

# Controle de qualidade de laminação de PRFC\* por ensaio de tração

GRUPO T22BG03

Alex Yoiti Akiyoshi Ichige - 9348453

Lucas de Sant'Ana Sousa - 8584003

Tiago Valmórbida Dell'Oso Prado - 9348391

Vitor Patrezze Nunes - 9348202

1

\*PRFC = Polímero reforçado com fibra de carbono

# Objetivos

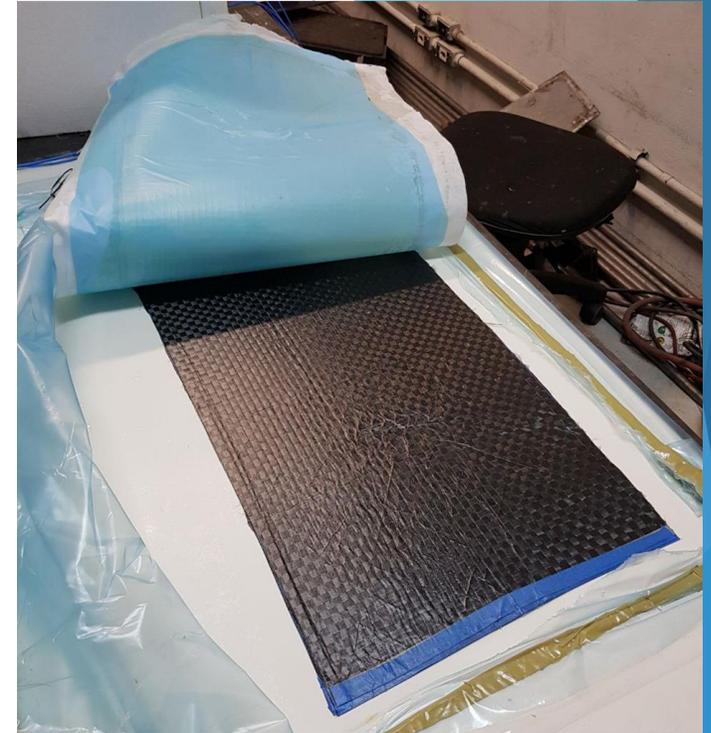
- ▶ Avaliar o processo de laminação de chapa de compósito de fibra de carbono por meio de ensaios de tração.
- ▶ Análise estatística dos resultados e confecção de carta de controle do processo.
- ▶ Avaliar corpos de prova fora dos limites da carta de controle e relacionar com um diagrama de Ishikawa.

# Método de fabricação

- ▶ Chapa de fibra de carbono produzida por laminação a vácuo e cura com temperatura controlada (60°C).
- ▶ Corte dos corpos de prova por jato de água.

