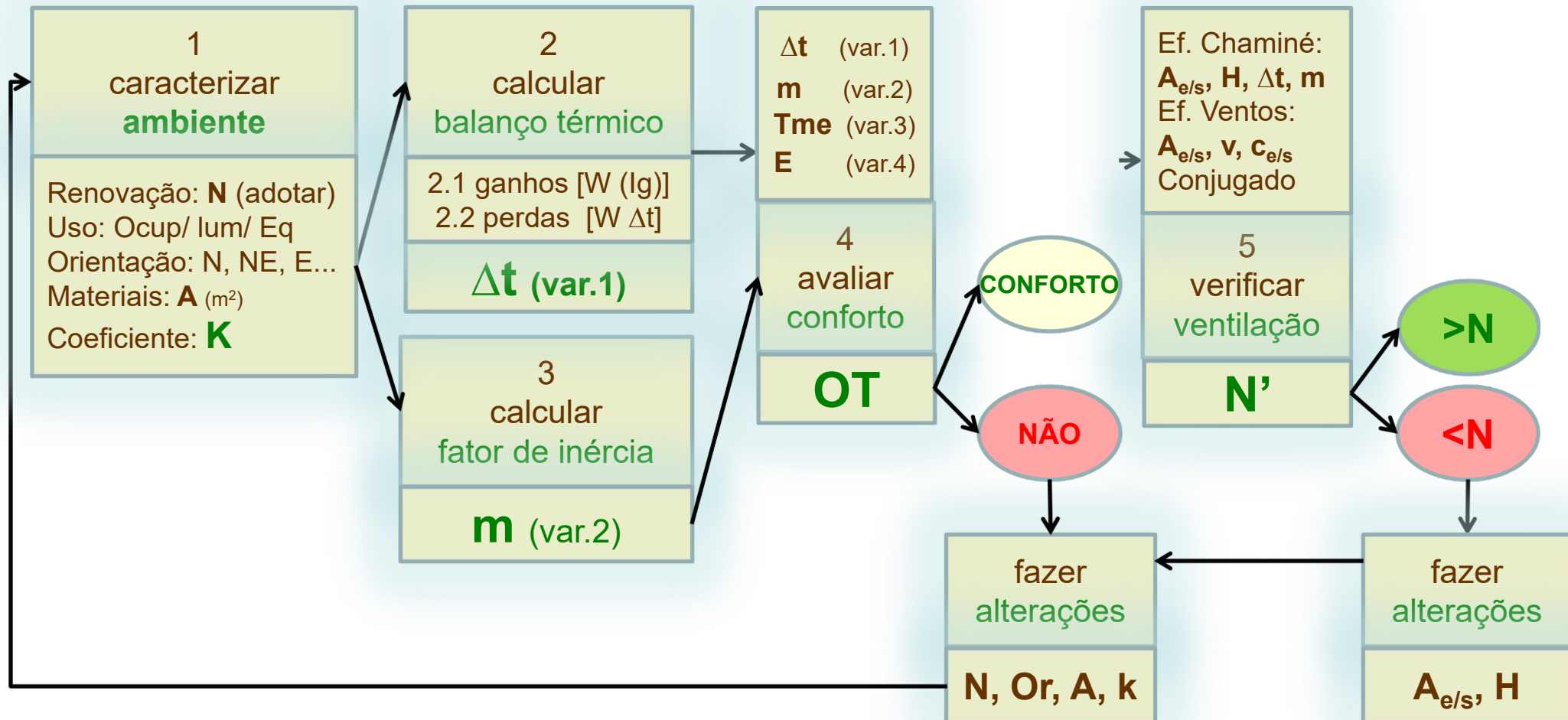
