

4

Apresentação e Análise dos Resultados

4.1

Introdução

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios dos nove corpos-de-prova. São determinadas as tensões de aderência e os deslocamentos relativos entre o concreto e o CFC. São mostrados gráficos tensão de aderência x deformação do CFC, tensão de aderência x deslocamento, deformação do CFC x distância ao longo do comprimento de ancoragem e tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem.

Constam no Anexo E os diagramas de carga x deformação do CFC para todos os extensômetros, carga x deformação no concreto e carga x deslocamento do bloco móvel.

Os parâmetros analisados foram comparados considerando-se as diversas resistências à compressão e a variação da largura do tecido.

Como mencionado no item 3.1, para melhor descrição dos corpos-de-prova, estes foram divididos em dois grupos: grupo A, formado pelos corpos-de-prova com largura do tecido igual a 50mm e o grupo B, formado pelos corpos-de-prova com largura do tecido igual a 100mm.

4.2

Cargas e Modos de Ruptura

A Tabela 4.1 e a Figura 4.1 mostram as cargas e modos de ruptura dos corpos-de-prova, onde F_u é a carga de ruptura (carga atuando na lateral do tecido em estudo). O incremento de carga aplicada nos corpos-de-prova foi de 1 kN. A Tabela 4.2 mostra a análise estatística das cargas de ruptura.

Tabela 4.1 – Cargas e modos de ruptura.

<i>Grupo</i>	<i>Corpos-de-Prova</i>	<i>F_u (kN)</i>	<i>Resistência à Compressão do Concreto (MPa)*</i>	<i>Largura do Tecido (mm)</i>	<i>Duração do Ensaio (min)</i>	<i>Modos de Ruptura</i>
A	L50-R25-1	9,55	26,5	50	50	Arrancamento do substrato de concreto (Figura 4.2)
	L50-R25-2	12,00	26,5	50	40	Arrancamento do substrato de concreto (Figura 4.3)
	L50-R35-1	12,58	34,6	50	40	Descolamento do tecido com arrancamento do concreto no início da ancoragem (Figuras 4.4 e 4.5)
	L50-R35-2	12,77	34,6	50	30	Arrancamento parcial do substrato de concreto (Figura 4.6)
	L50-R45-1	8,81	44,9	50	30	Descolamento do tecido com arrancamento do concreto no início da ancoragem (Figura 4.7)
	L50-R45-2	11,69	44,9	50	40	Arrancamento do substrato de concreto (Figura 4.8)
B	L100-R25	21,03	26,5	100	40	Arrancamento do substrato de concreto (Figura 4.9)
	L100-R35	30,64	34,6	100	80	Ruptura do tecido no início da ancoragem (Figura 4.10)
	L100-R45	25,27	44,9	100	50	Descolamento do tecido com arrancamento do concreto no início da ancoragem (Figura 4.11)

* Obtida no dia do ensaio.

Tabela 4.2 – Análise estatística das cargas de ruptura.

<i>Grupo</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão (s)</i>	<i>Coefficiente de Variação (CV) (%)</i>
A	11,23	1,65	14,7
B	25,64	4,82	18,8

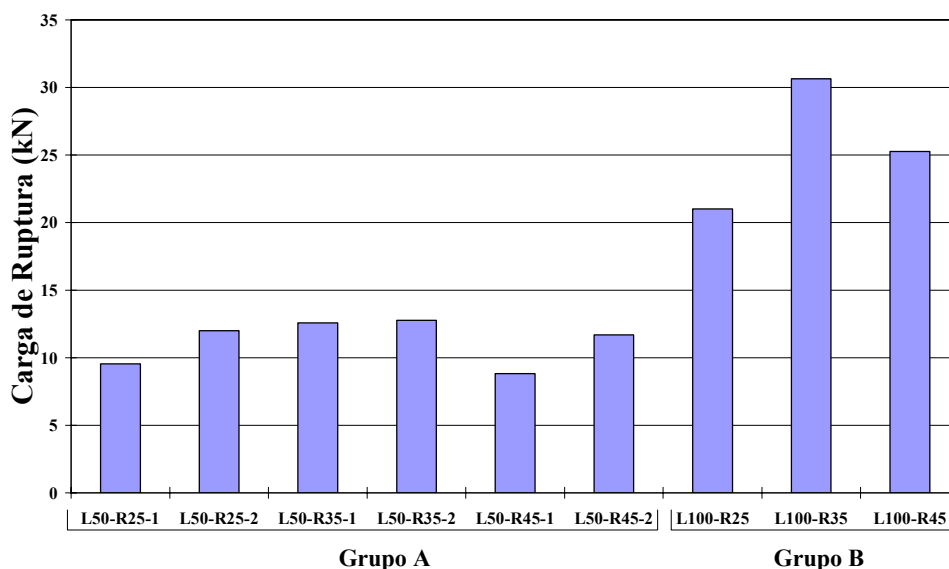


Figura 4.1 – Cargas de ruptura dos corpos-de-prova.

A carga de ruptura do corpo-de-prova L50-R45-1 foi 27,5% menor do que a média das cargas de ruptura dos outros corpos-de-prova do grupo A. O menor valor da carga foi devido a uma falha de colagem do corpo-de-prova.

O valor médio das cargas de ruptura dos corpos-de-prova do grupo B foi 2,28 maiores do que os do grupo A.

As cargas de ruptura dos corpos-de-prova com $f_{c,dosagem} = 35MPa$ foram maiores do que as cargas dos corpos-de-prova com $f_{c,dosagem} = 25MPa$ e $f_{c,dosagem} = 45MPa$, tanto para os corpos-de-prova do grupo A, quanto para os do grupo B (Figura 4.1).

Analisando-se somente os corpos-de-prova do grupo A, os valores das cargas de ruptura apresentam $s = 1,65$ e $CV = 14,7\%$. Os corpos-de-prova do grupo B apresentam $s = 4,82$ e $CV = 18,8\%$, portanto, este grupo apresenta maior dispersão, mas, em geral, os valores do CV para os dois grupos apresentam baixa

dispersão, pois são menores que 20%, donde são valores aceitáveis (valores utilizados por estatísticos).

Os corpos-de-prova do grupo A apresentaram cargas de ruptura com dispersão menor do que as do grupo B.

A Figura 4.1 mostra que as cargas de ruptura não apresentaram variação considerável. Isto leva a supor que F_u não depende do f_c do concreto dos corpos-de-prova.

As Figuras 4.2 a 4.11 ilustram os modos de ruptura dos corpos-de-prova.



Figura 4.2 – Ruptura por arrancamento do substrato de concreto do corpo-de-prova L50-R25-1/piloto.

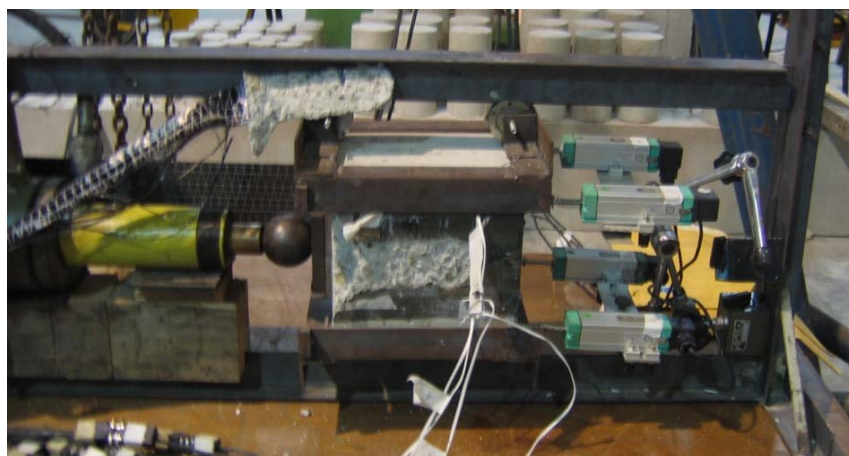


Figura 4.3 – Ruptura por arrancamento do substrato de concreto do corpo-de-prova L50-R25-2.



Figura 4.4 – Ruptura por descolamento do tecido com arrancamento do concreto no início da ancoragem do corpo-de-prova L50-R35-1.



Figura 4.5 – Detalhe do descolamento do tecido do corpo-de-prova L50-R35-1.



Figura 4.6 – Ruptura por arrancamento parcial do substrato de concreto do corpo-de-prova L50-R35-2; detalhe do arrancamento.



Figura 4.7 – Ruptura por descolamento do tecido com arrancamento do concreto no início da ancoragem do corpo-de-prova L50-R45-1.



Figura 4.8 – Ruptura por arrancamento do substrato de concreto do corpo-de-prova L50-R45-2; detalhe do arrancamento.

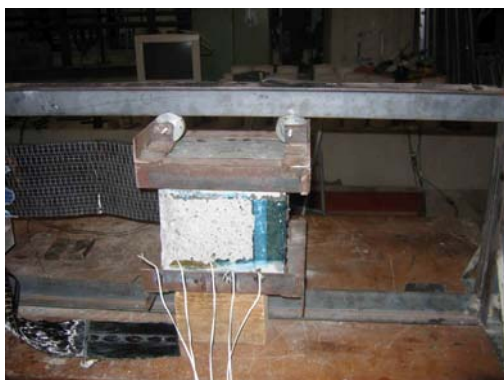


Figura 4.9 – Ruptura por arrancamento do substrato de concreto do corpo-de-prova L100-R25.

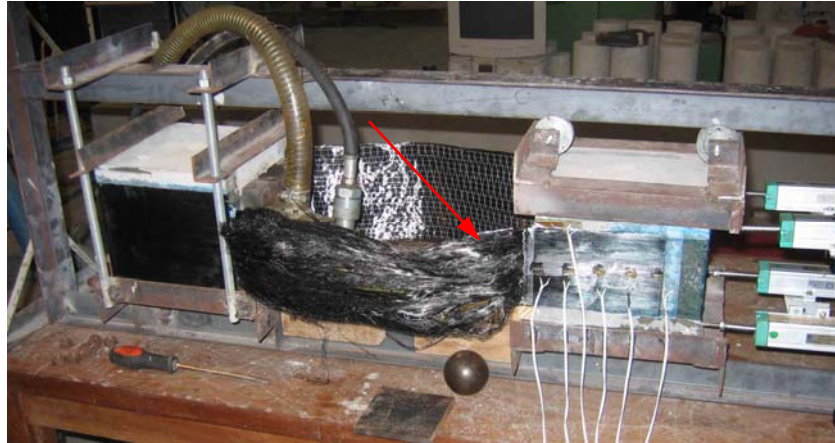


Figura 4.10 – Ruptura do tecido no início da ancoragem do corpo-de-prova L100-R35.

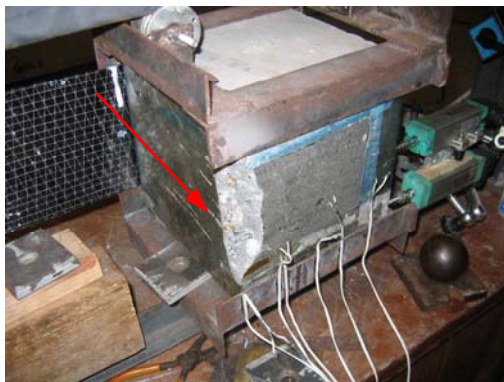


Figura 4.11 – Ruptura por descolamento do tecido com arrancamento do concreto no início da ancoragem do corpo-de-prova L100-R45; detalhe do descolamento com rompimento do tecido.

Quando a carga no corpo-de-prova L50-R25-1/piloto atingiu 5 kN , ocorreu uma interrupção no fornecimento de energia no laboratório, prejudicando o ensaio.

