

# **Trabalho Laboratorial**

Transmissão de calor por radiação e  
por convecção

# 1. Radiação térmica

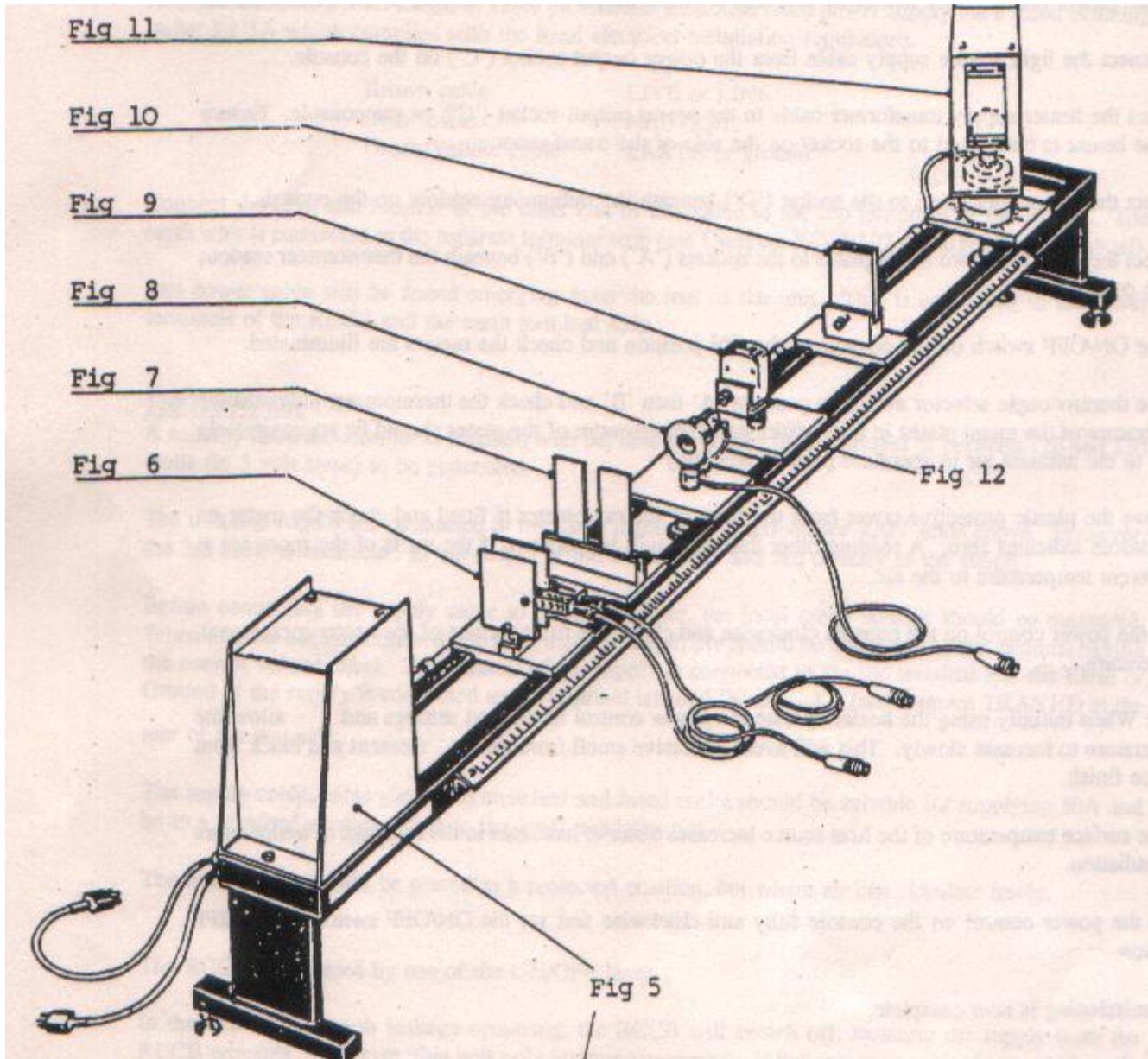
A radiação térmica é uma forma de transferência de calor que difere significativamente das outras formas, pois a transferência da energia radiante ocorre no vácuo através da propagação de ondas electromagnéticas. A unidade de radiação térmica consiste num par de fontes de radiação de calor e de luz, ligados electricamente, junto com uma variada gama de objectivas e instrumentos de medição. Esta unidade foi projectada para demonstrar as leis fundamentais relacionadas com a radiação, por meio de realização de uma serie de experiencias.