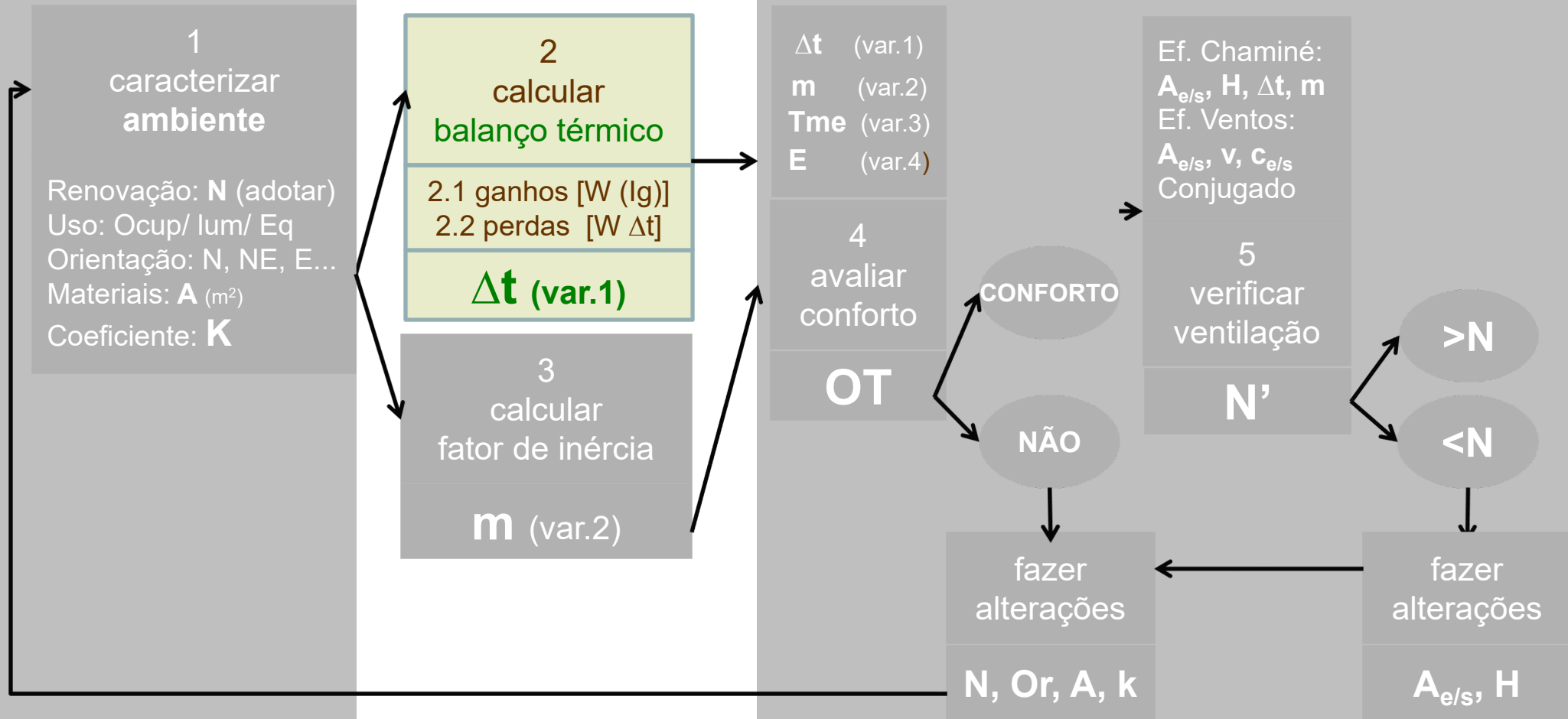


