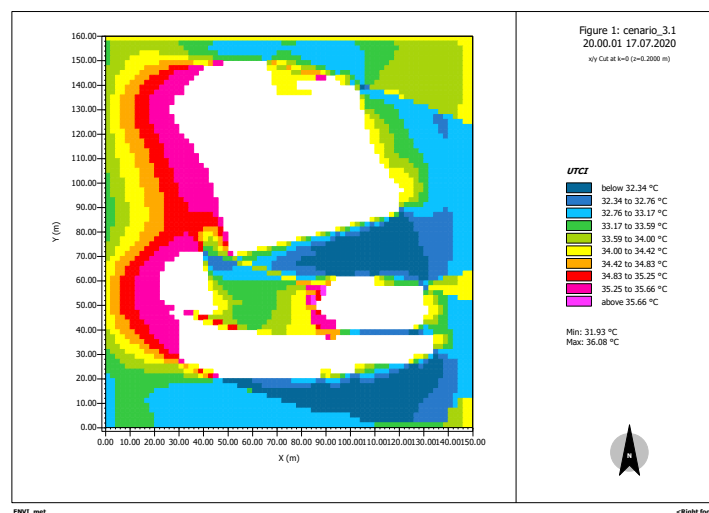
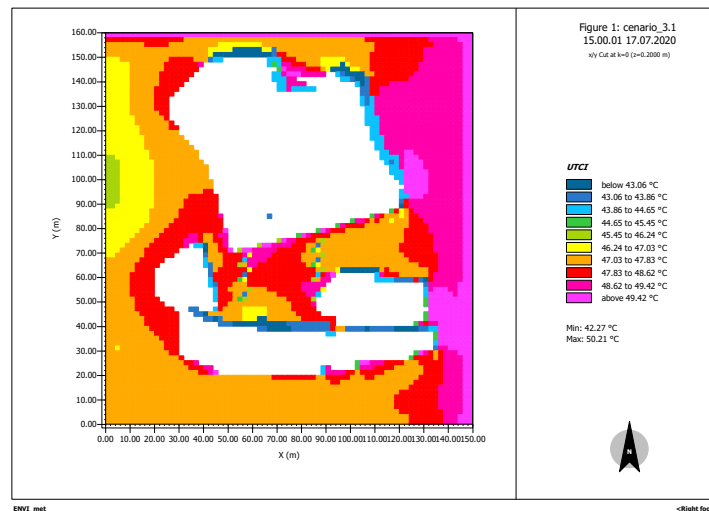
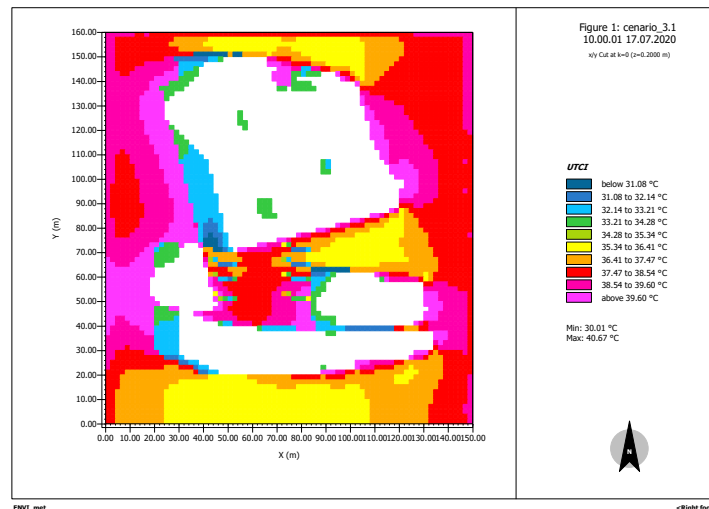


Figura 95 – Cenário 3.1 - UTCI

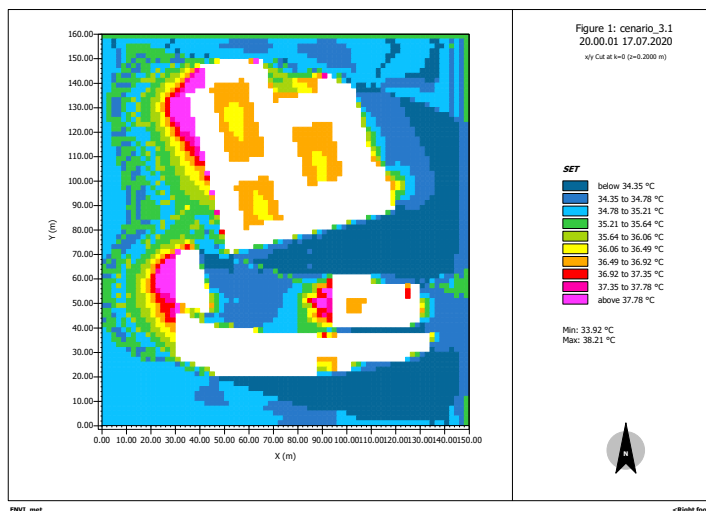
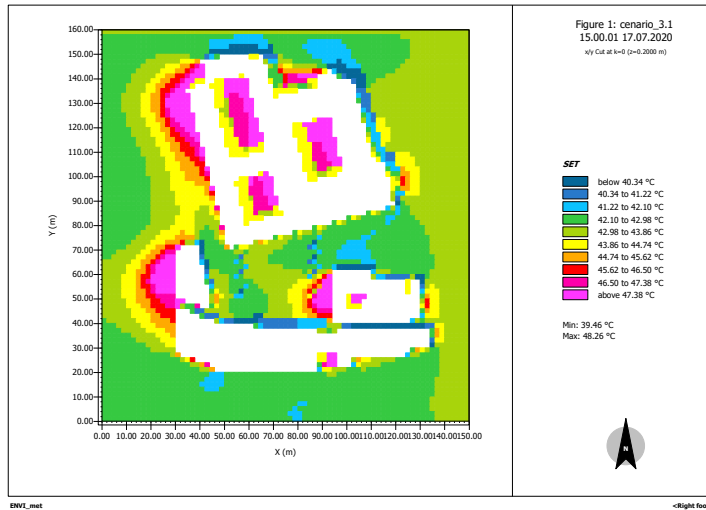
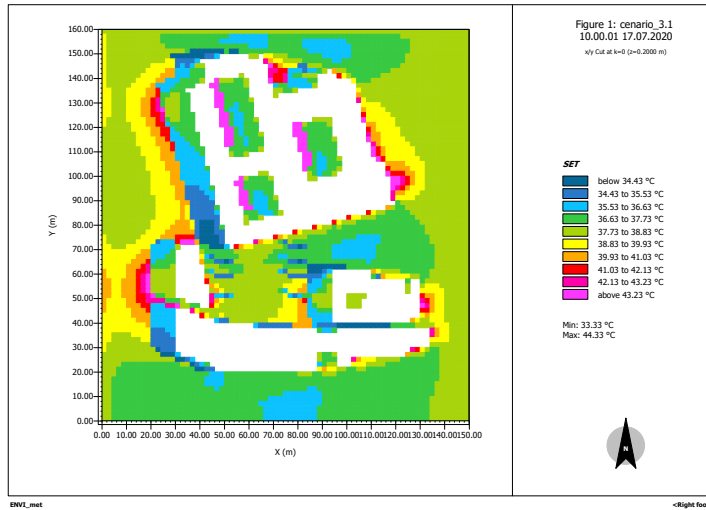


Figura 96 – Cenário 3.1 - SET

- Cenário 4

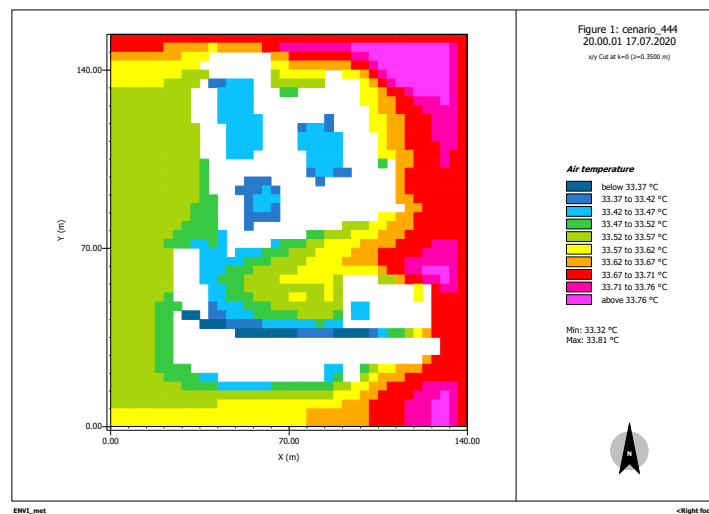
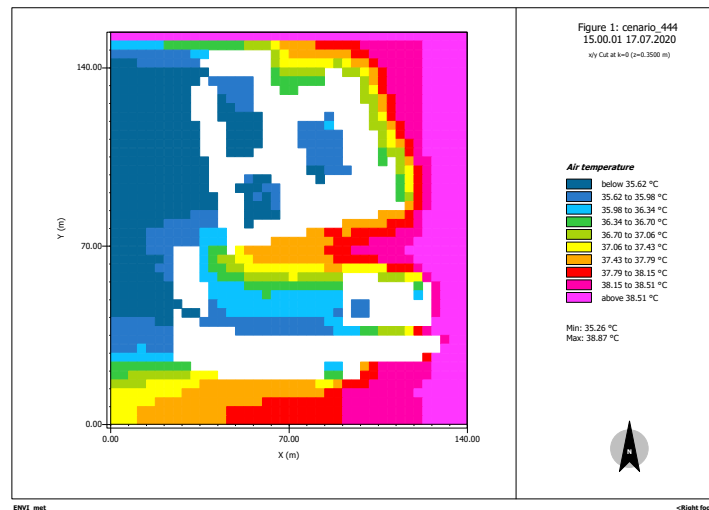
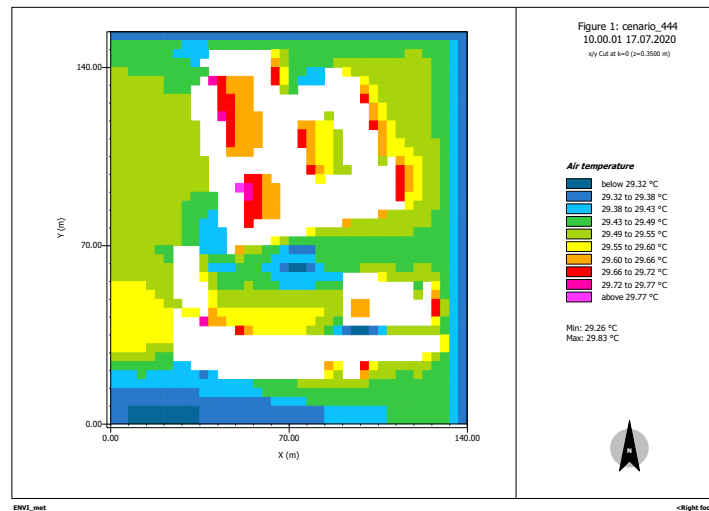


Figura 97 – Cenário 4 - Temperatura

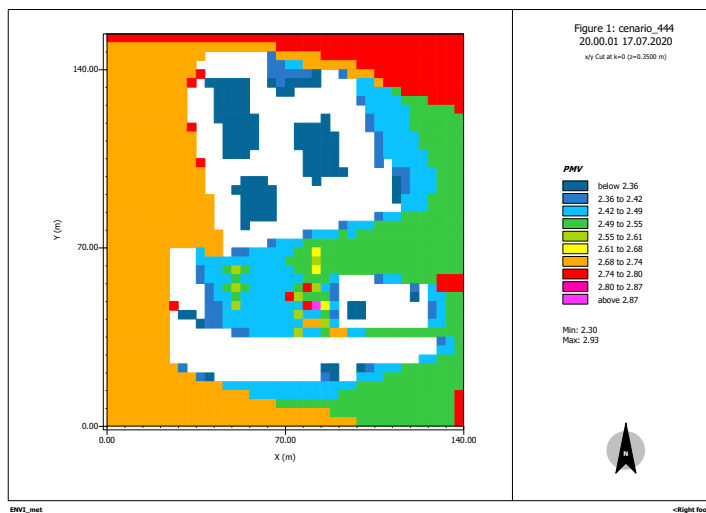
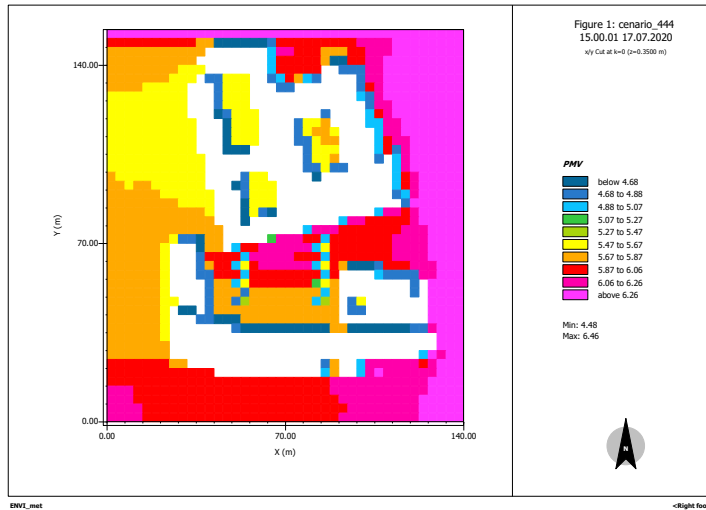
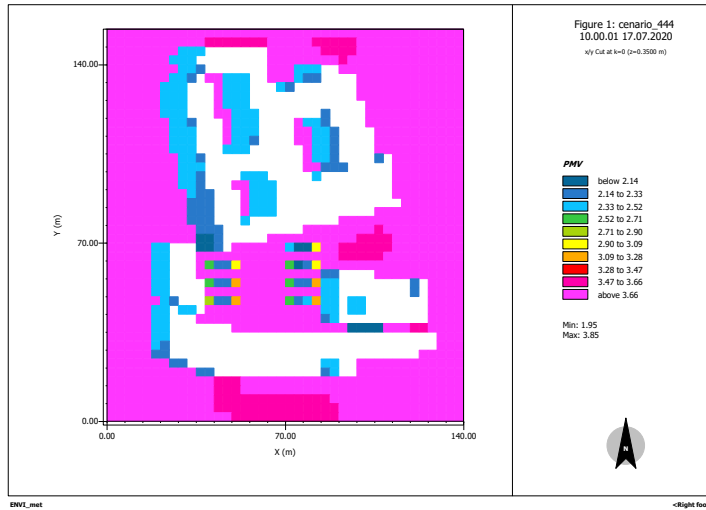