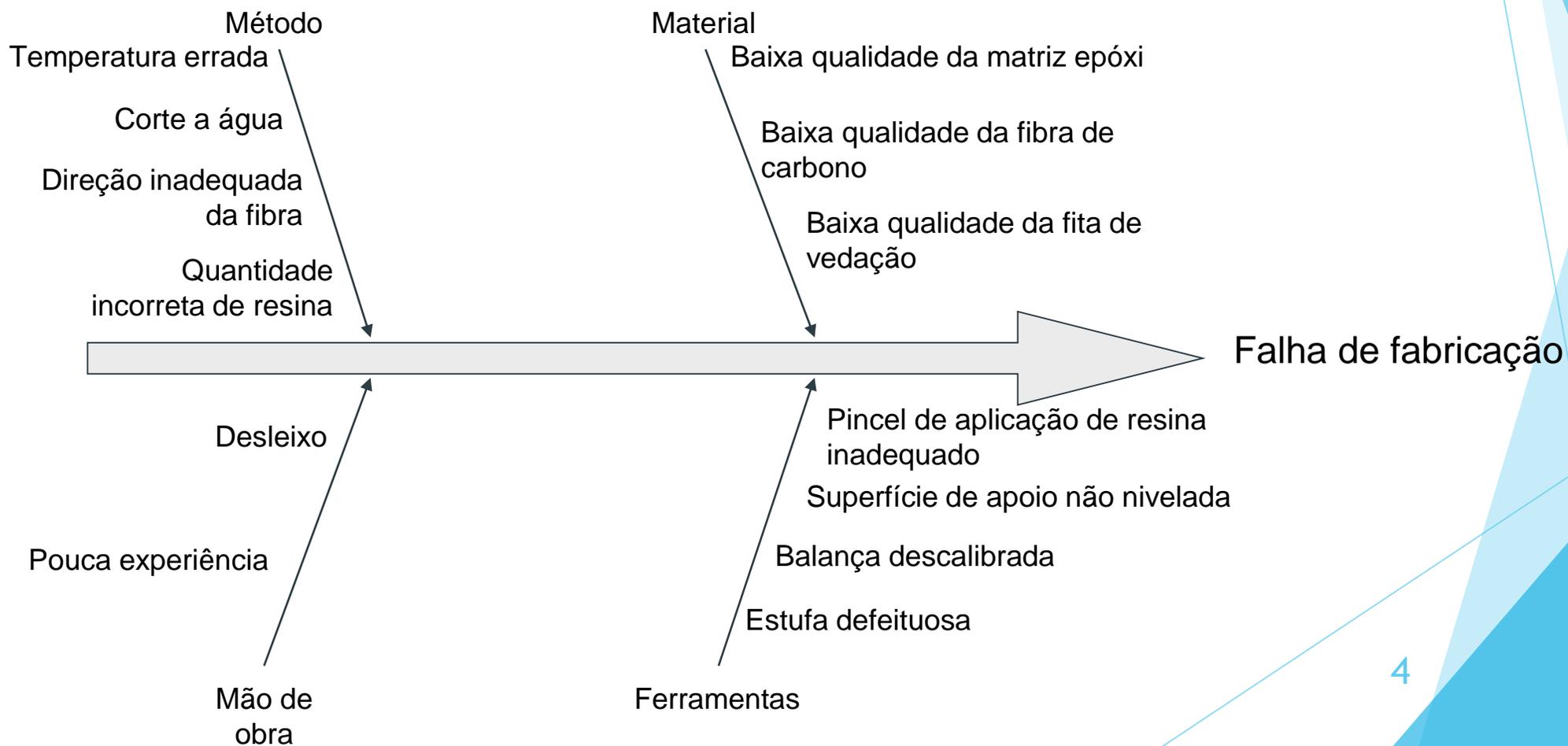


Fonte: Acervo pessoal.



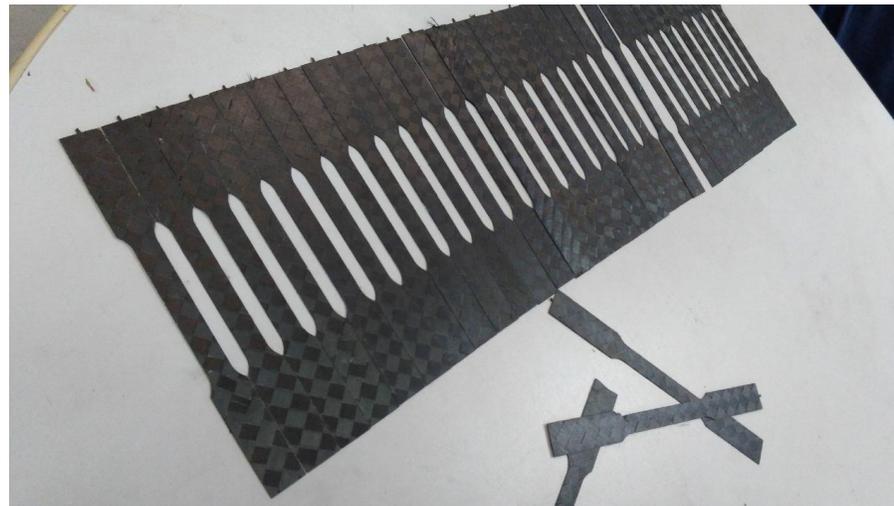
Fonte: Acervo pessoal.

