

## **ESTUDO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE WÖHLER EM BARRAS DE AÇO CA-60 DE 7 MM**

Carlos Henrique Leal Viana (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí) E-mail: carloshenriqueelv@hotmail.com

Hudson Chagas dos Santos (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí) E-mail: hudson@ifpi.edu.br

**Resumo:** Em estruturas de concreto armado submetidas a cargas móveis, a verificação do efeito da fadiga é de suma importância para a garantia da segurança durante a vida útil. A ausência de uma norma que pudesse prescrever o comportamento de barras de aço e telas soldadas de aço CA-60 submetidas a esses carregamentos foi a principal motivação para este estudo. Com o emprego de estruturas pré-moldadas com telas soldadas, sobretudo em lajes de pontes, a investigação da influência do processo de soldagem na resistência à fadiga é de suma importância para dimensionamento. Este trabalho desenvolveu um estudo experimental comparativo entre barras isoladas e telas soldadas de vergalhões de aço CA-60, de diâmetro 7 mm, em relação ao comportamento à fadiga, apresentando as Curvas de Wöhler, relacionando três níveis de flutuação de tensão e o número de ciclos de ruptura. Os resultados do estudo mostraram o quanto as telas soldadas podem ser menos resistentes que as barras que não sofreram processo de soldagem. Assim, este trabalho proporciona uma contribuição para o aprimoramento de disposições normativas em relação ao dimensionamento e à verificação da fadiga em elementos de concreto armado.

**Palavras-chave:** Fadiga, CA-60, vergalhões, telas soldadas.

## **EXPERIMENTAL STUDY TO DETERMINE WÖHLER'S CURVE IN 7 MM CA-60 STEEL BARS**

**Abstract:** In reinforced concrete structures subjected to mobile loads, checking the effect of fatigue is of paramount importance to ensure safety during its useful life. The absence of a standard that could prescribe the behavior of steel bars and welded mesh of CA-60 steel subjected to these loads was the main motivation for this study. With the use of pre-molded structures with welded mesh, especially in bridge slabs, the investigation of the influence of the welding process on fatigue resistance is of paramount importance for dimensioning. This work developed a comparative experimental study between insulated bars and welded mesh of CA-60 steel rebar, with a diameter of 7 mm, in relation to fatigue behavior, presenting the Wöhler's Curves, relating three levels of tension fluctuation and the number of rupture cycles. The results of the study showed how much the welded mesh can be less resistant than the bars that did not undergo a welding process. Thus, this work provides a contribution to the improvement of normative provisions in relation to the design and verification of fatigue in reinforced concrete elements.

**Keywords:** Fatigue, CA-60, steel rebar, steel mesh.

## 1. Introdução

Para compreender melhor o comportamento do aço CA-60 que compõe as estruturas, mostra-se necessário cada vez mais estudos para compreensão dos esforços atuantes e seus respectivos efeitos. Diante disso, ressalta-se o efeito da fadiga que ocorre em estruturas submetidas a carregamentos móveis, a exemplo das pontes. O emprego de lajes pré-moldadas com telas soldadas nesse tipo de estrutura vem se tornando cada vez comum. Assim, Cavalcanti (2011) diz que a segurança de estruturas de concreto armado, no que diz respeito a resistência à fadiga, tem sido objeto de estudo em vários países, visando aprimorar suas normas e práticas.

Ainda não há prescrição normativa brasileira no que diz respeito ao comportamento à fadiga do aço CA-60, visto que a NBR 6118 (ABNT, 2014) se limita a tratar de recomendações e métodos de cálculo para o aço CA-50. Logo, Ferreira (2017), Ferreira et al. (2018a) e Ferreira et al. (2018b) foram os primeiros pesquisadores a estudarem o efeito da fadiga em barras isoladas e telas soldadas de vergalhões de aço CA-60. Esses estudos foram realizados com barras de 8 mm.

Assim, o principal objetivo desta pesquisa consiste em determinar a Curva de Wöhler de barras isoladas e telas soldadas de aço CA-60 com diâmetro de 7 mm, a partir de ensaios cíclicos de tração axial, considerando três níveis de flutuação para a previsão das variações de tensão atuantes, de acordo com os seguintes números de ciclos iniciais:  $1 \cdot 10^5$ ,  $1 \cdot 10^6$  e  $2 \cdot 10^6$ ; determinar os coeficientes  $k$  para o aço CA-60; e comparar os resultados de resistência à fadiga com a bitola de 8 mm estudada por Ferreira (2017).