Balanço Térmico da Edificação

Modelo de cálculo de desempenho térmico da edificação





Cálculo dos ganhos de calor solar

- 1) Cálculos são realizados primeiro em função de I_g (Radiação Solar Incidente)
- 2) Utilizam-se os dados horários de I_g
- 3) Calculam-se os ganhos horários de calor solar
- 4) Verifica-se o maior ganho horário de calor solar (Q_{sol})

Cálculo dos ganhos de calor solar



Edifício no centro de SP
Materiais escuros e vidros desprotegidos



Edifício do Banco Itau / Av. Paulista
Materiais claros e proteção solar dos vidros

Dados de radiação solar incidente

Podem ser medidos ou calculados por meio de equações, sendo função da latitude, da data, da nebulosidade, da poluição do ar e da orientação do plano de incidência.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	108	213	234	194	158	138	124	138	158	194	234	213	108	
SE	239	547	673	578	446	288	107	68	63	58	50	38	20	
E	241	583	746	657	511	309	65	68	63	58	50	38	20	
NE	114	299	412	407	344	225	65	68	63	58	50	38	20	
N	20	38	50	58	63	68	65	68	63	58	50	38	20	
NW	20	38	50	58	63	68	65	225	344	407	412	299	114	
W	20	38	50	58	63	68	65	309	511	657	746	583	241	
SW	20	38	50	58	63	68	107	288	446	578	673	547	239	
H	73	289	567	801	985	1105	1140	1105	985	801	567	289	73	

Dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m²).

Latitude: 20° Sul.

Fonte: Gonçalves (1995) e LNEC.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	108	213	234	194	158	138	124	138	158	194	234	213	108	
SE	239	547	673	578	446	288	107	68	63	58	50	38	20	
E	241	583	746	657	511	309	65	68	63	58	50	38	20	
NE	114	299	412	407	344	225	65	68	63	58	50	38	20	
N	20	38	50	58	63	68	65	68	63	58	50	38	20	
NW	20	38	50	58	63	68	65	225	344	407	412	299	114	
W	20	38	50	58	63	68	65	309	511	657	746	583	241	
SW	20	38	50	58	63	68	107	288	446	578	673	547	239	
H	73	289	567	801	985	1105	1140	1105	985	801	567	289	73	

	0	28	45	53	60	65	68	65	60	53	45	28	0	março 22 / setembro 22
S	0	28	45	53	60	65	68	65	60	53	45	28	0	
SE	219	537	668	573	443	285	110	65	60	53	45	28	0	
E	221	573	741	652	508	306	68	65	60	53	45	28	0	
NE	94	289	407	402	341	222	68	65	60	53	45	28	0	
N	88	203	229	189	155	135	127	135	155	189	229	203	88	
NW	0	28	45	53	60	65	68	222	341	402	407	289	94	
W	0	28	45	53	60	65	68	306	508	652	741	573	221	
SW	0	28	45	53	60	65	110	285	443	573	668	537	219	
H	0	157	439	686	897	1025	1071	1025	897	686	439	157	0	

	—	13	35	45	50	55	58	55	50	45	35	13	—	junho 21
S	—	13	35	45	50	55	58	55	50	45	35	13	—	
SE	—	65	127	75	50	55	58	55	50	45	35	13	—	
E	—	163	425	524	439	267	58	55	50	45	35	13	—	
NE	—	174	495	693	711	633	501	334	161	45	35	13	—	
N	—	90	295	485	596	661	685	661	596	485	295	90	—	
NW	—	13	35	45	161	334	501	633	711	693	495	174	—	
W	—	13	35	45	50	55	58	267	439	524	425	163	—	
SW	—	13	35	45	50	55	58	55	50	45	35	13	—	
H	—	43	201	430	614	737	776	737	614	430	201	43	—	

Dados de Radiação Solar Incidente (Ig) (W/m²). Latitude: 20° Sul

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	114	208	195	151	106	74	63	74	106	151	195	208	114	
SE	255	560	615	549	410	244	63	68	63	58	50	40	20	
E	276	608	704	659	511	311	63	68	63	58	50	40	20	
NE	121	323	410	417	349	235	65	68	63	58	50	40	20	
N	20	40	50	58	63	68	66	68	63	58	50	40	20	
NW	20	40	50	58	63	68	65	235	349	417	410	323	121	
W	20	40	50	58	63	68	63	311	511	659	704	608	276	
SW	20	40	50	58	63	68	63	244	410	549	615	560	255	
H	81	317	575	811	990	1108	1138	1108	990	811	575	317	81	

