

Instituto Politécnico do Porto

Instituto Superior de Engenharia do Porto



Projeto Integrador

FSIAP Sprint 3

Resistência Térmica & Energia/Calor

Nome	ID
Rodrigo Correia	1220604
Carolina Sá	1220623
David Sousa	1220784
Tiago Carvalho	1221124

Data de Submissão : 2024/01/01

Contents

1	Introdução	2
2	Descrição	3
2.1	Estrutura	3
3	USFA05 - Determinar a resistência térmica	5
3.1	Materiais considerados	5
3.2	Análise	5
3.3	Resultados	8
4	USFA06 - Cálculo de Energia Necessária para Manter as Zonas com Temperaturas Interiores Solicitadas	9
4.1	Zona B	9
4.2	Zona C	9
4.3	Zona D	10
5	USFA07 - Cálculo de Energia Total e Potência Necessária	11
5.1	Zona A	11
5.2	Zona E	11
5.3	Resultados	11

1 Introdução

O presente relatório delinea o desenvolvimento do SPRINT 3 do Projeto Integrador, incorporado no terceiro semestre da Licenciatura em Engenharia Informática no Instituto Superior de Engenharia do Porto, sob a égide da disciplina de Física Aplicada (FSIAP).

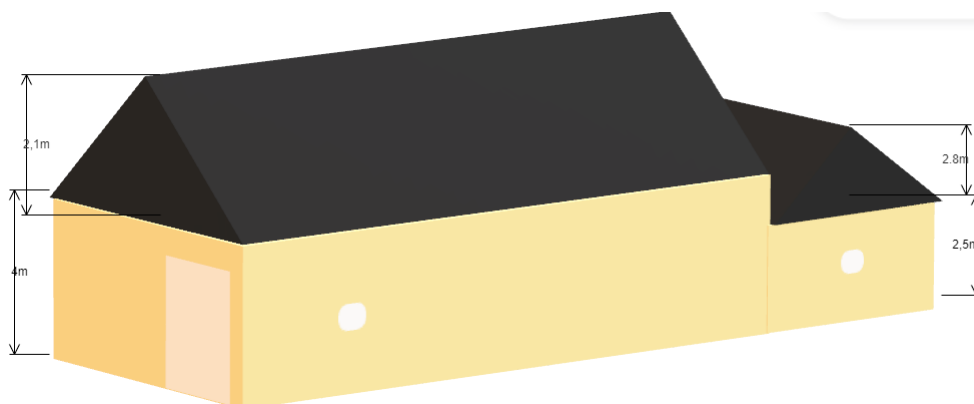
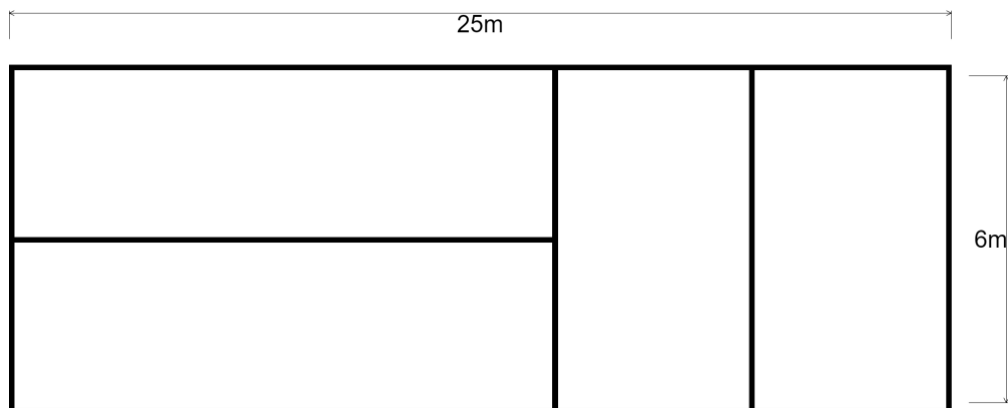
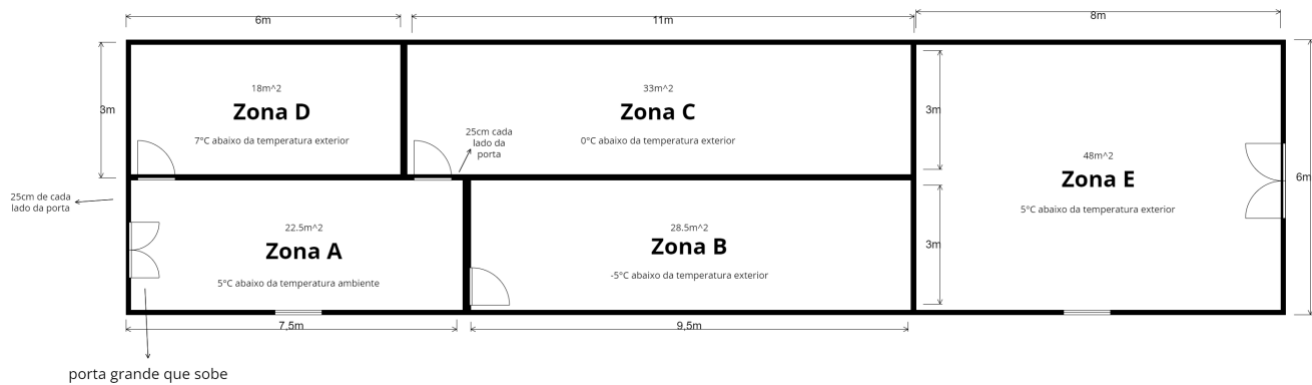
Este trabalho concentra-se na análise pormenorizada de materiais para uma estrutura idealizada, enfatizando o cálculo de resistências térmicas em condições de temperatura operacional definidas. Ancorado em fundamentos teóricos sobre resistência térmica e fluxo de calor, aprofundados no estudo prévio 'Resistência e Energia – Térmica', aborda-se também a investigação relativa à capacidade térmica, transmissão de calor e integração de hardware.