Figura 98 – Cenário 4 -PMV

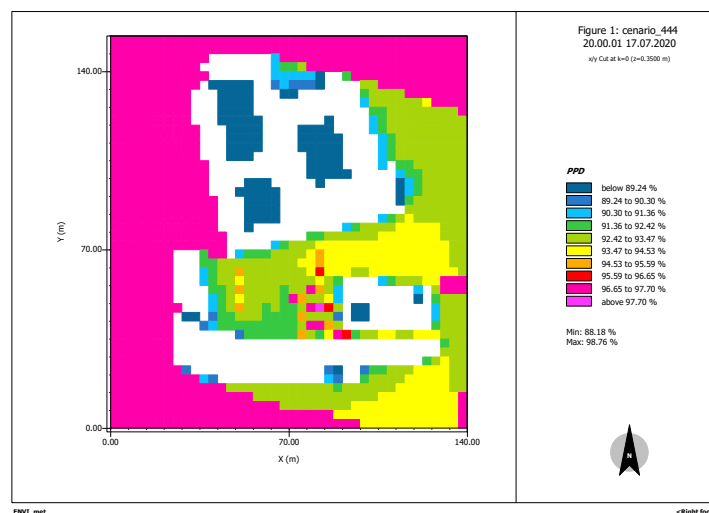
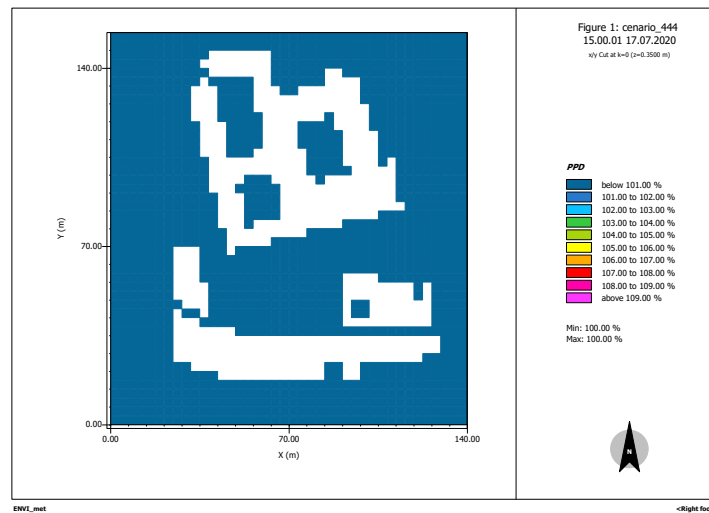
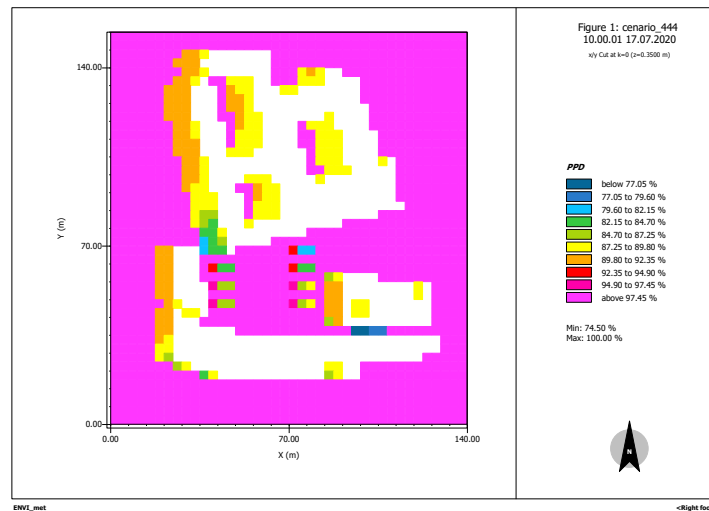


Figura 99 – Cenário 4 - PPD

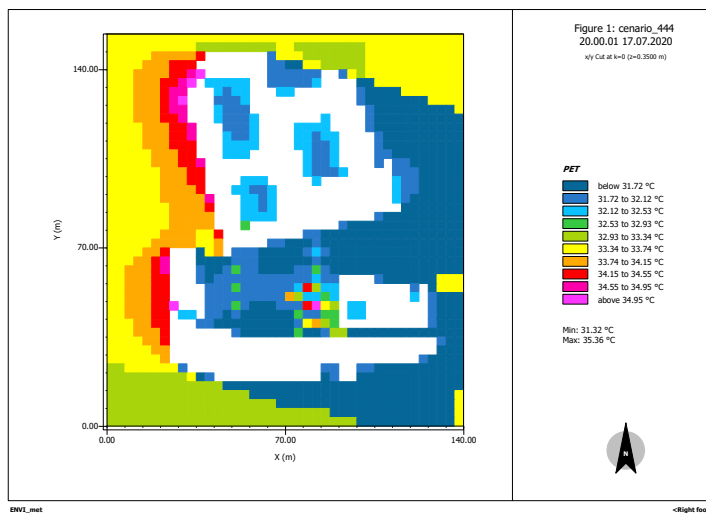
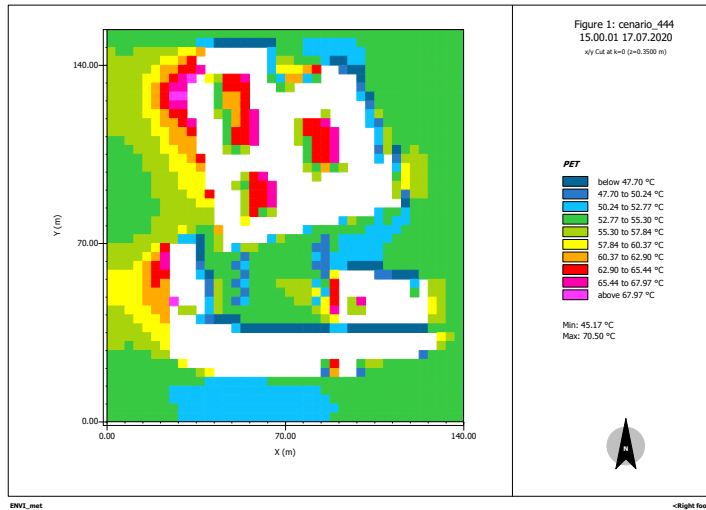
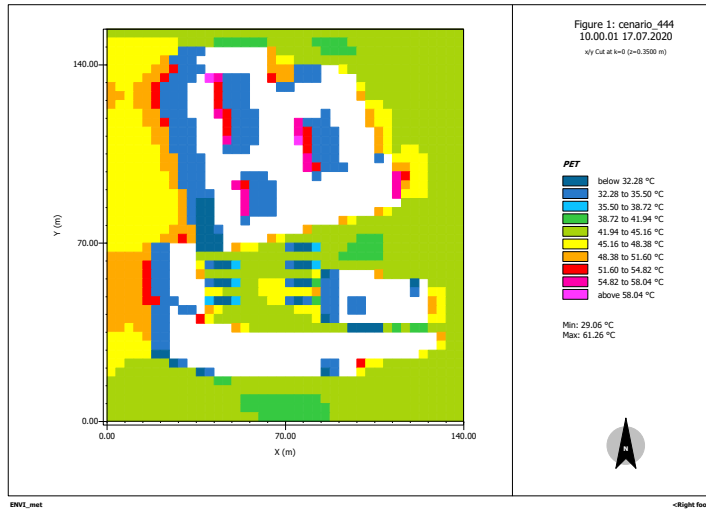


Figura 100 – Cenário 4 - PET



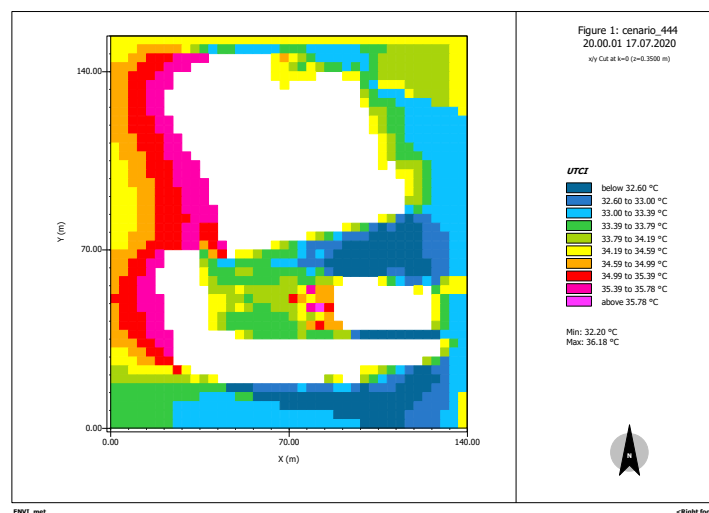
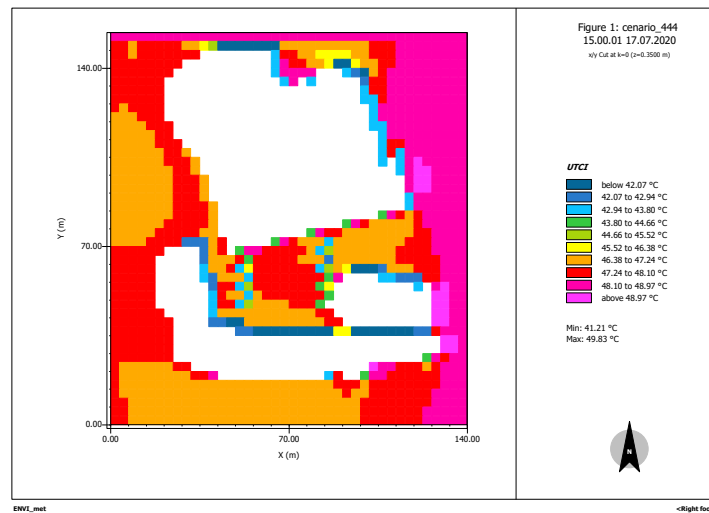
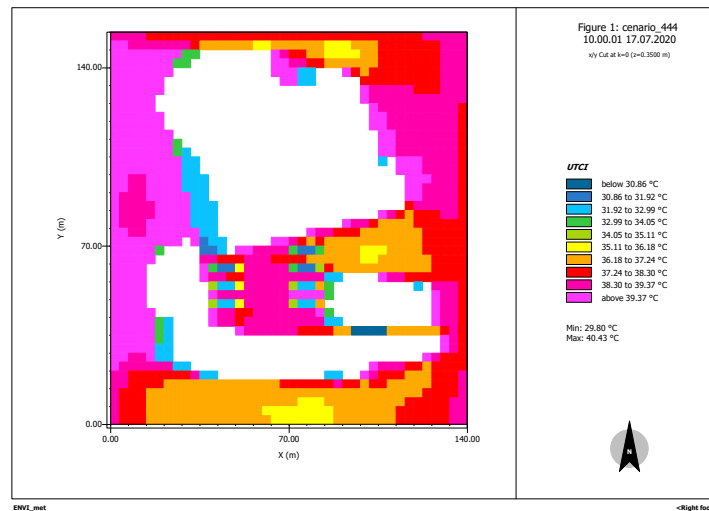


Figura 101 – Cenário 4 - UTCI

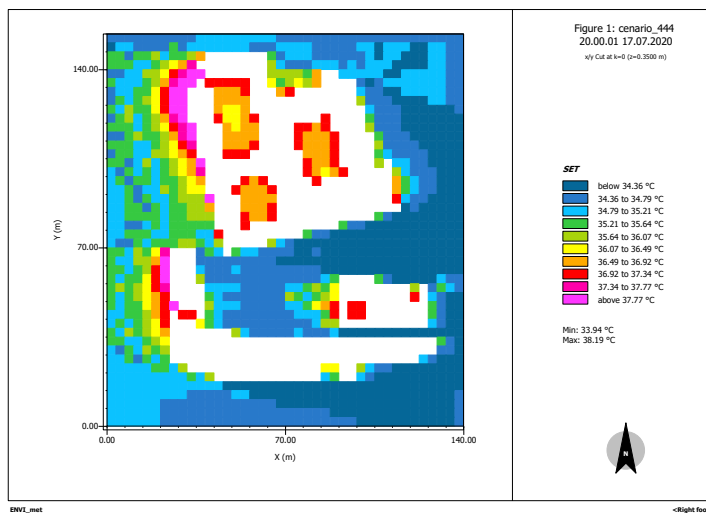
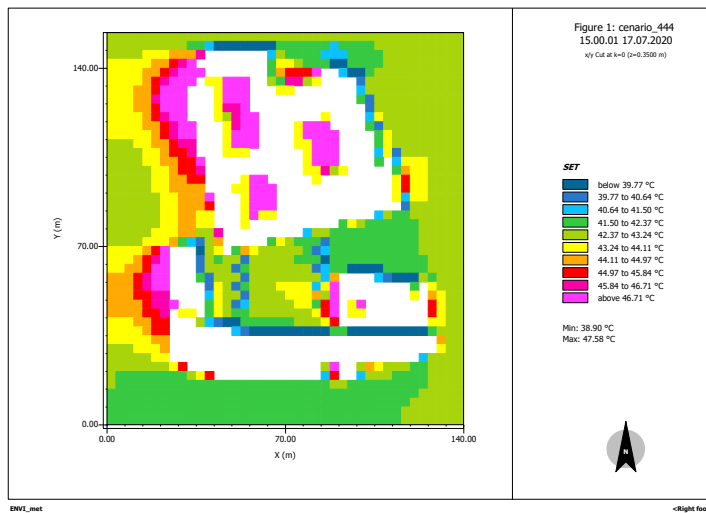
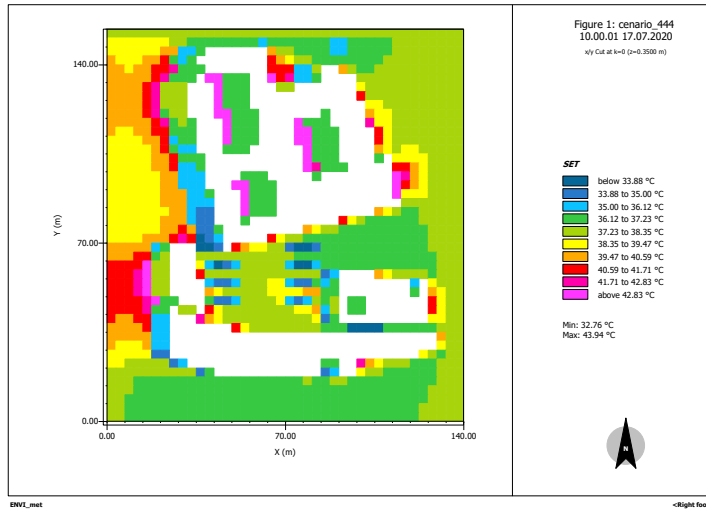


Figura 102 – Cenário 4 - SET

- Cenário 4.1

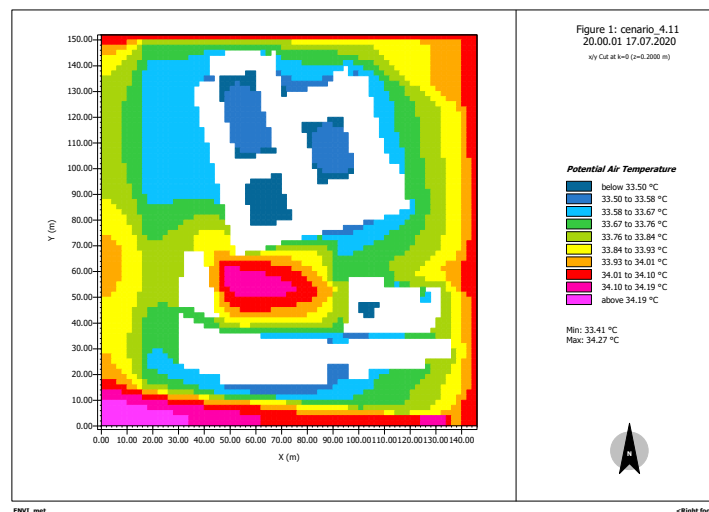
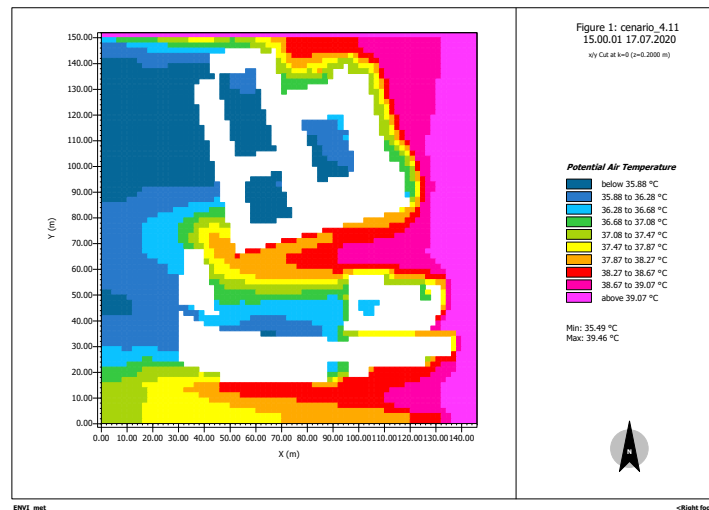
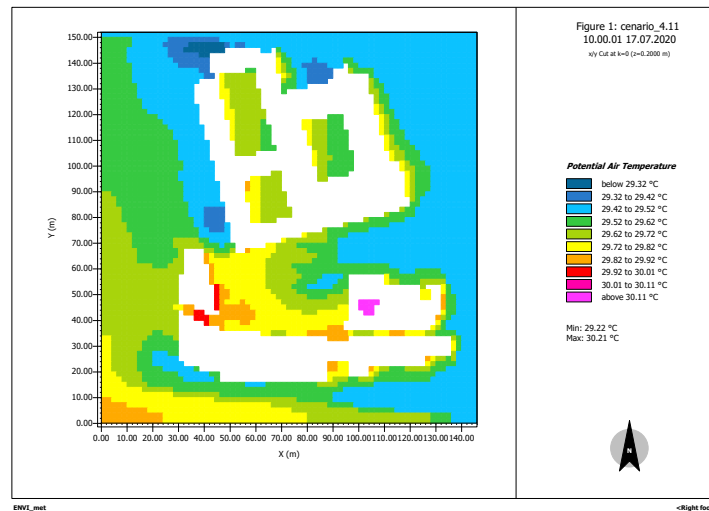