Diante do exposto, este estudo aborda uma análise experimental do aço CA-60, que possa obter resultados para contribuir no que diz respeito às prescrições normativas relacionadas a esse tipo de aço.

## 2. Referencial teórico

O engenheiro A. Wöhler mostrou que a resistência à fadiga  $S_F$  (N) decresce com a vida  $N$  (número de ciclos), e na maioria das vezes segue uma relação ajustável por uma parábola (RÊGO, 2017). Em 1910, a Curva de Wöhler, também chamada de Curva S-N, foi representada por O. H. Basquin através da Equação 1 (CAIXETA, 2010):

$$N \cdot (S_F)^B = A \quad (1)$$

Sendo:  $N$  é o número de ciclos;  $S_F$  é a resistência à fadiga;  $B$  e  $A$  são parâmetros experimentais.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta o gráfico da Figura 1 relacionando o número de ciclos com a variação de tensão aplicada, em escala logarítmica, para o aço CA-50. A função da resistência à fadiga para esse tipo de aço consiste em segmentos de reta.

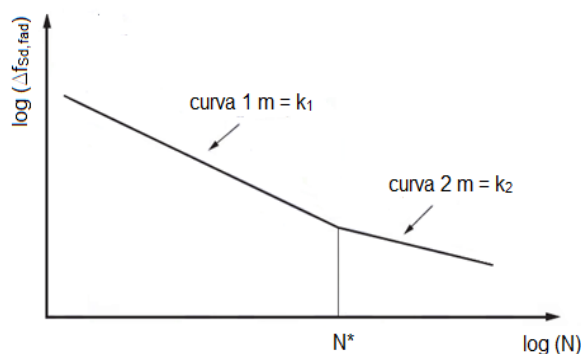


Figura 1 – Curvas de resistência à fadiga (curvas S-N) para o aço CA-50 (ABNT NBR 6118, 2014)

ASM (2002) explica que a falha por fadiga tem um ou mais locais de iniciação, ou seja, uma região de trinca progressiva, uma região de propagação e uma zona final de fratura por sobrecarga rápida. A ASM (2002) também cita que as descontinuidades introduzidas durante o processamento, fabricação ou serviço podem resultar no início da trinca por fadiga sob circunstâncias em que um material sem defeito teria vida útil aceitável.

Phillips (2016) alerta para os elementos que sofreram processo de soldagem, pois as regiões de solda são locais comuns de concentrações de tensão e, portanto, provável local de iniciação de trinca por fadiga.

O processo de soldagem utilizado para a união de barras e formação de telas soldadas de aço CA-60 é a soldagem por resistência. Marques, Modenesi e Bracarense (2009) definem este tipo de processo que permite a união de peças metálicas através de superfícies sobrepostas pelo calor gerado na junta através de resistência à passagem de uma corrente elétrica e pela aplicação de pressão.

Dentre os processos de soldagem por resistência, a soldagem por pontos, é utilizada para fundir barras de aço CA-60. Na soldagem por pontos, a solda é obtida na região das peças colocadas entre um par de eletrodos, e várias soldas podem ser obtidas simultaneamente pela utilização de múltiplos pares de eletrodos (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

### **3. Metodologia**

A metodologia proposta para este trabalho consiste no estudo experimental de vergalhões de aço CA-60 com diâmetro nominal de 7 mm, em formato de barra isolada e em formato de tela, através de ensaios de fadiga por força axial.

#### **3.1 Materiais**

Para este estudo, foram utilizadas barras de aço CA-60 com 7 mm diâmetro, de tensão de escoamento de 600 MPa, confeccionadas conforme as prescrições da NBR 7480 (ABNT, 2007). A Figura 2, a seguir, ilustra uma amostra de vergalhão CA-60 com diâmetro nominal de 7 mm e 30 cm de comprimento no formato de barra isolada utilizada nos ensaios experimentais.



Figura 2 – Vergalhão de aço CA-60 com diâmetro nominal de 7 mm e 30 cm de comprimento

Já a Figura 3, a seguir, exibe uma amostra de vergalhão CA-60 com diâmetro nominal de 7 mm e 30 cm de comprimento retirada de uma tela soldada com espaçamento de 10 cm entre barras utilizada nos ensaios experimentais.