	0	28	45	53	60	63	63	63	60	53	45	28	0	março 22 / setembro 22
S	0	28	45	53	60	63	63	63	60	53	45	28	0	
SE	16	288	386	313	163	63	63	63	60	53	45	28	0	
E	23	441	673	667	531	316	63	63	60	53	45	28	0	
NE	16	351	591	661	624	513	341	155	60	53	45	28	0	
N	0	73	190	290	386	446	453	446	386	290	190	73	0	
NW	0	28	45	53	60	155	341	513	624	661	591	351	16	
W	0	28	45	53	60	63	63	316	531	667	673	441	23	
SW	0	28	45	53	60	63	63	63	163	313	386	288	16	
H	0	155	418	667	751	983	1029	983	751	667	418	155	0	

	—	8	30	45	50	53	55	53	50	45	30	8	—	junho 21
S	—	8	30	45	50	53	55	53	50	45	30	8	—	
SE	—	36	112	56	50	53	55	53	50	45	30	8	—	
E	—	90	395	501	424	261	55	53	50	45	30	8	—	
NE	—	96	478	679	708	643	515	349	180	45	30	8	—	
N	—	51	289	485	607	679	705	679	607	485	289	51	—	
NW	—	8	30	45	180	349	515	643	708	679	478	96	—	
W	—	8	30	45	50	53	55	261	424	501	395	90	—	
SW	—	8	30	45	50	53	55	53	50	45	30	8	—	
H	—	21	182	395	573	675	716	675	573	395	182	21	—	

Dados de Radiação Solar Incidente (Ig) (W/m²). Latitude: 23°30' Sul

Ganhos de calor gerados internamente

- **Pessoas**
- **Iluminação artificial**
- **Equipamentos**

Pessoas

Considerar
só calor sensível

Atividade	Calor Metabólico	Calor Sensível	Calor Latente
durante o sono (basal)	80	40	40
sentado, em repouso	115	63	52
em pé, em repouso	120	63	57
sentado, cosendo à mão	130	65	65
escritório (atividade moderada)	140	65	75
em pé, trabalho leve	145	65	80
datilografando rápido	160	65	95
lavando pratos	175	65	110
confeccionando calçados	190	65	125
andando	220	75	145
trabalho leve, em bancada	255	80	175
garçom	290	95	195
descendo escada	420	140	280
serrando madeira	520	175	345
nadando	580	—	—
subindo escada	1280	—	—
esforço máximo	870 a 1400	—	—

Calor cedido ao ambiente (W),
segundo a atividade desenvolvida pelo indivíduo
Fonte: Mesquita, 1977

Iluminação Artificial

Considerar
lâmpada + reator



Considerar:

- Incandescente: 100% da potência
- Fluorescente com reator convencional: 125% da potência
- Fluorescente com reator eletrônico: 110% da potência
- Sistemas em LED 100% da potência

Equipamentos

Função de aquecimento,
considerar 100% da potência
nominal

Demais equipamentos,
considerar 60% da potência
nominal

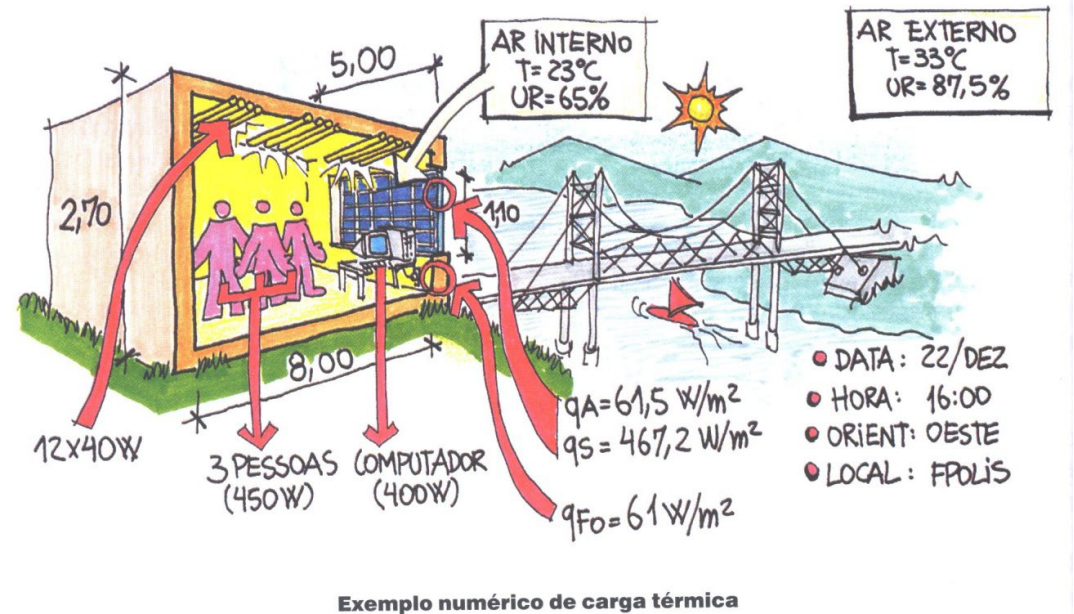
Potências (W) aproximadas
de aparelhos eletrodomésticos