O corpo-de-prova L100-R35 também teve um descarregamento quando a carga atingiu 27,53 kN devido à problemas no equipamento, portanto, o tempo deste ensaio de 80 minutos foi devido a este problema.

4.3

Deformações ao Longo do Comprimento de Ancoragem

Neste item são analisadas as deformações ao longo de todo o comprimento de ancoragem do CFC para diversos estágios de carregamento (Figuras 4.12 a 4.20).

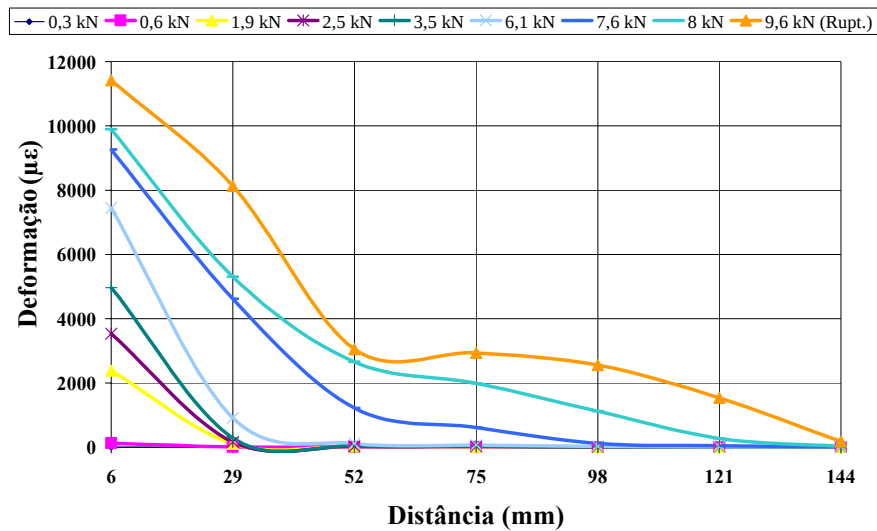


Figura 4.12 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R25-1/ensaio piloto.

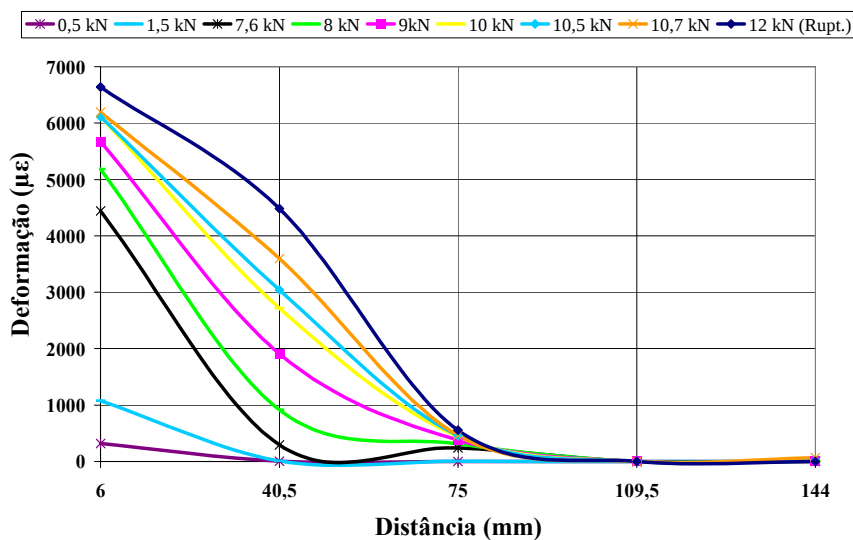


Figura 4.13 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R25-2.

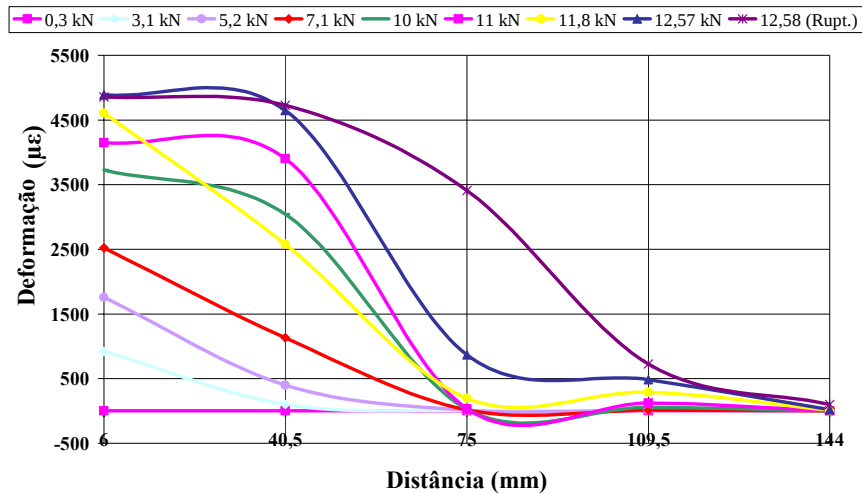


Figura 4.14 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R35-1.

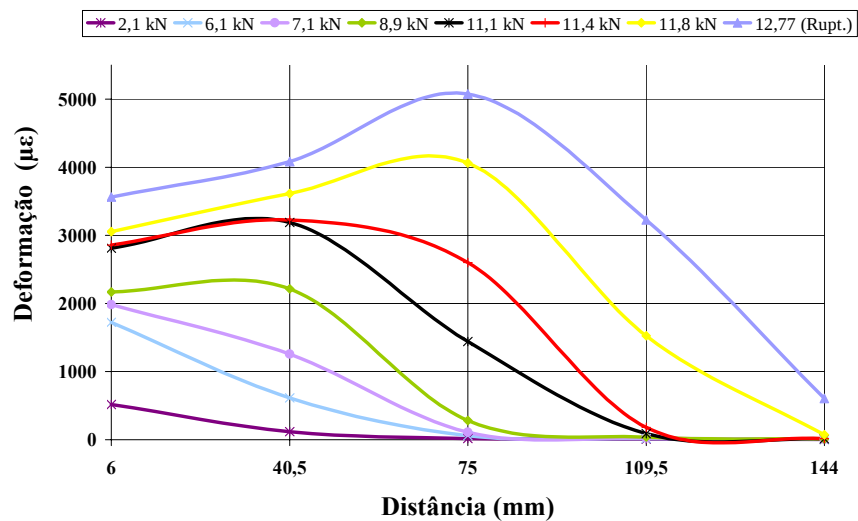


Figura 4.15 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R35-2.

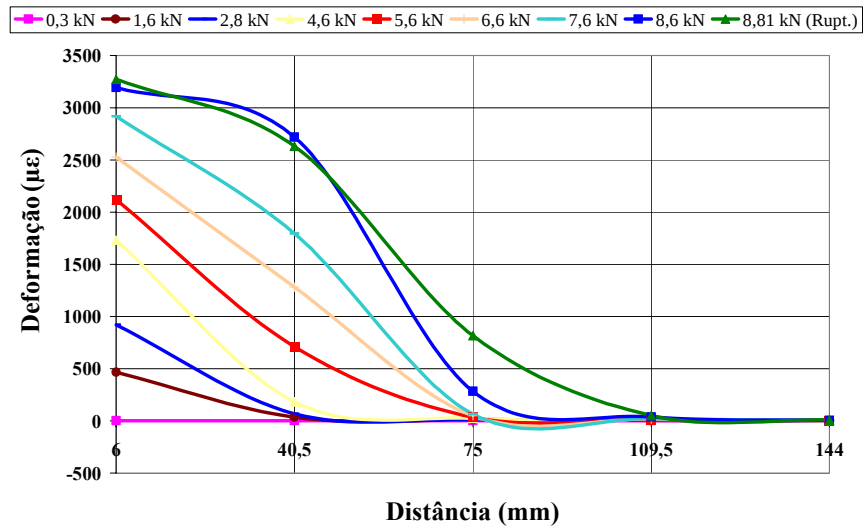


Figura 4.16 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R45-1.

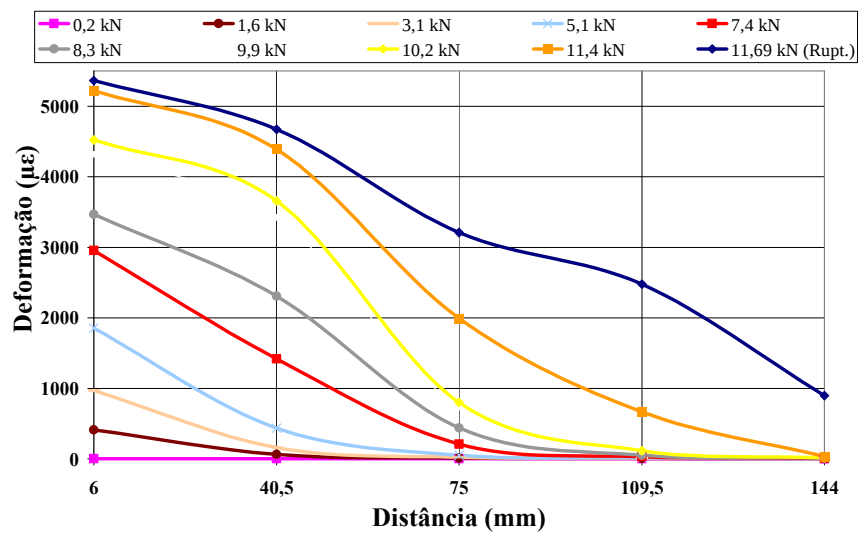


Figura 4.17 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R45-2.

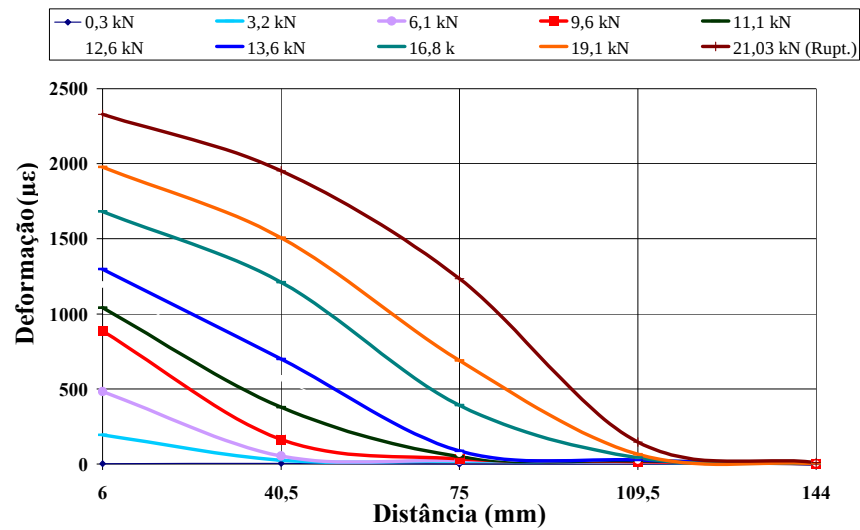


Figura 4.18 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L100-R25.

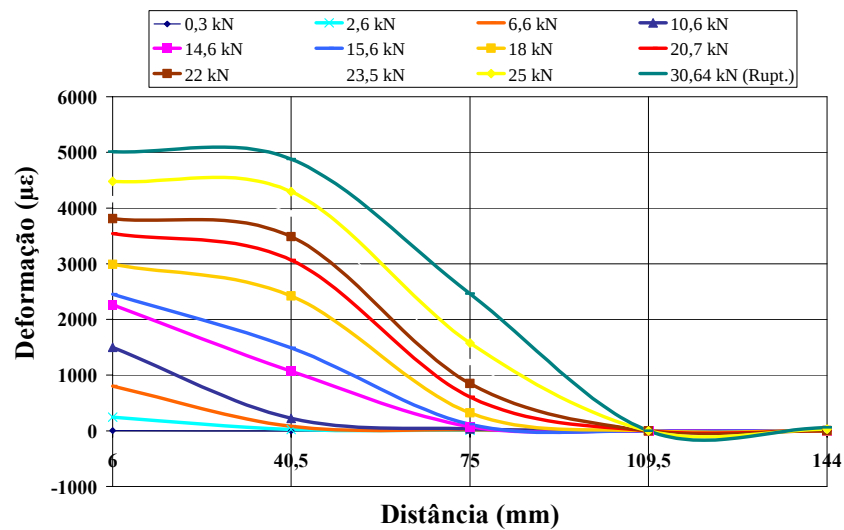


Figura 4.19 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L100-R35.