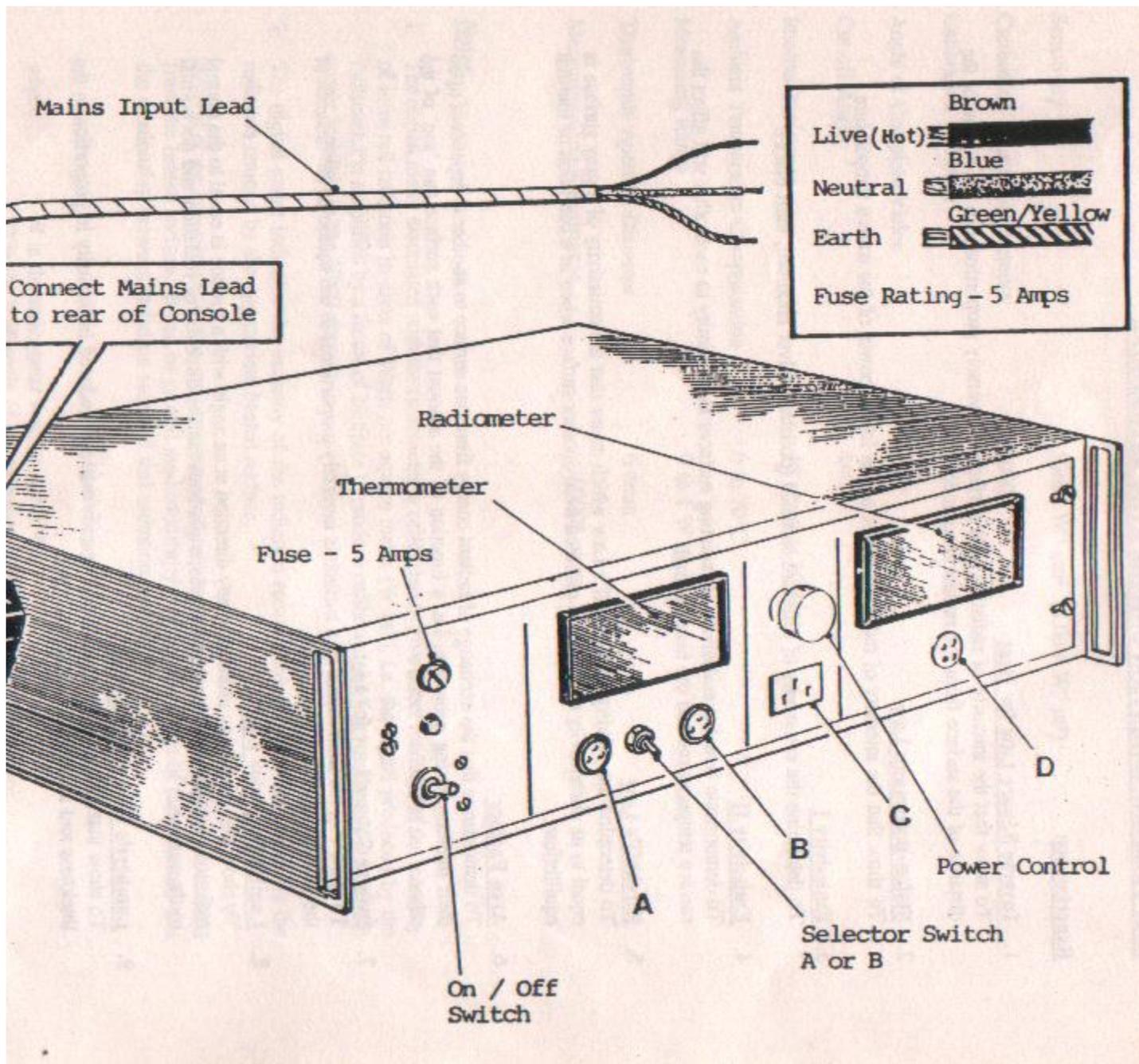
# Radiação térmica

A unidade de radiação térmica consiste de uma base montada num banco horizontal, provida de uma fonte de calor num extremo e uma fonte de luz noutra. Entre as fontes tem-se um detector de radiação térmica e um medidor de luz. Além destes aparelhos tem-se uma serie de acessórios com fins experimentais como:

- 3 Placas metálicas (negra, anodizada e polida) com pares térmicos acoplados;
- Placas duplas metálica isolantes que formam abertura;
- Filtros acrílicos (pálido, médio e escuro);
- Suportes onde serão colocados os detectores e os acessórios;
- Uma régua com uma escala reversível que vai permitir pôr os suportes a distancia pretendida.

A potência é administrada por uma consola de instrumentação. Um transformador administra a tensão para a fonte de calor.





## 1.2 Resumo da teoria

Lei de Stefan-Boltzman

$$q_b = \varepsilon \cdot \alpha (T_s^4 - T_A^4)$$

$$q_b = 5,59 \times R \quad \text{tendo em conta a leitura do radiometro}$$

Lei de Lambert

$$I_\Phi = I_N \cdot \cos \Phi$$

Intensidade luminosa

$$I = I_o \cdot e^{-\alpha \cdot \chi}$$

## 1.3 Lei inversa do quadrado para o calor

*Objectivo:*

Demonstrar que a intensidade de radiação de uma superfície é inversamente proporcional ao quadrado da distancia da superfície da fonte de radiação.

*Dados de Partida:*

- Distância do radiómetro:  $X = 100 \text{ mm}$
- Potência:  $P_{\text{max}}$

# 1.4.1 Resultados

*Leituras a fazer*

Grave as leituras do radiómetro (R) e a distância da fonte de calor (X) para um numero de posições do radiómetro ao longo da linha horizontal

Lidos

Distância X(mm)	100						
L. do Radiómetro R ( $Wm^{-2}$ )							

Calculados

Log10 X	2.000						
Log10							

Plotar o gráfico dos dados calculados

# 1.5 Lei de Steffan-Boltzman

*Objetivos:*

Demonstrar que a intensidade de radiação varia como a quarta potencia da fonte de temperatura.

*Acessórios a usar:* Placa negra

*Dados iniciais:*

- Distância do radiómetro:  $X = 110 \text{ mm}$
- Distância da placa negra:  $Y = 50 \text{ mm}$

## 1.5.1 Leituras a serem feitas

Grave a leitura das temperaturas (T) e as leituras do radiómetro (R) às condições ambientais e depois para incrementos seleccionados da temperatura até o máximo, dentro de uma faixa praticável. Ambas as leituras de um determinado ponto devem ser anotadas simultaneamente.

# 1.5.2 Resultados

Leituras				Calculados	
Leitura da temperatura (T <sub>s</sub> )	Leitura do Radiómetro R	T <sub>s</sub>	T <sub>A</sub>	qb=5,49xR	qb=σ(T <sub>s</sub> <sup>4</sup> -T <sub>A</sub> <sup>4</sup> )
°C	Wm <sup>-2</sup>	K	K	Wm <sup>-2</sup>	Wm <sup>-2</sup>

Plotar o gráfico dos dados calculados

## 1.6 Potência de emissão I

*Objectivos:*

Determinar a emissividade de diferentes superfícies (Placa polida e placa anodizada prateada e placa preta de malte ).

*Dados iniciais:*

- Distância do radiómetro:  $X = 110$  mm;
- Distância da fonte de calor as Placas:  $Y = 50$  mm.

## 1.6.1 Leituras a serem feitas

Instale a placa polida no suporte.

Varie a potência da fonte de calor e registre a temperatura da placa de metal ( $T_s$ ) e do radiômetro ( $R$ ) para várias configurações

Repita o procedimento para a placa anodizada prata e a placa preta malte.