Figura 3 – Vergalhão de aço CA-60 com diâmetro nominal de 7 mm e 30 cm de comprimento retirado de uma tela soldada com espaçamento de 10 cm entre barras

### 3.2 Métodos

O equipamento utilizado foi a Shimadzu Servo Pulser modelo EHF-EV200K1-010-0A do Laboratório de Materiais do Instituto Federal do Piauí (IFPI), ilustrada na Figura 4.



Figura 4 – Máquina Shimadzu Servo Pulser modelo EHF-EV200K1-010-0A

Para se determinar a carga máxima a ser aplicada durante o ensaio, a NBR 6118 (ABNT, 2014) preconiza que a tensão máxima para a análise da fadiga seja de 80% da tensão de escoamento do aço. Assim, ensaios-teste foram realizados para conhecer o comportamento dos vergalhões de aço CA-60 e, então, prever as variações de tensão que venham a provocar a ruptura dos corpos de prova mais próximas de  $1 \cdot 10^5$ ,  $1 \cdot 10^6$  e  $2 \cdot 10^6$  de ciclos.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos ensaios-teste, considerando as variações de tensão, tensão máxima, tensões mínimas e ciclos de ruptura dos corpos de prova.

Tabela 1 – Ensaios-teste de fadiga

Amostra	Variação de tensão (MPa)	Tensão máxima (MPa)	Tensão mínima (MPa)	Ciclos de ruptura
01	206,0	480,0	274,0	4.151.031
02	210,0	480,0	270,0	1.635.540
03	220,5	480,0	259,5	1.612.681
04	231,0	480,0	249,0	1.332.825

05	262,5	480,0	217,5	936.909
06	273,0	480,0	207,0	1.135.164
07	294,0	480,0	186,0	824.067
08	336,0	480,0	144,0	406.197
09	367,5	480,0	112,5	183.345
10	420,0	480,0	60,0	195.498
11	440,0	480,0	40,0	192.520
12	450,0	480,0	30,0	98.616

Fonte: Autor (2021)

Para definir os parâmetros necessários dos ensaios seguintes, adotou-se três variações de tensão para se estimar a ruptura das barras próximas às três ciclagens propostas. Assim, para  $1 \cdot 10^5$  de ciclos, tem-se uma variação de tensão de 449,7 MPa; para  $1 \cdot 10^6$  de ciclos, tem-se 273,2 MPa e, para  $2 \cdot 10^6$  de ciclos, adotou-se 220,1 MPa.

Em seguida, foi definido o alongamento característico da amplitude da máquina para cada um dos três níveis de variação de tensão através da Equação 2:

$$A_l = \Delta\sigma \cdot l_0 / E \tag{2}$$

Sendo:  $A_l$  é o alongamento característico da amplitude da máquina;  $\Delta\sigma$  é a variação de tensão;  $L$  é o comprimento inicial da amostra;  $E$  é o módulo de elasticidade do material.

Assim, considerando-se que os corpos de prova possuíam 30 cm de comprimento, sendo que para o cálculo foi considerado 20 cm entre as garras da máquina, e que o módulo de elasticidade é de 210000 MPa, os valores de alongamento são 0,428, 0,260 e 0,210 mm para os valores de variação de tensão de 449,7, 273,2 e 220,1 MPa, respectivamente.

A norma MERCOSUL 02:00-020-10 (1996) recomenda que ensaios de barra ao ar sejam realizados com frequência de 3 Hz a 10 Hz. Assim, a frequência de ensaio foi obtida a partir do valor de amplitude através do gráfico ilustrado na Figura 5.

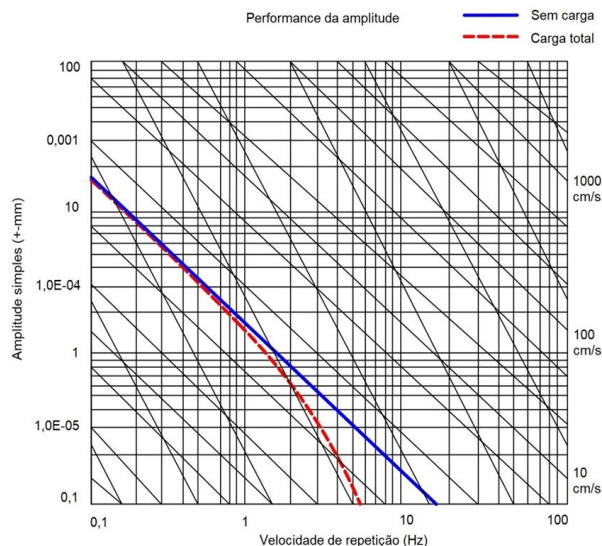


Figura 5 – Gráfico amplitude-frequência (Adaptado de Servo Pulser Manual, [20--?])