Figura 103 – Cenário 4.1 - Temperatura

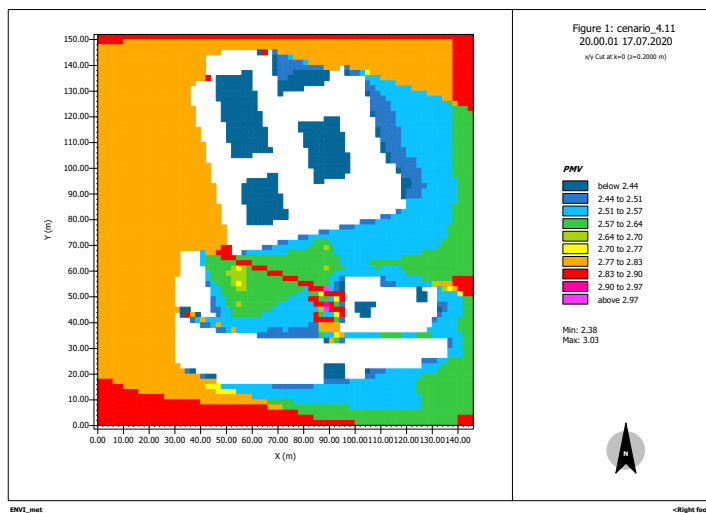
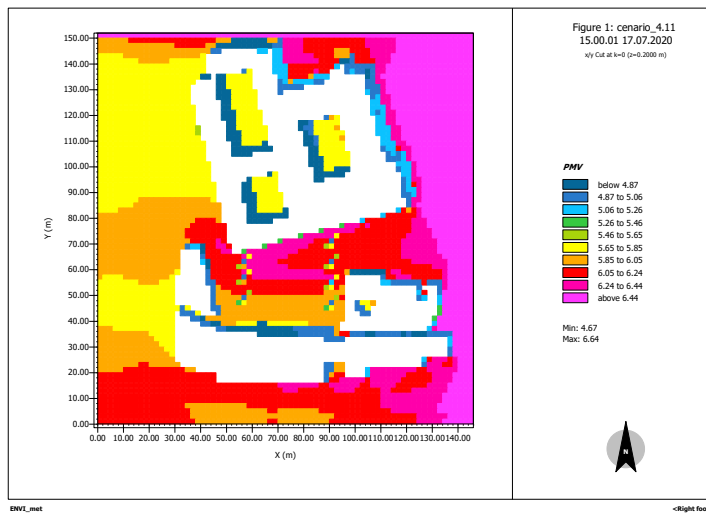
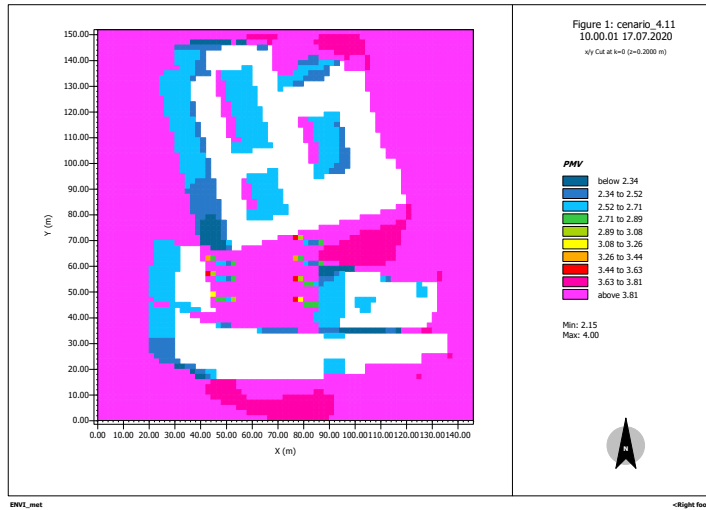


Figura 104 – Cenário 4.1 - PMV

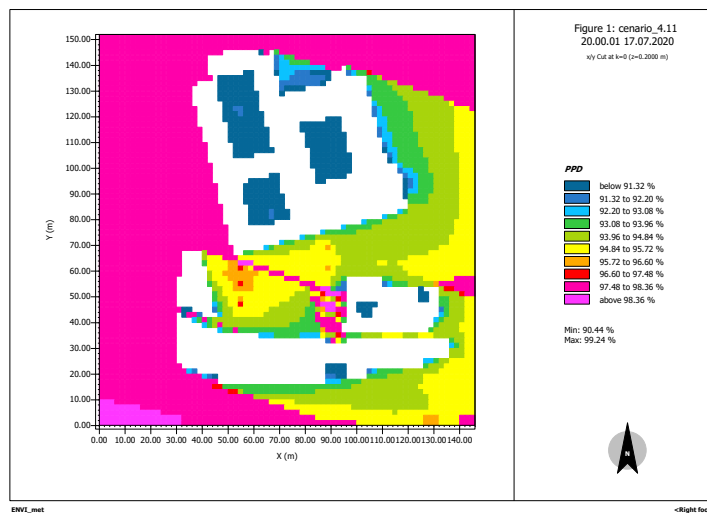
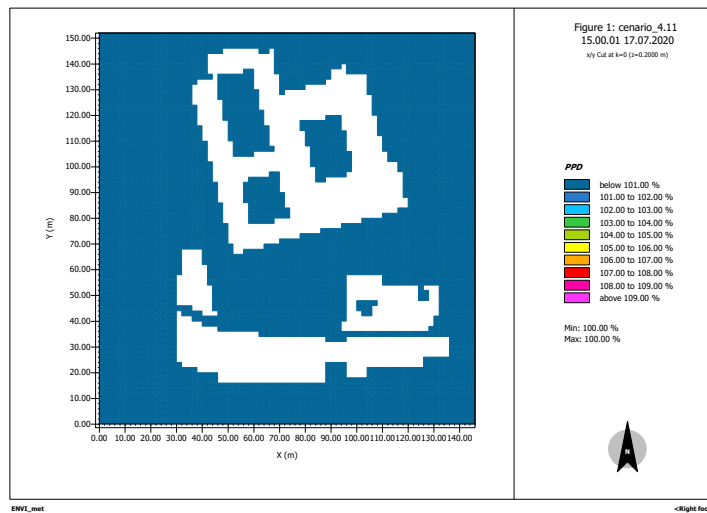
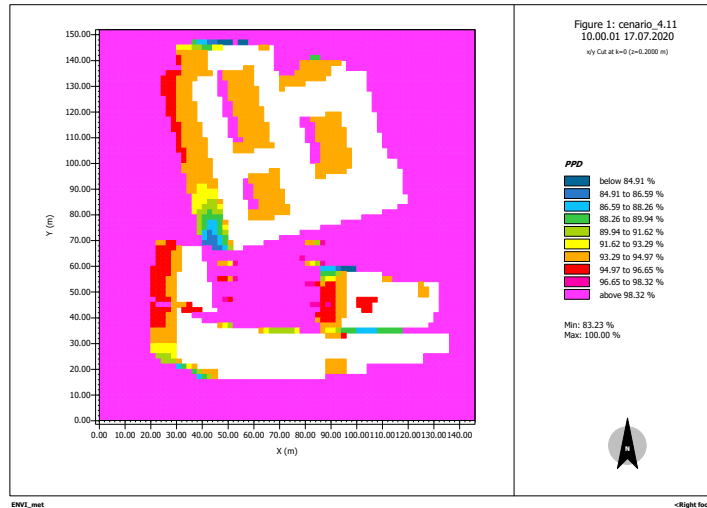


Figura 105 – Cenário 4.1 - PPD

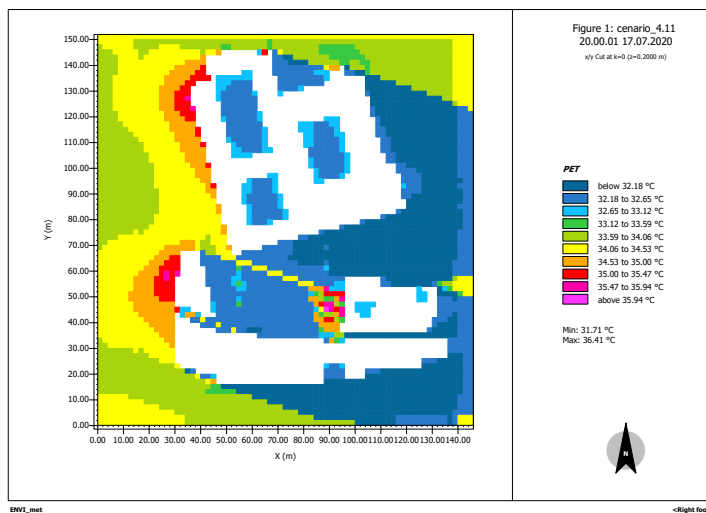
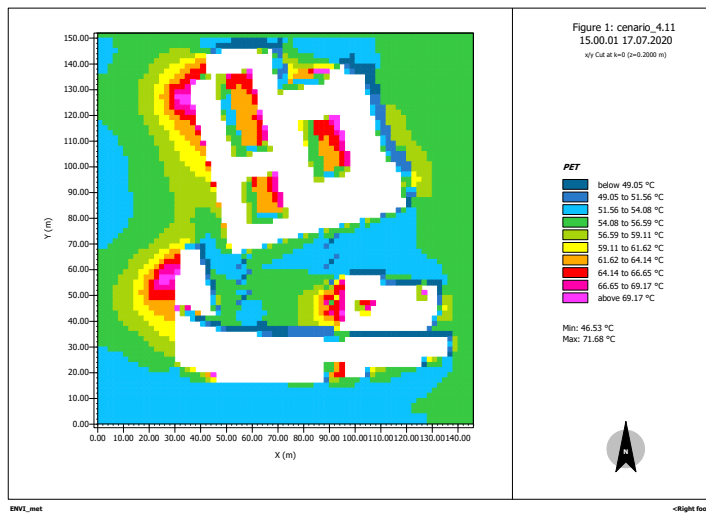
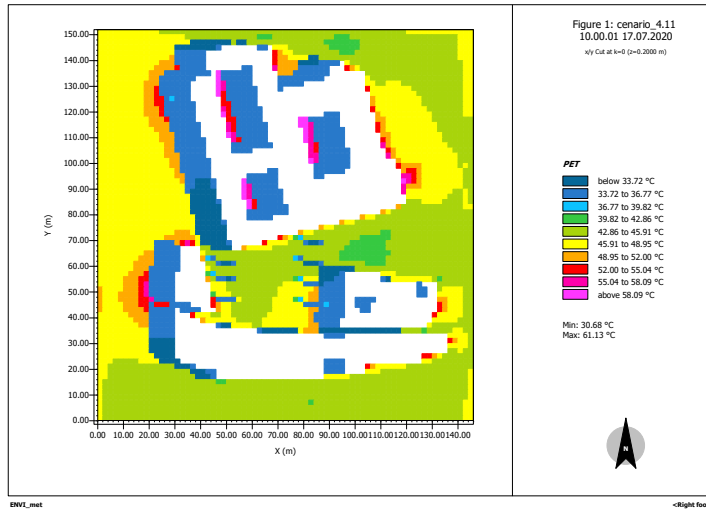


Figura 106 – Cenário 4.1 - PET

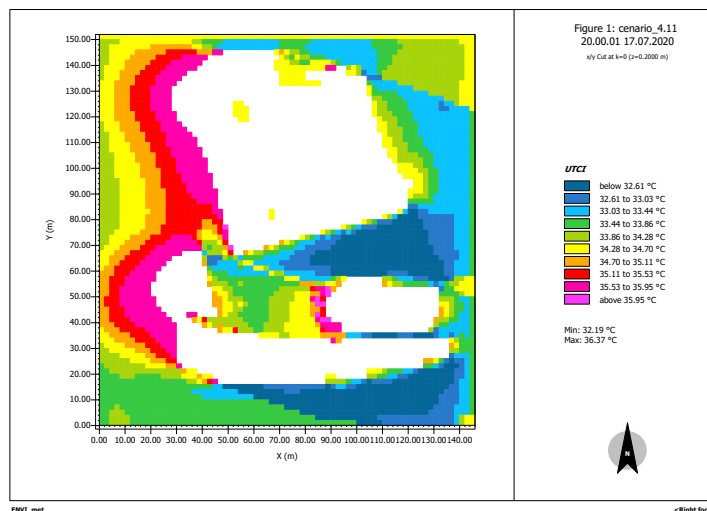
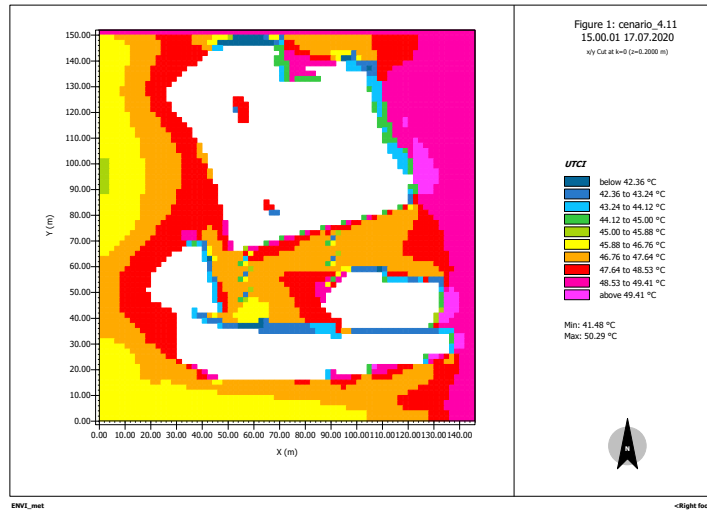
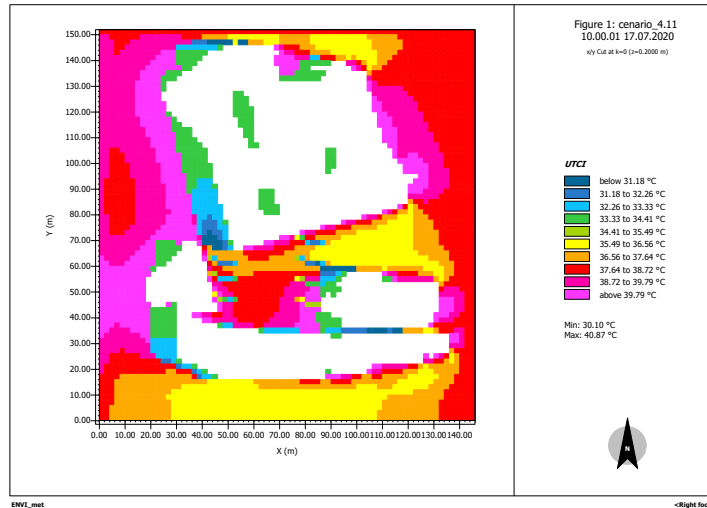