Aparelhos	Potência (W)
Aquecedor elétrico (tipo residencial)	1000 a 1500
Aquecedor elétrico (tipo comercial)	2000 a 6000
Ar-condicionado portátil (1 HP)	1200
Ar-condicionado portátil (2 HP)	2400
Aspirador de pó	250 a 800
Barbeador	8 a 12
Cafeteira	500 a 2000
Chuveiro elétrico	1500 a 4000
Exaustor	300 a 500
Ferro elétrico	400 a 850
Ferro elétrico a vapor	660 a 1200
Fogão elétrico	4000 a 6000
Geladeiras comerciais ($\frac{1}{2}$ a 1 HP)	450 a 1000
Geladeiras domésticas	150 a 300
Irradiador de calor	500 a 1000
Lavadora de pratos	600 a 1000
Lavadora de roupas	600 a 800
Liquidificador	120 a 250
Máquina de costura	60 a 90
Rádio	40 a 150
Secador de cabelos	350 a 1200
Secadora de roupas	4000 a 5000
Televisão	200 a 400
Torradeira	500 a 1200
Ventilador portátil	50 a 200

Total de ganhos de calor

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{sol}} + Q_p + Q_{\text{il}} + Q_{\text{eq}}$$

- Solar (Q_{sol})
- Pessoas (Q_p)
- Iluminação artificial (Q_{il})
- Equipamentos (Q_{eq})



LAMBERTS, Roberto, et al. *Eficiência Energética na Arquitetura*.
3ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

Total de perdas de calor

$$Q'_{\text{tot}} = Q'_1 + Q'_2 + \dots + Q'_n + Q'_{\text{vent}}$$

- Pelas superfícies ($Q'_1, Q'_2 \dots Q'_n$)
- Pela ventilação (Q'_{vent})

Carga térmica transferida pela ventilação

$$Q_{\text{vent}} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t \quad (\text{W})$$

0,35: calor específico × densidade do ar (W/m³°C);

N: taxa de renovação horária do ar do recinto (1/h);

V: volume do recinto (m³)

Δt: diferença entre a temperatura do ar interno e externo (°C).

A renovação do ar dos ambientes pode ocasionar **ganho de calor (se $t_e > t_i$)** ou **perda de calor (se $t_e < t_i$)**.

No cálculo das cargas térmicas, adota-se uma taxa de renovação (N) adequada ao ambiente para depois dimensionar as aberturas.

Valores de referência (N):

- 6 para quarto ou sala
- 8 para biblioteca
- 10/12 para sala de aula
- 16/18 para escritório ou indústria leve
- 20 ou mais para indústrias pesadas

Balanço térmico

ganhos de calor = perdas de calor (perdas em função de Δt)