De posse dos valores de alongamento, pôde-se obter as frequências de cada ensaio, obedecendo os limites normativos e da máquina. Dessa forma, tem-se que a frequência adotada para os ensaios com variação de tensão de 449,7 MPa foi de 4 Hz, para 273,2 MPa o valor foi de 6 Hz e para 220,1 MPa utilizou-se 7,5 Hz.

Com os valores de variação de tensão, amplitude e frequência obtidos para cada um dos

três níveis de ciclagem propostos, foram realizados ensaios de fadiga. Os ensaios executados consistiam em seis conjuntos, com seis corpos de prova para cada nível de flutuação de tensão pré-fixada, sendo três conjuntos utilizando barras isoladas de 7 mm de diâmetro nominal e três conjuntos com telas soldadas de 7 mm de diâmetro nominal a cada 10 cm na direção horizontal por 7 mm de diâmetro nominal a cada 10 cm na direção vertical, totalizando trinta e seis amostras de aço CA-60.

Após os ensaios, foram determinados os valores médios de ciclos, os desvios-padrão e os coeficientes de variação para os conjuntos, tanto para as barras quanto para as telas.

Para a obtenção da Curva de Wöhler, foi usada a Equação 3 de distribuição normal, no qual obteve-se o valor característico das ciclagens ( $N_k$ ) com nível de confiança de 95%:

$$N_k = N_m - 1,64 \cdot cv \cdot N_m \quad (3)$$

Sendo:  $N_k$  é o valor característico das ciclagens;  $N_m$  é a média do número de ciclagens;  $cv$  é o coeficiente de variação.

Para se determinar o coeficiente  $k$ , foi utilizada a Equação 4 do CEB 188 (1988):

$$\Delta\sigma^9 \cdot N = k \quad (4)$$

Sendo:  $\Delta\sigma$  é a variação de tensão;  $N$  é o número de ciclos;  $k$  é o coeficiente de inclinação da Curva de Wöhler.

#### 4. Resultados e discussões

Para que fosse possível analisar os resultados obtidos através dos ensaios de fadiga, foram calculados, para cada grupo de variação de tensão tanto para as barras isoladas quanto para as telas soldadas, a média do número de ciclos de ruptura ( $N_m$ ) e o desvio padrão. Para avaliar a variabilidade dos resultados, utilizou-se um parâmetro adimensional ( $n$ ), que se trata da razão entre o número de ciclos de ruptura e a média obtida dos ensaios e mede a dispersão dos dados, e o respectivo desvio padrão.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para as variações de tensão de 449,7, 273,2 e 220,1 MPa, respectivamente, referente às barras isoladas.

Tabela 2 – Resultados obtidos para a variação de tensão  $D_s=449,7$  MPa (barras isoladas)

CP	N	Média (Nm)	Desvio padrão de N	$n=N/N_m$	Desvio padrão de n
1	147645	162079,67	21588,42	0,91094092	0,13
2	149253			0,92086196	
3	156538			0,96580900	
4	201336			1,24220394	
5	172359			1,06342149	
6	145347			0,89676270	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 3 – Resultados obtidos para a variação de tensão  $D_s=273,2$  MPa (barras isoladas)

CP	N	Média (Nm)	Desvio padrão de N	$n=N/N_m$	Desvio padrão de n
7	765870	984971,00	435156,80	0,77755589	0,44
8	593187			0,60223804	

9	785478	0,79746307
10	1807791	1,83537485
11	1097913	1,11466530
12	859587	0,87270285

Fonte: Autor (2021)

Tabela 4 – Resultados obtidos para a variação de tensão  $D_s=220,1$  MPa (barras isoladas)

CP	N	Média (Nm)	Desvio padrão de N	n=N/Nm	Desvio padrão de n
13	711864	1774572,17	635411,44	0,40114683	0,36
14	1504609			0,84787141	
15	2034006			1,14619514	
16	2019693			1,13812954	
17	1772559			0,99886555	
18	2604702			1,46779153	

Fonte: Autor (2021)

A partir desses resultados, tem-se que a média dos desvios-padrão para os três grupos de ensaios com barras isoladas é de 0,31.