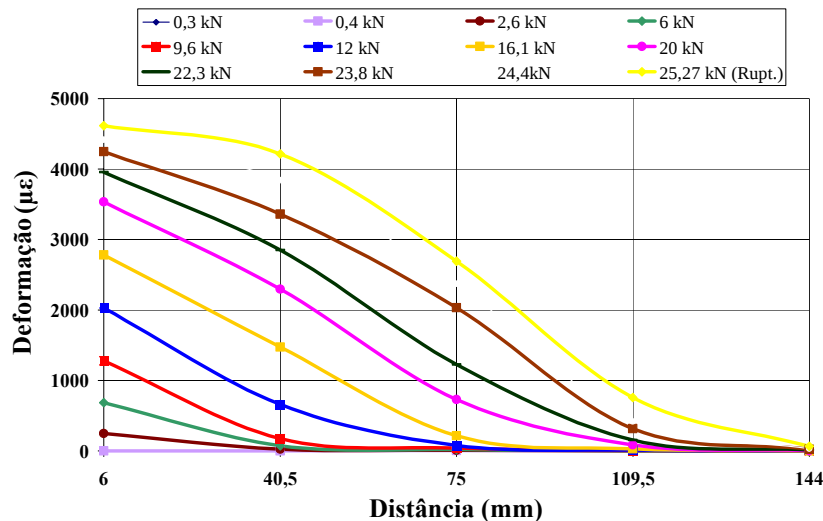


Figura 4.20 – Deformação x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L100-R45.

As maiores deformações, como esperado, ocorreram na extremidade carregada do comprimento de ancoragem (correspondente ao extensômetro 0) para todos os corpo-de-prova, exceto para o corpo-de-prova L50-R35-2, no qual, para cargas próximas à de ruptura, as maiores deformações foram lidas pelo extensômetro 2.

Com o aumento do carregamento as deformações ocorreram na sequência da localização dos extensômetros ao longo do comprimento de ancoragem, apresentando comportamento similar, exceto para o corpo-de-prova L50-R35-2, que apresentou comportamento anômalo, talvez por problemas na leitura das deformações (Figura 4.15).

4.4 Tensões de Aderência x Deformações do CFC

As tensões de aderência são calculadas em função das deformações ε_f do tecido pela seguinte expressão:

$$\tau_b = \frac{(\varepsilon_{f,i} - \varepsilon_{f,i-1}) t_f E_f}{\ell_0} \quad (4.1)$$

onde

τ_b – tensão de aderência no ponto médio do trecho $i, i-1$;

$\varepsilon_{f,i}, \varepsilon_{f,i-1}$ – deformação do tecido de CFC na seção i e na seção $i-1$, respectivamente, considerando a seqüência 0,1,2,3 e 4 dos extensômetros;

t_f – espessura do tecido de fibra de carbono;

E_f – módulo de elasticidade do CFC;

ℓ_0 – distância entre os pontos onde são obtidas as medidas de deformações.

As Figuras 4.21 a 4.29 mostram as curvas tensões de aderência x deformação do tecido para cada corpo-de-prova.

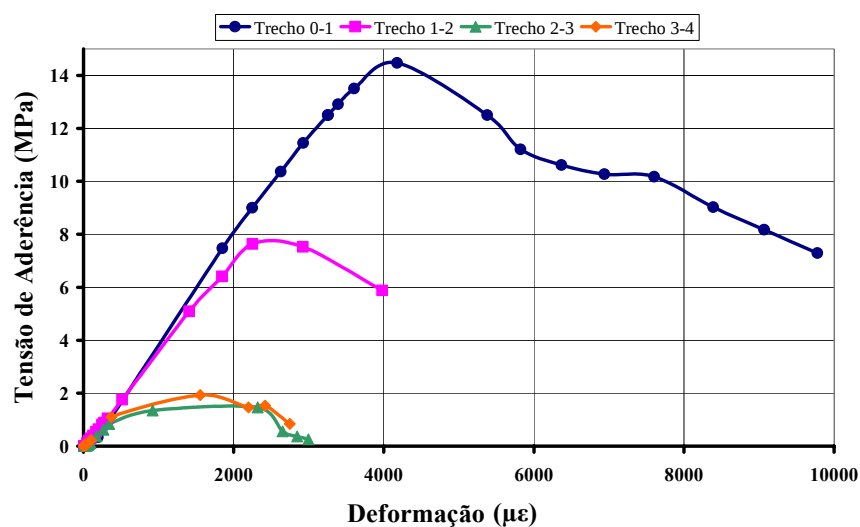


Figura 4.21 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L50-R25-1/ piloto.

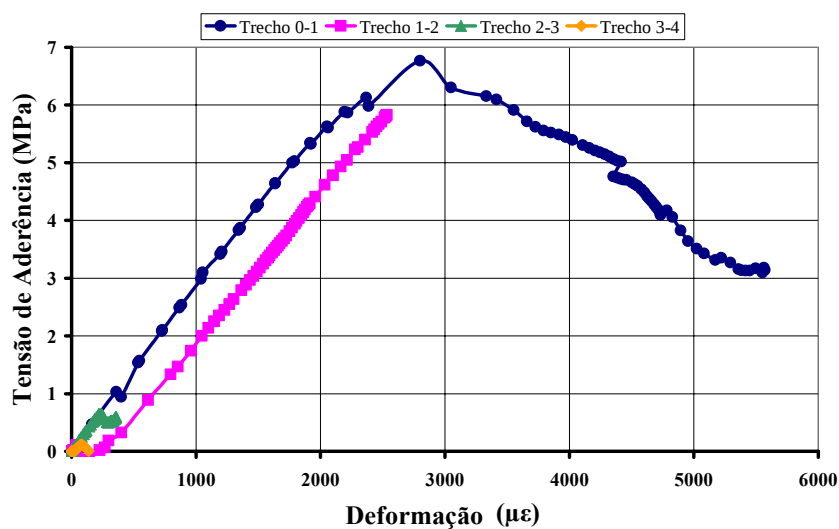


Figura 4.22 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L50-R25-2.

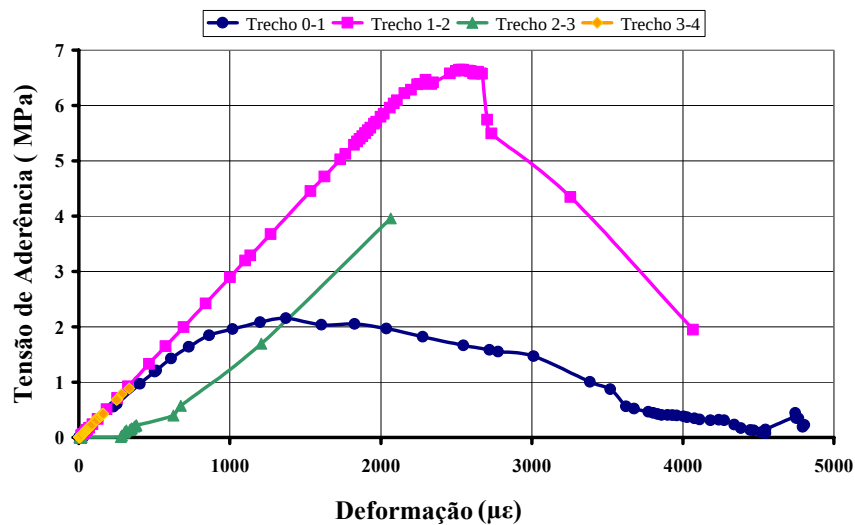


Figura 4.23 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L50-R35-1.

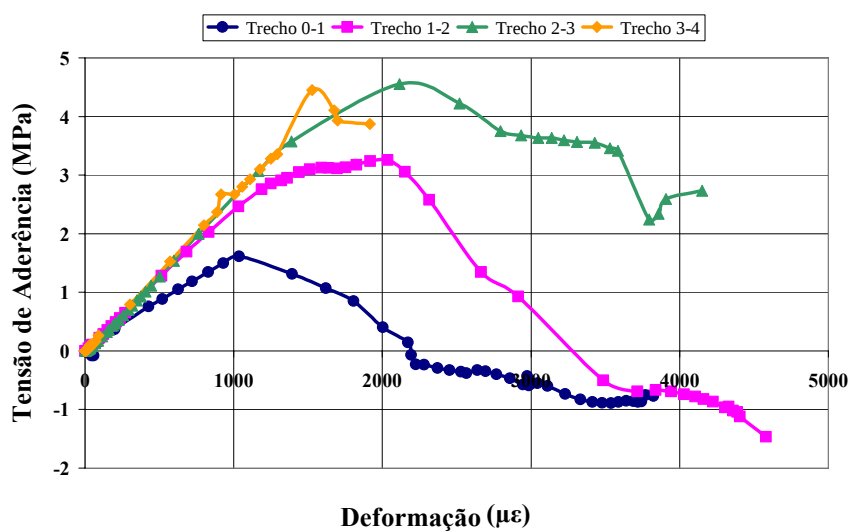


Figura 4.24 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L50-R35-2.

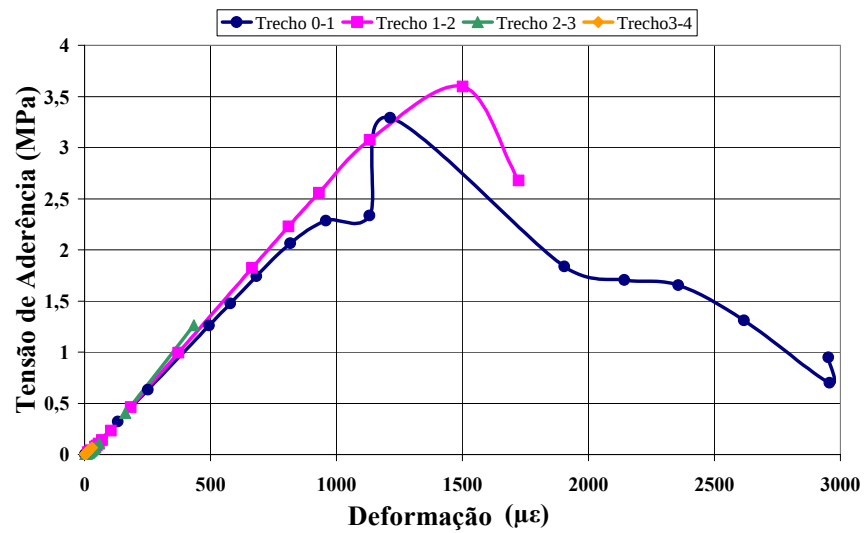


Figura 4.25 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L50-R45-1.