Figura 107 – Cenário 4.1 - UTCl

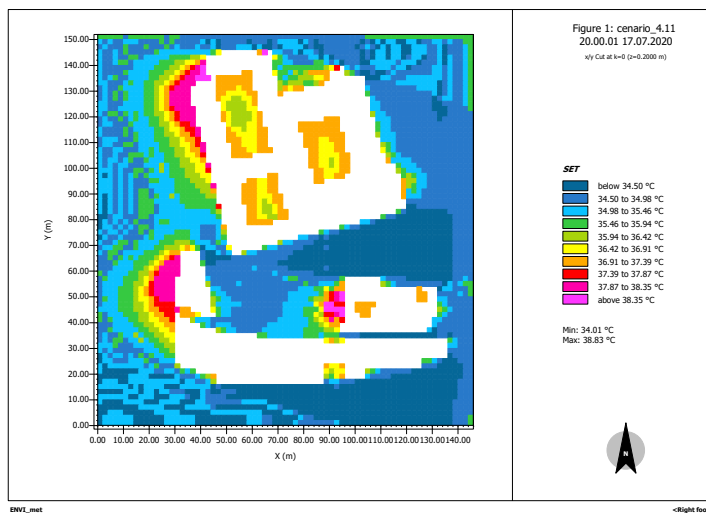
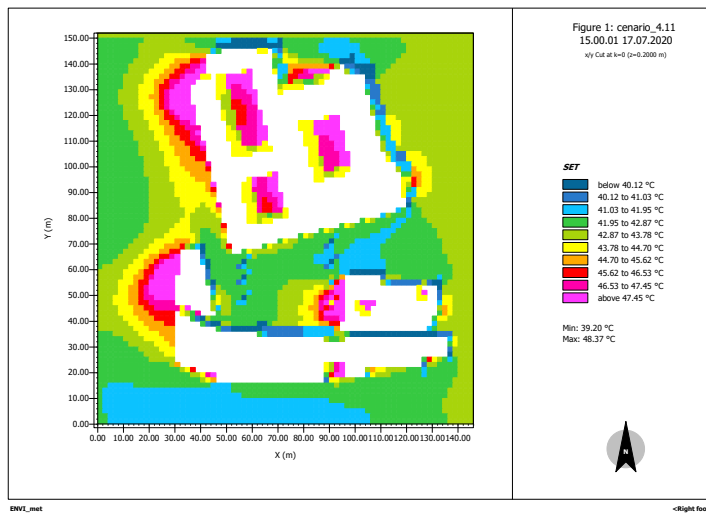
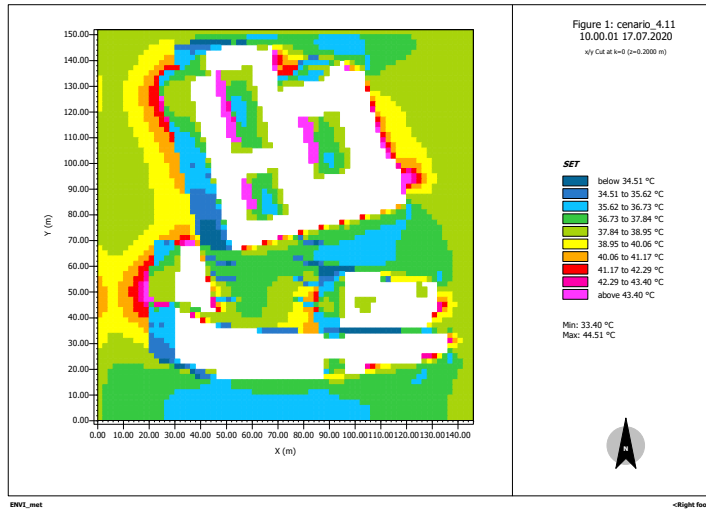


Figura 108 – Cenário 4.1 - SET



- Cenário 4.2

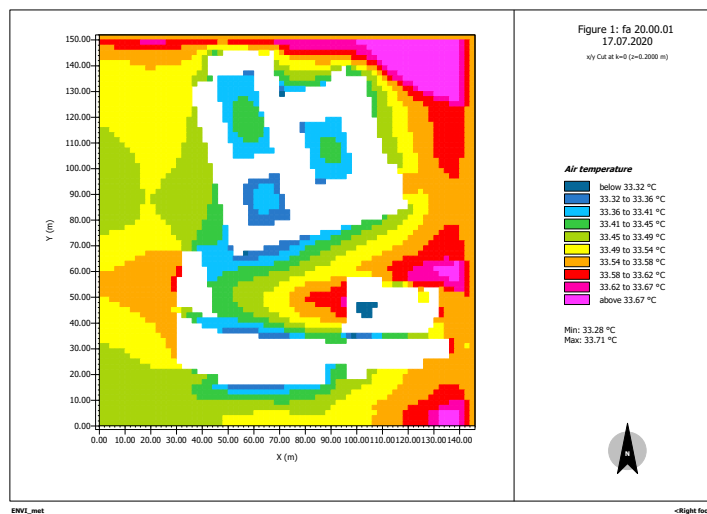
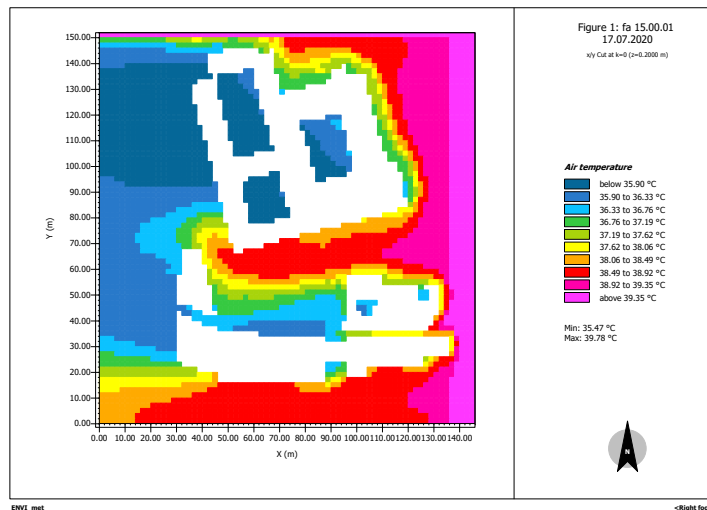
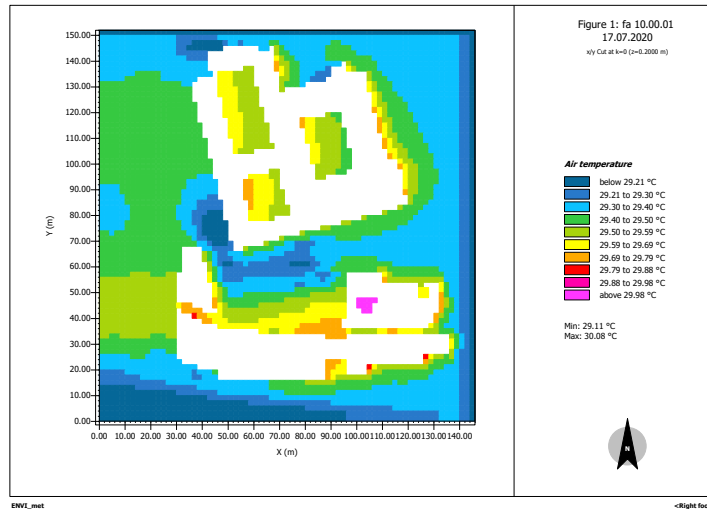


Figura 109 – Cenário 4.2 - Temperatura

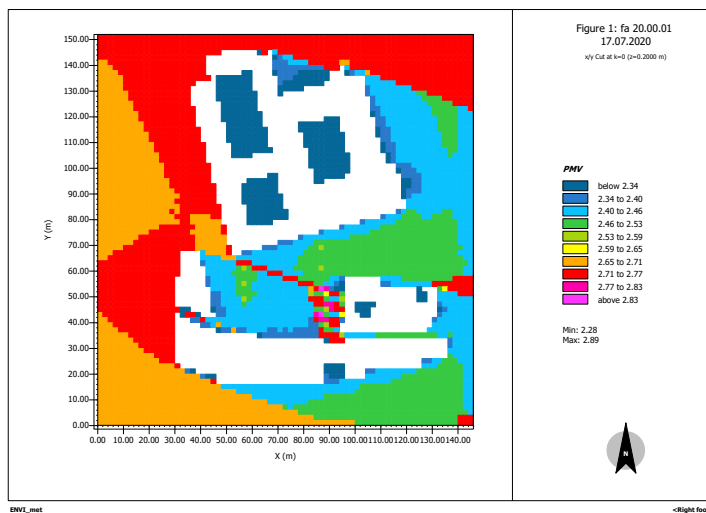
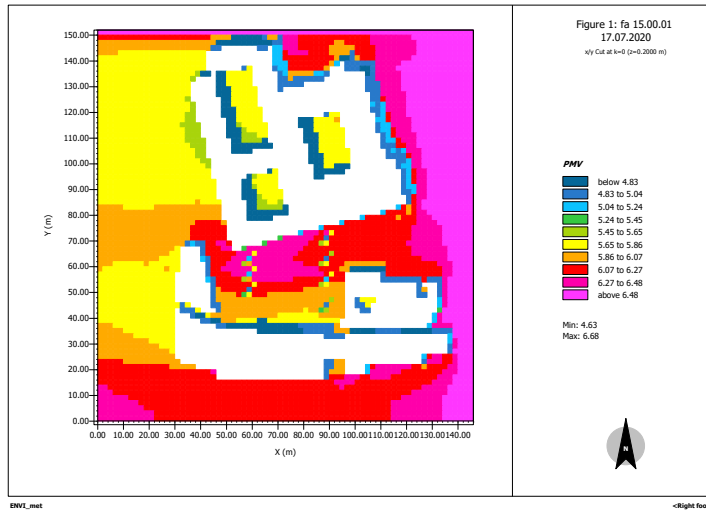
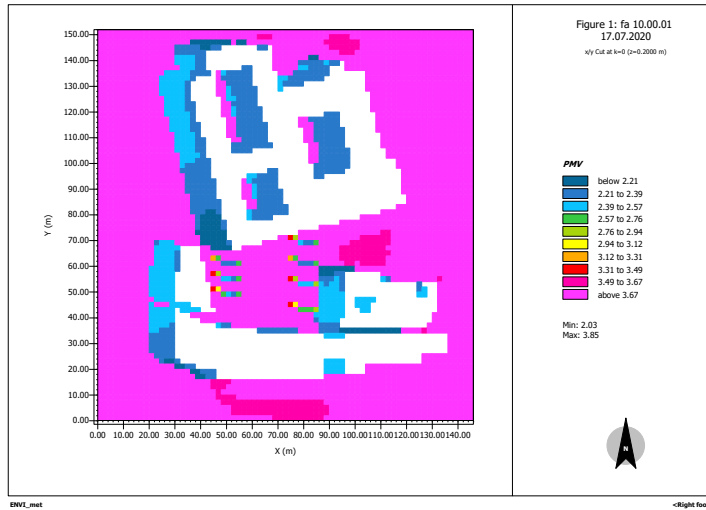


Figura 110 – Cenário 4.2 - PMV

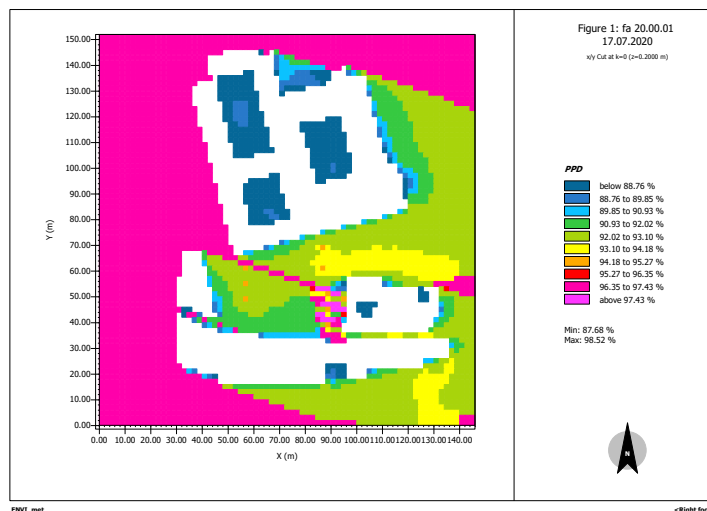
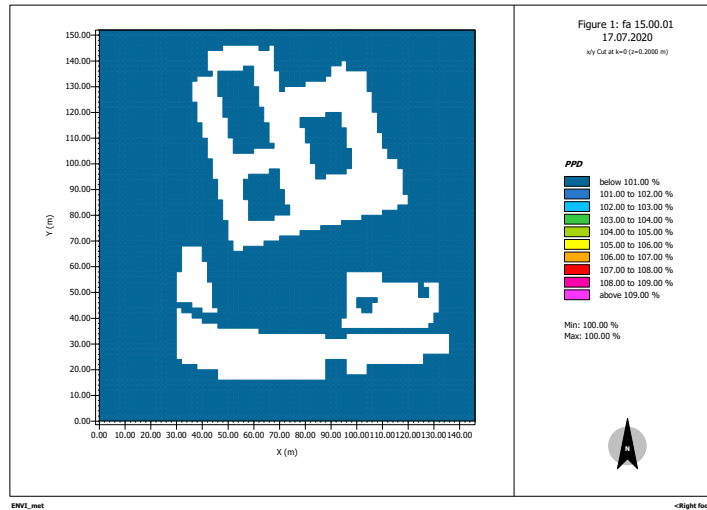
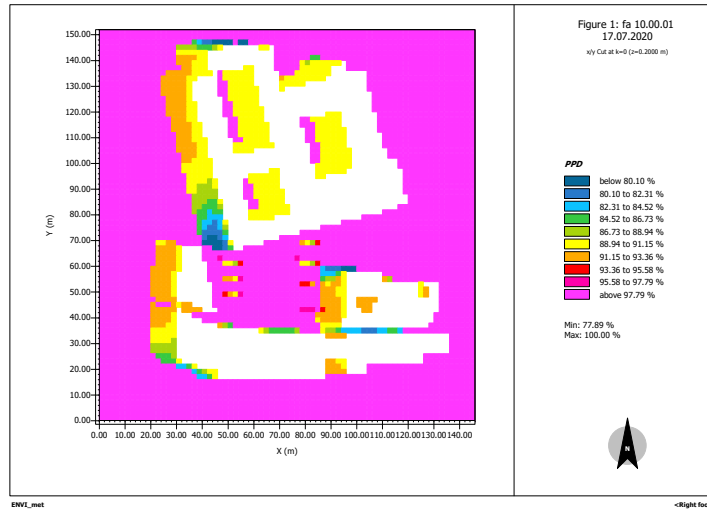


Figura 111 – Cenário 4.2 - PPD

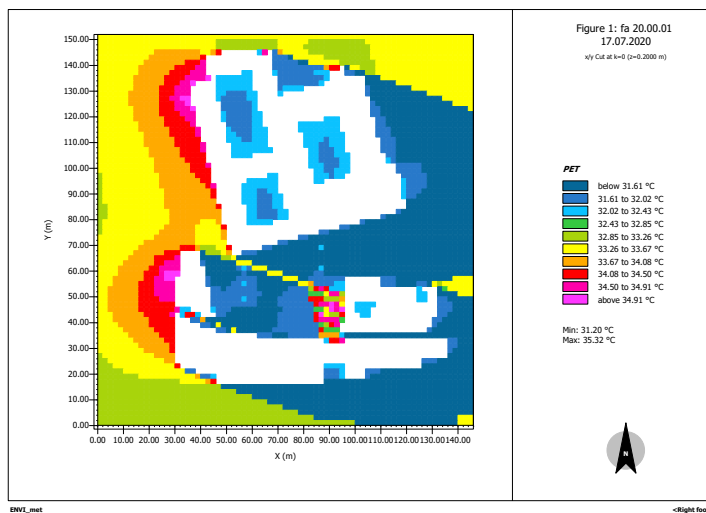
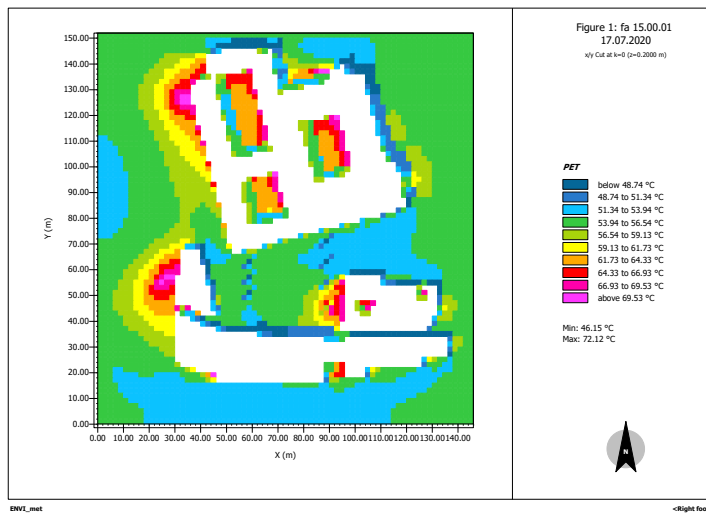
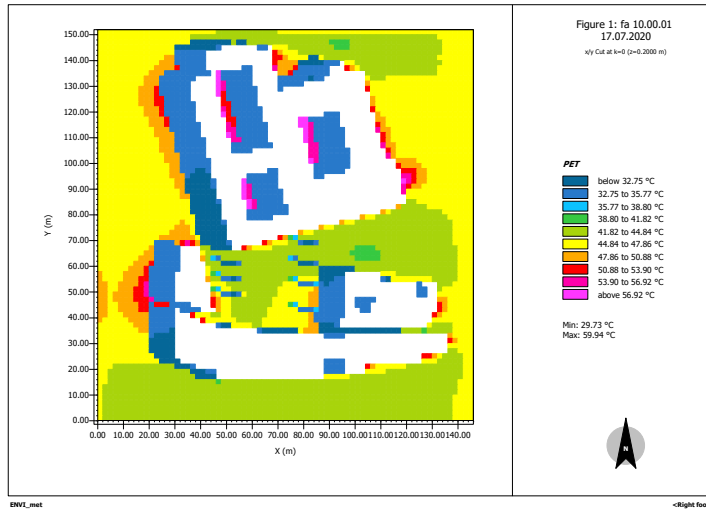