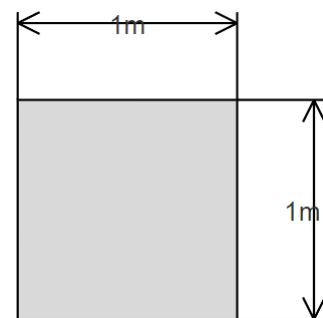
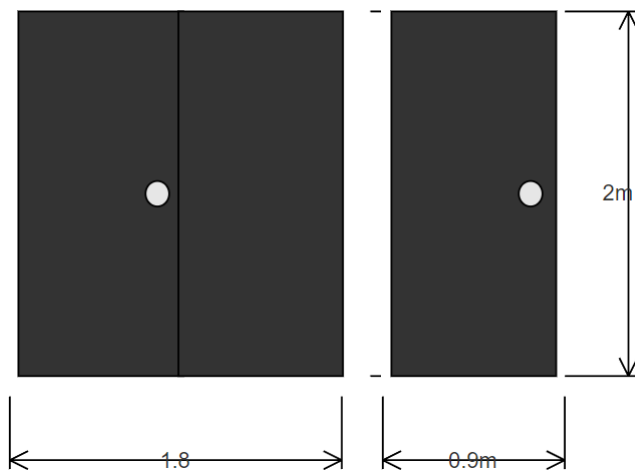
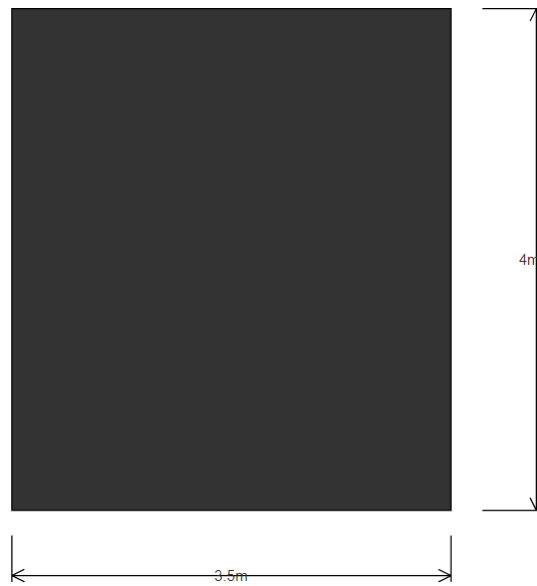
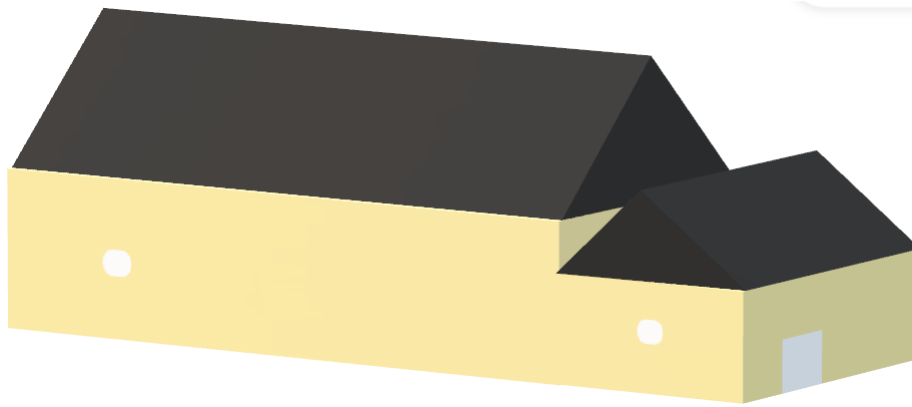
Finaliza-se com um conjunto de conclusões e propostas de melhoramento, visando a otimização e correção dos dados recolhidos.

