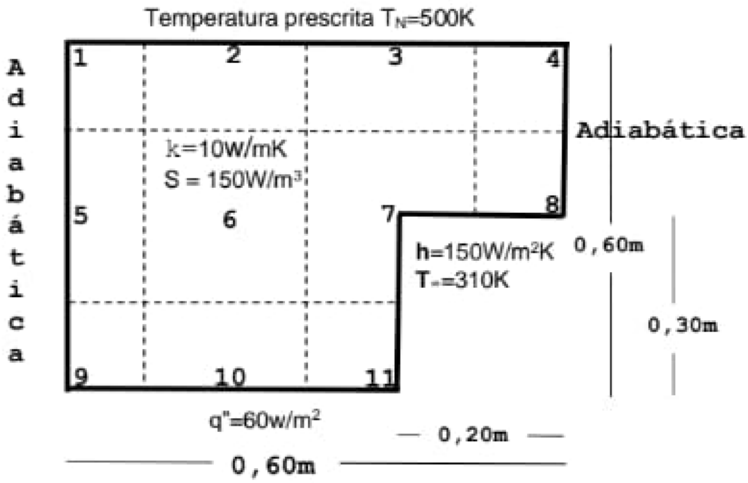
Aluno: Raphael Henrique Braga Leivas
Matrícula: 2020028101
Professor Responsável: Márcio Ziviani

Código fonte LaTeX desse arquivo pode ser visto em meu GitHub pessoal:
https://github.com/RaphaelLeivas/latex/tree/main/TermoComp

1 Questão 1

O diagrama esquemático do problema está exibido na Figura 1.1.

Figura 1.1: Diagrama do problema a ser analisado.



Em regime permanente, o processo de condução na Figura 1.1 possui equação dada por

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right) + S = 0 \tag{1.1}$$

Em que o domínio de solução da equação diferencial parcial de (1.1) é

$$0 < x < 0,6 \text{ m} \quad , \quad 0 < y < 0,6 \text{ m} \tag{1.2}$$

E as condições de contorno são:

- Fronteira oeste: como é adiabática, temos $\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x} = 0$;
- Fronteira norte: como temos tempeartura prescrita, temos $T(y = 0,6) = 500 \text{ K}$;
- Fronteira sul: como temos fluxo prescrito, temos, pela Lei de Fourier, $-k\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}y} = 60 \text{ W/m}^2$
- Fronteira leste, parte inferior $x = 0,4$ m e $0 < y < 0,3$ m, temos conveccção: $-k\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x} = h\left(T(x = 0,4) - T_\infty\right)$;
- Fronteira leste, parte superior $x = 0,6$ m e $0,3 < y < 0,6$ m, temos adiabática: $\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x} = 0$;
- Fronteira leste, parte deitada $y = 0,3$ m e $0,4 < x < 0,6$ m, temos conveccção: $-k\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}y} = h\left(T(y = 0,3) - T_\infty\right)$;

2 Questão 2

Para cada nó exibido na Figura 1.1, aplicamos o balanço de energia para obter as equações de diferenças finitas de cada nó de 1 a 11 da malha. As expressões de cada nó foram retirada da página 218 do livro do Incropera, sexta edição

$$No1: T_5 + T_2 + 2\frac{h\Delta x}{k}T_\infty - 2\left(\frac{h\Delta x}{k} + 1\right)T_1 = 0$$

$$No1: T_5 + T_2 - 6,5T_1 = -1395$$

$$No2: T_1 + T_6 + T_3 - 3T_2 + 500 = 0$$

$$No2: T_1 + T_6 + T_3 - 3T_2 = -500$$

$$NO3: T_2 + T_7 + T_4 - 3T_3 + 500 = 0$$

$$NO3: T_2 + T_7 + T_4 - 3T_3 = -500$$

$$NO3: T_2 + T_7 + T_4 - 3T_3 + 500 = 0$$

$$NO3: T_2 + T_7 + T_4 - 3T_3 = -500$$

$$No4: T_3 + T_8 - 6,5T_4 = -1395$$

$$No5: T_1 + T_6 + T_9 - 3T_5 = 0$$

$$No6: T_2 + T_7 + T_5 - T_{10} - 4T_6 = 0$$

$$No8: T_4 + T_7 - 2T_8 - T_{10} - 4T_6 = 0$$

Com as 11 equações de 11 incógnitas obtidas, temos o sistema linear

3 Referências

INCROPERA, Frank, et. al. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6 ed. John Wilhey & Sons Inc. 2007.