# 1.6.2 Resultados

Para cada placa por separado:  $K = \text{ }^\circ\text{C} + 273$

Temperatura ambiente =  $19 \text{ }^\circ\text{C}$

Leituras				Calculados	
Leitura da temperatura (Ts)	Leitura do radiómetro R	Ts	Ta	$q_b = 5,59 \times R$	$E = q_b / \sigma(T_s^4 - T_A^4)$
$^\circ\text{C}$	$\text{Wm}^{-2}$	K	K	$\text{Wm}^{-2}$	$\text{Wm}^{-2}$

Plotar o gráfico dos dados calculados

# 1.7 Potência de Emissividade II

## *Objetivos:*

Demonstrar como a emissão das superfícies radiantes próximas umas das outras afetam a temperatura da superfície e o calor emitido.

## *Dados iniciais:*

- Distância do radiômetro da fonte de calor  $X = 110$  mm (1 Placa)  
e  $X = 130$  mm (2 Placas)
- Distância das placas à fonte  $Y = 50$  mm

## 1.7.1 Leituras a serem feitas

Registe a temperatura de cada placa de metal ( $T$ ) e as leituras do radiômetro ( $R$ ) para as combinações A, B, C, D e E das placas de metal preto e polido. Para facilitar a comparação dos resultados, sugere-se que o controle de potência na consola do instrumento seja ajustado para o máximo para cada combinação.

Deixe tempo suficiente para atingir o equilíbrio térmico em cada teste antes de anotar as várias leituras.

## 1.7.2 Resultados

Tipo	Temperatura da placa 1	Temperatura da placa 2	Leitura do radiómetro (R)	Combinação das Placas
	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$W.m^{-2}$	
A		-----		Negra somente
B		-----		Polida somente
C				Negra para a polida
D				Negra para a negra
E				Polida para a negra

# 1.8 Factor de Forma

## *Objectivos:*

Demonstrar o intercambio da energia radiante de uma superfície para outra dependendo da sua geometria de interconexão.

*Acessórios:* Placa negra e placa de abertura.

## *Dados iniciais:*

- Distância do radiómetro a fonte  $X = 300$  mm
- Distância da placa de abertura  $Y = 200$  mm

*Nota:* a placa negra deverá estar a 50 mm da fonte, a placa de abertura deve ser movida considerando a sua localização como sendo o ponto 0 e no sentido de se aproximar à placa negra.

## 1.8.1 Leituras a serem feitas

Quando a temperatura da placa preta (T) atingir um valor estável, registre as leituras do radiômetro (R) numa faixa de aberturas de 60 mm até zero em etapas de 5 mm. Deve-se tomar cuidado ao definir as aberturas para garantir que as placas estejam igualmente dispostas em ambos os lados da linha central da pista. Certifique-se de que as placas estejam verticais e bem presas antes de fazer as leituras do radiômetro.

## 1.8.2 Resultados

Temperatura da placa negra (T)= °C

Abertura mm	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Leitura do Radiómetro (R)													

Com base nos resultados plotar o gráfico da abertura em função do radiómetro

# 1.9 Lei inversa do quadrado para a luz

*Objectivo:*

Demonstrar que a iluminação de uma superfície é inversamente proporcional ao quadrado da distancia da superfície da fonte de luz.

*Dados de Partida:*

- Distância do medidor de luz:  $X = 100 \text{ mm}$
- Potência: Máxima

*Leituras a serem feitas*

Registe as leituras do medidor de luz (E) e a distância da fonte de luz (X) para várias posições do medidor de luz ao longo da trilha horizontal

# 1.9.1 Resultados

Lidos

Distancia X(mm)	100						
L. Do medidor de luz ( E)							

Calculados

Log10	X	2.000					
Log10	E						

Com base nos resultados plotar o respectivo gráfico

# 1.10 Lei dos co-senos de Lambert

*Objectivo:*

Demonstrar que a energia radiada em qualquer direcção a um ângulo com a superfície, é igual a radiação normal multiplicada pelo co-seno do ângulo entre a direcção da radiação e a normal à superfície.