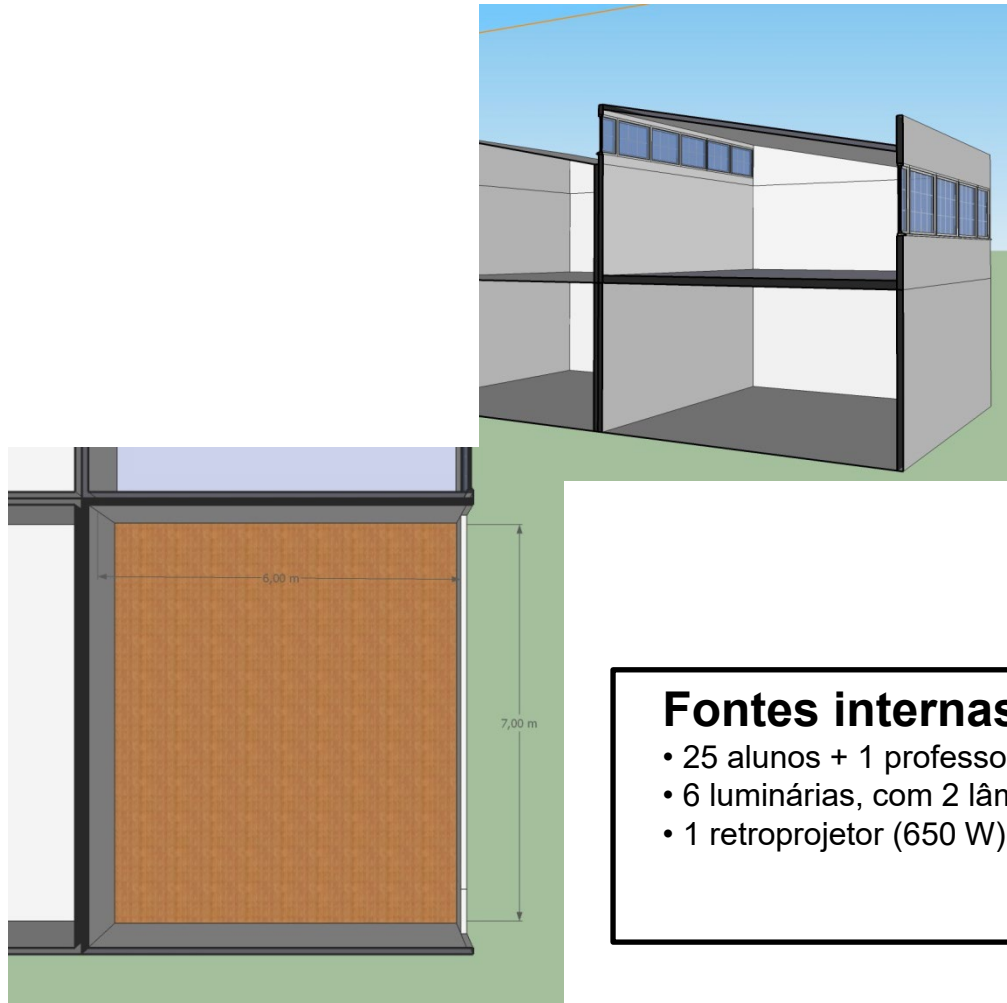
$$Q_{\text{tot}} = Q'_{\text{tot}} \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = Q_{\text{tot}} / Q'_{\text{tot}}$$

Balanço Térmico da Edificação

Exercício

Analisar o desempenho térmico, no solstício de verão, da sala de aula 1, situada em **Belo Horizonte**, latitude **19° 56'**, segundo croquis (sem obstruções próximas).



Áreas	• Cobertura..... 42,0 m² • Fachada SW 16,8 m² • - Parede.. 9,6 m² • - Janela... 7,2 m² • Fachada NW... 18,0 m² • Shed NE..... 4,2 m² • Parede NE.. 16,8 m² • Parede SE... 16,0 m² (2m² porta) • Piso 42,0 m² • Cobertura..... 42,0 m²
Volume	- Recinto 126,0 m ³

Fontes internas de calor:

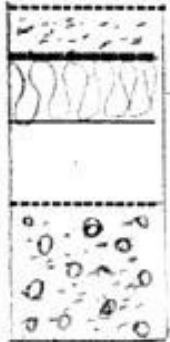
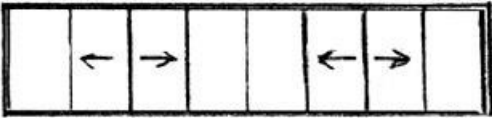
- 25 alunos + 1 professora (65W por pessoa - calor sensível)
- 6 luminárias, com 2 lâmpadas fluorescentes cada, reator eletrônico (28 W por lâmpada)
- 1 retroprojektor (650 W)

Sistemas construtivos

- **Paredes:** externas placa concreto armado $e = 8 \text{ cm}$, sem revestimento $\alpha = 0,8$
- **Paredes:** internas idem, com revestimento cortiça placa granulado ($d = 100 \text{ kg/m}^3$), $e = 1,5 \text{ cm}$
- **Cobertura:** laje concreto armado, espaço ar confinado, placa concreto celular (600 kg/m^3), argamassa cimento ($d = 1.600 \text{ kg/m}^3$), cor externa $\alpha = 0,9$.
- **Piso:** laje concreto armado $e = 0,10 \text{ m}$, taco cedro $e = 0,02 \text{ m}$
- **Janela:** $6,0 \times 1,2 \text{ m}$, vidro comum, $e = 0,004 \text{ m}$
- **Shed:** veneziana fiberglass $\text{Str} = 0,65$, $e = 1 \text{ mm}$, $\lambda = 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, rendimento 30% (abertura para ventilação) e brise mais anteparo contra o vento, ambos translúcidos $\text{Str} = 0,7$.

Sistemas construtivos

Cálculo do K

	Paredes Concreto armado	$\alpha = 0,8$ $e = 0,08 \text{ m}$ $\lambda = 1,75 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $l/h_i + l/h_e = 0,17 \text{ m}^2\text{C/W}$ $1/K = (1/h_e + 1/h_i) + e/\lambda = 0,17 + 0,08/1,75 \rightarrow$ <u>$K = 4,64 \text{ W/m}^2\text{C}$</u> $1/K = 0,2157$
	Cobertura Argamassa cimento Placa concreto celular Espaço de ar confinado Laje concreto armado Para ganhos de calor Para perdas de calor	$\alpha = 0,9$ $e = 0,04 \text{ m}$ $\lambda = 0,65 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $e = 0,05 \text{ m}$ $\lambda = 0,50 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $e = 0,04 \text{ m}$ $R_{ar} = 0,16$ $e = 0,08 \text{ m}$ $\lambda = 1,75 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $l/h_i + l/h_e = 0,22 \text{ m}^2\text{C/W}$ para ganhos: $1/K = 0,22 + 0,04/0,65 + 0,05/0,5 + 0,16 + 0,08/1,75 \rightarrow$ <u>$K = 1,70 \text{ W/m}^2\text{C}$</u> $1/K = 0,5873$ $l/h_i + l/h_e = 0,14 \text{ m}^2\text{C/W}$ para perdas: $1/K = 0,14 + 0,04/0,65 + 0,05/0,5 + 0,16 + 0,08/1,75 \rightarrow$ <u>$K = 1,97 \text{ W/m}^2\text{C}$</u> $1/K = 0,5073$
Janela 		$Str = 0,86$ $e = 0,004 \text{ m}$ $\lambda = 0,8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $l/h_i + l/h_e = 0,17$ $1/K = 0,17 + 0,004/0,8 = 0,175 \text{ m}^2\text{C/W} \rightarrow$ <u>$K = 5,71 \text{ W/m}^2\text{C}$</u>
Shed		$Str = 0,65$ $e = 0,001 \text{ m}$ $\lambda = 0,8 \text{ W/m}^2\text{C}$ $l/h_i + l/h_e = 0,17$ $1/K = 0,17 + 0,001/0,8 = 0,1713 \text{ m}^2\text{C/W} \rightarrow$ <u>$K = 5,84 \text{ W/m}^2\text{C}$</u>