Figura 112 – Cenário 4.2 - PET

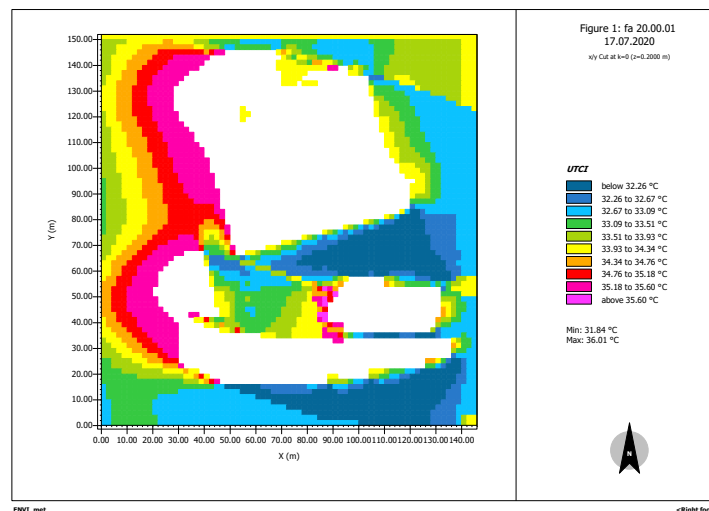
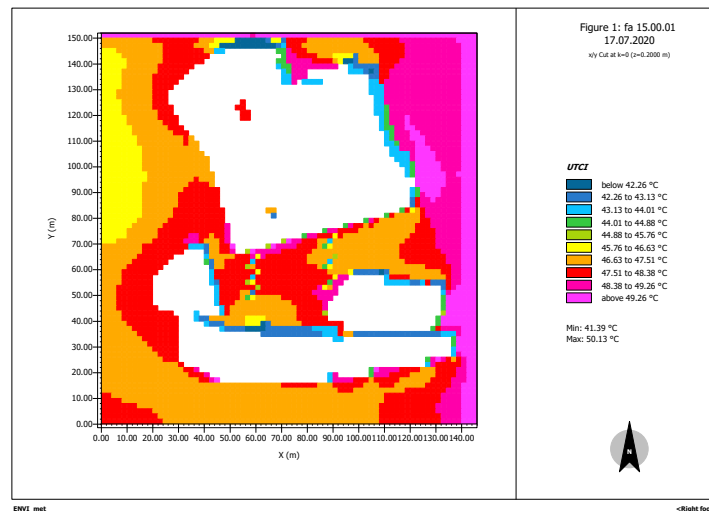
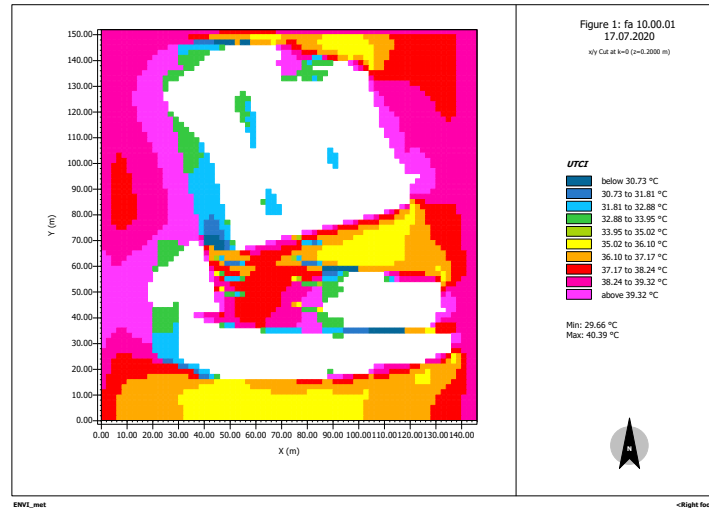


Figura 113 – Cenário 4.2 - UTCI

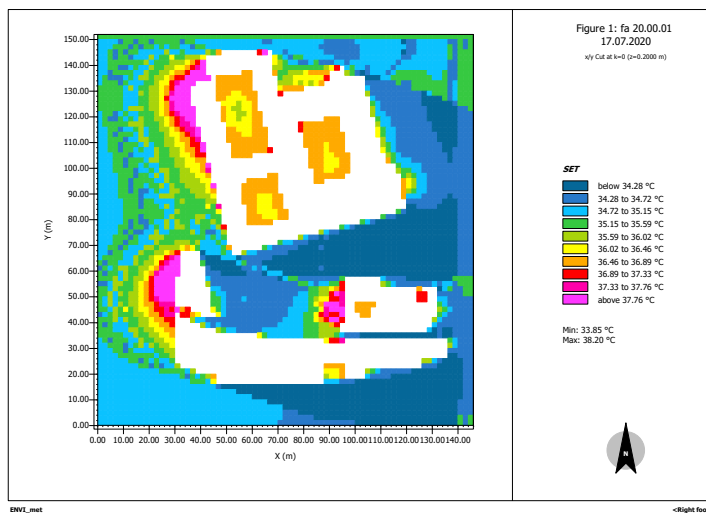
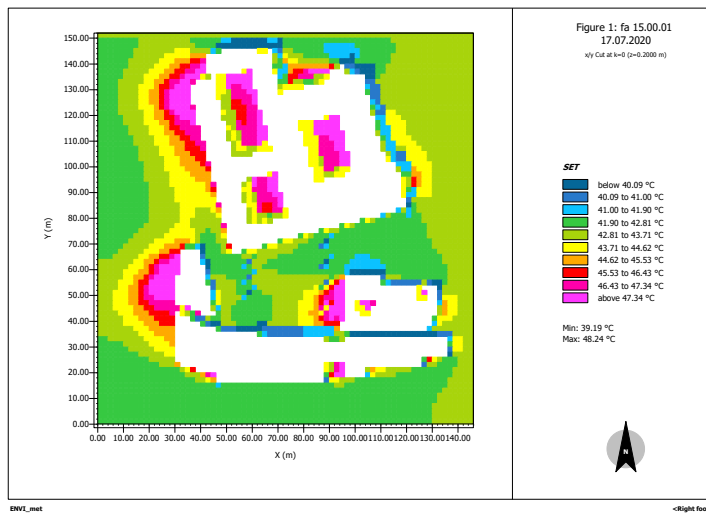
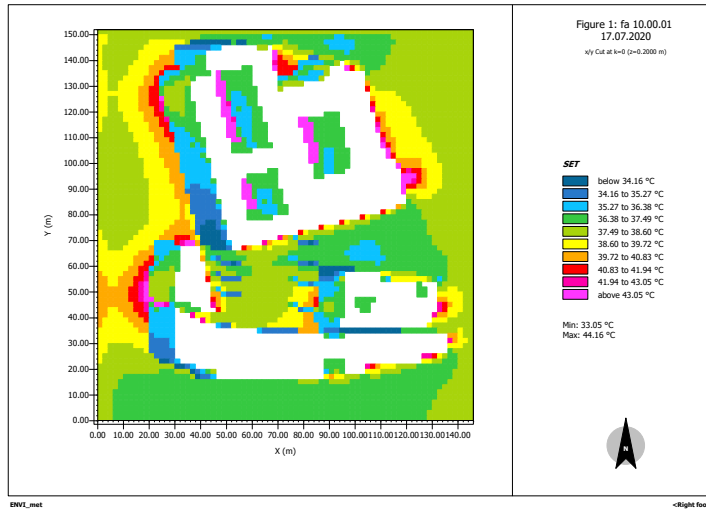


Figura 114 – Cenário 4.2 - SET

- Cenário 5

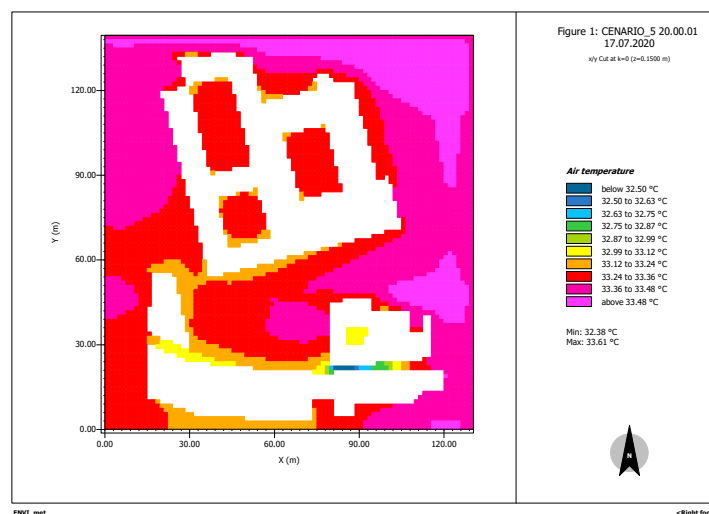
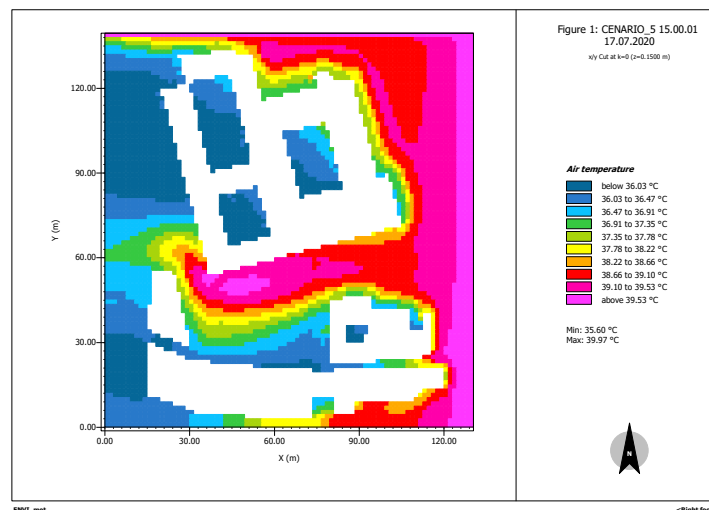
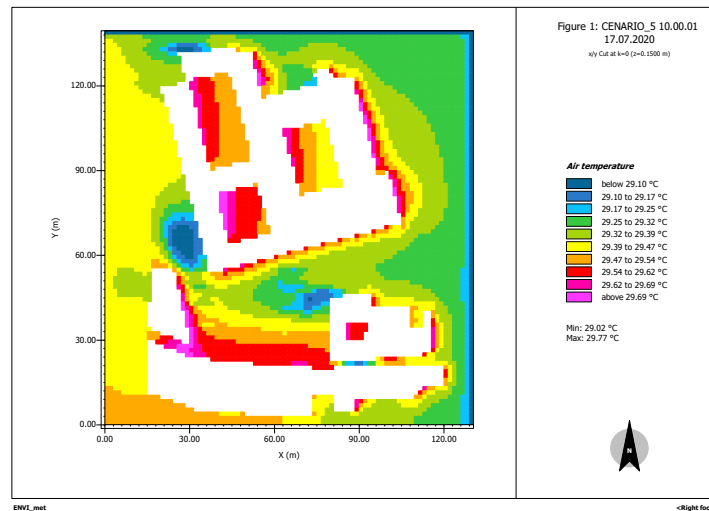


Figura 115 – Cenário 5 - Temperatura

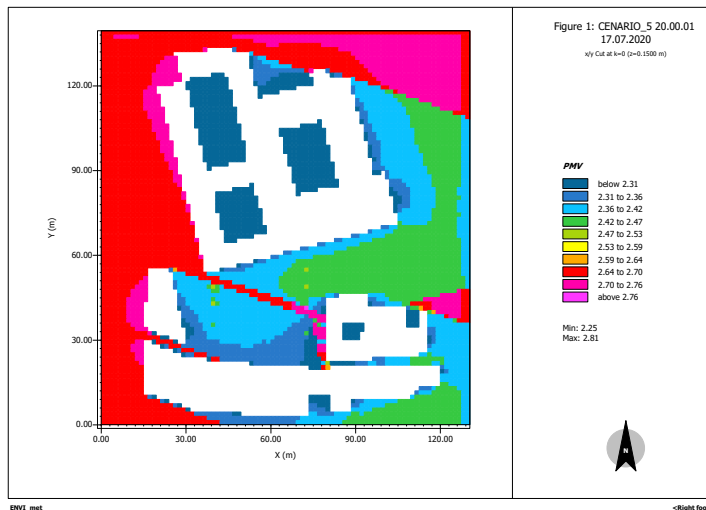
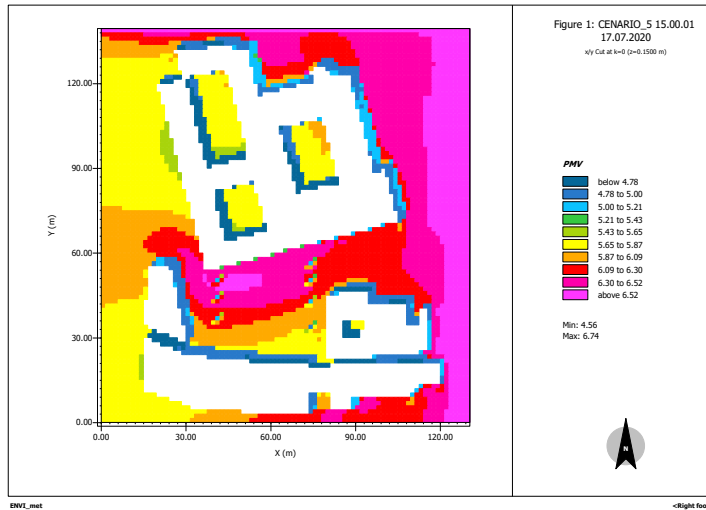
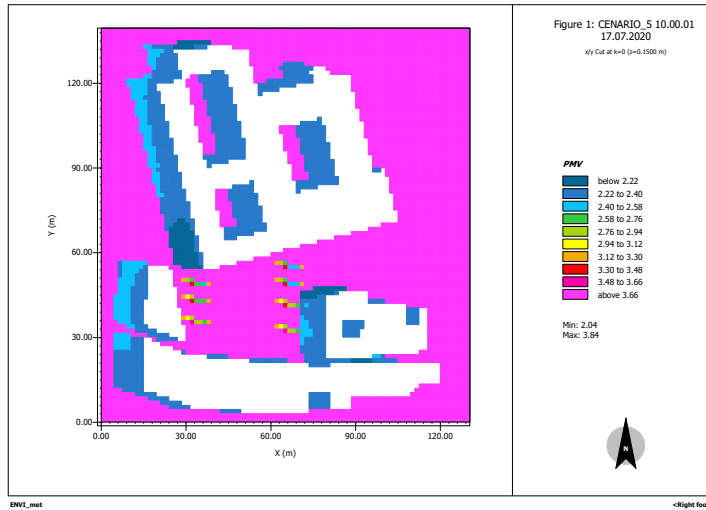