# Diagrama de Ishikawa para falhas no processo de laminação



# Normas e determinação da tensão

- ▶ ASTM D3039 - Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials
  - ▶ Determinação da tensão: razão da carga pela média da área medida em três pontos distintos.
- ▶ Amostra de 34 corpos de prova

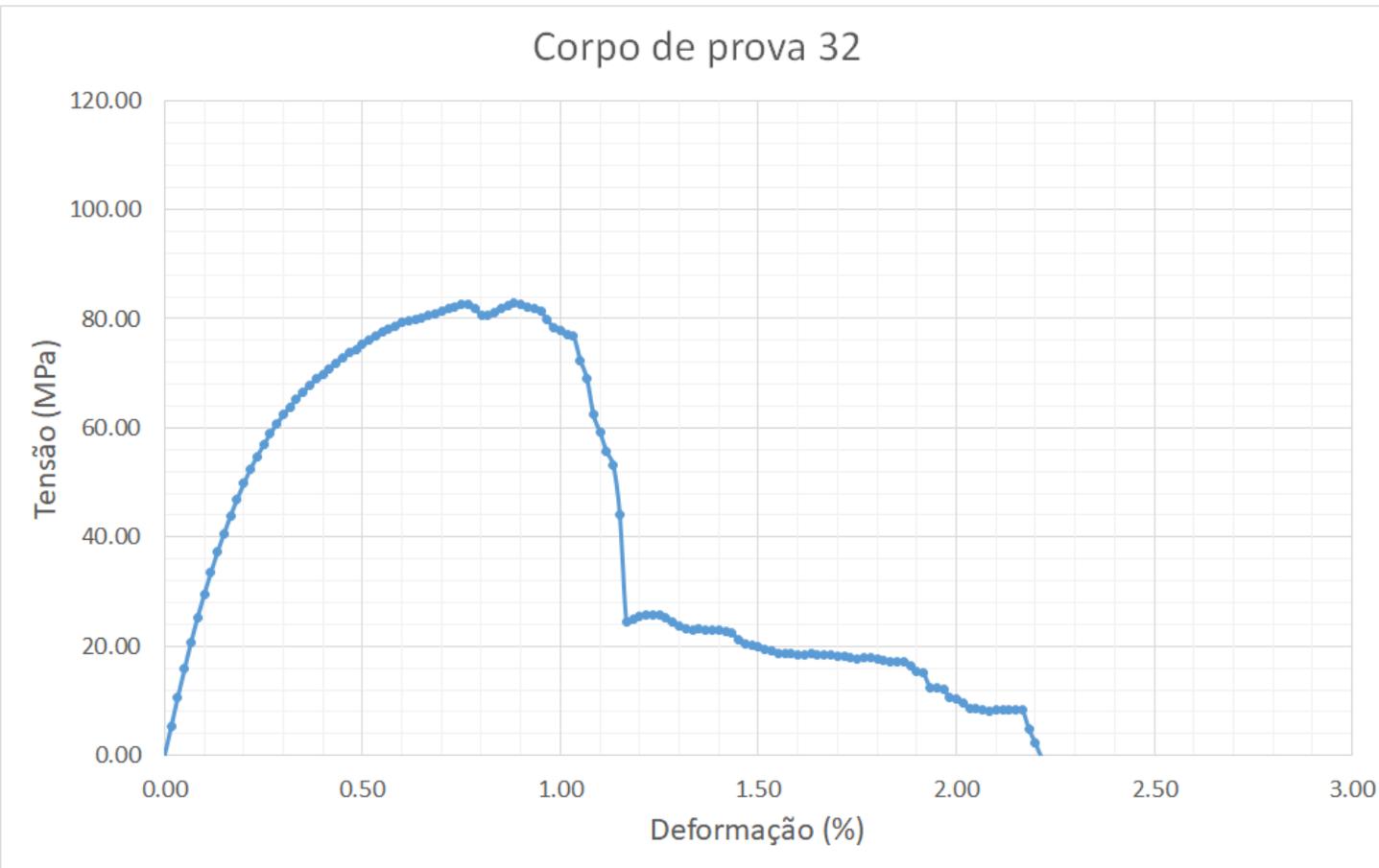


Fonte: Acervo pessoal.

# Análise das tensões - tensões médias vs máximas

- ▶ Análise de tensões médias: leva em consideração toda a curva, e não apenas o valor máximo, sendo mais afetada por comportamentos anormais.
- ▶ Análise de tensões máximas: podem mascarar corpos de prova defeituosos que apresentam picos altos de carga.