Ganhos de calor pela envoltória

Materiais e sistemas construtivos

Opacos	Elemento	$A \cdot 1/h_e \cdot \alpha \cdot K \cdot I_g$					
	Cobertura	42,0	0,05	0,9	1,70	I_g	$Q = 3,213 I_g W$
	Parede SW	9,6	0,05	0,8	4,64	I_g	$Q = 1,781 I_g W$
	Parede NW	18,0	0,05	0,8	4,64	I_g	$Q = 3,341 I_g W$
Translúcidos	Elemento	$A \cdot Str \cdot I_g$					
	Janela SW	7,2	0,86			I_g	$Q = 6,192 I_g W$
	Shed NE	4,2	0,65			I_g	$Q = 2,730 I_g W$

Ganho de calor

Materiais e componentes construtivos - Tabela Ig

Tabela Sala 1	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Pl. Horiz., Ig W/m ²	73	289	567	801	985	1105	1140	1105	985	801	567	289	73
Cobertura Q ₁ = 3,213 Ig W	235	929	1822	2574	3165	3550	3663	3550	3165	2574	1822	929	235
Fach. SW, Ig W/m ²	20	38	50	58	63	68	107	288	446	578	673	547	239
Parede Q ₂ = 1,781 Ig W	36	68	89	103	112	121	191	513	795	1030	1199	975	426
Envidraçado Q ₃ = 6,192 Ig W	124	235	310	359	390	421	663	1783	2762	3579	4167	3387	1480
Fach. NW, Ig W/m ²	20	38	50	58	63	68	65	225	344	407	412	299	114
Parede Q ₄ = 3,341 Ig W	67	127	167	194	210	227	217	752	1149	1360	1376	999	381
Fach. NE, Ig W/m ²	114	299	412	407	344	225	65	68	63	58	50	38	20
Shed Q ₅ = 2,730 Ig W	311	816	1125	1111	939	614	177	186	172	158	137	104	55
Totais/Hora (W)	772	2175	3512	4341	4817	4934	4911	6784	8043	8701	8703	6393	2576

Maior ganho horário de calor solar

Qsol= 8.703 W

Ganhos de calor gerado internamente

Ocupação

Pessoas	26 X 65W	Qe = 1690 W
Iluminação Artificial	6 lum X 2 Lâmp X 28 W X 1,1 (reator eletr.)	Qil = 370 W
Equipamentos	650 W (retroprojektor)	Qeq= 650 W

Ganho de Calor Total

$$Q_{\text{sol}} \quad Q_{\text{e}} \quad Q_{\text{il}} \quad Q_{\text{eq}} \quad Q_{\text{tot}}$$

$$8703 + 1690 + 370 + 650 = 11.414 \text{ W}$$

Perda de calor pela envoltória (em função de Δt)

Sistemas construtivos

Elemento	Área	X	K	X	Δt
Cobertura	42,0	1,97	Δt	$Q_1' = 82,74$	Δt W
Parede SW + NW	27,6	4,64	Δt	$Q_2' = 128,06$	Δt W
Envidraçado	7,2	5,71	Δt	$Q_3' = 41,11$	Δt W
Shed	4,2	5,84	Δt	$Q_4' = 24,52$	Δt W

Perda de Calor pela Ventilação

$$Q_5' = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$$

$$N = 12 \text{ 1/h (valor adotado)}$$

$$Q_5' = 0,35 \cdot 12 \cdot 126 \cdot \Delta t$$

$$Q_5' = 529,2 \Delta t \text{ W}$$

Perda de Calor Total

$$Q'_1 \quad Q'_2 \quad Q'_3 \quad Q'_4 \quad Q'_5 \quad Q'_{\text{tot}}$$

$$82,74\Delta t + 128,06\Delta t + 41,11\Delta t + 24,52\Delta t + 529,2\Delta t = 805,64\Delta t \text{ W}$$

Balanço Térmico

$$Q_{\text{tot}} = Q'_{\text{tot}} \Delta t$$

$$11414 \text{ W} = 805,64 \Delta t \text{ W}$$

$$\Delta t = \frac{11414 \text{ W}}{805,64 \text{ W}}$$

$$\Delta t = 14,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