Figura 116 – Cenário 5 - PMV



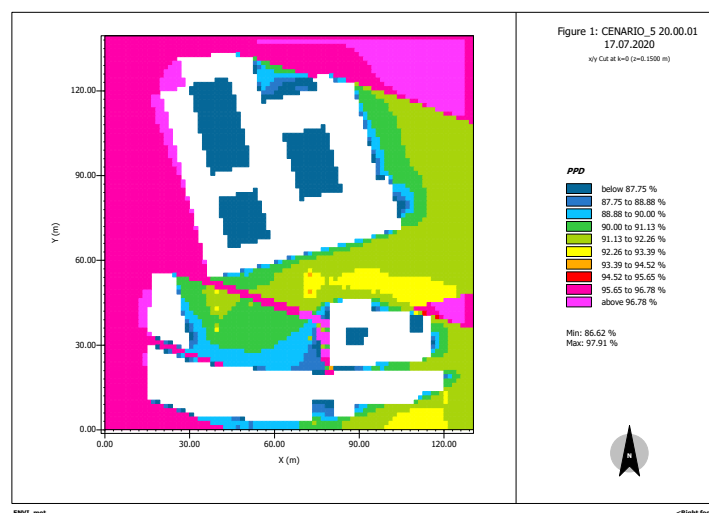
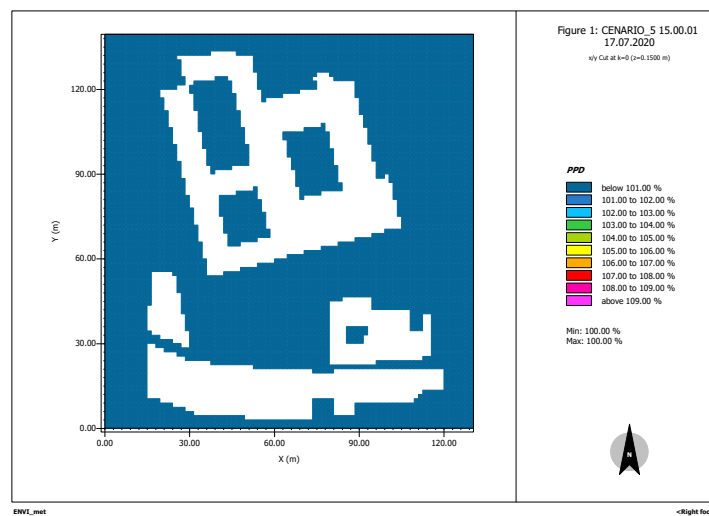
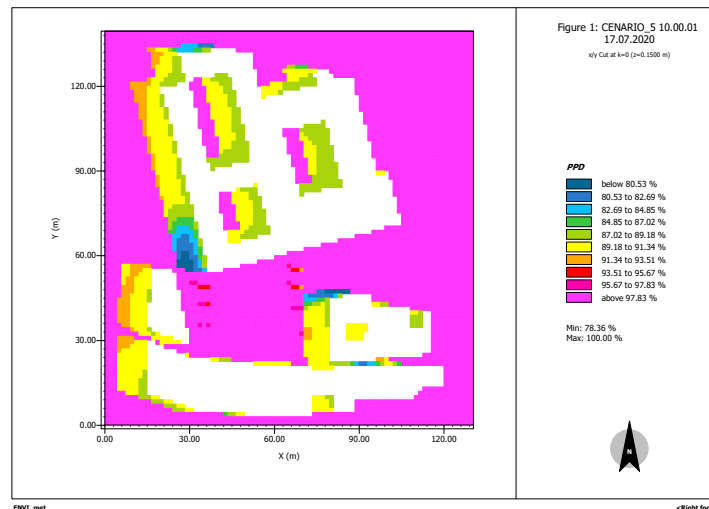


Figura 117 – Cenário 5 - PPD

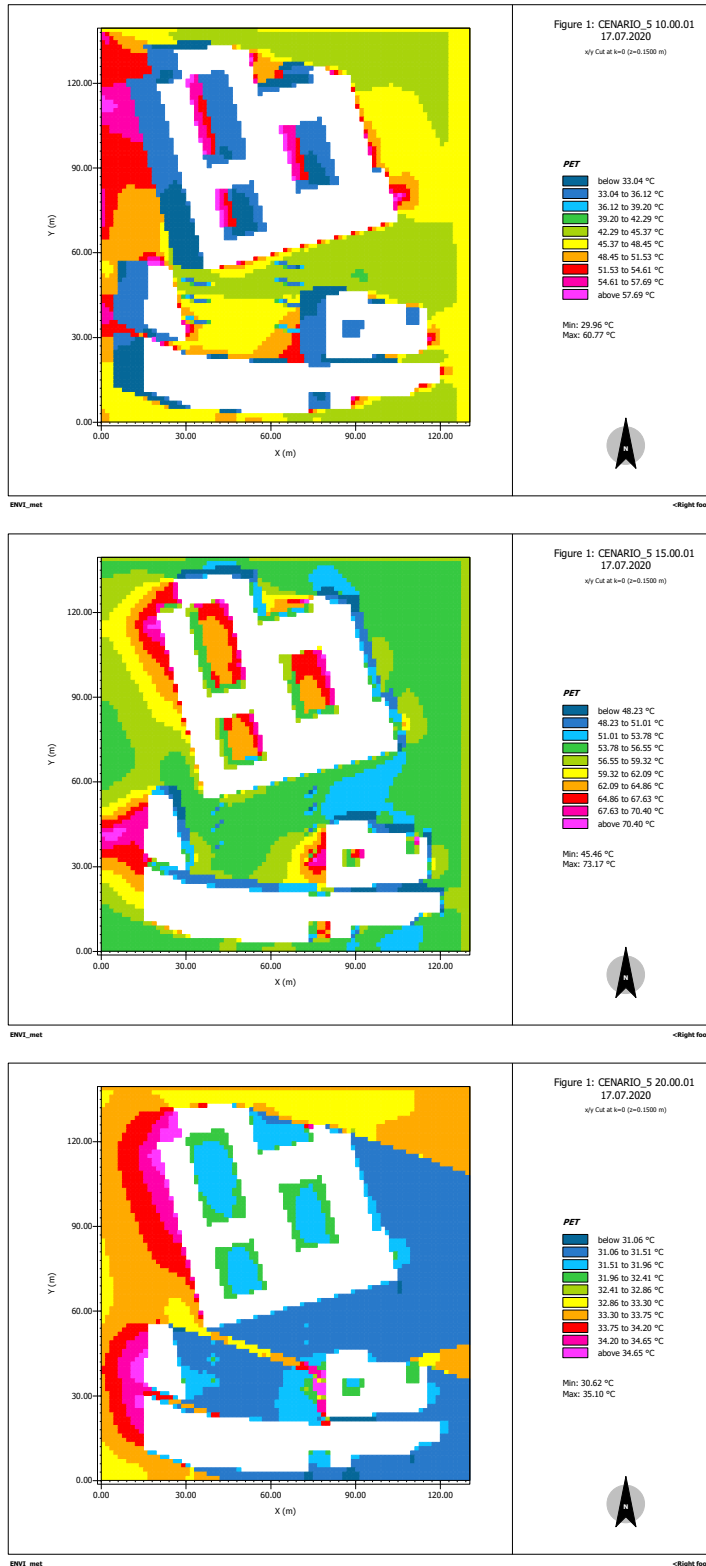


Figura 118 – Cenário 5 - PET

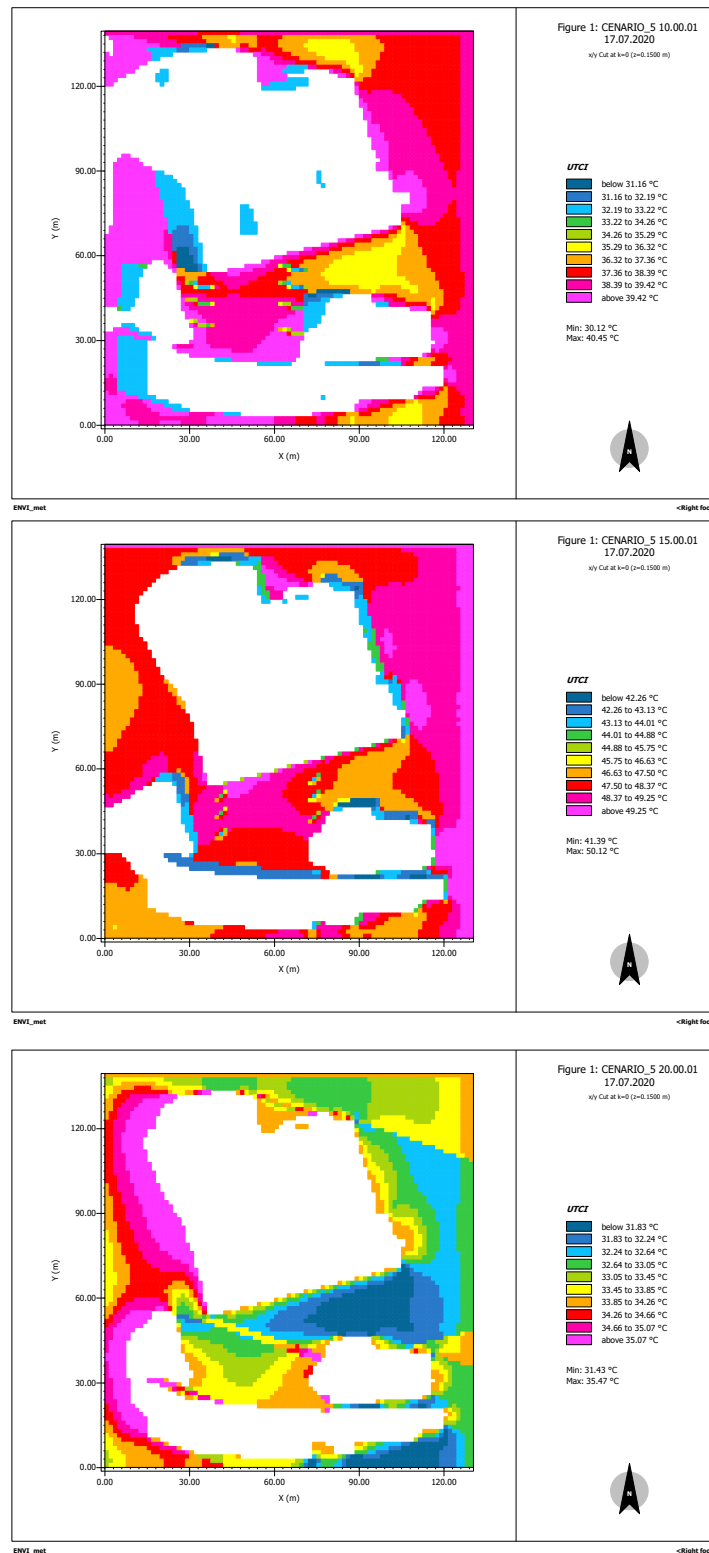


Figura 119 – Cenário 5 - UTCI

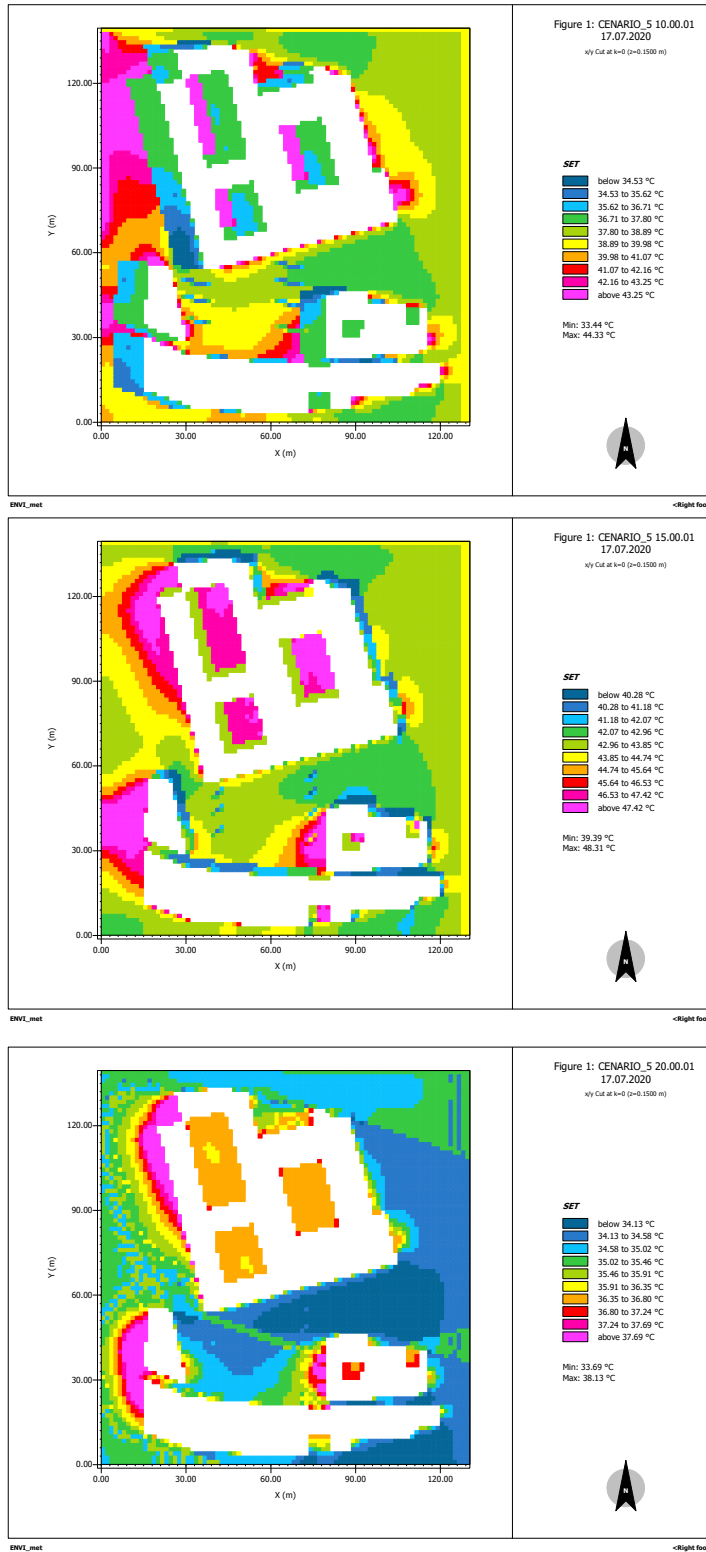
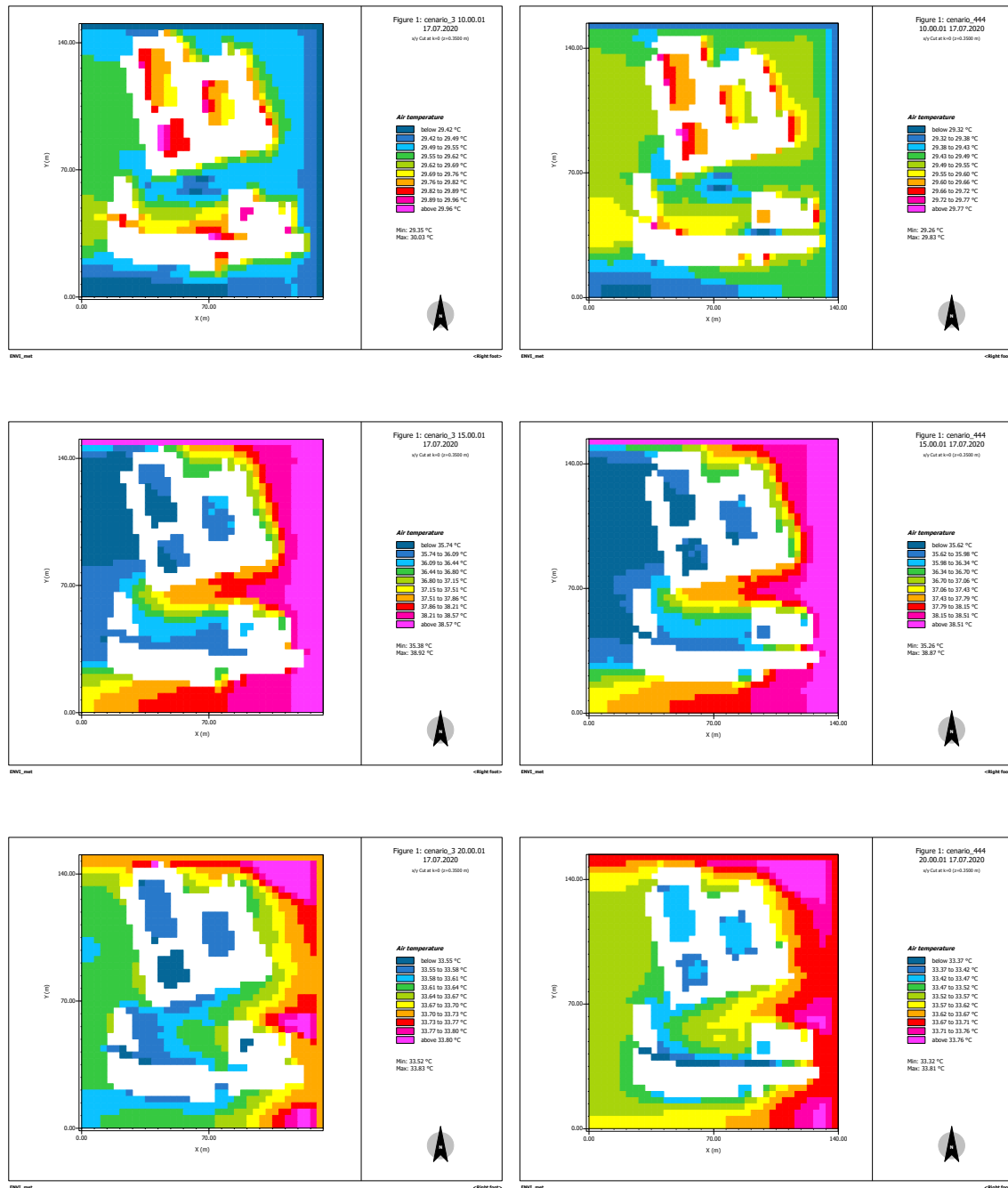
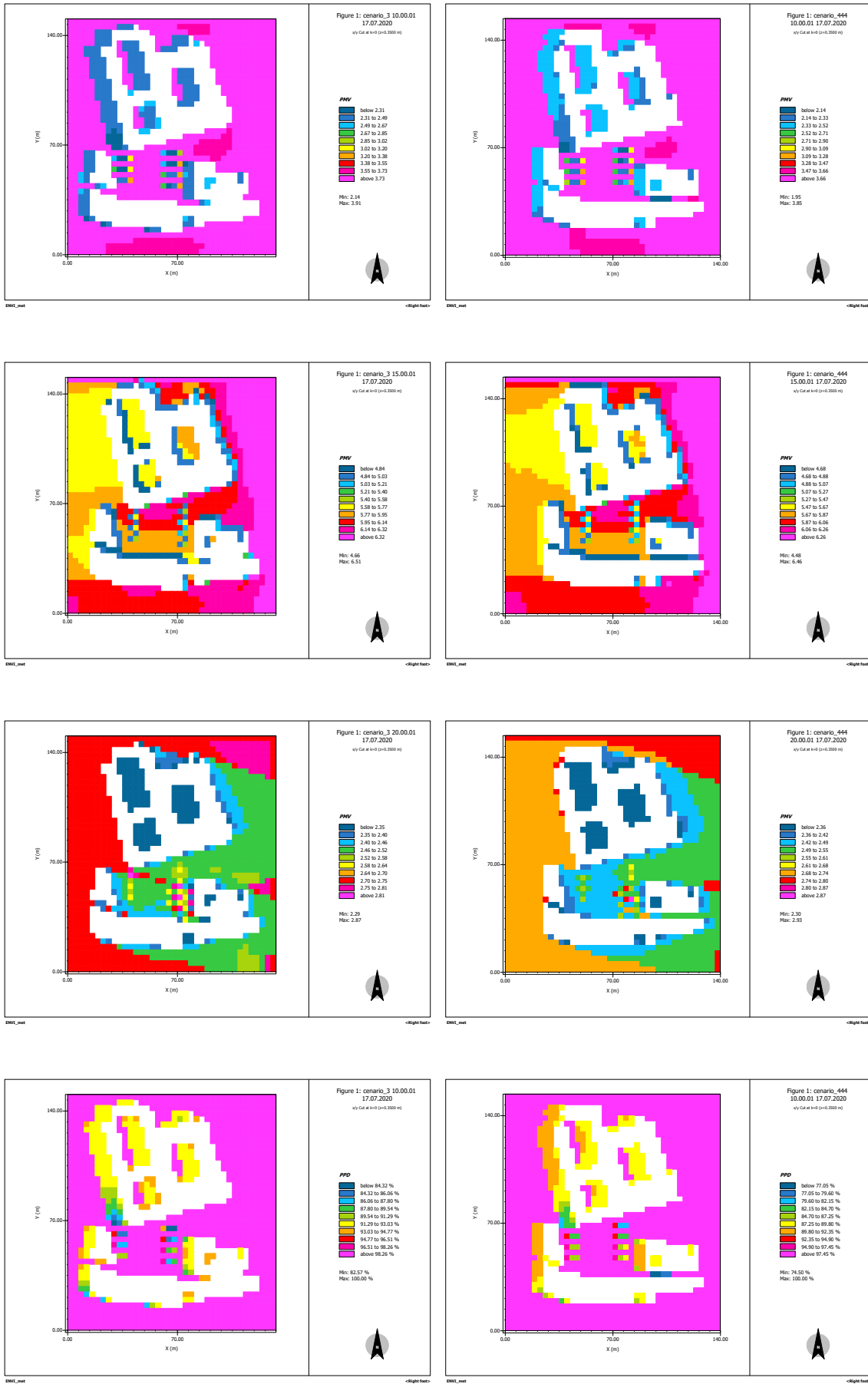