2 Descrição

No enunciado do Projeto Integrador, no âmbito da disciplina de Física Aplicada (FSIAP), assumimos a estrutura criada no anterior Sprint. Iremos considerar as temperaturas indicadas, e numa fase inicial em que o ambiente exterior à estrutura tem temperatura inicial de 20 °C. Uma folha de cálculo foi utilizada para as US em que solicitam valores de resistências térmicas e energia, de forma imediata.

2.1 Estrutura





3 USFA05 - Determinar a resistência térmica

Pretende-se saber qual a resistência térmica das paredes, para cada zona ou espaço definido e para cada temperatura de funcionamento. Sendo que cada parede deve conter três materiais nas suas paredes. Um para o material exterior, outro para o material intermédio e outro para o material interior.

3.1 Materiais considerados

Materiais das Paredes Exteriores

Material a:	Tijolo cerâmico
Material b:	Poliestireno expandido

$K_a =$	$2.80 \times 10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$K_b =$	$4.00 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$\Delta x(a) =$	0.15 m
$\Delta x(b) =$	0.06 m

Materiais das Paredes Interiores

Material a:	Tijolo cerâmico
Material b:	Lã de Rocha
Material c:	Gesso Cartonado

$K_a =$	$2.80 \times 10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$K_b =$	$4.00 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$K_c =$	$2.50 \times 10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$\Delta x(a) =$	0.1 m
$\Delta x(b) =$	0.07 m
$\Delta x(c) =$	0.015 m

3.2 Análise

Para determinarmos a resistência térmica, foi utilizado a seguinte fórmula:

$$R = \frac{\Delta x}{K \times A} \quad (1)$$

Por exemplo, na Zona B, para determinar a resistência térmica total, procede-se ao cálculo individual para cada parede, culminando no somatório das resistências.