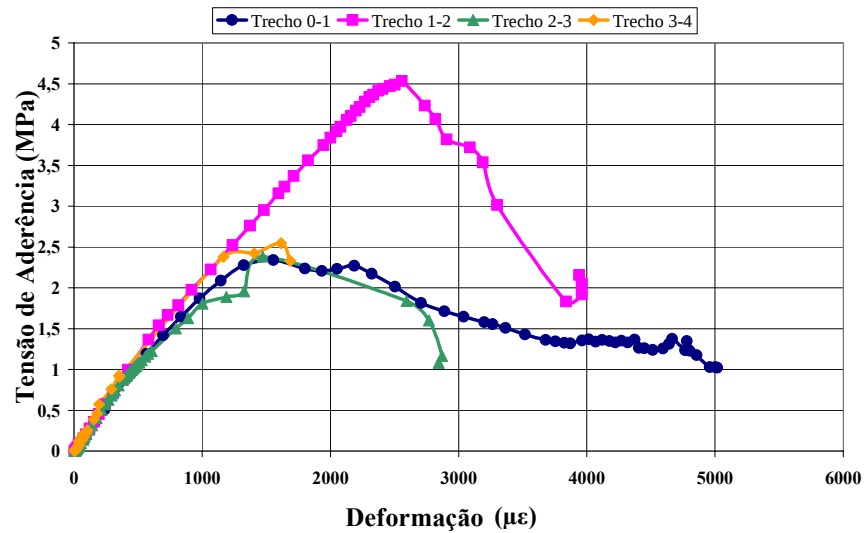


Figura 4.26 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L50-R45-2.

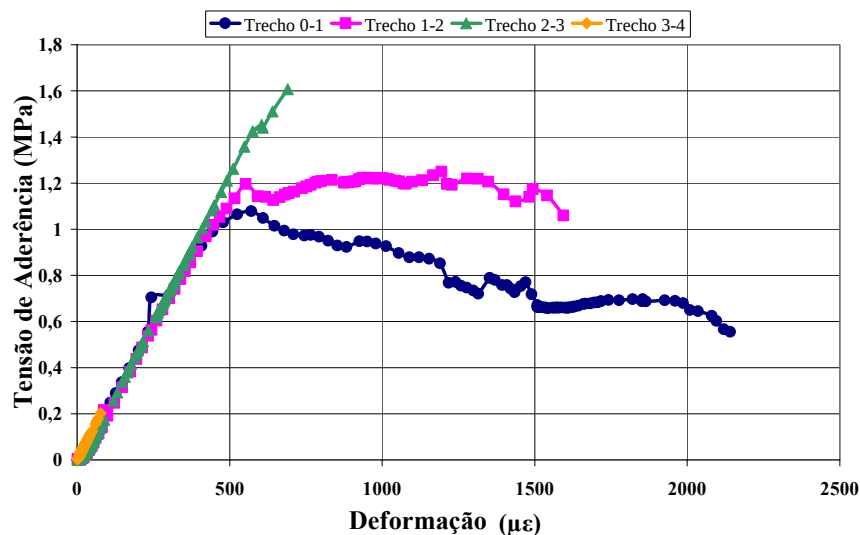


Figura 4.27 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L100-R25.

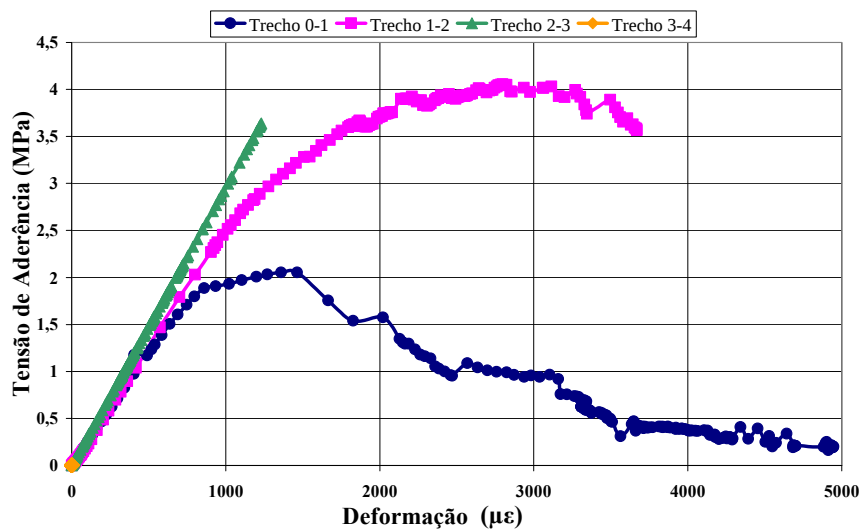


Figura 4.28 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L100-R35.

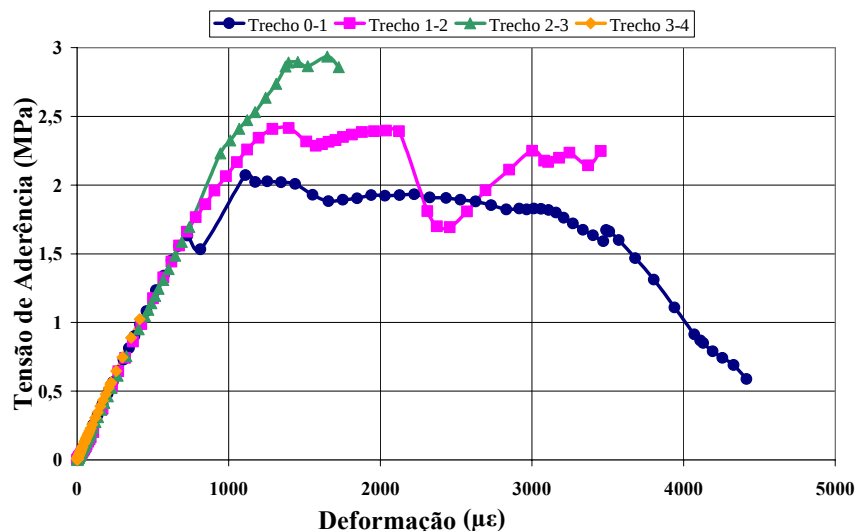


Figura 4.29 – Tensão de aderência x deformação do CFC para o corpo-de-prova L100-R45.

Os corpos-de-prova do grupo A, ou seja, L50-R25-1 e L50-R25-2, apresentaram maiores tensões de aderência no trecho 0-1. Nos corpos-de-prova L50-R35-1, L50-R45-1 e L50-R45-2, as maiores tensões de aderência ocorreram no trecho 1-2. Somente no corpo-de-prova L50-R35-2, as maiores tensões de aderência ocorreram no trecho 2-3.

Nos corpos-de-prova do grupo B, ou seja, L100-R25 e L100-R45 as maiores tensões de aderência ocorreram no trecho 2-3, e no corpo-de-prova L100-R35, as maiores tensões de aderência ocorreram no trecho 1-2.

As maiores deformações ocorreram no trecho 0-1, com exceção do corpo-de-prova L50-R35-2, onde essas foram maiores no trecho 1-2.

As menores tensões de aderência e deformações ocorreram no trecho 3-4, com exceção do corpo-de-prova L50-R35-2.

O corpo-de-prova L50-R35-2 apresentou, em alguns de seus trechos, valores negativos para as tensões de aderência, porque as deformações nos extensômetros posteriores foram maiores que as deformações nos extensômetros anteriores. Este fato não tem explicação plausível, pois os canais dos extensômetros foram corretamente ligados.

As Figuras 4.30 a 4.37 mostram as curvas tensão de aderência x deformação do CFC para cada trecho, comparando cada grupo de corpos-de-prova.

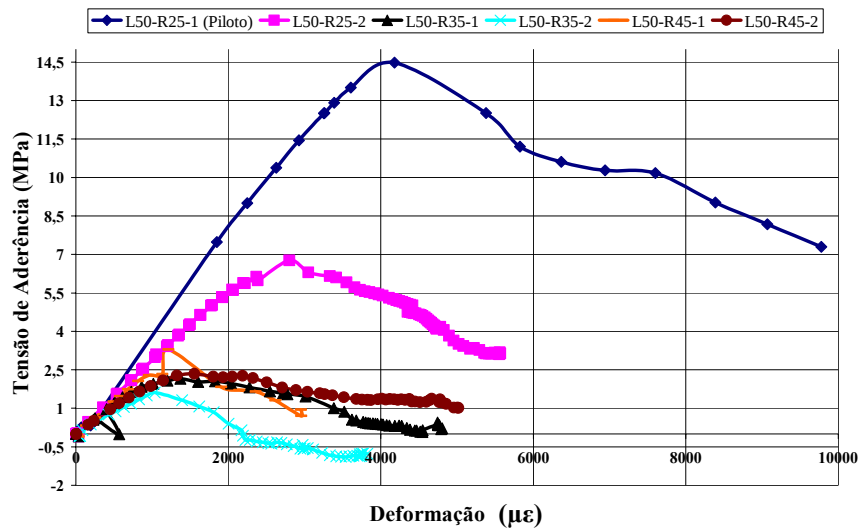


Figura 4.30 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo A referente ao trecho 0-1.

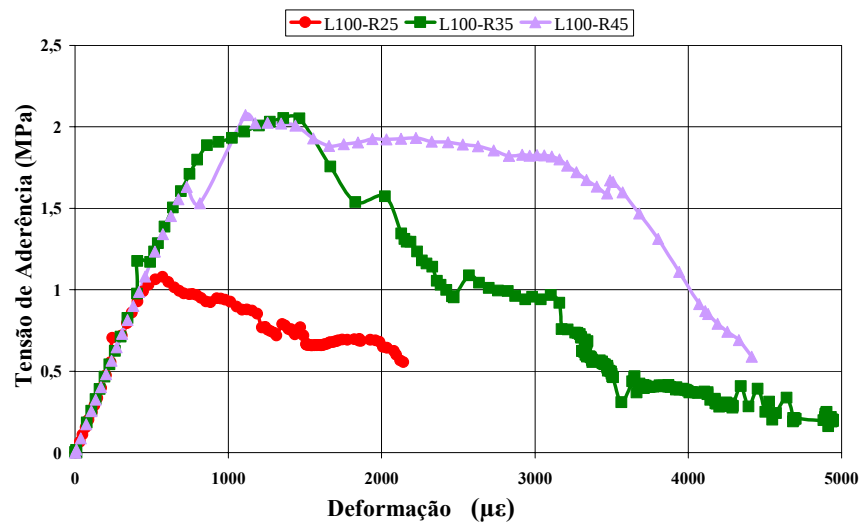


Figura 4.31 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo B referente ao trecho 0-1.

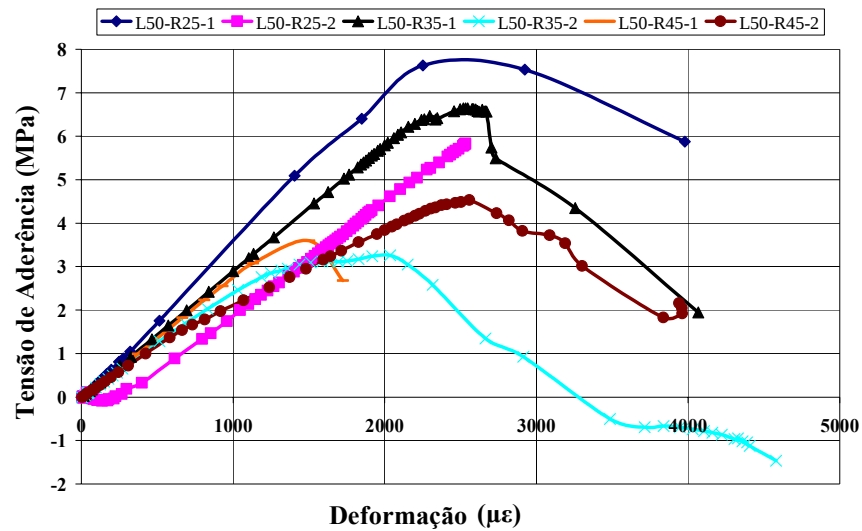


Figura 4.32 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo A referente ao trecho 1-2.