4 Anexo - Código completo em R desenvolvido

```
rm(list = ls())
# dev.off()

# dados do problema
k <- 2.5
W <- 5
H <- 2
L <- 0.25
u_inf <- 3
T_inf <- 300
```

```
q_pres <- 750
T_d <- 350

# propriedades termofisicas
Properties_Table = matrix(
  c(
    100, 3.5562, 71.1 * 10^-7, 2.00 * 10^-6, 9.34 * 10^-3, 0.786,
    150, 2.3364, 103.4 * 10^-7, 4.426 * 10^-6, 13.8 * 10^-3, 0.758,
    200, 1.7458, 132.5 * 10^-7, 7.590 * 10^-6, 18.1 * 10^-3, 0.737,
    250, 1.3947, 159.6 * 10^-7, 11.44 * 10^-6, 22.3 * 10^-3, 0.720,
    300, 1.1614, 184.6 * 10^-7, 15.89 * 10^-6, 26.3 * 10^-3, 0.707,
    350, 0.9950, 208.2 * 10^-7, 20.92 * 10^-6, 30.0 * 10^-3, 0.700,
    400, 0.8711, 230.1 * 10^-7, 26.41 * 10^-6, 33.8 * 10^-3, 0.690,
    450, 0.7740, 250.7 * 10^-7, 32.39 * 10^-6, 37.3 * 10^-3, 0.686,
    500, 0.6964, 270.1 * 10^-7, 38.79 * 10^-6, 40.7 * 10^-3, 0.684,
    550, 0.6329, 288.4 * 10^-7, 45.57 * 10^-6, 43.9 * 10^-3, 0.683,
    600, 0.5804, 305.8 * 10^-7, 52.69 * 10^-6, 46.9 * 10^-3, 0.685
  ),
  ncol = 6,
  byrow = TRUE
)

colnames(Properties_Table) <- c('Tf', 'rho', 'mu', 'v', 'kf', 'Pr')
rownames(Properties_Table) <- seq(1, nrow(Properties_Table), 1)
Properties_Table <- as.table(Properties_Table)

max_iterations <- 100
T_e_calculated <- 298 # chute inicial: Te = 298K (ambiente)
T_e_list <- c(T_e_calculated)

for (i in 1:max_iterations) {
  Tf <- (T_e_calculated + T_inf) / 2

  # iniciais
  Tf_min <- Properties_Table[1, 'Tf']
  Tf_min_index <- 1
  Tf_max <- Properties_Table[nrow(Properties_Table), 'Tf']
  Tf_max_index <- nrow(Properties_Table)

  # procura na tabela alguem com esse valor de Tf
  for (j in 1:nrow(Properties_Table)) {
    if (Properties_Table[j, 'Tf'] <= Tf) {
      Tf_min <- Properties_Table[j, 'Tf']
      Tf_min_index <- j
    }

    if (Properties_Table[j, 'Tf'] > Tf) {
      Tf_max <- Properties_Table[j, 'Tf']
      Tf_max_index <- j
      break
    }
  }

  # agora sabemos que Tf esta entre [Tf_min, Tf_max]
  # pega a razao que diz o quao proximo esta de min ou max
```

```
interpolation_ratio <- (Tf - Tf_min) / (Tf_max - Tf_min)

# com a razao de interpolacao, acha as propriedades fisicas interpoladas
rho_min <- Properties_Table[Tf_min_index, 'rho']
rho_max <- Properties_Table[Tf_max_index, 'rho']
rho <- rho_min + (rho_max - rho_min) * interpolation_ratio

mu_min <- Properties_Table[Tf_min_index, 'mu']
mu_max <- Properties_Table[Tf_max_index, 'mu']
mu <- mu_min + (mu_max - mu_min) * interpolation_ratio

v_min <- Properties_Table[Tf_min_index, 'v']
v_max <- Properties_Table[Tf_max_index, 'v']
v <- v_min + (v_max - v_min) * interpolation_ratio

kf_min <- Properties_Table[Tf_min_index, 'kf']
kf_max <- Properties_Table[Tf_max_index, 'kf']
kf <- kf_min + (kf_max - kf_min) * interpolation_ratio

Pr_min <- Properties_Table[Tf_min_index, 'Pr']
Pr_max <- Properties_Table[Tf_max_index, 'Pr']
Pr <- Pr_min + (Pr_max - Pr_min) * interpolation_ratio

# rho <- 1.1614 # densidade do ar
# mu <- 184.6 * 10^-7 # viscosidade dinamica
# kf <- 26.3 * 10^-3 # condutividade termica do ar
# Pr <- 0.707 # numero de Prandlt

# calcula os adimensionais
Re_critical <- 50000
Re <- u_inf * L * rho / mu
Nu <- 0.0
Gr <- 9.81 * (1/Tf) * (abs(T_e_calculated - T_inf) * L^3) / (v^2)
Ra <- Gr * Pr

if (Re < Re_critical) {
  # escoamento laminar
  Nu <- 0.664 * (Re)^(1/2) * (Pr)^(1/3)
} else {
  # escoamento turbulento
  Nu <- (0.037 * Re^(4/5) - 871) * (Pr)^(1/3)
}

# Nu <- (0.825 + (0.387 * Ra^(1/6)) / (1 + (0.492/Pr)^(9/16))^(8/27))^2

# calculado o Numero de Nusselt, achamos o hc
hc <- Nu * kf / L

# para esse hc, o Te da 1 Lei e
T_e_calculated <- ((k/L) * T_d + q_pres + T_inf * hc) / (hc + (k/L))
T_e_list <- append(T_e_list, T_e_calculated)

tolerance <- 0.001 # 0.1%

# condicao de parada, tolerancia de 0.1% com o valor anterior
```

```
    if (abs(T_e_list[i + 1] - T_e_list[i]) < tolerance * T_e_list[i]) {
      break
    } else {
      next
    }
  }

  plot(
    T_e_list,
    main = "T_e (K) x Iteracao",
    xlab = "Iteracao",
    ylab = "T_e (K)",
    col = "black",
    lwd = 3
  )

  lines(T_e_list, col = "red", lwd = 2, lty = 1)
```