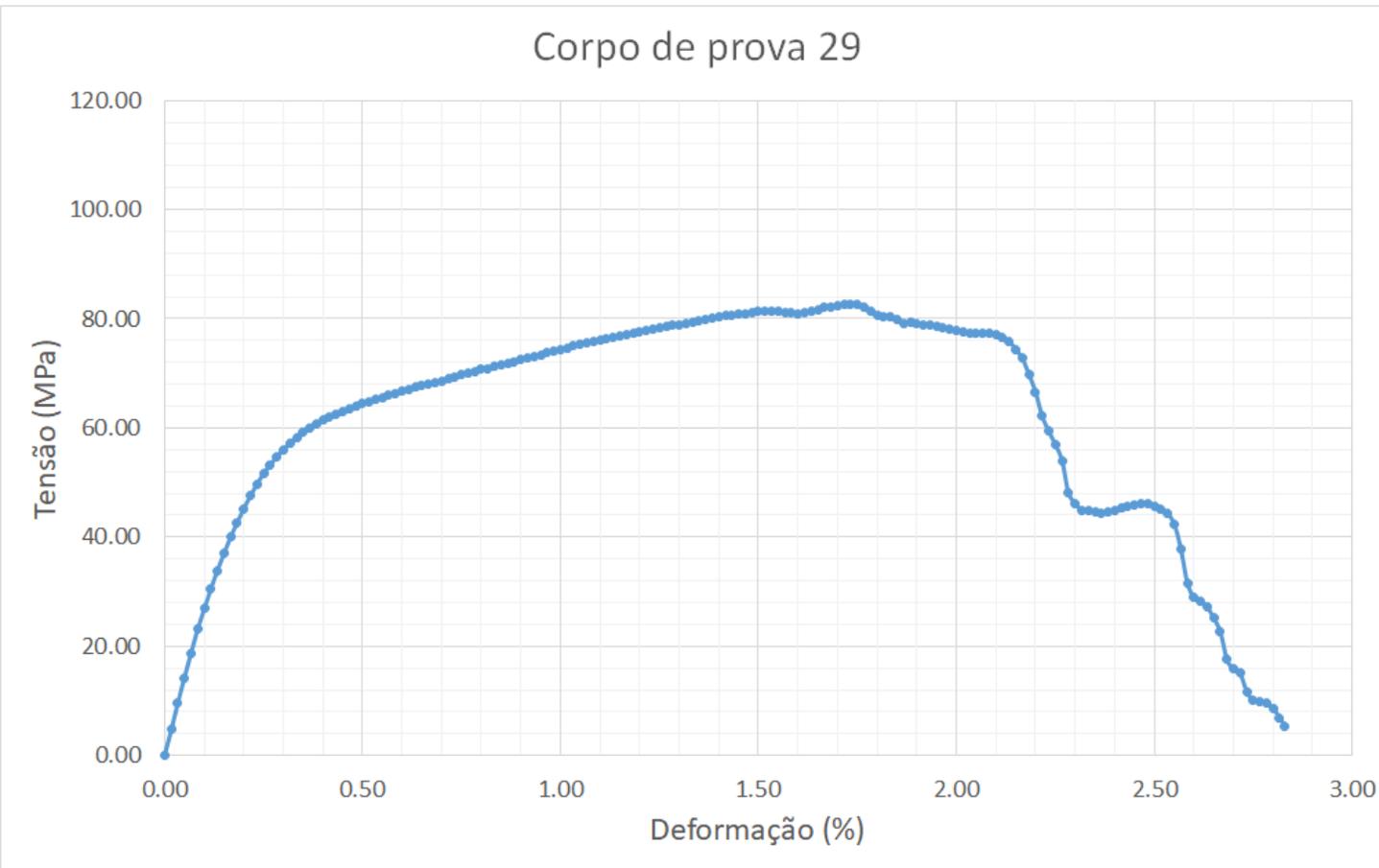
# Análise de tensões - Exemplo de comportamento defeituoso



- ▶ Tensão máxima: 82,8 MPa
  - ▶ Média da amostra: 88,4 MPa
- ▶ Tensão média: 38,9 MPa
  - ▶ Média da amostra: 61,9 MPa

Fonte: Acervo pessoal.