No caso da existência de uma porta, a área a ser considerada na expressão 1 será a área total da parede onde se localiza a porta, deduzindo a área da própria porta, conforme descrito a seguir:

$$A_{total} = 3 \times 4 = 12 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Parede 3 (com porta)			
Comprimento (m)	Altura (m)	Espessura (m)	Espessura da porta (m)
3	4	0.3	0.035

$$A_{porta} = 2 \times 0.9 = 1.8 \text{ m}^2 \quad (3)$$

$$A_{semporta} = 12 - 1.8 = 10.2 \text{ m}^2 \quad (4)$$

$$R_a = \frac{1.0 \times 10^{-1}}{2.80 \times 10^{-1} \times 10.2} = 3.5 \times 10^{-2} \text{ W K}^{-1} \quad (5)$$

$$R_b = \frac{7.0 \times 10^{-2}}{4.00 \times 10^{-1} \times 10.2} = 1.72 \times 10^{-1} \text{ W K}^{-1} \quad (6)$$

$$R_b = \frac{1.5 \times 10^{-2}}{2.50 \times 10^{-1} \times 10.2} = 5.88 \times 10^{-3} \text{ W K}^{-1} \quad (7)$$

$$K_{porta} = 2.00 \times 10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (8)$$

$$R_{porta} = \frac{3.5 \times 10^{-2}}{2.00 \times 10^{-1} \times 1.8} = 9.72 \times 10^{-2} \text{ W K}^{-1} \quad (9)$$

Após o cálculo de todas as resistências envolvidas, procede-se à agregação dos valores individuais. Desta forma, alcança-se a resistência térmica total do sistema, resultante da soma das quatro resistências previamente determinadas.

$$R_{eq(\text{total})} = 3.506 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (10)$$

Quando se verifica a presença de uma janela na parede, adota-se um método semelhante ao da porta para a determinação da área relevante. Contudo, no cálculo da resistência da janela, em particular uma de vidro duplo, considera-se a sequência de camadas constituída por vidro, uma lâmina de ar, e novamente vidro.

A metodologia aplicada para este efeito é detalhadamente descrita nas secções subsequentes do relatório.

Janela da Zona E	
Material a:	Vidro
Material b:	Ar
$K_a =$	$1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$K_b =$	$2.50 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\Delta x(a) =$	0.004 m
$\Delta x(b) =$	0.016 m

$$A_{janela} = 1 \times 1 = 1 \text{ m}^2 \quad (11)$$

$$R_{vidro} = \frac{4 \times 10^{-3}}{1.00 \times 10^{-1} \times 1.0} = 4.00 \times 10^{-3} \text{ W K}^{-1} \quad (12)$$

$$R_{ar} = \frac{16 \times 10^{-3}}{2.50 \times 10^{-2} \times 1.0} = 6.40 \times 10^{-1} \text{ W K}^{-1} \quad (13)$$

A obtenção da resistência térmica total da janela é efetuada pela adição da resistência do vidro, contabilizada duas vezes em virtude da configuração de vidro duplo, à resistência do ar interposto, estabelecendo assim a resistência global do conjunto total.

$$R_{\text{janela}} = 6.48 \times 10^{-1} \text{ K W}^{-1} \quad (14)$$

Para determinar o telhado, fizemos do seguinte modo. Calculamos a resistência térmica de cada folha.

Telhado Novo	
Material a:	Poliuretano
Material b:	Madeira laminada colada
Material c:	Cortiça
$K_a =$	$2.30 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$K_b =$	$3.00 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$K_c =$	$3.00 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\Delta x(a) =$	0.75 m
$\Delta x(b) =$	0.25 m
$\Delta x(c) =$	0.1 m

O cálculo é feito da mesma forma, como retratado anteriormente.

$$A_{\text{telhado}} = 17 \times 13,662 = 62.254 \text{ m}^2 \quad (15)$$

$$R_a = 5.238 \times 10^{-1} \text{ kW} \quad (16)$$

$$R_b = 1.339 \times 10^{-1} \text{ kW} \quad (17)$$

$$R_c = 5.354 \times 10^{-2} \text{ kW} \quad (18)$$

A obtenção da resistência térmica parcial do telhado é efetuada pela adição da resistência do poliuretano, resistência da madeira laminada colada, contabilizada duas vezes, ambos os materiais, à resistência da cortiça, estabelecendo assim a resistência global do conjunto.