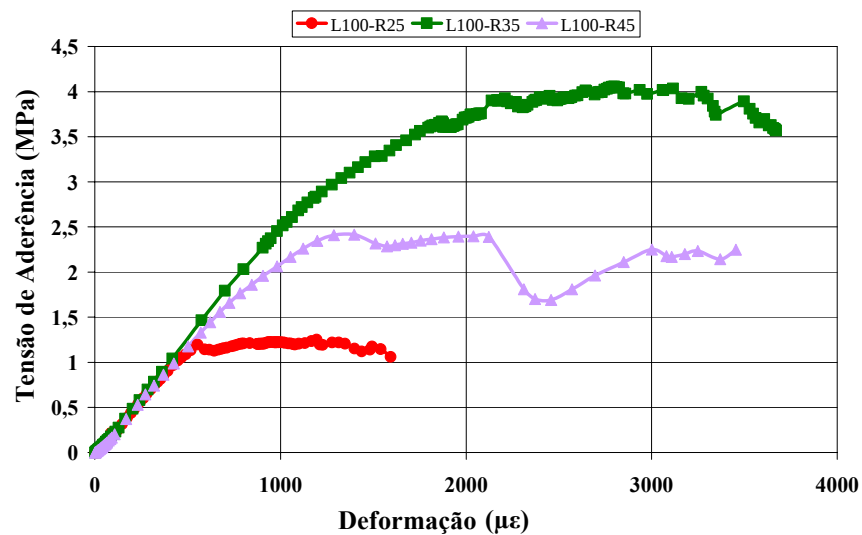


Figura 4.33 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo B referente ao trecho 1-2.

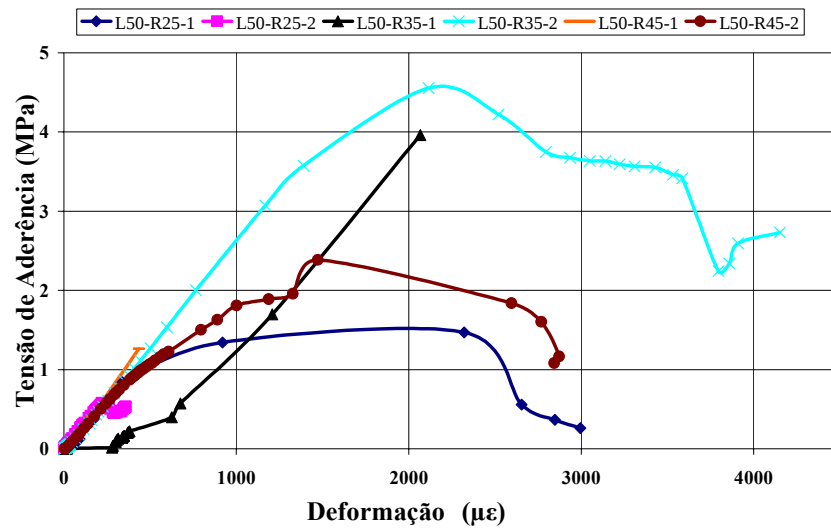


Figura 4.34 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo A referente ao trecho 2-3.

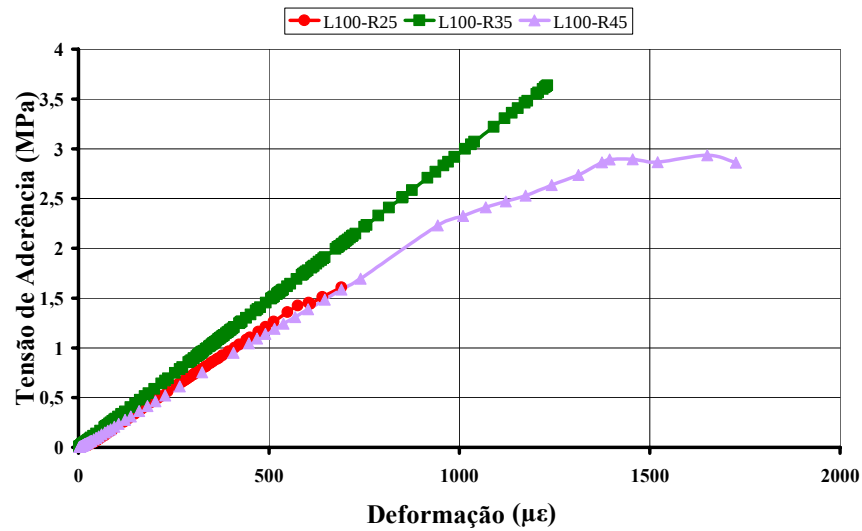


Figura 4.35 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo B referente ao trecho 2-3.

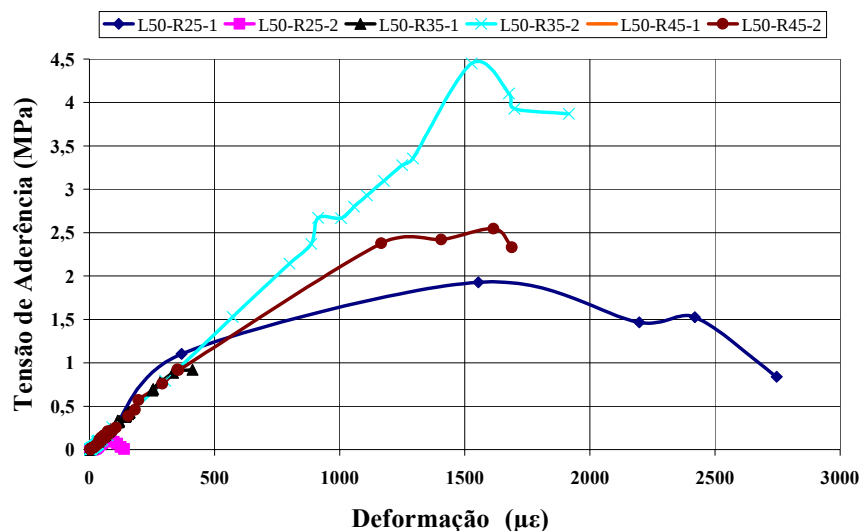


Figura 4.36 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo A referente ao trecho 3-4.

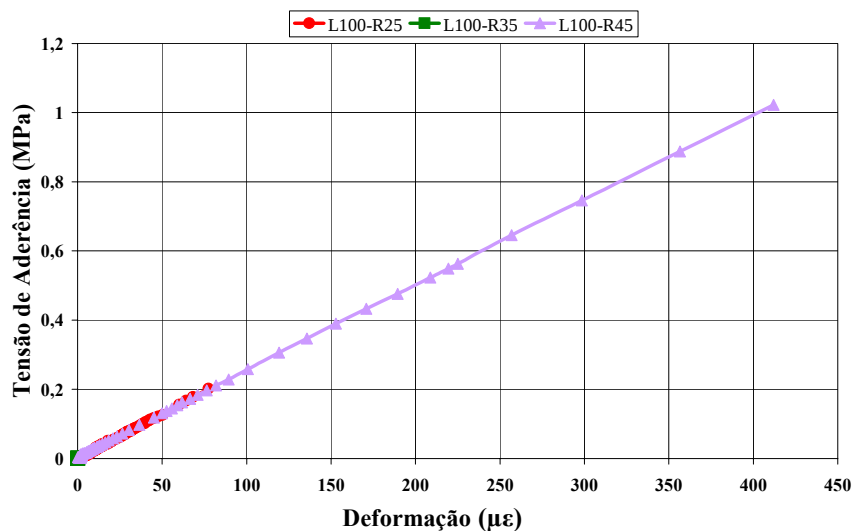


Figura 4.37 – Tensão de aderência x deformação do CFC para os corpos-de-prova do grupo B referente ao trecho 3-4.

Os corpos-de-prova L50-R25-2 e L50-R35-1, nos trechos 2-3 e 3-4 e todos os corpos-de-prova do grupo B no trecho 3-4, não apresentaram deformações significativas.

No trecho 0-1, os corpos-de-prova L50-R25-1 e L50-R25-2 apresentaram curvas $\tau_b \times \varepsilon_f$ similares mas com valores distintos para as tensões de aderência e deformações. Os demais corpos-de-prova do grupo A, também no trecho 0-1, apresentaram curvas similares com valores para as tensões de aderência e deformações da mesma magnitude (Figura 4.30).

Os corpos-de-prova L50-R25-1 e L50-R45-2 apresentaram curvas similares no trecho 2-3 (Figura 4.34).

Os corpos-de-prova do grupo B e os corpos-de-prova do grupo A, nos demais trechos não apresentaram curvas com aspecto regular.

4.5

Tensões de Aderência ao Longo do Comprimento de Ancoragem

Neste item são analisadas as tensões de aderência ao longo de todo o comprimento de ancoragem do CFC para alguns estágios de carregamento (Figuras 4.38 a 4.45).

O corpo-de-prova L50-R25-1/piloto foi descartado, pois este apresentou resultados discrepantes em relação aos outros provavelmente devido ao fato de que sua execução foi interrompida na metade do carregamento (falta de energia), podendo ter ocorrido descolamento do tecido já nesta fase, resultando em valores de deformações muito altos (vide Figuras 4.12 e 4.21).

Os extensômetros 0,1,2,3 e 4 estão posicionados nas abscissas 6 mm, 40,5 mm, 75 mm, 109,5 mm e 144 mm e as tensões de aderência (calculadas pela equação 4.1) estão representadas no ponto médio entre dois extensômetros consecutivos.

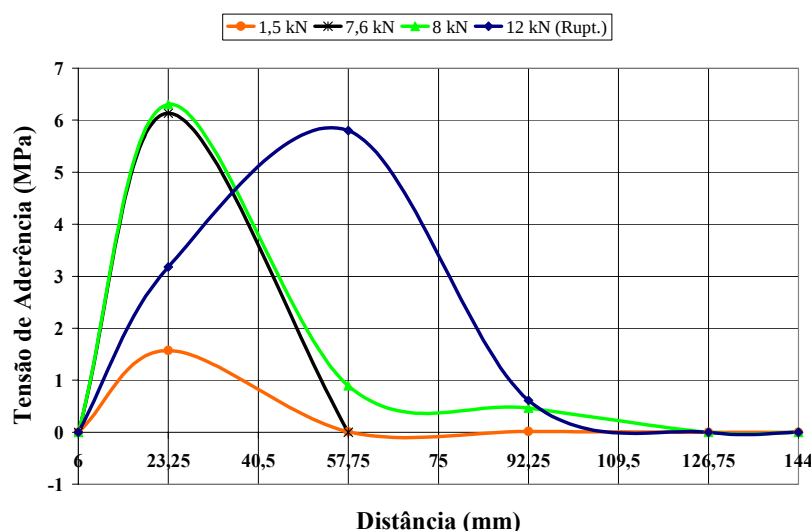


Figura 4.38 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R25-2.

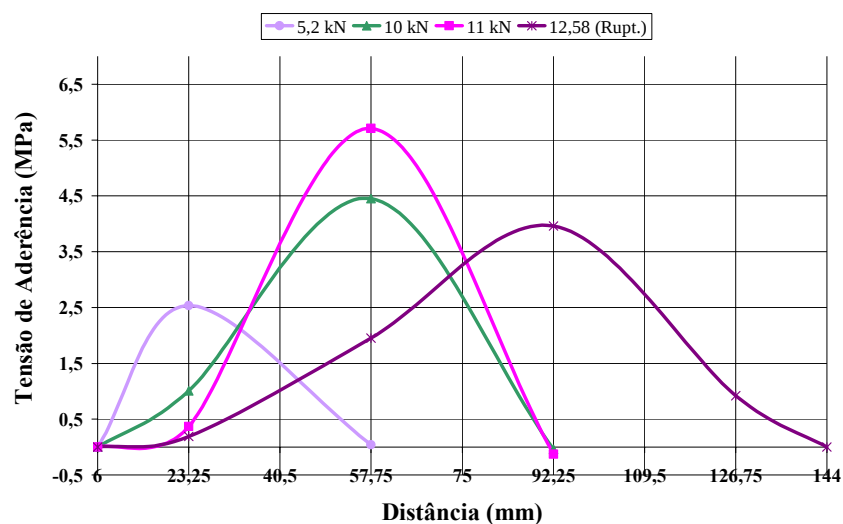


Figura 4.39 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R35-1.