Já as Tabelas 5, 6 e 7 exibem os resultados obtidos para as variações de tensão de 449,7, 273,2 e 220,1 MPa, respectivamente, relativos às telas soldadas.

Tabela 5 – Resultados obtidos para a variação de tensão  $D_s=449,7$  MPa (telas soldadas)

CP	N	Média (Nm)	Desvio padrão de N	n=N/Nm	Desvio padrão de n
1	49779	54690,17	3822,64	0,91020019	0,07
2	54576			0,99791248	
3	55932			1,02270670	
4	59119			1,08098043	
5	50655			0,92621769	
6	58080			1,06198250	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 6 – Resultados obtidos para a variação de tensão  $D_s=273,2$  MPa (telas soldadas)

CP	N	Média (Nm)	Desvio padrão de N	n=N/Nm	Desvio padrão de n
7	225948	261216,67	66966,09	0,86498640	0,26
8	382725			1,46516863	
9	195643			0,74897116	
10	225558			0,86349338	
11	249600			0,95553227	
12	287820			1,10184815	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 7 – Resultados obtidos para a variação de tensão  $D_s=220,1$  MPa (telas soldadas)

CP	N	Média (Nm)	Desvio padrão de N	n=N/Nm	Desvio padrão de n
13	328905	460480,00	90718,31	0,71426555	0,20
14	586530			1,27373610	
15	396573			0,86121656	
16	486546			1,05660615	
17	448662			0,97433548	
18	515664			1,11984017	

Fonte: Autor (2021)

Com isso, tem-se que a média dos desvios-padrão para os três grupos de ensaios com telas soldadas é de 0,18. Logo, a variabilidade dos ensaios foi menor nas telas soldadas.

Nota-se que a variabilidade dos conjuntos de telas soldadas diminuiu em relação aos conjuntos de barras isoladas. Também, percebe-se que os desvios-padrão para as variações de tensão de 273,2 MPa e 220,1 MPa foram semelhantes entre si, para ambas tipologias. Também, a variabilidade foi menor para os grupos cuja variação de tensão é de 449,7 MPa, e semelhante ao se comparar as barras isoladas com as telas soldadas.

Para se determinar os três pontos da Curva de Wöhler, foi utilizada a Equação 3 para a obtenção do valor característico do número de ciclos de ruptura  $N_k$ , de cada flutuação de tensão. Esse valor característico depende da média do número de ciclagens  $N_m$  e do coeficiente de variação  $cv$ , que equivale ao desvio padrão do número adimensional  $n$ .

As Tabelas 8 e 9 apresentam os valores de  $N_m$  e  $cv$  apresentados anteriormente, bem como o valores de  $N_k$  calculados através da Equação 3, para cada grupo de ensaio com barras isoladas e telas soldadas, respectivamente.

Tabela 8 – Valores de  $N_m$ ,  $cv$  e  $N_k$  para os ensaios realizados com barras isoladas

Variação de tensão (MPa)	$N_m$	$cv$	$N_k$
449,7	162079,67	0,13	127524,28
273,2	984971,00	0,44	274215,93
220,1	1774572,17	0,36	726864,76

Fonte: Autor (2021)

Tabela 9 – Valores de  $N_m$ ,  $cv$  e  $N_k$  para os ensaios realizados com telas soldadas

Variação de tensão (MPa)	$N_m$	$cv$	$N_k$
449,7	54690,17	0,07	48411,74
273,2	261215,67	0,26	149833,31
220,1	460480,00	0,20	309442,56

Fonte: Autor (2021)

Os resultados de coeficiente  $k$  estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de  $k \cdot 10^{27}$  para as barras isoladas e telas soldadas



Varição de tensão (MPa)	k para barras isoladas	k para telas soldadas
449,7	121,91	41,14
273,2	8,35	2,21
220,1	2,15	0,56

Fonte: Autor (2021)

A norma CEB 188 (1988) indica o valor de 11,2 para o coeficiente k para o aço CA-50. Para o aço CA-60, percebe-se que, para variações de tensão de 220,1 e 273,2 MPa, existe uma proximidade entre os valores de k na mesma ordem de grandeza, exceto para o valor de 0,56. Para 449,7 MPa, a ordem de grandeza do coeficiente k foi diferente.