*Dados iniciais:*

Distância desde a fonte de luz ao medidor  $X = 100$  mm

*Leituras a serem feitas:*

Registe as leituras do medidor de luz (E) em intervalos de  $10^\circ$  para cada ângulo da fonte de luz em relação à pista entre os limites de  $\pm 90^\circ$  da linha central da pista

# 1.10.1 Resultados

Ângulo por cima da linha central ( $\Phi^\circ$ )	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Leitura do medidor de luz (lux)										

Ângulo de baixo da línea centra ( $\Phi^\circ$ )	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Leitura do medidor de luz (lux)										

# 1.11 Lei de Absorção de Lambert

*Objectivos:*

Demonstrar que a intensidade da luz atravessa uma matéria não opaca se reduz em proporção e absorvência do material.

*Acessórios:* Placas de filtro com 3 tonalidades: Pálida, médio e escura.

*Dados iniciais:*

- Distância da fonte a placa de filtro  $X = 100$  mm.
- Distância da fonte ao contador  $Y = 200$  mm

## 1.11.1 Leituras a serem feitas

Registe as leituras do medidor de luz, primeiro sem filtros na posição e depois com cada um dos filtros de densidade óptica crescente em sucessão. Repita este procedimento, mas usando espessuras maiores de filtros com a mesma densidade óptica, ou seja, o material de média densidade.

## 1.11.2 Resultados

a) Demonstração da densidade óptica variável

Tipo de filtro	Sem filtro	pálido	médio	escuro
Leitura do contador de luz (lux)				

b) Variação da espessura do filtro

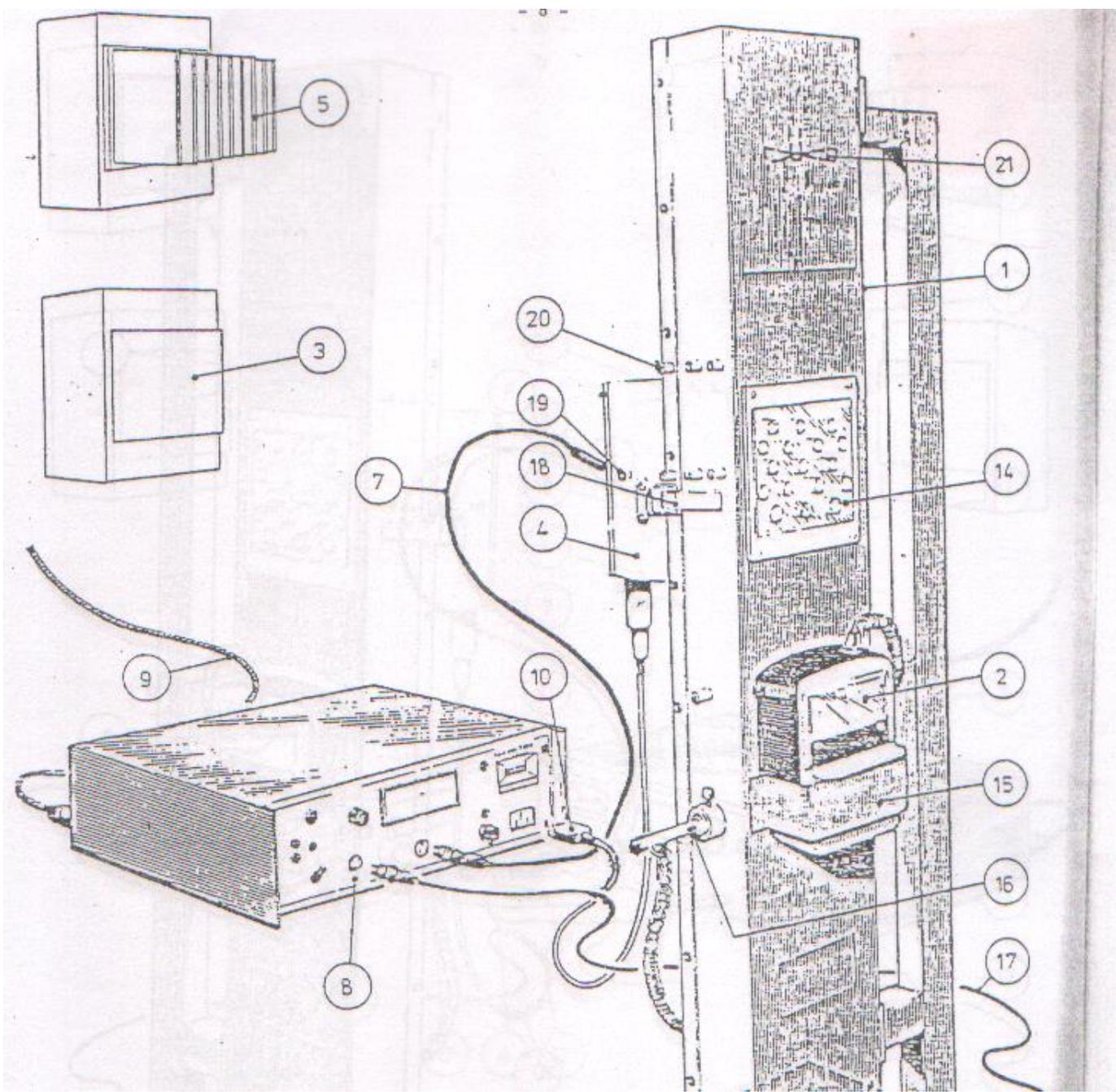
Espessura do filtro (mm)	0	3	6	9
Leitura do contador de luz (lux)				