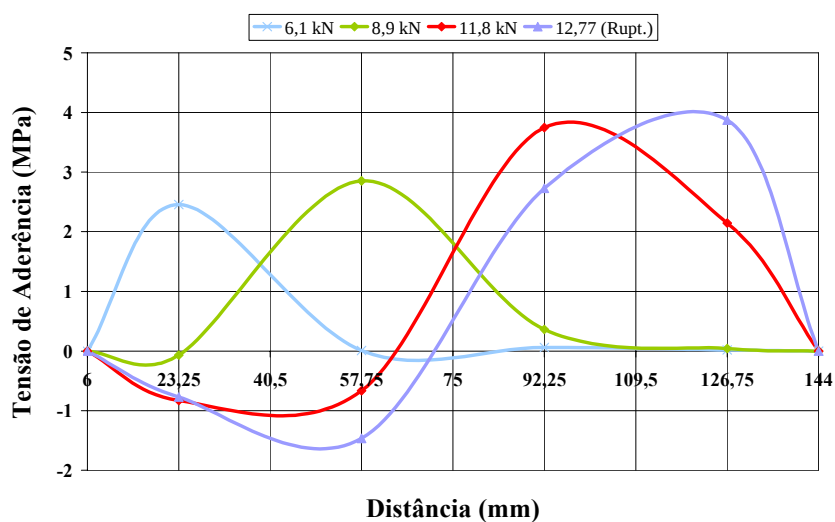


Figura 4.40 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R35-2.

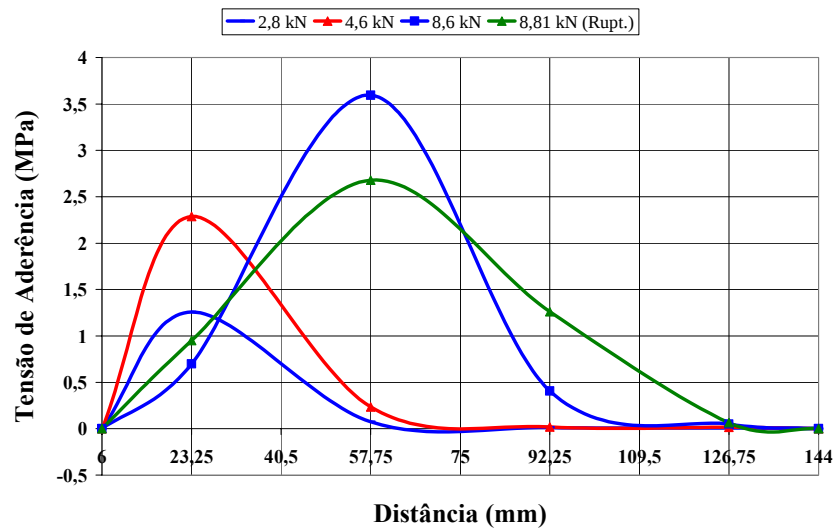


Figura 4.41 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R45-1.

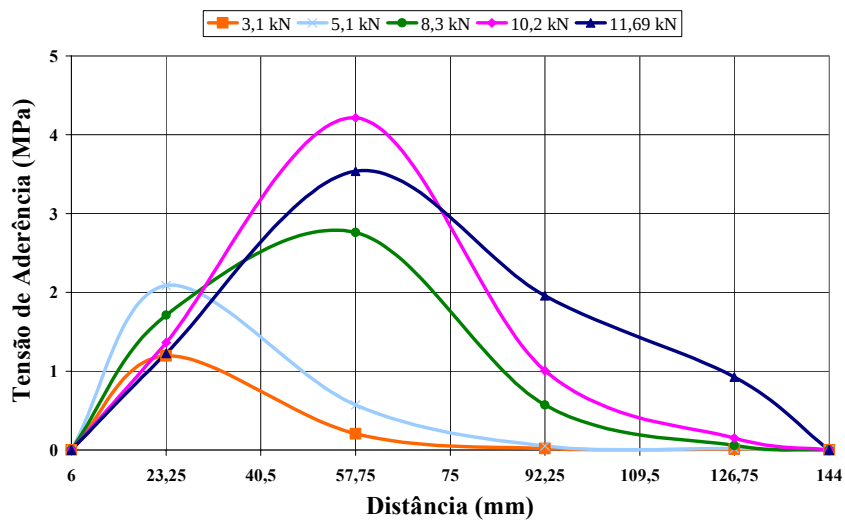


Figura 4.42 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R45-2.

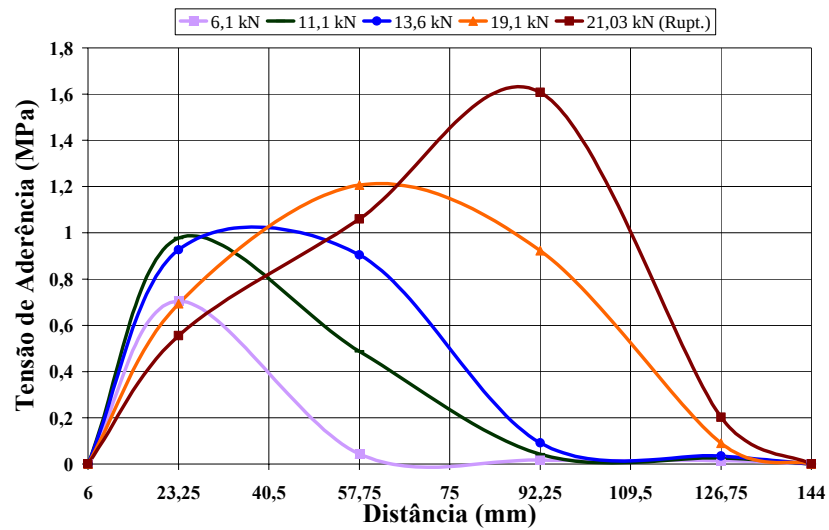


Figura 4.43 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L100-R25.

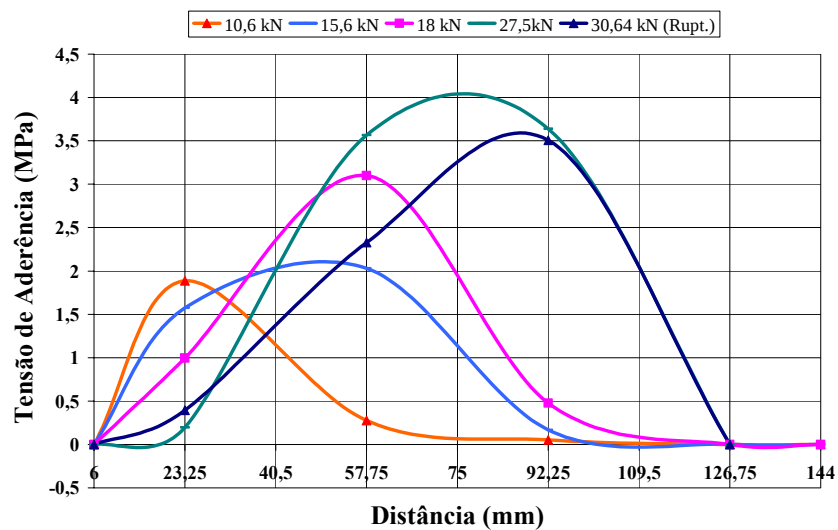


Figura 4.44 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L50-R35.

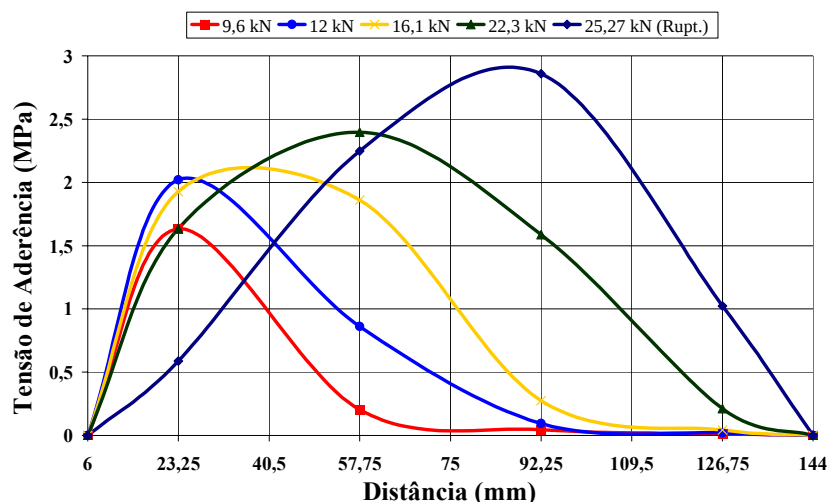


Figura 4.45 – Tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem para o corpo-de-prova L100-R45.

Em termos gerais, as tensões de aderência, apresentaram um comportamento típico, no qual, com o aumento do carregamento, estas tensões aumentaram e os pontos de tensão máxima se deslocaram ao longo do comprimento de ancoragem do tecido.

Analisando-se as curvas tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem, conclui-se que há um comprimento de ancoragem efetivo no qual as tensões de aderência estão realmente distribuídas. O valor deste comprimento foi de 120 mm (média dos comprimentos de ancoragem efetivos de cada corpo-de-prova válido). Este comprimento foi obtido observando-se nos gráficos para cada corpo-de-prova válido até que ponto havia valores de tensões de aderência significativos.

Na adoção do comprimento de ancoragem efetivo e nas análises posteriores, não foram considerados os seguintes corpos-de-prova: L50-R25-1, pelo motivo citado anteriormente, o L50-R35-2, por apresentar comportamento anômalo para cargas próximas à de ruptura (Figuras 4.15 e 4.40) e o L100-R25 (Figuras 4.18 e 4.43) no qual foram observadas tensões de aderências e deformações muito baixas em relação aos outros corpos-de-prova.

A Tabela 4.3 e a Figura 4.46 mostram uma comparação entre as cargas aplicadas nos corpos-de-prova e as cargas calculadas pela integral da curva tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem. Foram obtidos

valores muito próximos entre as cargas aplicadas e as calculadas, o que mostra a consistência dos resultados e a validade dos ensaios.

Tabela 4.3 – Comparação entre as cargas aplicadas e as cargas dadas pela curva tensão de aderência x distância ao longo do comprimento de ancoragem.

<i>Grupos</i>	<i>Corpos-de-Prova</i>	<i>F_u (aplicada) (kN)</i>	<i>F_u (curvas) (kN)</i>
A	L50-R25-1*	-	-
	L50-R25-2	12,00	14,95
	L50-R35-1	12,58	12,41
	L50-R35-2*	-	-
	L50-R45-1	8,81	8,60
	L50-R45-2	11,69	11,78
B	L100-R25*	-	-
	L100-R35	30,64	28,60
	L100-R45	25,27	22,48

*Corpos-de-prova descartados na análise.