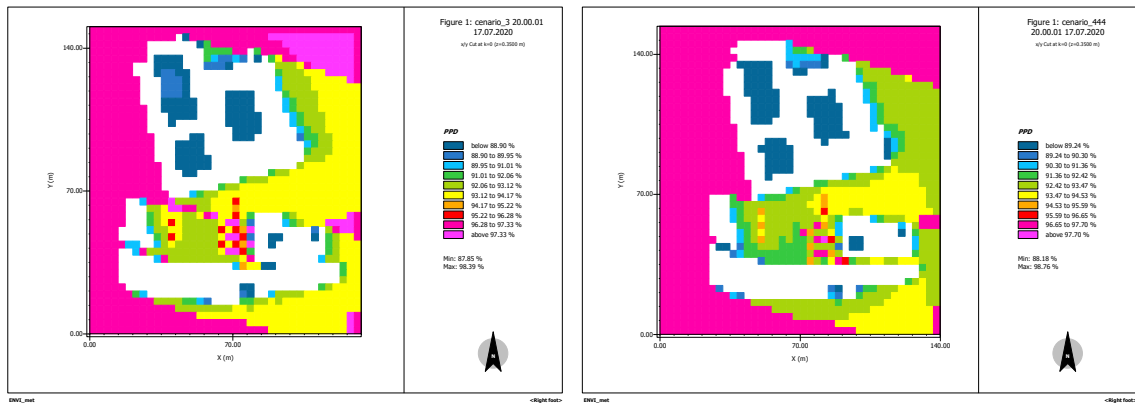
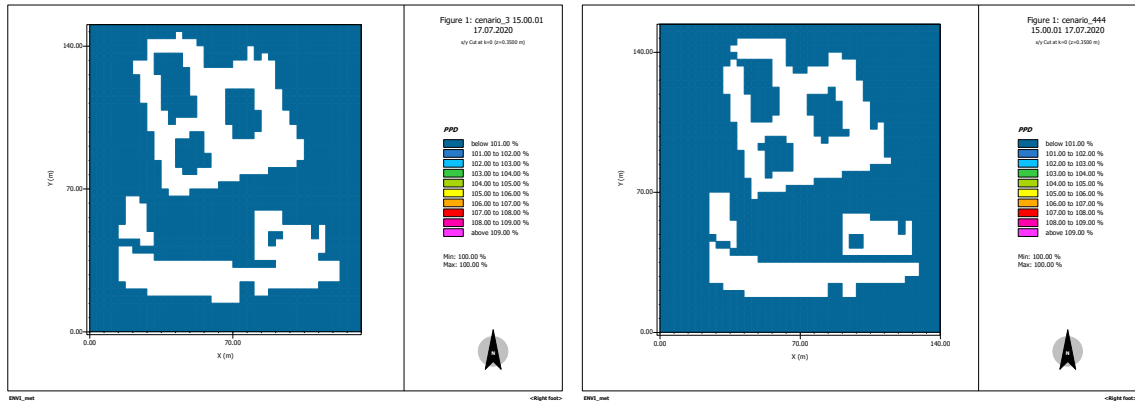
Figura 120 – Cenário 5 - SET