# Análise de tensões - Exemplo de comportamento esperado



- ▶ Tensão máxima: 82,7 MPa
  - ▶ Média da amostra: 88,4 MPa
- ▶ Tensão média: 61,1 MPa
  - ▶ Média da amostra: 61,9 MPa

Fonte: Acervo pessoal.

# Resultados dos ensaios

Corpo de prova	Tensão média (MPa)	Corpo de prova	Tensão média (MPa)
1	68.9222	18	62.08036695
2	79.6904	19	45.16944602
3	76.3593	20	68.42594134
4	75.2759	21	54.87481274
5	54.7109	22	56.86838263
6	61.2126	23	48.97123415
7	29.0212	24	56.72800471
8	59.7171	25	76.90459456
9	75.4116	26	66.72397292
10	42.6425	27	49.84570691
11	76.9493	28	84.14339356
12	35.6259	29	61.11053061
13	54.1325	30	73.90375648
14	77.8602	31	71.4671545
15	72.3922	32	38.96798863
16	79.2294	33	59.68046286
17	83.6009	34	27.5736776

<b>Média</b>	61.9469
<b>Variância</b>	241.915
<b>Desvio Padrão</b>	15.5536
<b>1º Quartil</b>	54.2771
<b>Mediana</b>	61.6465
<b>3º Quartil</b>	75.3777
<b>Interquartil</b>	21.1006
<b>Valor máximo</b>	84.1434
<b>Valor mínimo</b>	27.5737

Fonte: Acervo pessoal.

# Teste de normalidade de Jarque-Bera<sup>[1]</sup>

- ▶ Teste de hipótese para normalidade:  $H_0$  = Variável segue distribuição normal;  $H_1$  = Variável segue outra distribuição.
- ▶ Impõe-se que a estatística N de Jarque-Bera segue a distribuição Chi-Quadrado com dois graus de liberdade.
- ▶ Caso  $N > 6$  (para um nível de significância de 5%), rejeita-se a hipótese nula.

$$N = \left[ \frac{\text{ass}^2}{6} + \frac{(\text{curt} - 3)^2}{24} \right] \approx \chi^2_2 > 6,0$$

$$\text{ass} = \frac{\sum (x_i - \mu)^3 / N}{\left( \sqrt{\sum (x_i - \mu)^2 / N} \right)^3}$$

$$\text{curt} = \frac{\sum (x_i - \mu)^4 / N}{\left( \sqrt{\sum (x_i - \mu)^2 / N} \right)^4}$$

# Teste de normalidade de Jarque-Bera<sup>[1]</sup>

- ▶ A partir das estatísticas obtidas da amostra de tensões médias dos corpos de provas, podemos testar se há normalidade na distribuição

<b>Estatísticas do teste de Jarque-Bera</b>	
Ass	-0.54115
Curt	2.30022
N	0.06921

Fonte: Acervo pessoal.

- ▶ Como  $N < 6$ , não se rejeita a hipótese nula e é possível afirmar, com 5% de significância, que a amostra segue uma distribuição normal.

# Carta de Controle de Shewhart<sup>[1]</sup>

- ▶ Carta de controle: gráfico de dispersão com limites superior e inferior definidos em função da variabilidade dos dados em torno da média amostral.
- ▶ Subgrupos unitários: uso da carta de controle da média para dados individuais.
  - ▶ Amplitude móvel: diferença entre dados consecutivos da amostra
  - ▶ Limite superior:  $LCS = Média + 3 * (Média das amplitudes móveis / d_2)$
  - ▶ Limite inferior:  $LCI = Média - 3 * (Média das amplitudes móveis / d_2)$ 
    - ▶ Em que  $d_2$  é um coeficiente de Shewhart, de valor tabelado.