$$R_{eq(\text{cadalado})} = 2 * R_a + 2 * R_b + R_c = 1.369 \text{ kW} \quad (19)$$

No final, multiplicar por dois, dado que queremos o total do telhado.

$$R_{eq(\text{total})} = 2 * R_{eq(\text{cadalado})} 2.738 \text{ kW} \quad (20)$$

3.3 Resultados

Os resultados da resistência térmica de cada parede e total de cada zona:

Zona B

$$R_{\text{parede1exterior}} = 6.767 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (21)$$

$$R_{\text{parede1interior}} = 2.154 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (22)$$

$$R_{\text{parede2interior}} = 6.801 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (23)$$

$$R_{\text{parede3interior}} = 3.506 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (24)$$

$$R_{\text{totaldaZonaB}} = 7.016 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (25)$$

Zona C

$$R_{\text{parede1exterior}} = 5.844 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (26)$$

$$R_{\text{parede1interior}} = R_{\text{parede2interior}} = 2.154 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (27)$$

$$R_{\text{parede3interior}} = 1.585 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (28)$$

$$R_{\text{totaldaZonaC}} = 6.476 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (29)$$

Zona D

$$R_{\text{parede1exterior}} = 1.071 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (30)$$

$$R_{\text{parede2exterior}} = 2.143 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (31)$$

$$R_{\text{parede1interior}} = 2.154 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (32)$$

$$R_{\text{parede2interior}} = 2.136 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (33)$$

$$R_{\text{totaldaZonaD}} = 7.504 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (34)$$

ZonaA

$$R_{\text{parede1exterior}} = 1.303 \times 10^0 \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (35)$$

$$R_{\text{parede2exterior}} = 7.367 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (36)$$

$$R_{\text{parede1interior}} = 2.154 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (37)$$

$$R_{\text{parede2interior}} = 8.614 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (38)$$

$$R_{\text{totaldaZonaA}} = 2.341 \times 10^0 \quad (39)$$

Zona E

$$R_{\text{parede1exterior}} = 3.159 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (40)$$

$$R_{\text{parede2exterior}} = 7.309 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (41)$$

$$R_{\text{parede3exterior}} = 8.036 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (42)$$

$$R_{\text{parede1interior}} = 1.077 \times 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^1 \quad (43)$$

$$R_{\text{totaldaZonaE}} = 1.235 \times 10^0 \quad (44)$$

4 USFA06 - Cálculo de Energia Necessária para Manter as Zonas com Temperaturas Interiores Solicitadas

Informações Iniciais

Temperatura Exterior: 20°C

Fórmula de Cálculo do Fluxo de Calor (Q):

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} = U \cdot \Delta T \quad (45)$$

Relação entre U e R:

$$U = \frac{1}{R} \quad (46)$$

A seguir, apresentam-se os cálculos para cada zona:

4.1 Zona B

$$\text{Temperatura Interior} = -5^\circ\text{C} \quad (47)$$

$$R(\text{Resistência Térmica}) = 7.016 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (48)$$

$$\Delta T(\text{Diferença de Temperatura}) = 25^\circ\text{C} \quad (49)$$

$$U(\text{Coeficiente de Transferência de Calor}) = 1.425 \text{ W K}^{-1} \quad (50)$$

$$\text{Tempo de Funcionamento} = 1 \text{ hora} = 3600 \text{ s} \quad (51)$$

$$P(\text{Potência Necessária}) = 3.563 \times 10^1 \text{ W} \quad (52)$$

$$Q(\text{Energia Necessária}) = 1.283 \times 10^5 \text{ J} \quad (53)$$

4.2 Zona C

$$\text{Temperatura Interior} = 0^\circ\text{C} \quad (54)$$

$$R(\text{Resistência Térmica}) = 6.476 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (55)$$