A Figura 6, a seguir, mostra a Curva de Wöhler obtida a partir dos resultados dos ensaios com barras isoladas, tanto para a curva média quanto a curva característica.

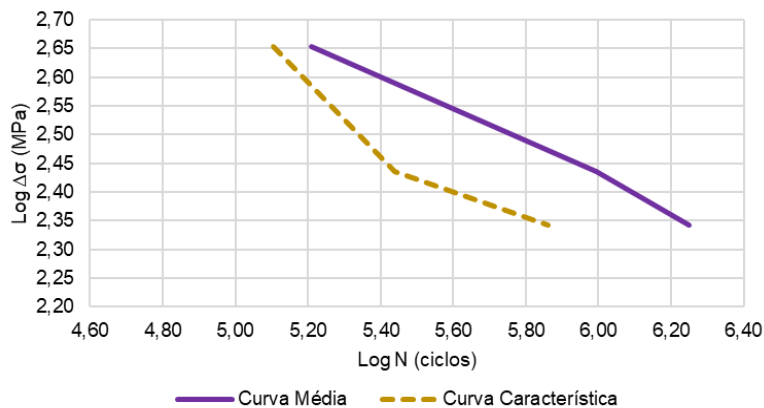


Figura 6 – Curva de Wöhler para barras isoladas de aço CA-60 com 7 mm de diâmetro

Na Figura 7 está apresentado um comparativo entre as Curvas de Wöhler alcançadas neste trabalho e as obtidas por Ferreira (2017). A partir disso, pode-se notar que as barras isoladas de 7 mm foram mais resistentes que as barras de 8 mm ensaiadas por Ferreira (2017), mesmo utilizando-se valores de variação de tensão superiores.

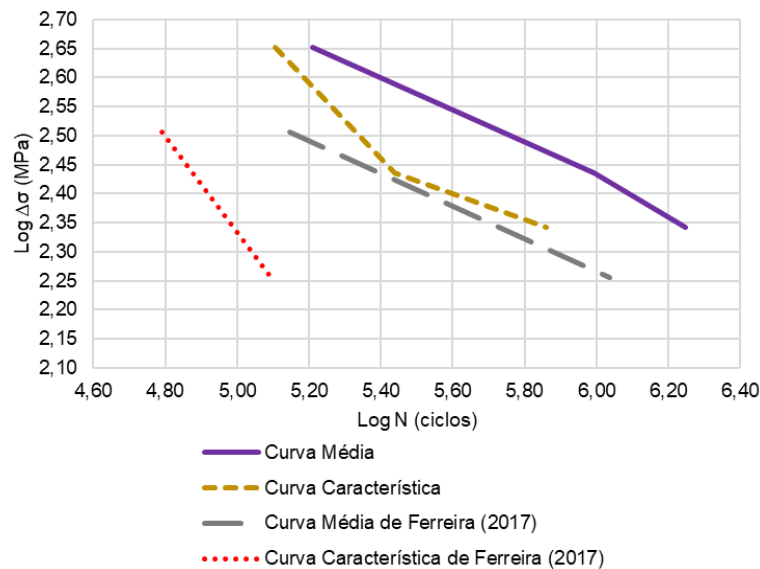


Figura 7 – Comparativo entre a Curva de Wöhler para barras isoladas de 7 mm e a Curva de Wöhler elaborada por Ferreira (2017) para barras isoladas de 8 mm

Já a Figura 8 apresenta a Curva de Wöhler obtida a partir dos resultados dos ensaios com telas soldadas, tanto para a curva média quanto a curva característica.