# Carta de Controle de Shewhart<sup>[1]</sup>

▶ Dos dados da amostra, obtemos os limites:

▶ LCS = 74,10 MPa

▶ LCI = 49,79 MPa

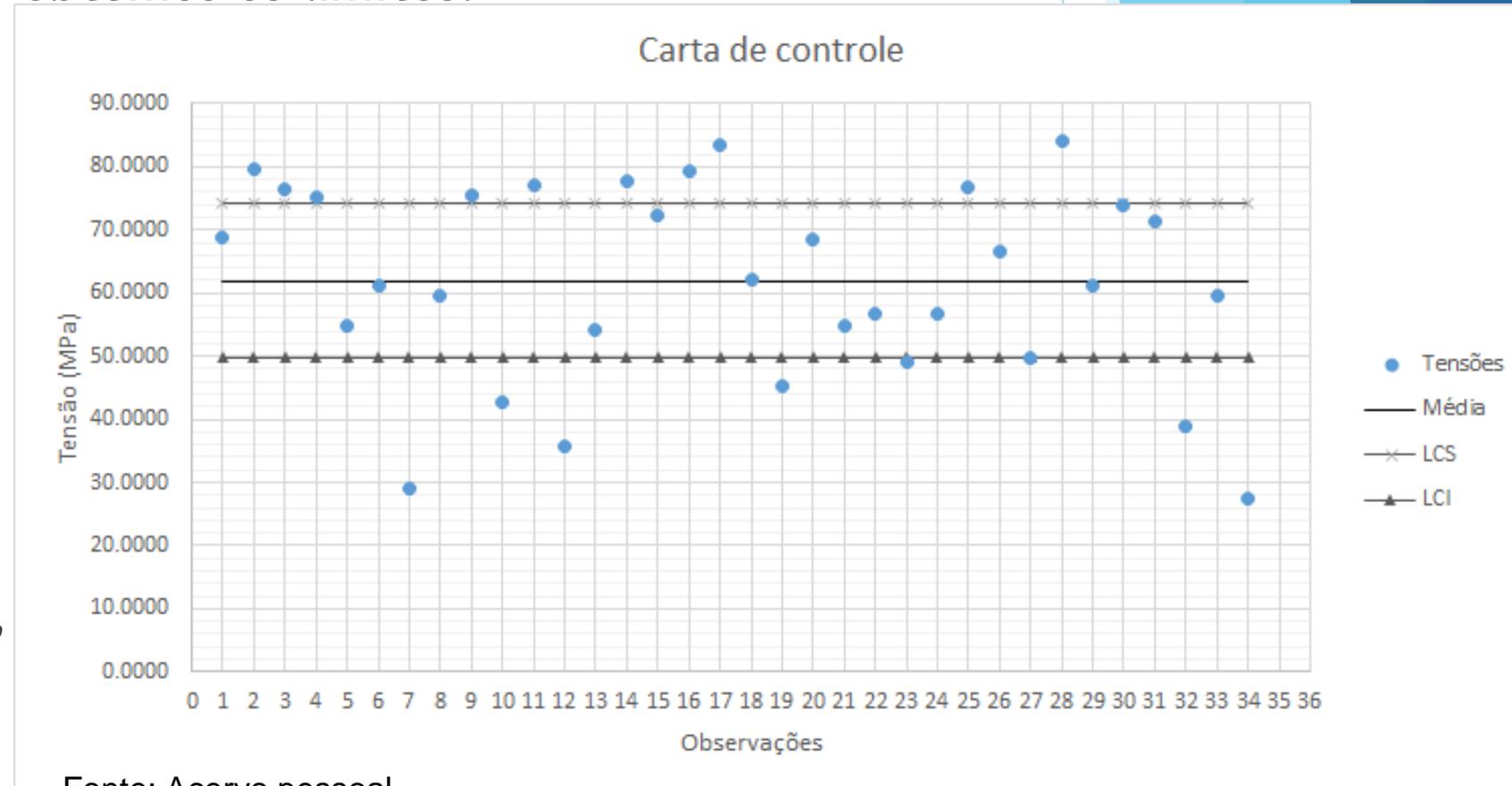
▶ Da carta de controle

obtida ao lado, temos

7 corpos abaixo do limite

inferior: 7, 10, 12, 19, 23,

32, 34.



Fonte: Acervo pessoal.