$$\Delta T(\text{Diferença de Temperatura}) = 20^\circ\text{C} \quad (56)$$

$$U(\text{Coeficiente de Transferência de Calor}) = 1.544 \text{ W K}^{-1} \quad (57)$$

$$\text{Tempo de Funcionamento} = 1 \text{ hora} = 3600 \text{ s} \quad (58)$$

$$P(\text{Potência Necessária}) = 3.088 \times 10^1 \text{ W} \quad (59)$$

$$Q(\text{Energia Necessária}) = 1.112 \times 10^5 \text{ J} \quad (60)$$

4.3 Zona D

$$\text{Temperatura Interior} = 7^{\circ}\text{C} \quad (61)$$

$$R(\text{Resistência Térmica}) = 7.504 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (62)$$

$$\Delta T(\text{Diferença de Temperatura}) = 13^{\circ}\text{C} \quad (63)$$

$$U(\text{Coeficiente de Transferência de Calor}) = 1.333 \text{ W K}^{-1} \quad (64)$$

$$\text{Tempo de Funcionamento} = 1 \text{ hora} = 3600 \text{ s} \quad (65)$$

$$P(\text{Potência Necessária}) = 1.732 \times 10^1 \text{ W} \quad (66)$$

$$Q(\text{Energia Necessária}) = 6.237 \times 10^4 \text{ J} \quad (67)$$

5 USFA07 - Cálculo de Energia Total e Potência Necessária

Informações Iniciais

$$\text{Temperatura Exterior} = 20^{\circ}\text{C} \quad (68)$$

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} = U \cdot \Delta T \quad (69)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (70)$$

5.1 Zona A

$$\text{Temperatura Interior} = 20^{\circ}\text{C} \quad (71)$$

$$R(\text{Resistência Térmica}) = 2.341 \text{ KW}^{-1} \quad (72)$$

$$\Delta T(\text{Diferença de Temperatura}) = 0^{\circ}\text{C} \quad (73)$$

$$U(\text{Coeficiente de Transferência de Calor}) = 4.271 \times 10^{-1} \text{ W K}^{-1} \quad (74)$$

$$\text{Tempo de Funcionamento} = 1 \text{ hora} = 3600 \text{ s} \quad (75)$$

$$P(\text{Potência Necessária}) = 0.000 \text{ W} \quad (76)$$

$$Q(\text{Energia Necessária}) = 0.000 \text{ J} \quad (77)$$

5.2 Zona E

$$\text{Temperatura Interior} = 15^{\circ}\text{C} \quad (78)$$

$$R(\text{Resistência Térmica}) = 1.235 \text{ KW}^{-1} \quad (79)$$

$$\Delta T(\text{Diferença de Temperatura}) = 5^{\circ}\text{C} \quad (80)$$

$$U(\text{Coeficiente de Transferência de Calor}) = 8.098 \times 10^{-1} \text{ W K}^{-1} \quad (81)$$

$$\text{Tempo de Funcionamento} = 1 \text{ hora} = 3600 \text{ s} \quad (82)$$

$$P(\text{Potência Necessária}) = 4.049 \text{ W} \quad (83)$$

$$Q(\text{Energia Necessária}) = 1.458 \times 10^4 \text{ J} \quad (84)$$

5.3 Resultados

$$\sum(Q) = 3.164 \times 10^5 \text{ J} \quad (85)$$

$$\sum(P) = 8.789 \times 10^1 \text{ W} \quad (86)$$

A energia total a fornecer a toda a estrutura, com todas as suas zonas (A, B, C, D e E) mantidas às temperaturas indicadas anteriormente, por hora de funcionamento, é $\sum(Q)$.

A potência necessária para manter toda a estrutura às temperaturas indicadas, por hora de funcionamento, é $\sum(P)$.