### 7.3. Anexo 3 – Comparações e máximos e mínimos dos parâmetros

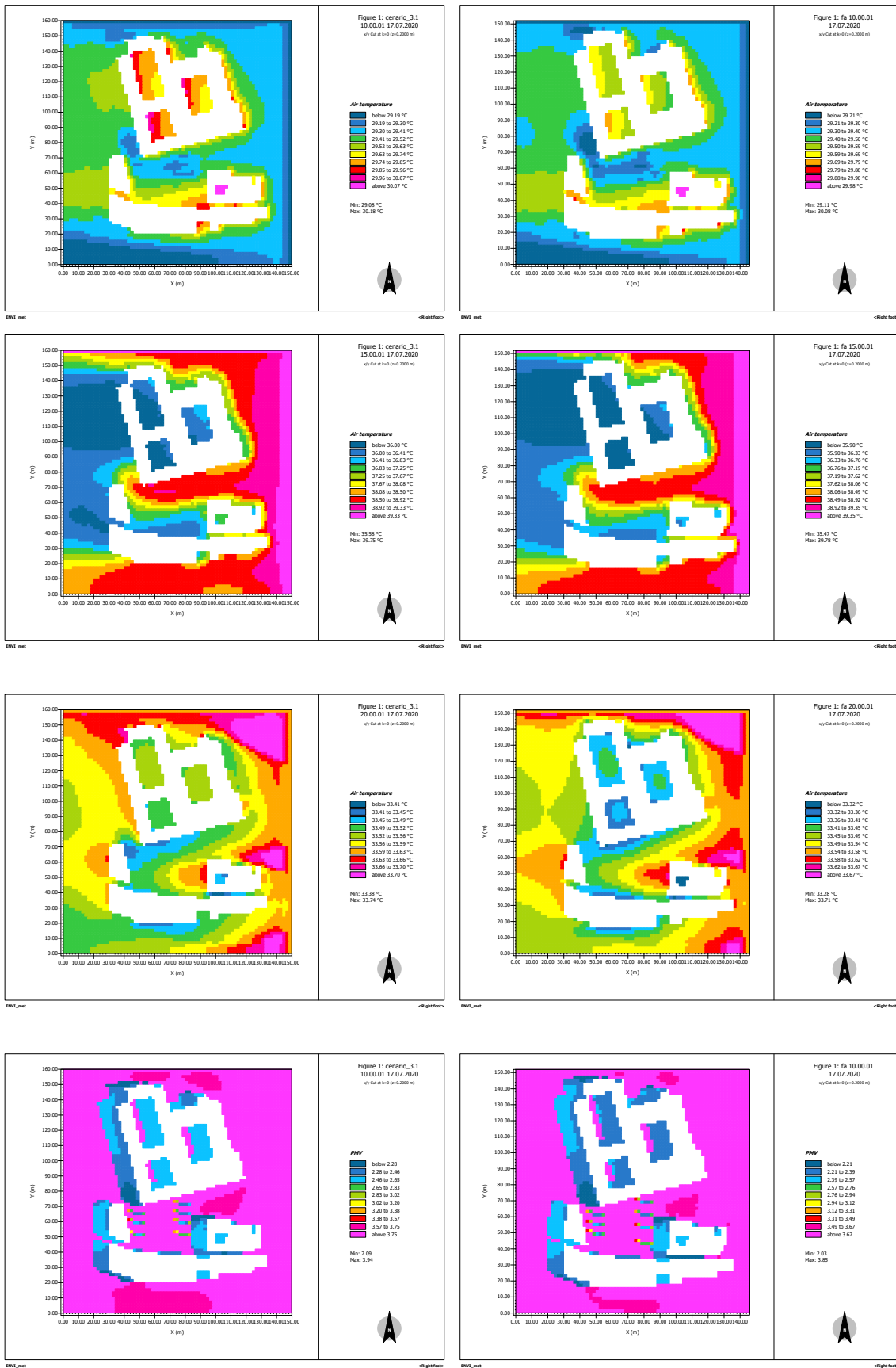
- Cenário 3 e cenário 4



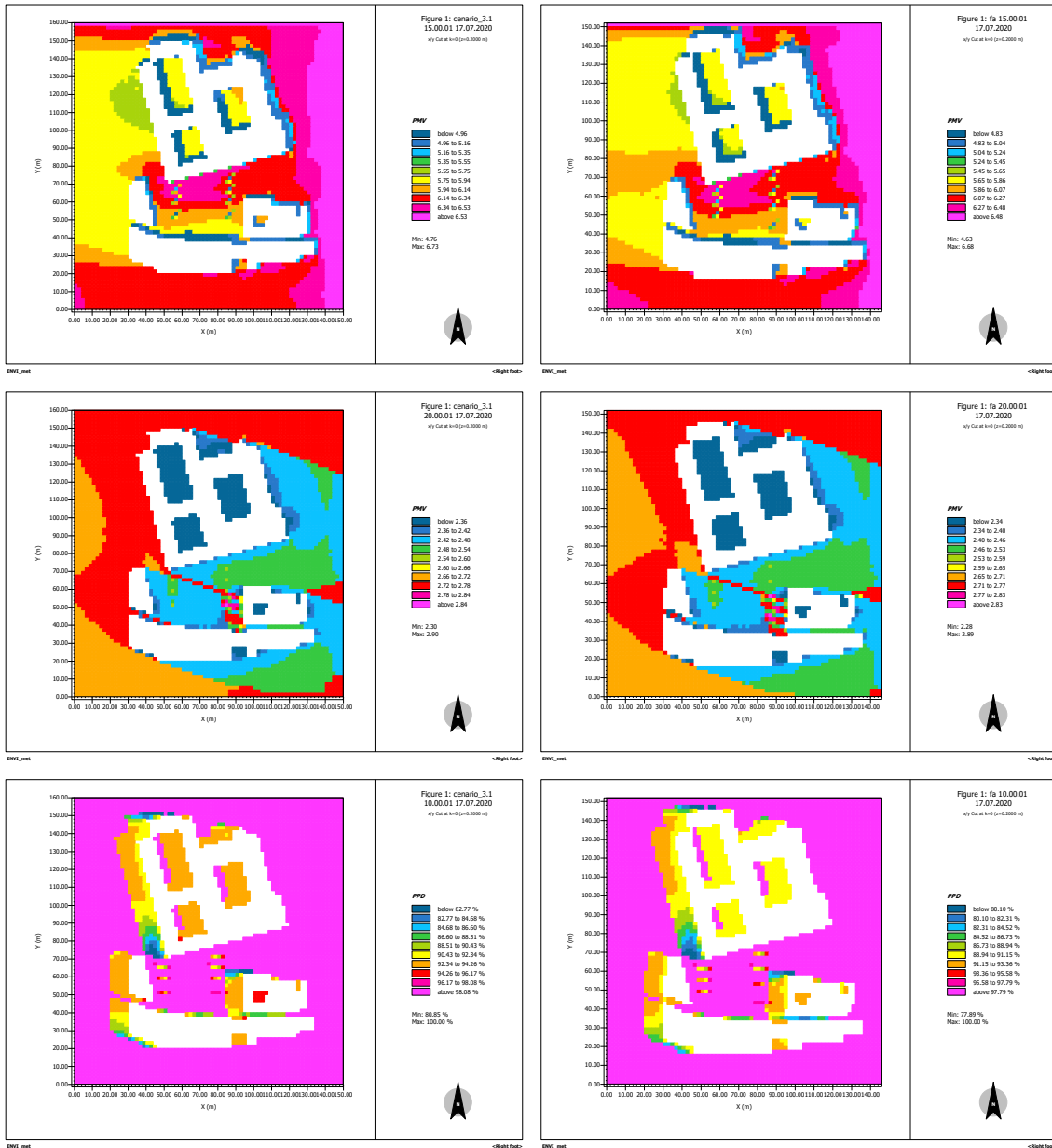


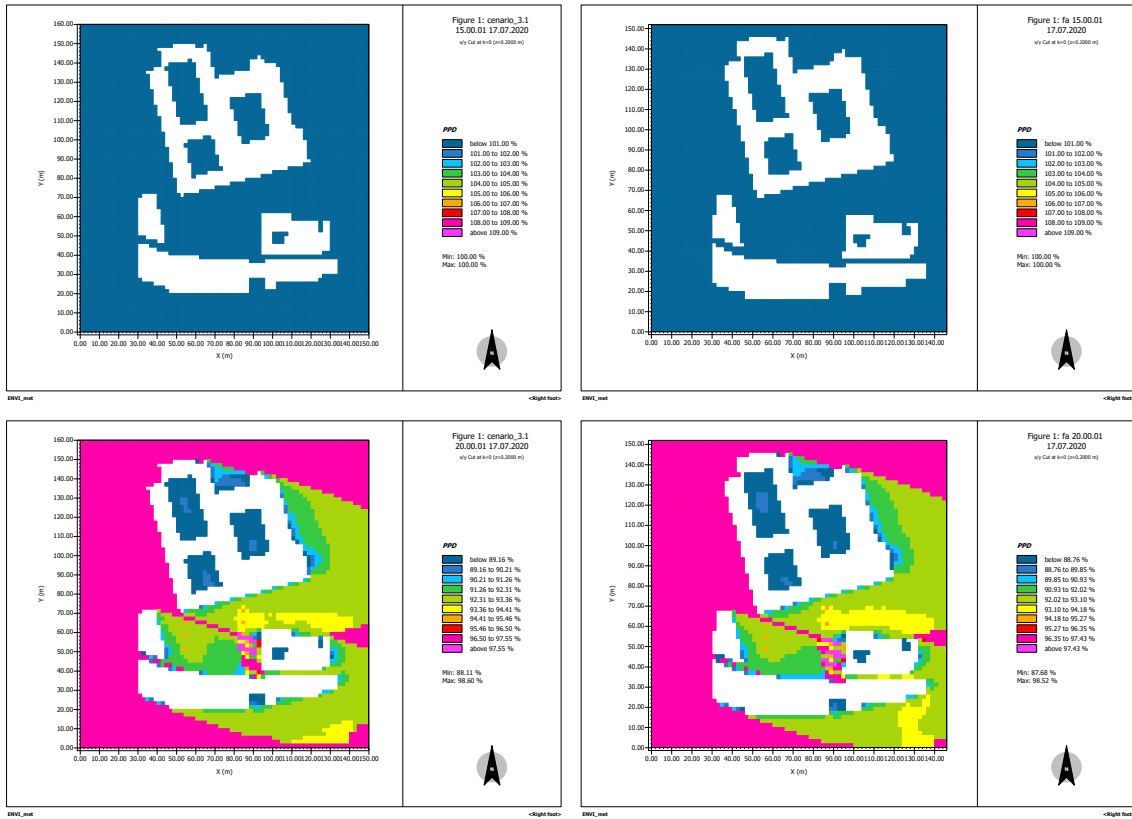


• Cenário 3.1 e cenário 4.2

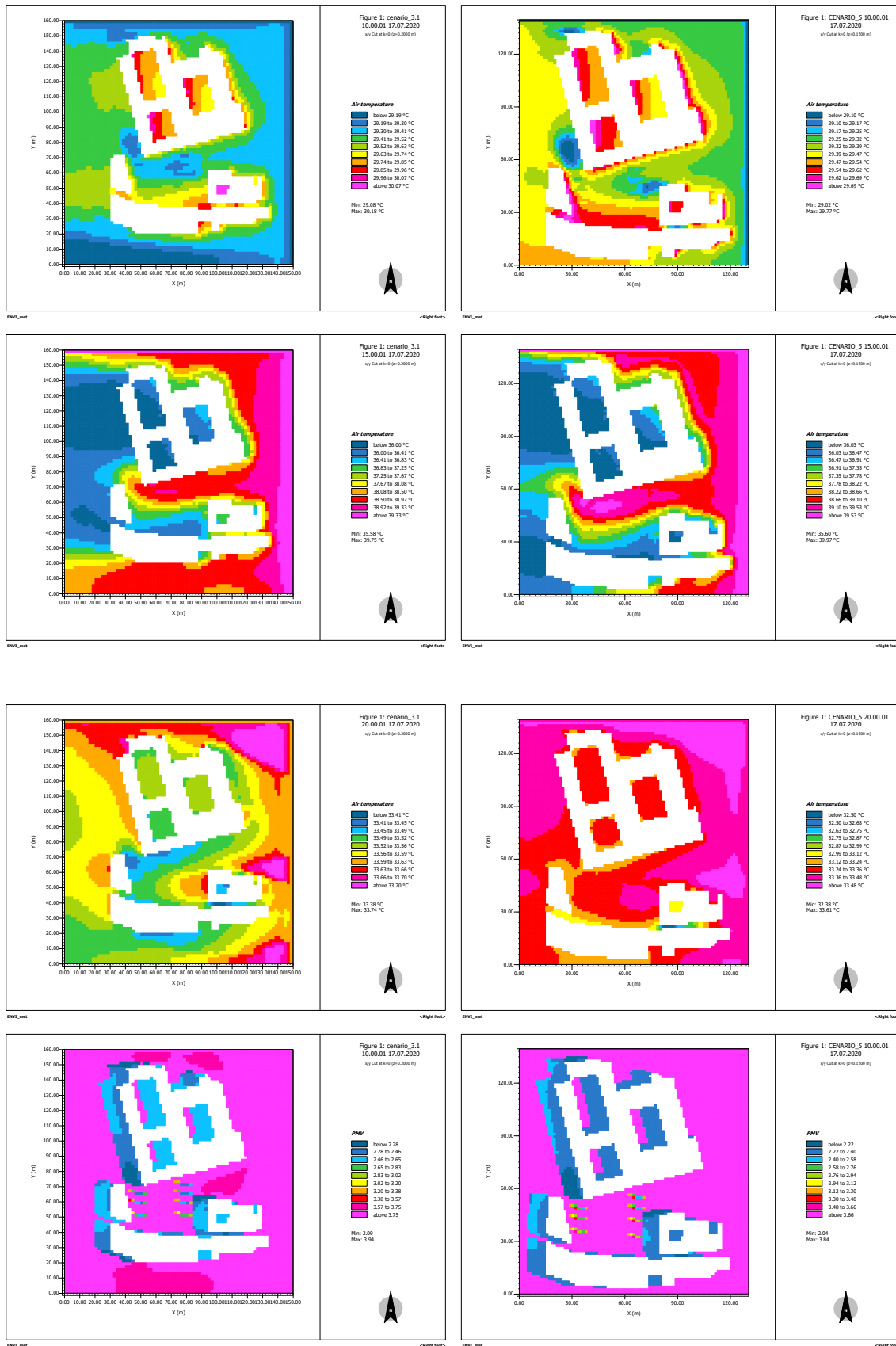


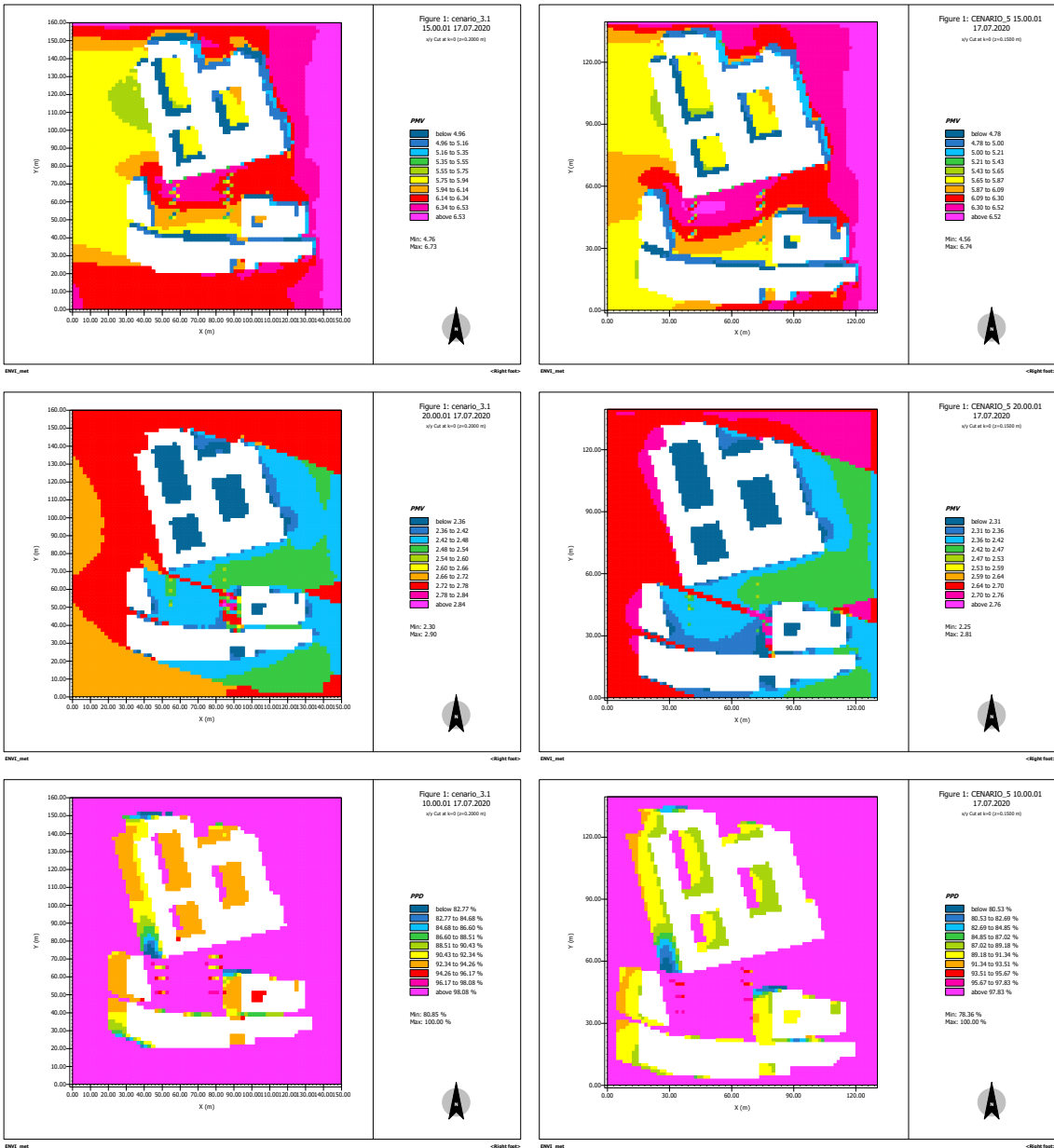


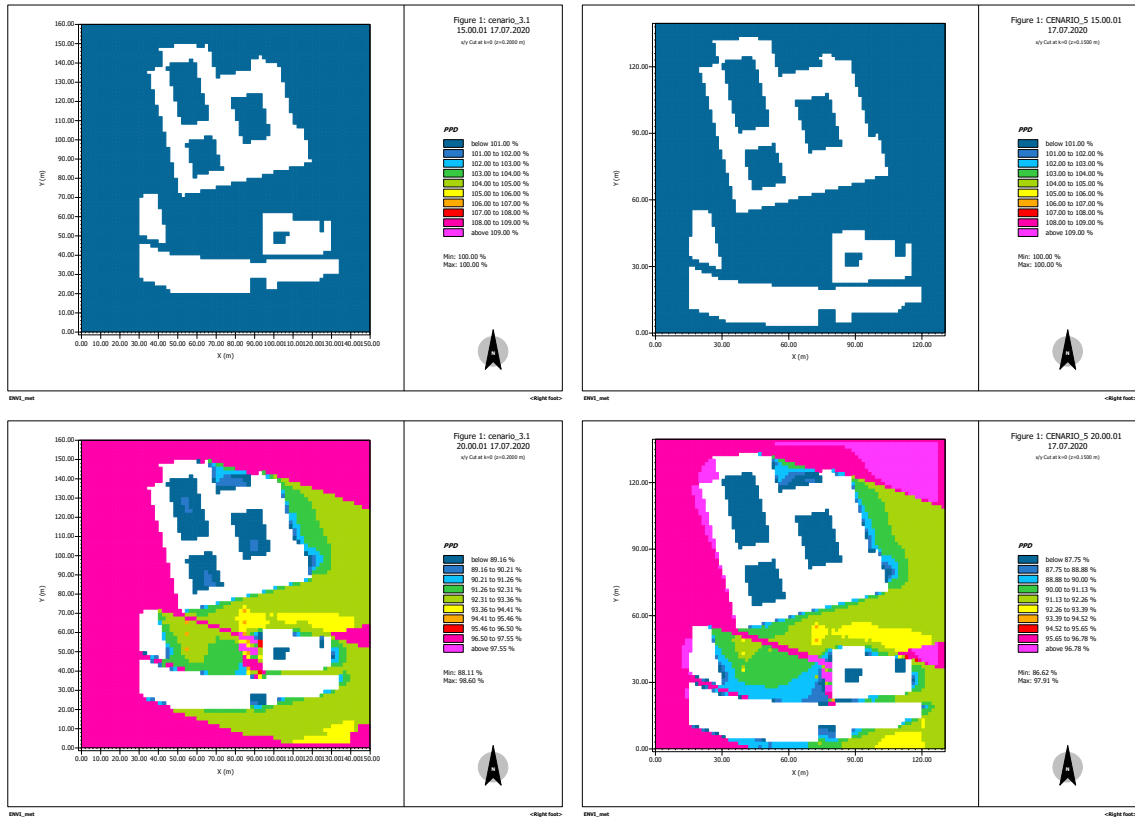




• Cenário 3.1 e cenário 5







Tabelas com os valores de T, PMV e PPD para comparação dos cenários em três horários distintos.

Cenário 1.2	10:00	T	mín	29.19	PMV	mín	2.18	PPD	mín	84.11
			máx	30.01		máx	3.95		máx	100.00
	15:00		mín	35.46		mín	4.69		mín	100.00
			máx	39.25		máx	6.65		máx	100.00
	20:00		mín	33.67		mín	2.45		mín	92.28
			máx	34.62		máx	2.99		máx	99.07

Cenário 2.1	10:00	T	mín	19.29	PMV	mín	1.35	PPD	mín	42.81
			máx	29.91		máx	3.93		máx	100.00
	15:00		mín	27.37		mín	3.93		mín	100.00
			máx	39.23		máx	6.64		máx	100.00
	20:00		mín	23.24		mín	0.80		mín	18.52
			máx	34.52		máx	3.02		máx	99.20

Cenário 3.1	10:00	T	mín	29.08	PMV	mín	2.09	PPD	mín	80.85
			máx	30.18		máx	3.94		máx	100.00
	15:00		mín	35.58		mín	4.76		mín	100.00
			máx	39.75		máx	6.73		máx	100.00
	20:00		mín	33.38		mín	2.30		mín	88.11
			máx	33.74		máx	2.90		máx	98.60

Cenário 4.1	10:00	T	mín	29.22	PMV	mín	2.15	PPD	mín	83.23
			máx	30.21		máx	4.00		máx	100.00
	15:00		mín	35.49		mín	4.67		mín	100.00
			máx	39.46		máx	6.64		máx	100.00
	20:00		mín	33.41		mín	2.38		mín	90.44
			máx	34.27		máx	3.03		máx	99.24

Cenário 4.2	10:00	T	mín	29.11	PMV	mín	2.03	PPD	mín	77.89
			máx	30,08		máx	3.85		máx	100.00
	15:00		mín	35.47		mín	4.63		mín	100.00
			máx	39.78		máx	6.68		máx	100.00
	20:00		mín	33.28		mín	2.28		mín	87.68
			máx	33.71		máx	2.89		máx	98.52

Cenário 5	10:00	T	mín	29.02	PMV	mín	2.04	PPD	mín	78.36
			máx	29.77		máx	3.84		máx	100.00
	15:00		mín	35.60		mín	4.56		mín	100.00
			máx	39.97		máx	6.74		máx	100.00
	20:00		mín	32.38		mín	2.25		mín	86.62
			máx	33.61		máx	2.81		máx	97.91

Cenário 1	10:00	T	mín	19.94	PMV	mín	0.55	PPD	mín	11.32
			máx	29.98		máx	3.94		máx	100.00
	15:00		mín	20.20		mín	1.95		mín	74.67
			máx	38.45		máx	6.47		máx	100.00
	20:00		mín	21.11		mín	0.49		mín	10.12
			máx	34.55		máx	2.98		máx	99.00

Cenário 2	10:00	T	mín	19.94	PMV	mín	0.48	PPD	mín	9.86
			máx	29.98		máx	3.93		máx	100.00
	15:00		mín	20.20		mín	1.89		mín	71.68
			máx	38.42		máx	6.44		máx	100.00
	20:00		mín	21.10		mín	0.44		mín	9.00
			máx	34.53		máx	3.11		máx	99.50

Cenário 3	10:00	T	mín	29,35	PMV	mín	2.14	PPD	mín	82.57
			máx	30,03		máx	3.91		máx	100.00
	15:00		mín	35,38		mín	4.66		mín	100.00
			máx	38,92		máx	6.51		máx	100.00
	20:00		mín	33,52		mín	2.29		mín	87.85
			máx	33,83		máx	2.87		máx	98.39

Cenário 4	10:00	T	mín	29,26	PMV	mín	1.95	PPD	mín	74.50
			máx	29,83		máx	3.85		máx	100.00
	15:00		mín	35,26		mín	4.48		mín	100.00
			máx	38,87		máx	6.46		máx	100.00
	20:00		mín	33,32		mín	2.30		mín	88.18
			máx	33,81		máx	2.93		máx	98.76