## 2. Convecção livre e forçada (I)

A transferência de calor por condução e convecção, simultâneas sendo esta última livre ou forçada, são a base de muitos termopermutadores industriais e outros equipamentos relacionados. A medição e a precisão do coeficiente global de transferência de calor para tais equipamentos são obtidas em unidades experimentais, estudando os perfis de temperatura e fluxo de calor em tubos de ar, com superfícies de transferência associadas, planas e estendidas.

## 2. Convecção livre e forçada (II)

Uma consola independente montada sobre uma mesa de trabalho, contem circuitos de controlo para medição de temperatura, controlo eléctrico, e controlo da velocidade do ventilador com instrumentos adequados. A medição da temperatura é feita usando sensores termistores. Usando instrumentos previstos, os coeficientes de termotransferencia podem ser determinados para uma superfície plana; uma combinação de cilindros (dissipador térmico espigado); e para uma combinação de alhetas (dissipador térmico de alhetas).



## 2.1 Demonstração da relação entre a entrada de corrente e temperatura da superfície na convecção livre

## 2.1.1 Leituras a serem feitas

Coloque o trocador de calor alhetado no ducto de teste. Registre a temperatura do ar ambiente ( $t_A$ ). Regule o controle da potência do aquecedor para 20 Watts. Aguarde tempo suficiente para atingir a condição de estado estacionário antes de ler a temperatura da placa aquecida ( $t_H$ ). Repita este procedimento para 40, 60 e 80 Watts.

## 2.1.2 Resultados

Resultados: Temperatura ambiente do ar  $t_A = \text{°C}$

Potência de entrada W	Temperatura da resistência ( $t_H$ ) °C	$t_H - t_A$ °C)
20		
40		
60		
80		

Plotar o gráfico da energia em função da temperatura da superfície

## 2.2 Demonstrar a relação entre a entrada da corrente e a temperatura da superfície na convecção forçada

## 2.2.1 Leituras a serem feitas

Coloque o trocador de calor alhetado no ducto de teste. Registre a temperatura do ar ambiente ( $t_A$ ). Defina o controle de potência do aquecedor para 50 Watts. Aguarde tempo suficiente para atingir a condição de estado estacionário antes de observar a temperatura da placa aquecida ( $t_H$ ). Defina o controle de velocidade do ventilador para dar uma leitura de 0,5 m/s no anemômetro térmico, permitindo tempo suficiente para atingir condições de estado estacionário. Registre as temperaturas das placas aquecidas. Repita este procedimento a 1 m/s e 1,5 m/s.