# Análise de falhas dos corpos de prova defeituosos

- ▶ 7 - Distribuição desigual de resina
- ▶ 10 - Direção da fibra não constante
- ▶ 12 - Concentração de tensão em defeito na borda do corpo de prova

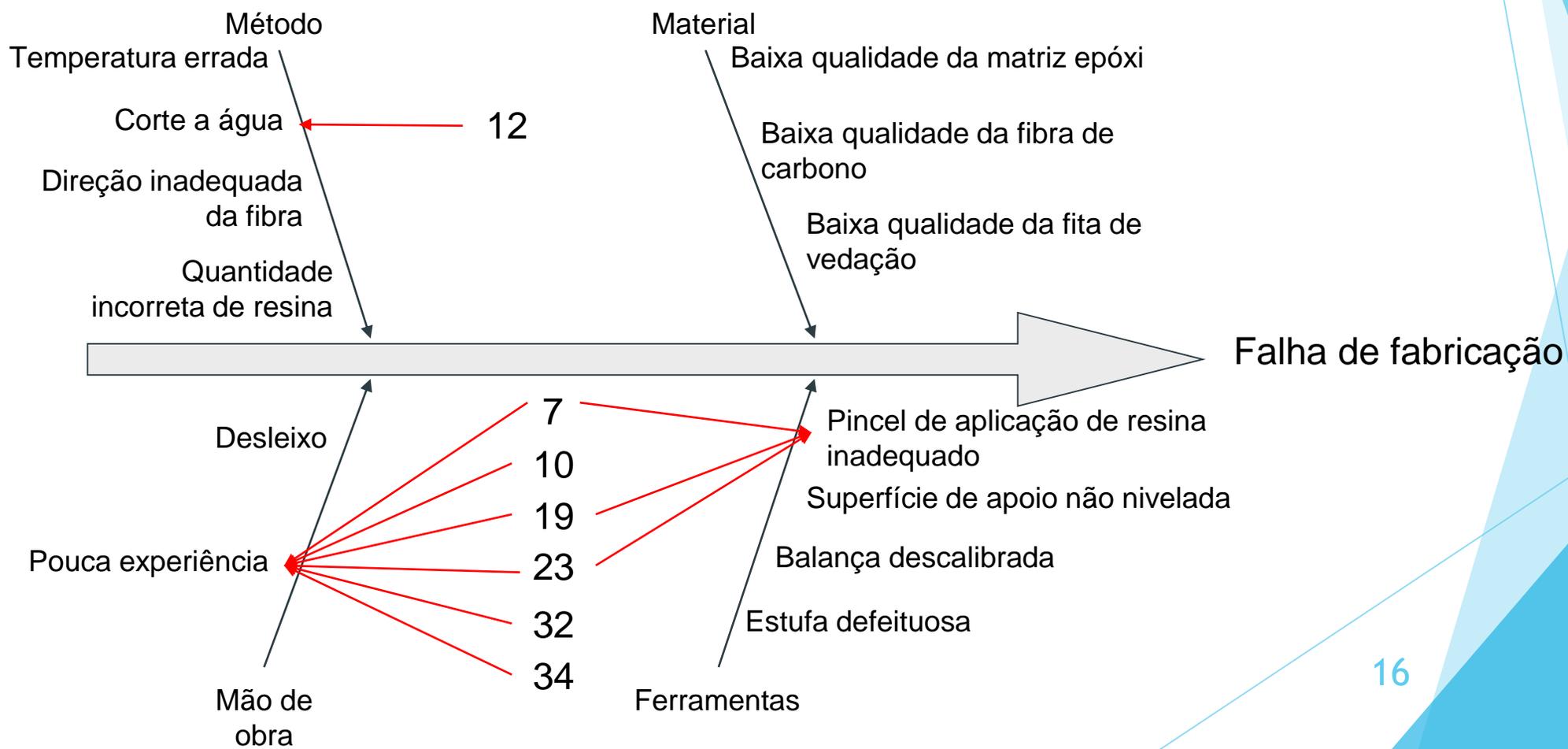


# Análise de falhas dos corpos de prova defeituosos

- ▶ 19 - Distribuição desigual de resina e direção não constante da fibra
- ▶ 23 - Concentração de tensão em uma nervura formada na resina
- ▶ 32 - Direção não constante da fibra
- ▶ 34 - Direção não constante da fibra



# Motivos das falhas no diagrama de Ishikawa



# Obrigado!

Grupo T22BG03