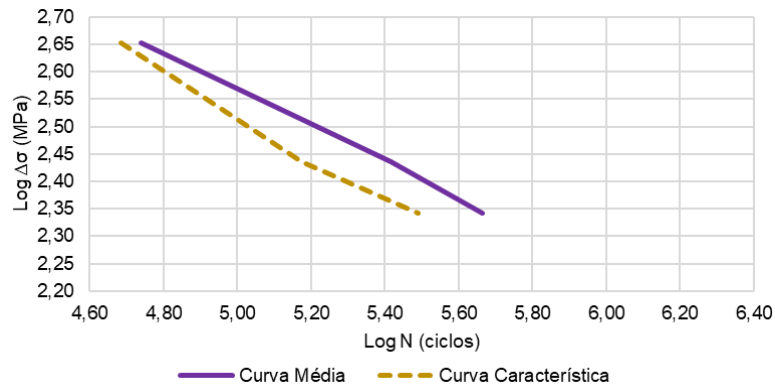


Figura 8 – Curva de Wöhler para telas soldadas de aço CA-60 com 7 mm de diâmetro

Na Figura 9 está reproduzido um comparativo entre as Curvas de Wöhler contraídas neste trabalho e as obtidas por Ferreira (2017). Assim, verificou-se que as telas ensaiadas tiveram um comportamento menos resistente à fadiga do que as telas de 8 mm, visto que a ruptura das barras ocorreu com menos ciclos. Porém, ao se analisar o comportamento entre as curvas, verifica-se que a diferença foi menos significativa nas telas soldadas quando comparadas às barras isoladas.

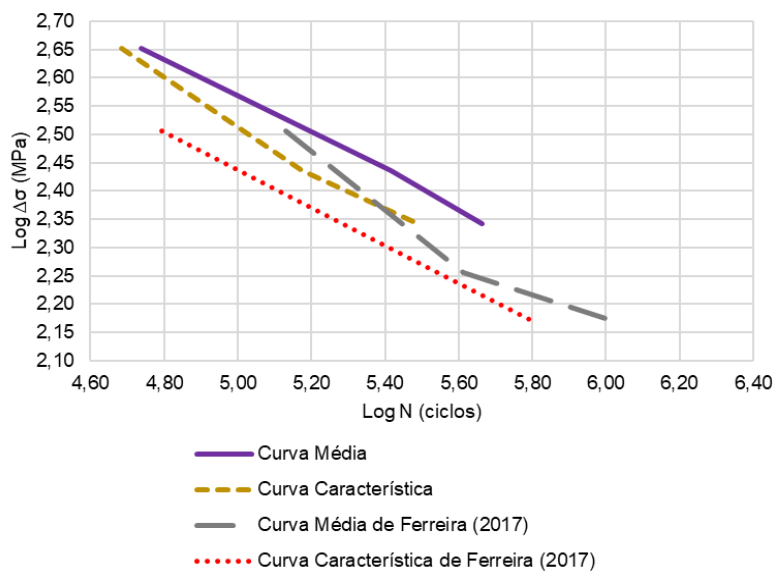


Figura 9 – Comparativo entre a Curva de Wöhler para telas soldadas de 7 mm e a Curva de Wöhler elaborada por Ferreira (2017) para telas soldadas de 8 mm

Também, elaborou-se um comparativo entre as Curvas de Wöhler das duas tipologias de barras. Pode-se visualizar essa comparação através da Figura 10. Verifica-se que as barras isoladas foram mais resistentes à fadiga do que as telas soldadas.

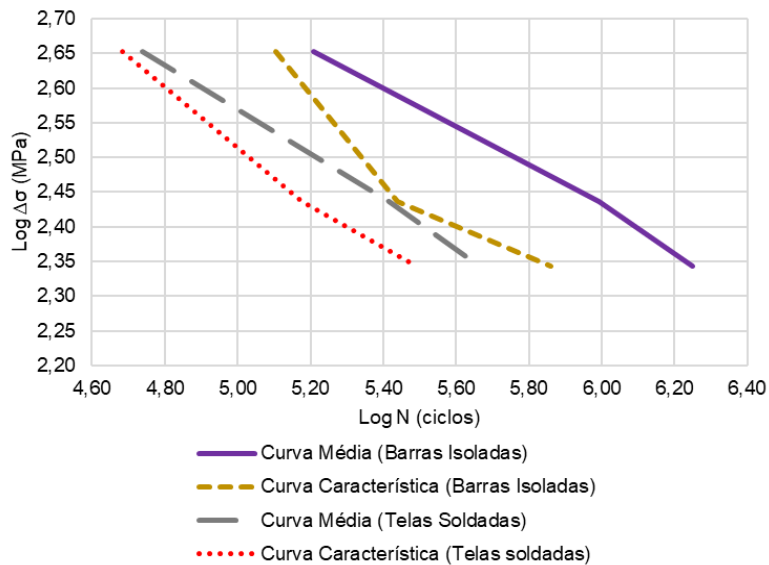


Figura 10 – Comparativo entre as Curvas de Wöhler das barras isoladas e das telas soldadas

## 5. Conclusões

Após a realização dos ensaios e ao se comparar o local de ruptura das barras, notou-se que a solda foi uma região de início de trinca nos corpos de prova, visto que todas as telas se romperam nesse ponto de concentração de tensões.