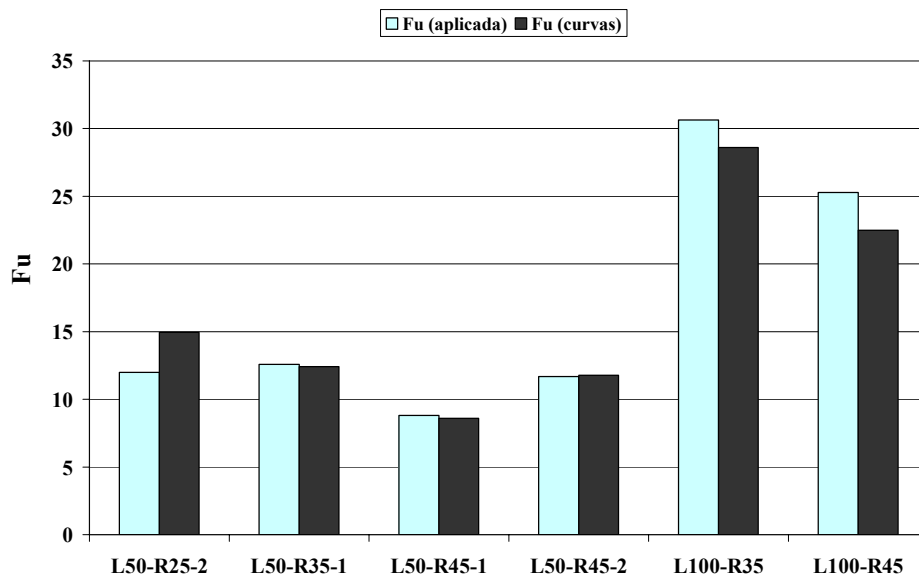


Figura 4.46 – Gráfico comparativo entre as cargas aplicadas e as calculadas.

4.6 Tensões Últimas de Aderência

As tensões últimas de aderência são tensões ao longo da área do tecido colada ao concreto (considerando-se o comprimento de ancoragem efetivo) e podem ser calculadas pela equação 4.1, por meio da média ponderada das tensões últimas calculadas em todos os trechos do comprimento de ancoragem efetivo, e pela seguinte expressão:

$$\tau_{bu} = \frac{F_u}{\ell_{b,efet} \cdot b_f} \quad (4.2)$$

onde

F_u – carga última;

$\ell_{b,efet}$ – comprimento de ancoragem efetivo;

b_f – largura do CFC.

A Tabela 4.4 mostra uma análise estatística das tensões últimas de aderência (calculadas pelas equações 4.1 e 4.2) dos corpos-de-prova considerados para a verificação da influência da largura do tecido.

Tabela 4.4 – Análise estatística das tensões últimas de aderência dos corpos-de-prova considerados para a verificação da influência da largura do tecido.

<i>Grupo</i>	<i>Corpos-de-Prova</i>	<i>Tensões Últimas de Aderência τ_{bu} (MPa)</i>	
		<i>Equação 4.1</i>	<i>Equação 4.2</i>
A	L50-R25-1*	-	-
	L50-R25-2	2,85	2,00
	L50-R35-1	1,85	2,10
	L50-R35-2*	-	-
	L50-R45-1	1,42	1,47
	L50-R45-2	1,48	1,95
B	L100-R25*	-	-
	L100-R35	2,13	2,55
	L100-R45	1,78	2,11
Média		1,92	2,03
Desvio Padrão (s)		0,52	0,35
Coefficiente de Variação (CV) (%)		27,4	17,2

*Corpos-de-prova descartados na análise.

Os valores das tensões últimas de aderência calculadas pela equação 4.1 apresentam $s = 0,52$ e $CV = 27,4\%$. Esses altos índices de dispersão foram,

provavelmente, devido ao posicionamento inadequado dos extensômetros ou instrumentação insuficiente no tecido.

Os valores das tensões últimas de aderência calculadas pela equação 4.2, considerando-se todos os corpos-de-prova, apresentam $s = 0,35$ e $CV = 17,2\%$. O valor do CV apresenta baixa dispersão, pois é menor do que 20%, portanto, é um valor aceitável.

As Figuras 4.47 e 4.48 mostram que as tensões últimas de aderência não dependem da largura do tecido, tanto para as tensões calculadas pela equação 4.1, quanto para as calculadas pela equação 4.2.

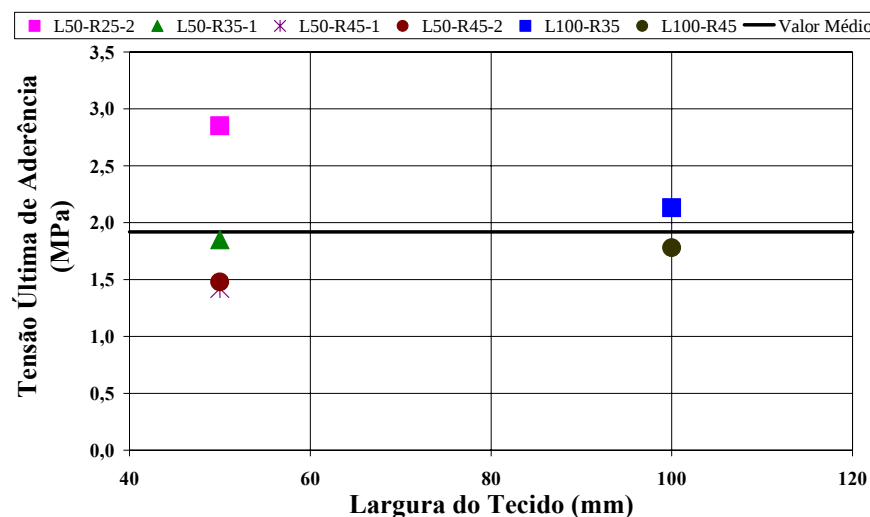


Figura 4.47 – Tensão última de aderência (equação 4.1) x largura do tecido.

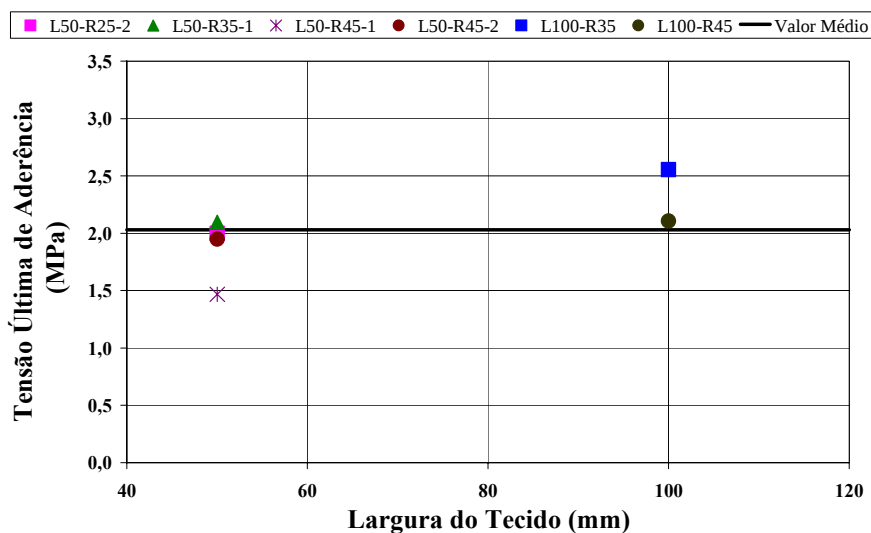


Figura 4.48 – Tensão última de aderência (equação 4.2) x largura do tecido.

A Tabela 4.5 mostra uma análise estatística das tensões últimas de aderência (calculadas pelas equações 4.1 e 4.2) dos corpos-de-prova considerados para a verificação da resistência do concreto. Para esta verificação, foram descartados, além dos corpos-de-prova citados anteriormente (L50-R25-1, L50-R35-2 e L100-R25), o corpo-de-prova L100-R35 que apresentou ruptura do tecido.

Tabela 4.5 – Análise estatística das tensões últimas de aderência dos corpos-de-prova considerados para a verificação da influência da resistência do concreto.

<i>Grupo</i>	<i>Corpos-de-Prova</i>	<i>Tensões Últimas de Aderência τ_{bu} (MPa)</i>	
		<i>Equação 4.1</i>	<i>Equação 4.2</i>
A	L50-R25-1*	-	-
	L50-R25-2	2,85	2,00
	L50-R35-1	1,85	2,10
	L50-R35-2*	-	-
	L50-R45-1	1,42	1,47
	L50-R45-2	1,48	1,95
B	L100-R25*	-	-
	L100-R35	-	-
	L100-R45	1,78	2,11
Média		1,88	1,92
Desvio Padrão (s)		0,58	0,26
Coefficiente de Variação (CV) (%)		30,7	13,7

*Corpos-de-prova descartados na análise.

Os valores das tensões últimas de aderência calculadas pela equação 4.1 apresentam $s = 0,58$ e $CV = 30,7\%$. O valor do índice de dispersão CV é considerado alto.

Os valores das tensões últimas de aderência calculadas pela equação 4.2 apresentam $s = 0,26$ e $CV = 13,7\%$. O valor do CV apresenta baixa dispersão, pois é menor do que 20%, portanto, é um valor aceitável.

As Figuras 4.49 e 4.50 mostram que as tensões últimas de aderência não dependem da resistência do concreto, tanto para as tensões obtidas pela equação 4.1, quanto para as obtidas pela equação 4.2.

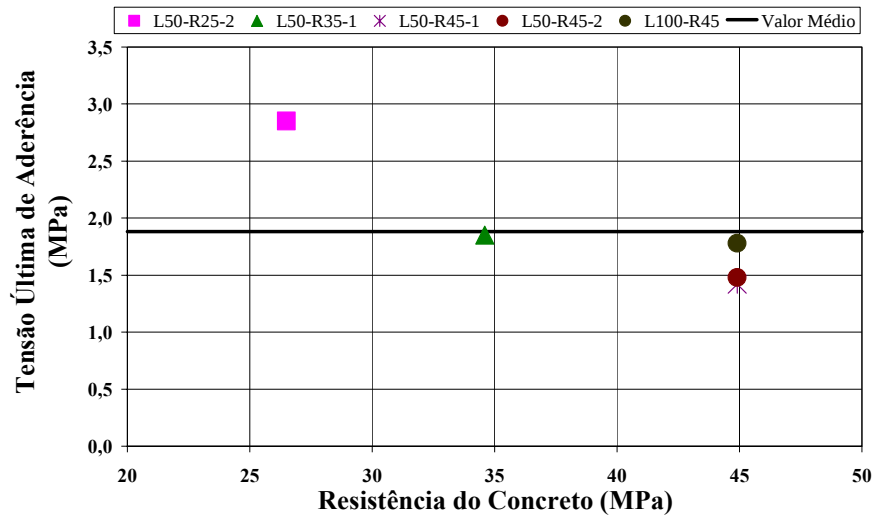


Figura 4.49 – Tensão última de aderência (equação 4.1) x resistência do concreto.

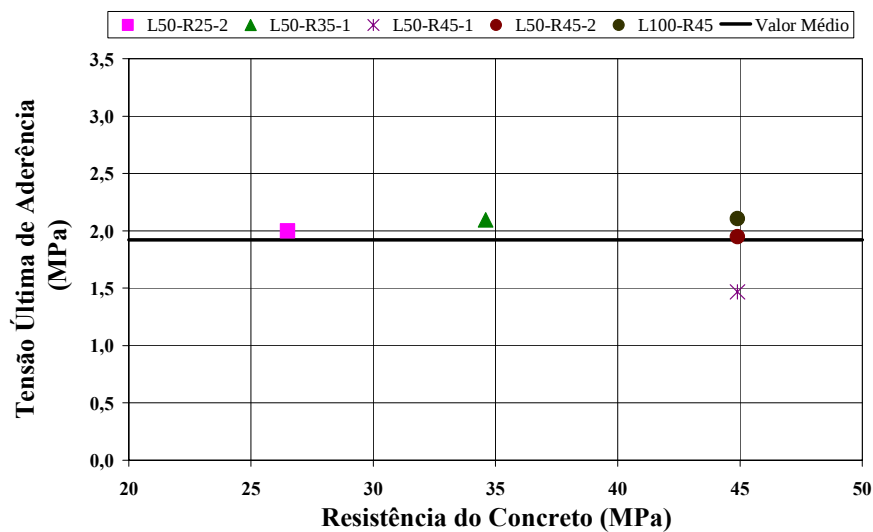


Figura 4.50 – Tensão última de aderência (equação 4.2.) x resistência do concreto.

Considerando-se as verificações das influências da largura do tecido e da resistência do concreto (Tabelas 4.4 e 4.5) nas tensões últimas de aderência, adota-se para o cálculo em projeto, um valor característico inicial da tensão última de aderência dada pela seguinte expressão:

$$\tau_{bk} = \tau_{bu,m} - 1,65s \quad (4.3)$$

onde

$\tau_{bu,m}$ – valor médio das tensões últimas de aderência calculadas pelas equações 4.1 e 4.2;

s – desvio padrão.

Tabela 4.6 – Valor característico da tensão última de aderência.

Variáveis	$\tau_{bu,m}$ (MPa)		Desvio Padrão (s)		Valor característico da tensão última de aderência τ_{bk} (MPa)	
	Equação 4.1	Equação 4.2	Equação 4.1	Equação 4.2	Equação 4.1	Equação 4.2
Largura do Tecido (b_f)	1,92	2,03	0,52	0,35	1,06	1,45
Resistência do Concreto (f_c)	1,88	1,92	0,58	0,26	0,92	1,49

O valor característico recomendado para a tensão última de aderência é 1,45 MPa, considerando-se as tensões calculadas pela equação 4.2 (menor valor a favor da segurança), pois estas apresentaram menores índices de dispersão. Salienta-se que é necessária a realização de mais ensaios para que esse valor seja confirmado.

4.7

Fator de Efetividade das Tensões no CFC

O fator de efetividade das tensões no CFC foi calculado como sendo a razão entre os valores das tensões últimas de tração no CFC obtidas no ensaio de aderência, e as resistências obtidas em ensaios de tração direta realizados em corpos-de-prova de CFC como descrito no item 3.2.2.1. As Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 e a Figura 4.51 mostram os valores do fator de efetividade.

Tabela 4.7 – Fator de efetividade das tensões no CFC para os corpos-de-prova do grupo A.

Corpos-de-Prova	Fator de Efetividade
L50-R25-1*	-
L50-R25-2	0,50
L50-R35-1	0,52
L50-R35-2*	-
L50-R45-1	0,37
L50-R45-2	0,49

Média	0,47
Desvio Padrão (s)	0,07
Coefficiente de Variação (CV) (%)	14,9

*Corpos-de-prova descartados na análise.

Tabela 4.8 – Fator de efetividade das tensões no CFC para os corpos-de-prova do grupo B.

<i>Corpos-de-Prova</i>	<i>Fator de Efetividade</i>
L100-R25*	-
L100-R35	0,64
L100-R45	0,53
Média	0,58
Desvio Padrão (s)	0,08
Coefficiente de Variação (CV) (%)	13,6

*Corpo-de-prova descartados na análise.

Tabela 4.9 – Fator de efetividade das tensões no CFC para todos os corpos-de-prova.

<i>Corpos-de-Prova</i>	<i>Fator de Efetividade</i>
L50-R25-1*	-
L50-R25-2	0,50
L50-R35-1	0,52
L50-R35-2*	-
L50-R45-1	0,37
L50-R45-2	0,49
L100-R25*	-
L100-R35	0,64
L100-R45	0,53
Média	0,51
Desvio Padrão (s)	0,09
Coefficiente de Variação (CV) (%)	17,2

*Corpos-de-prova descartados na análise.

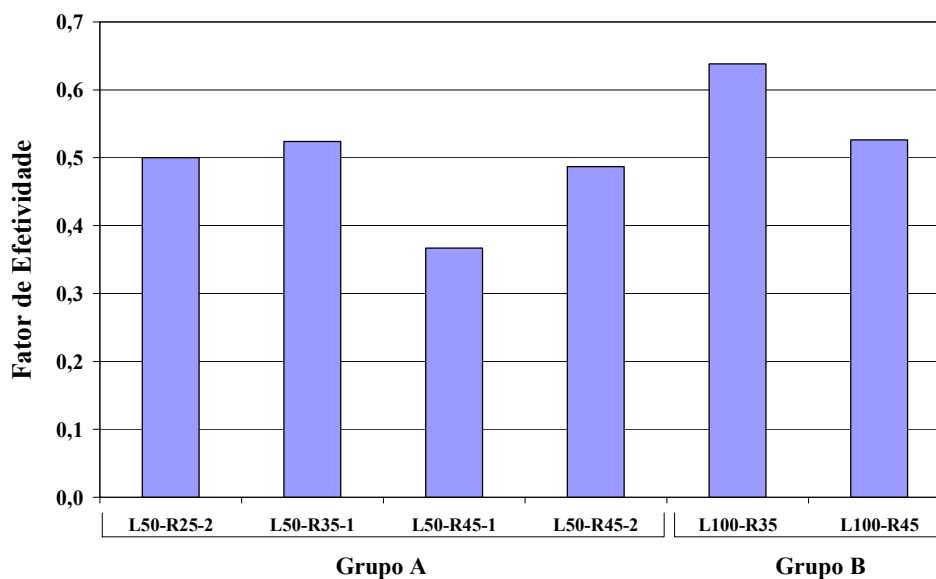


Figura 4.51 – Fator de efetividade das tensões no CFC para todos os corpos-de-prova.

O valor médio do coeficiente de efetividade dos corpos-de-prova do grupo B foi 23,4% maior que os do grupo A.

Os valores do fator de efetividade das tensões no CFC considerando-se todos os corpos-de-prova apresentam $s = 0,09$ e $CV = 17,2$. Analisando-se somente os corpos-de-prova do grupo A, os valores do fator de efetividade apresentam $s = 0,07$ e $CV = 14,9\%$. Os corpos-de-prova do grupo B apresentam $s = 0,08$ e $CV = 13,6\%$, portanto, quando analisados separadamente, este grupo apresenta menor dispersão, mas, em geral, os valores do CV para os dois grupos apresentam baixa dispersão, pois são menores que 20%, portanto são valores aceitáveis.

4.8

Tensões de Aderência x Deslocamento Relativo entre o CFC e o Concreto

As tensões de aderência foram calculadas utilizando-se a equação 4.1 descrita no item 4.4. Os deslocamentos relativos foram calculados utilizando-se a seguinte expressão:

$$s = \delta_f + \delta_c \quad (4.4)$$

$$\delta_f = \frac{\varepsilon_{f,i} - \varepsilon_{f,i-1}}{2} \ell_0 \quad (4.5)$$

$$\delta_c = \frac{\varepsilon_{c,i} - \varepsilon_{c,i-1}}{2} \ell_0 \quad (4.6)$$

sendo

δ_f – deslocamento do CFC;

δ_c – deslocamento do concreto;

ℓ_0 – distância entre os pontos onde são obtidas as medidas de deformações específicas.

Considerou-se um deslocamento no concreto na seção ao longo do comprimento de ancoragem (extensômetros 5 e 6) e um deslocamento no tecido considerando-se os extensômetros das duas extremidades do comprimento de ancoragem, para diversas cargas (extensômetros 0 e 4) como mostra a Figura 4.52.

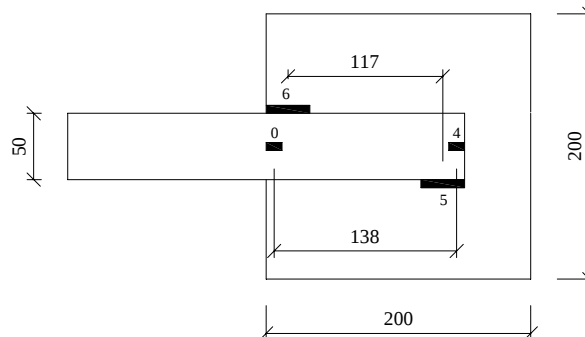


Figura 4.52 – Posicionamento dos extensômetros para o cálculo dos deslocamentos relativos entre o CFC e o concreto.

Como os corpos-de-prova do grupo B não tiveram o extensômetro 5 do concreto, a deformação neste foi considerada zero para o cálculo do deslocamento no concreto.

As Figuras 4.53 e 4.54 mostram curvas tensão de aderência x deslocamento relativo entre o CFC e o concreto.

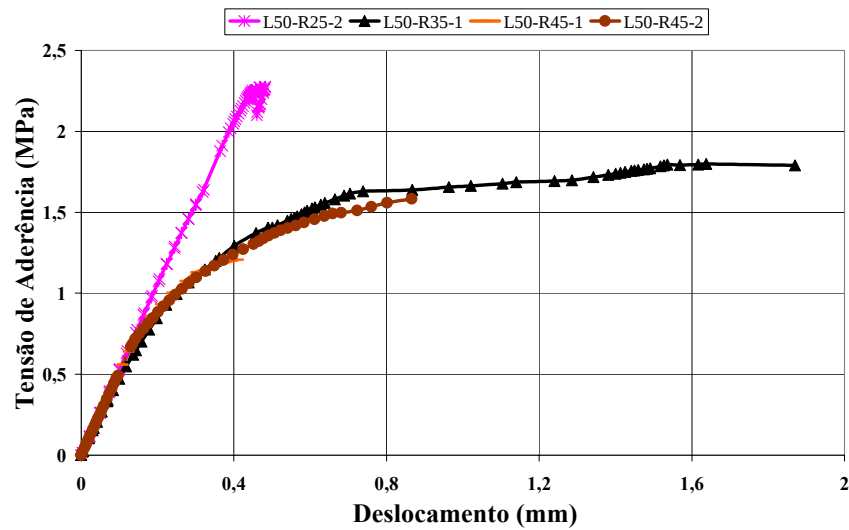


Figura 4.53 – Curva tensão de aderência x deslocamento para os corpos-de-prova do grupo A.

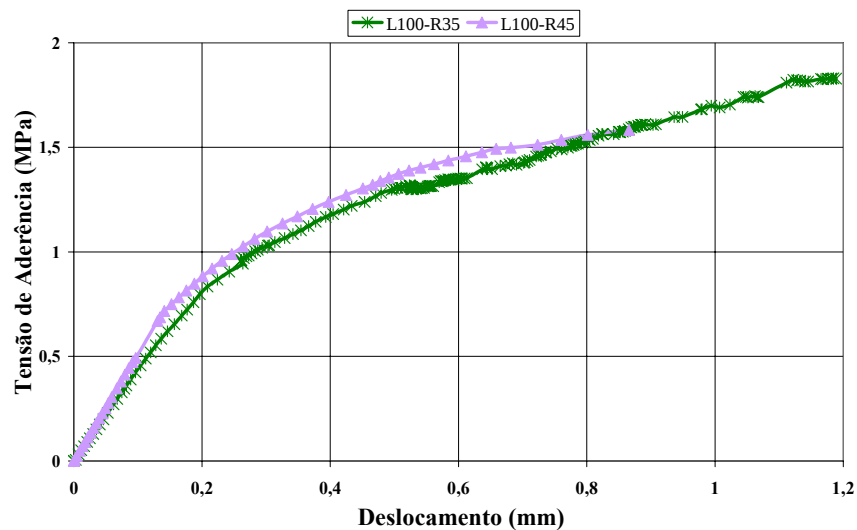


Figura 4.54 – Curva tensão de aderência x deslocamento para os corpos-de-prova do grupo B.

Os corpos-de-prova do grupo B tiveram curvas tensão de aderência x deslocamento mais regulares que os corpos-de-prova do grupo A.