## 2.2.2 Resultados

Resultados: Temperatura ambiente do ar  $t_A$  = °C

Incremento de Potência eléctrica = Watts

Velocidade do ar m/s	Temperatura da resistência ( $t_H$ ) °C	$t_H - t_A$ °C
0		
0,5		
1,0		
1,5		

Plotar o gráfico da velocidade em função da temperatura da superfície

## 2.3 Demonstração do uso de superfícies estendidas para melhorar a transferência de calor desde a superfície

## 2.3.1 Leituras a serem feitas

Coloque o trocador de calor aletado no duto de teste. Registre a temperatura do ar ambiente ( $t_A$ ). Defina o controle de potência do aquecedor para 75 Watts. Deixe a temperatura subir para 80 °C, então ajuste o controle de potência do aquecedor para 20 Watts até obter uma leitura estável. Registre a temperatura da placa aquecida ( $t_H$ ). Defina o controle de velocidade do ventilador para fornecer 1 m/s usando o anemômetro térmico. Repita este procedimento a 2 e 2,5 m/s para a placa plana. Substitua a placa plana pela placa aletada e repita o experimento. Substitua a placa com aletas pela placa com pinos e repita o experimento..

## 2.3.2 Resultados

Resultados: Temperatura ambiente do ar ( $T_a$ ) = °C

Potência de entrada = 20 Watts

Velocidade do ar m/s	Temperatura do aquecedor ( $T_H$ ) °C	$T_h - T_a$ (°C)
0		
1,0		
2,0		
2,5		

Plotar o gráfico da velocidade em função da temperatura da superfície para cada lamina

## 2.4 Determinar a distribuição da temperatura ao longo de uma superfície estendida

## 2.4.1 Leituras a serem feitas

Meça a partir da placa traseira as distâncias dos três orifícios de acesso ao trocador de calor com pinos e alhetas. Coloque o trocador de calor com pinos no ducto. Registre a temperatura do ar ambiente ( $t_A$ ). Regule o controle de potência do aquecedor para 60 Watts. Aguarde tempo suficiente para atingir as condições de estado estacionário antes de registrar a temperatura da placa aquecida ( $t_H$ ). Insira a sonda de temperatura no ducto através do orifício mais próximo da placa aquecida, certificando-se de que a ponta da sonda esteja em contacto com a mesma. Uma pequena quantidade de composto condutor de aquecimento na ponta garantirá um bom contacto térmico. Observe esta temperatura ( $t_1$ ). Registre as temperaturas dos pinos ( $t_2$  e  $t_3$ ) usando os dois orifícios restantes. Repita este procedimento a 1,0 m/s e 2,0 m/s.

Remova o trocador de calor com pinos e substitua-o pelo trocador de calor com alhetas. repita o experimento completo.

# 2.4.1 Resultados

Resultados: Temperatura ambiente do ar = °C  
                  entrada de corrente eléctrica = Volts  
                  distancia perto do furo = mm  
                  distancia media do furo = mm  
                  distancia longe do furo = mm

Velocidade de ar m/s	Temperatura °C			
	<i>t</i> <sub>1</sub>	<i>t</i> <sub>2</sub>	<i>t</i> <sub>3</sub>	<i>t</i> <sub>H</sub>
0				
1,0				
2,0				

Plotar o gráfico da temperatura da superfície em função da distancia

## 2.5 Comparação de uma lamina horizontal e uma vertical em convecção livre

## 2.5.1 Leituras a serem feitas

Coloque o trocador de placas planas horizontalmente numa superfície adequada. Registre a temperatura do ar ambiente ( $t_A$ ). Regule o controle de potência do aquecedor para 15 Watts. A temperatura da superfície da placa plana ( $t_H$ ) pode ser registrada usando a sonda de temperatura. A ponta da sonda é mantida em contacto com a superfície manualmente. Para garantir um bom contacto, deve ser usada massa térmica. Aguarde tempo suficiente para atingir as condições de estado estacionário antes de observar a temperatura da placa aquecida. A temperatura da placa deve ser medida no centro da placa. Coloque a placa plana na vertical, sem tocar com as mãos na superfície aquecida. Repita a experiência.

## 2.5.2 Resultados

Resultados: Temperatura ambiente do ar ( $T_a$ ) =    °C

Entrada de corrente eléctrica =        Watts

	Temperatura da caixa °C	$T_h - T_a$ (°C)
Horizontal		
Vertical		