Em relação à variabilidade dos ensaios, conclui-se que a média dos desvios-padrão para os três grupos com barras isoladas foi maior do que os grupos com telas soldadas. Assim, este fato comprova o quanto a região soldada pode se comportar como uma zona de fragilidade, a qual demonstrou uma tendência de ruptura comum a todos os ensaios.

Com a obtenção do valor característico do número de ciclos de ruptura para cada um dos grupos, determinou-se os coeficientes  $k$  conforme formulação da norma CEB 188 (1988). Para as variações de tensão 220,1 e 273,2 MPa, os valores encontrados foram próximos e com ordem de grandeza semelhante ao valor prescrito por essa norma; porém, para a variação de tensão de 449,7 MPa a ordem de grandeza foi distinta.

No que diz respeito às Curvas de Wöhler das barras isoladas, conclui-se que essas demonstraram um comportamento mais resistente quando comparado aos ensaios com vergalhões de 8 mm de Ferreira (2017). Já as telas soldadas tiveram comportamento menos resistente em relação ao trabalho citado e que as curvas elaboradas para as telas apresentaram diferença menos significativa em relação às barras isoladas.

A partir da comparação entre as Curvas de Wöhler, tanto para a curva média quanto para a curva característica, de barras isoladas e telas soldadas, pode-se concluir que a região soldada em telas teve influência significativa na resistência à fadiga, provocando ruptura com números de ciclos bem inferiores aos observados em barras isoladas. Deste modo, a análise de fadiga nessas tipologias de barras merece atenção especial diante dos resultados apresentados.

## Referências

ASM International handbook. *Failure analysis and prevention*. The Materials Information Company, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento*. 3. ed. Rio de Janeiro, 2014. 256 p.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *NBR 7480: aço destinado a armaduras de concreto armado: especificação.* Rio de Janeiro, 2007. 17 p.

**CAIXETA, E. C.** *Investigação experimental da fadiga em lajes de pontes com ou sem pré-lajes.* Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. São Paulo, 2010.

**CAVALCANTI, P. S. P.** *Investigação experimental da fadiga ao cisalhamento em lajes de pontes com pré-lajes.* Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. São Paulo, 2011.

**COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON.** *Fatigue of concrete structures: state of the art report: Bulletin d'information n° 188.* Lausanne, 1988.

**FERREIRA, C. C. M.** *Análise experimental do efeito de fadiga em vergalhões de 8mm em barras isoladas e telas soldadas para aplicação em concreto armado.* Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Teresina, 2017.

**FERREIRA, C. C. M.; CUEVAS, R.; STUCCHI, F. R.; SANTOS, H. C.** *Investigação experimental do comportamento à fadiga de lajes de concreto armado com aço CA-60.* In: Congresso Brasileiro do Concreto, 60., 2018a, Foz do Iguaçu. Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018a.

**FERREIRA, C. C. M.; SANTOS, H. C.; CUEVAS, R.; STUCCHI, F. R.** *Experimental Investigation to Determine the Wöhler's Curve in CA-60 Steel 8mm Bars for Application in Slabs.* International Journal of Materials Engineering, Rosemead, v. 2, n. 8, p.17-22, 2018b. Disponível em: <<http://article.sapub.org/10.5923.j.ijme.20180802.01.html>>. Acesso em: 27 ago. 2019.

**INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACION.** *Aços para armaduras de concreto armado: parte 10: ensaio de fadiga em barras–projeto de norma MERCOSUL 02:00-020-10.* Buenos Aires, 1996.

**MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q.** *Soldagem: fundamentos e tecnologia.* 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009. 363 p.

**PHILLIPS, D. H.** *Welding Engineering: an introduction.* Chichester: John Wiley & Sons, 2016.

**RÊGO, E. M. F.** *Mecânica da fratura baseada em deformação aplicada em fadiga por fretting.* 2017. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

**SERVO PULSER MANUAL.** *Instruction Manual: Shimadzu Servo Pulser–Model EHF-EV200K1-010-0A.* [20--?].

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro à pesquisa, pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa; e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI).