

4.

Resultados e Discussão

4.1

Primeira etapa

4.1.1

Análise do plano de fratura

A tabela a seguir apresenta os diferentes planos de fratura, considerando os fatores de carregamento e o material utilizado. Independente do modelo estudado, todos possuem planos de fratura iguais uma vez que a definição para tal plano foi a mesma para cada critério: aquele em que a tensão normal perpendicular a ele é máxima.

Nesta tabela, os planos de fratura são definidos pelo ângulo ψ_f , entre o eixo de carregamento e o vetor perpendicular ao plano de fratura correspondente a uma dada condição de carregamento.

Tabela 11: Planos de fratura para os diferentes tipos de materiais e de carregamento.

	σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	$\beta(^{\circ})$	$\psi_f(^{\circ})$
Material: Aço de alta resistência: $f_{-1} = 313,9$ MPa; $t_{-1} = 196,2$ MPa; $\sigma_u = 704,1$ MPa						
1	327,7	0,0	0,0	0,0	0	0,0
2	308,0	0,0	63,9	0,0	0	11,3
3	255,1	0,0	127,5	0,0	0	22,5
4	141,9	0,0	171,3	0,0	0	33,8
5	0,0	0,0	201,1	0,0	0	45,0
6	255,1	0,0	127,5	0,0	30	21,6
7	142,0	0,0	171,2	0,0	30	34,1
8	255,1	0,0	127,5	0,0	60	17,6
9	147,2	0,0	177,6	0,0	60	35,4
10	308,0	0,0	63,9	0,0	90	0,0
11	264,9	0,0	132,4	0,0	90	0,0
12	152,5	0,0	184,2	0,0	90	39,0
Material: Aço de alta resistência: $f_{-1} = 313,9$ MPa; $t_{-1} = 196,2$ MPa; $\sigma_u = 680,0$ MPa						
13	138,1	0,0	167,1	0,0	0	33,8

14	140,4	0,0	169,9	0,0	30	34,1
15	145,7	0,0	176,3	0,0	60	35,5
16	150,2	0,0	181,7	0,0	90	39,1
17	245,3	0,0	122,7	0,0	0	22,5
18	249,7	0,0	124,9	0,0	30	21,6
19	252,4	0,0	126,2	0,0	60	17,6
20	258,0	0,0	129,0	0,0	90	0,0
21	299,1	0,0	62,8	0,0	0	11,4
22	304,5	0,0	63,9	0,0	90	0,0

Material: 42CrMo4: $f_{-1} = 398,0$ MPa; $t_{-1} = 260,0$ MPa; $\sigma_u = 1025,0$ MPa

23	328,0	0,0	157,0	0,0	0	21,9
24	286,0	0,0	137,0	0,0	90	0,0
25	233,0	0,0	224,0	0,0	0	31,3
26	213,0	0,0	205,0	0,0	90	34,2
27	266,0	0,0	128,0	128,0	0	31,3
28	283,0	0,0	136,0	136,0	90	29,0
29	333,0	0,0	160,0	160,0	180	0,0
30	280,0	280,0	134,0	0,0	0	21,5
31	271,0	271,0	130,0	0,0	90	0,0

Material: 34Cr4: $f_{-1} = 410,0$ MPa; $t_{-1} = 256,0$ MPa; $\sigma_u = 795,0$ MPa

32	314,0	0,0	157,0	0,0	0	22,5
33	315,0	0,0	158,0	0,0	60	0,0
34	316,0	0,0	158,0	0,0	90	0,0
35	315,0	0,0	158,0	0,0	120	162,3
36	224,0	0,0	224,0	0,0	90	35,3
37	380,0	0,0	95,0	0,0	90	0,0
38	316,0	0,0	158,0	158,0	0	31,7
39	314,0	0,0	157,0	157,0	60	31,3
40	315,0	0,0	158,0	158,0	90	30,1
41	279,0	279,0	140,0	0,0	0	13,3
42	284,0	284,0	142,0	0,0	90	0,0
43	355,0	0,0	89,0	178,0	0	28,2
44	212,0	212,0	212,0	0,0	90	0,0
45	129,0	0,0	258,0	0,0	90	43,1

Material: 30NCD16: $f_{-1} = 660,0$ MPa; $t_{-1} = 410,0$ MPa; $\sigma_u = 1880,0$ MPa

46	485,0	0,0	280,0	0,0	0	24,6
47	480,0	0,0	277,0	0,0	90	0,0
48	480,0	300,0	277,0	0,0	0	17,7
49	480,0	300,0	277,0	0,0	45	15,3
50	470,0	300,0	270,0	0,0	60	12,5
51	473,0	300,0	273,0	0,0	90	0,0
52	590,0	300,0	148,0	0,0	0	9,2
53	565,0	300,0	141,0	0,0	45	6,7
54	540,0	300,0	135,0	0,0	90	0,0
55	211,0	300,0	365,0	0,0	0	27,5

Material: Aço macio: $f_{-1} = 235,4$ MPa; $t_{-1} = 137,3$ MPa; $\sigma_u = 518,8$ MPa

56	245,3	0,0	0,0	0,0	0	0,0
57	235,6	0,0	48,9	0,0	0	11,3
58	187,3	0,0	93,6	0,0	0	22,5
59	101,3	0,0	122,3	0,0	0	33,8
60	0,0	0,0	142,3	0,0	0	45,0
61	194,2	0,0	97,1	0,0	60	17,6
62	108,9	0,0	131,5	0,0	60	35,4
63	235,6	0,0	48,9	0,0	90	0,0
64	208,1	0,0	104,1	0,0	90	0,0
65	112,6	0,0	136,0	0,0	90	39,0
Material: Ferro fundido: $f_{-1} = 96,1$ MPa; $t_{-1} = 91,2$ MPa; $\sigma_u = 230,0$ MPa						
66	93,2	0,0	0,0	0,0	0	0,0
67	95,2	0,0	19,7	0,0	0	11,2
68	83,4	0,0	41,6	0,0	0	22,5
69	56,3	0,0	68,0	0,0	0	33,8
70	0,0	0,0	94,2	0,0	0	45,0
71	104,2	0,0	21,6	0,0	90	0,0
72	97,1	0,0	48,6	0,0	90	0,0
73	71,3	0,0	86,1	0,0	90	39,0

Os planos de fratura não são influenciados pelas propriedades do material, uma vez que N_{max} é função apenas dos parâmetros de carregamento. Assim, dois materiais diferentes, se estiverem sob o mesmo carregamento, apresentarão o mesmo plano de fratura.

Os valores do ângulo ψ_f referentes aos planos de fratura encontrados para o aço de alta resistência, para o aço macio e para o ferro fundido estão em concordância com os valores expostos no artigo de Carpinteri & Spagnoli (2001).

Observando, individualmente, as condições de carregamento com tensões médias nulas e sem defasagem, duas hipóteses podem ser levantadas: o ângulo ψ_f aumenta com a diminuição da amplitude da tensão normal; e/ou aumenta com o aumento da amplitude da tensão cisalhante. Essas influências serão melhores vistas no item 4.1.4.

Carpinteri et al (2002) calcularam valores dos planos de fratura por meio da função-peso dos ângulos de Euler e acharam valores próximos a resultados experimentais reportados no mesmo artigo, concluindo que essa metodologia pode ser usada para calcular o plano de fratura. Outros trabalhos também usaram a metodologia e acharam resultados parecidos. (Carpinteri, Brighenti & Spagnoli, 2000; Karolczuk & Macha, 2005)

4.1.2.

Análise do plano crítico

Na tabela abaixo são listados os valores do ângulo ψ_c entre o vetor perpendicular ao plano crítico e o eixo de carregamento para cinco dos seis critérios em questão. Como Mataka e McDiarmid possuem a mesma definição, a inclinação do plano crítico será a mesma para os dois. Para Liu & Mahadevan e Carpinteri & Spagnoli, basta somar os respectivos δ ao plano de fratura.

Tabela 12: planos críticos para os diferentes tipos de materiais e carregamento.

						ψ_c (°)			
						Matake e McDiarmid	Findley	Carpinteri- Spagnoli	Liu- Mahadevan
σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	β (°)					
Material: Aço de alta resistência: $f_{-1} = 313,9$ MPa; $t_{-1} = 196,2$ MPa; $\sigma_u = 704,1$ MPa									
1	327,7	0,0	0,0	0,0	0	45,0	37,8	41,1	39,2
2	308,0	0,0	63,9	0,0	0	56,3	49,0	52,4	50,5
3	255,1	0,0	127,5	0,0	0	67,5	60,3	63,6	61,7
4	141,9	0,0	171,3	0,0	0	78,8	71,5	74,9	73,0
5	0,0	0,0	201,1	0,0	0	0,0	7,2	86,1	84,2
6	255,1	0,0	127,5	0,0	30	146,7	164,4	62,7	60,8
7	142,0	0,0	171,2	0,0	30	169,8	176,0	75,2	73,3
8	255,1	0,0	127,5	0,0	60	157,5	164,1	58,7	56,8
9	147,2	0,0	177,6	0,0	60	175,3	176,9	76,5	74,6
10	308,0	0,0	63,9	0,0	90	45,0	36,1	41,1	39,2
11	264,9	0,0	132,4	0,0	90	45,0	0,0	41,1	39,2
12	152,5	0,0	184,2	0,0	90	0,0	0,0	80,1	78,2
Material: Aço de alta resistência: $f_{-1} = 313,9$ MPa; $t_{-1} = 196,2$ MPa; $\sigma_u = 680,0$ MPa									
13	138,1	0,0	167,1	0,0	0	168,8	176,0	74,9	73,0
14	140,4	0,0	169,9	0,0	30	169,8	176,1	75,2	73,3
15	145,7	0,0	176,3	0,0	60	173,4	176,9	76,6	74,7
16	150,2	0,0	181,7	0,0	90	0,0	0,0	80,2	78,3
17	245,3	0,0	122,7	0,0	0	157,5	164,7	63,6	61,7
18	249,7	0,0	124,9	0,0	30	157,5	164,4	62,7	60,8
19	252,4	0,0	126,2	0,0	60	157,5	164,1	58,7	56,8
20	258,0	0,0	129,0	0,0	90	0,0	0,0	41,1	39,2
21	299,1	0,0	62,8	0,0	0	146,4	153,6	52,5	50,6
22	304,5	0,0	63,9	0,0	90	45,0	36,9	41,1	39,2
Material: 42CrMo4: $f_{-1} = 398,0$ MPa; $t_{-1} = 260,0$ MPa; $\sigma_u = 1025,0$ MPa									
23	328,0	0,0	157,0	0,0	0	156,9	165,8	60,6	58,5
24	286,0	0,0	137,0	0,0	90	45,0	0,0	38,7	36,6
25	233,0	0,0	224,0	0,0	0	166,3	175,2	70,0	67,9
26	213,0	0,0	205,0	0,0	90	0,0	0,0	72,9	70,8

27	266,0	0,0	128,0	128,0	0	67,0	55,8	70,0	67,9
28	283,0	0,0	136,0	136,0	90	45,0	31,2	67,7	65,6
29	333,0	0,0	160,0	160,0	180	23,1	19,7	38,7	36,6
30	280,0	280,0	134,0	0,0	0	156,9	168,3	60,2	58,1
31	271,0	271,0	130,0	0,0	90	45,0	0,0	38,7	36,6

Material: 34Cr4: $f_{-1} = 410,0$ MPa; $t_{-1} = 256,0$ MPa; $\sigma_u = 795,0$ MPa

32	314,0	0,0	157,0	0,0	0	67,5	60,3	63,7	61,7
33	315,0	0,0	158,0	0,0	60	157,6	164,1	41,2	39,2
34	316,0	0,0	158,0	0,0	90	0,0	0,0	41,2	39,2
35	315,0	0,0	158,0	0,0	120	22,4	15,9	203,5	201,5
36	224,0	0,0	224,0	0,0	90	0,0	0,0	76,5	74,5
37	380,0	0,0	95,0	0,0	90	45,0	36,5	41,2	39,2
38	316,0	0,0	158,0	158,0	0	67,5	58,1	72,9	70,9
39	314,0	0,0	157,0	157,0	60	67,5	54,1	72,5	70,5
40	315,0	0,0	158,0	158,0	90	0,0	29,8	71,3	69,3
41	279,0	279,0	140,0	0,0	0	157,6	167,0	54,5	52,5
42	284,0	284,0	142,0	0,0	90	0,0	0,0	41,2	39,2
43	355,0	0,0	89,0	178,0	0	58,3	50,0	69,4	67,4
44	212,0	212,0	212,0	0,0	90	0,0	0,0	41,2	39,2
45	129,0	0,0	258,0	0,0	90	0,0	0,0	84,3	82,3

Material: 30NCD16: $f_{-1} = 660,0$ MPa; $t_{-1} = 410,0$ MPa; $\sigma_u = 1880,0$ MPa

46	485,0	0,0	280,0	0,0	0	69,6	62,5	66,0	64,2
47	480,0	0,0	277,0	0,0	90	0,0	0,0	41,4	39,6
48	480,0	300,0	277,0	0,0	0	159,5	167,7	59,1	57,3
49	480,0	300,0	277,0	0,0	45	160,4	168,0	56,7	54,9
50	470,0	300,0	270,0	0,0	60	161,4	169,0	53,9	52,1
51	473,0	300,0	273,0	0,0	90	0,0	0,0	41,4	39,6
52	590,0	300,0	148,0	0,0	0	148,3	157,6	50,6	48,8
53	565,0	300,0	141,0	0,0	45	145,8	155,8	48,1	46,3
54	540,0	300,0	135,0	0,0	90	45,0	31,9	41,4	39,6
55	211,0	300,0	365,0	0,0	0	171,9	179,0	68,9	67,1

Material: Aço macio: $f_{-1} = 235,4$ MPa; $t_{-1} = 137,3$ MPa; $\sigma_u = 518,8$ MPa

56	245,3	0,0	0,0	0,0	0	45,0	40,2	44,5	44,1
57	235,6	0,0	48,9	0,0	0	146,3	51,5	55,8	55,4
58	187,3	0,0	93,6	0,0	0	157,5	62,7	67,0	66,6
59	101,3	0,0	122,3	0,0	0	168,8	74,0	78,3	77,9
60	0,0	0,0	142,3	0,0	0	0,0	4,8	89,5	89,1
61	194,2	0,0	97,1	0,0	60	157,5	161,8	62,1	61,7
62	108,9	0,0	131,5	0,0	60	173,4	175,5	79,9	79,5
63	235,6	0,0	48,9	0,0	90	45,0	39,7	44,5	44,1
64	208,1	0,0	104,1	0,0	90	0,0	0,0	44,5	44,1
65	112,6	0,0	136,0	0,0	90	0,0	0,0	83,5	83,1

Material: Ferro fundido: $f_{-1} = 96,1$ MPa; $t_{-1} = 91,2$ MPa; $\sigma_u = 230,0$ MPa

66	93,2	0,0	0,0	0,0	0	45,0	13,1	6,7	16,3
67	95,2	0,0	19,7	0,0	0	56,2	24,3	17,9	27,5
68	83,4	0,0	41,6	0,0	0	157,5	9,4	29,2	38,8

69	56,3	0,0	68,0	0,0	0	168,8	20,7	40,5	50,1
70	0,0	0,0	94,2	0,0	0	0,0	31,9	51,7	61,3
71	104,2	0,0	21,6	0,0	90	45,0	4,5	6,7	16,3
72	97,1	0,0	48,6	0,0	90	0,0	0,0	6,7	16,3
73	71,3	0,0	86,1	0,0	90	0,0	24,4	45,7	55,3

Os modelos de Findley, Carpinteri & Spagnoli e Liu & Mahadevan consideram a influência de parâmetros de materiais para definir os planos críticos. Enquanto que os modelos de Matake e McDiarmid definem o mesmo plano pela equação de C_a , que é função somente de fatores de carregamento.

Como para Carpinteri & Spagnoli e Liu & Mahadevan o plano crítico é a soma de um ângulo δ ao ângulo ψ_f do plano de fratura, seus valores serão sempre muito próximos um do outro, já que apresentam o mesmo plano de fratura e δ é um valor constante para cada material.

Quando um material é frágil, a razão entre t_{-1} e f_{-1} será igual a 1. Isso fará com que os valores de δ para os dois critérios sejam zero. Com isso, os planos críticos irão coincidir com os planos de fratura. O gráfico abaixo mostra essa relação entre os ângulos δ de cada modelo e a razão t_{-1} e f_{-1} :

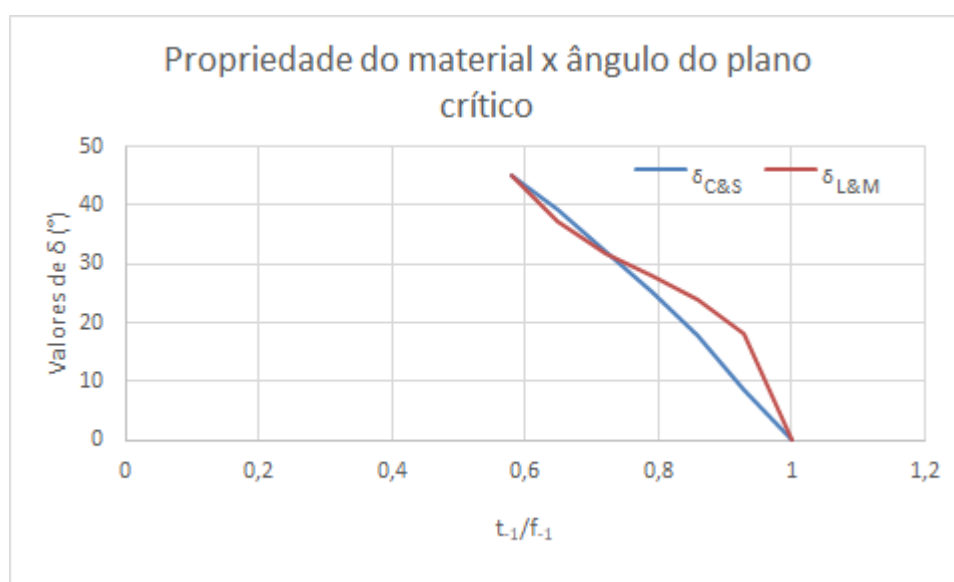


Figura 18: gráfico mostrando a relação entre a razão t_{-1}/f_{-1} e os valores do ângulo δ para Carpinteri & Spagnoli e para Liu & Mahadevan.

Os valores do ângulo ψ_c , referentes aos planos críticos para Carpinteri & Spagnoli e para Liu & Mahadevan variam apenas entre 41,13° e 86,13° e entre 39,17° e 84,17°, respectivamente. Já os valores de Matake e McDiarmid tiveram variações maiores. Isso ocorreu porque para estes dois modelos existem quatro ângulos, com intervalos de 90° entre eles, que apresentam o mesmo valor de C_a . Porém, a escolha de um deles é feita pelo maior valor de N_{max} correspondente, que muitas vezes possui valores bem próximos para esses ângulos. Essa escolha pelo maior N_{max} correspondente também foi utilizada por Papuga (2005).

Já os ângulos de Findley possuem valores bem discrepantes com relação aos outros modelos. É possível observar que, independente do material, quando a defasagem é de 90°, seus ângulos serão baixos. Entretanto para outros carregamentos, seus ângulos variam bastante, mostrando que o modelo é influenciado por todos os fatores de carregamento.

4.1.3.

Comparação dos modelos para diferentes materiais

A análise entre os seis critérios foi feita pelos Índices de Erro, em que o lado direito é comparado com o lado esquerdo de cada desigualdade. A tabela a seguir mostra os Índices de Erro calculados na planilha de Excel para cada critério, variando os parâmetros de carregamento e de materiais.

Tabela 13: Índices de Erro para os diferentes materiais e diferentes parâmetros de carregamento.

						Índice de Erro - I (%)					
	σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	β (°)	Matake	McDiarmid	Findley	C&S	L&M	Papadop
Material: Hard steel: $f_1 = 313.9$ MPa; $t_1 = 196.2$ MPa; $\sigma_u = 704.1$ MPa											
1	327.7	0.0	0.0	0.0	0	4,4	-4,8	4,4	1,8	4,3	4,4
2	308.0	0.0	63.9	0.0	0	4,6	-4,1	4,6	1,2	3,3	3,8
3	255.1	0.0	127.5	0.0	0	8,2	1,0	8,2	3,1	5,3	5,5
4	141.9	0.0	171.3	0.0	0	3,6	-0,4	3,5	-1,5	0,3	0,2
5	0.0	0.0	201.1	0.0	0	2,5	2,5	2,5	1,9	2,3	2,5
6	255.1	0.0	127.5	0.0	30	7,5	-0,8	6,9	0,2	2,3	5,5
7	142.0	0.0	171.2	0.0	30	4,5	-0,6	3,4	-3,6	-1,8	0,2
8	255.1	0.0	127.5	0.0	60	3,8	-6,9	2,5	-7,7	-5,8	5,5
9	147.2	0.0	177.6	0.0	60	9,1	1,9	6,8	-5,7	-4,8	3,9
10	308.0	0.0	63.9	0.0	90	-0,3	-9,7	-0,2	-2,1	0,3	3,8

11	264.9	0.0	132.4	0.0	90	-19,2	-8,6	-0,9	-7,3	-4,8	9,5
12	152.5	0.0	184.2	0.0	90	13,3	4,7	10,3	-8,5	-8,9	7,8
Material: Hard steel: $f_{-1} = 313.9$ MPa; $t_{-1} = 196.2$ MPa; $\sigma_u = 680.0$ MPa											
13	138.1	0.0	167.1	0.0	0	1,0	-2,8	0,9	-3,9	-2,8	-2,3
14	140.4	0.0	169.9	0.0	30	3,6	-1,2	2,5	-4,4	-2,8	-0,6
15	145.7	0.0	176.3	0.0	60	8,4	1,5	5,9	-6,4	-5,8	3,1
16	150.2	0.0	181.7	0.0	90	11,7	3,6	8,8	-9,7	-9,9	6,3
17	245.3	0.0	122.65	0.0	0	4,0	-2,6	4,0	-0,8	1,3	1,4
18	249.7	0.0	124.85	0.0	30	5,2	-2,5	4,7	-1,8	0,3	3,3
19	252.4	0.0	126.2	0.0	60	2,7	-7,4	1,5	-8,6	-6,8	4,4
20	258.0	0.0	129.0	0.0	90	-1,4	-15,3	-3,4	-9,7	-7,8	6,7
21	299.1	0.0	62.8	0.0	0	1,7	-6,3	1,7	-1,5	0,3	0,9
22	304.5	0.0	63.9	0.0	90	-1,4	-10,3	-1,3	-3,2	-0,7	2,7
Material: 42CrMo4: $f_{-1} = 398.0$ MPa; $t_{-1} = 260.0$ MPa; $\sigma_u = 1025.0$ MPa											
23	328.0	0.0	157.0	0.0	0	6,8	-4,7	6,7	0,7	4,5	4,2
24	286.0	0.0	137.0	0.0	90	-21,7	-35,3	-16,1	-22,2	-23,1	-9,1
25	233.0	0.0	224.0	0.0	0	10,9	2,8	10,8	4,1	6,6	7,3
26	213.0	0.0	205.0	0.0	90	-10,8	4,0	0,2	-24,9	-24,2	-1,8
27	266.0	0.0	128.0	128.0	0	-13,3	-22,5	-13,3	-14,0	-18,0	-15,3
28	283.0	0.0	136.0	136.0	90	-22,4	-36,0	-16,8	-26,8	-34,4	-10,0
29	333.0	0.0	160.0	160.0	180	22,0	2,6	18,8	-8,6	-3,7	5,9
30	280.0	280.0	134.0	0.0	0	19,0	-7,1	22,4	-3,4	-5,7	-2,9
31	271.0	271.0	130.0	0.0	90	8,3	-24,6	11,5	7,2	-25,2	-5,9
Material: 34Cr4: $f_{-1} = 410.0$ MPa; $t_{-1} = 256.0$ MPa; $\sigma_u = 795.0$ MPa											
32	314.0	0.0	157.0	0.0	0	2,0	-3,4	2,0	-2,8	-0,8	-0,5
33	315.0	0.0	158.0	0.0	60	-1,8	-9,8	-2,9	-8,9	-7,9	-0,1
34	316.0	0.0	158.0	0.0	90	-7,6	-18,4	-9,5	-15,3	-12,9	0,1
35	315.0	0.0	158.0	0.0	120	-1,8	-9,8	-2,9	-6,0	5,3	-0,1
36	224.0	0.0	224.0	0.0	90	9,3	1,6	6,5	-15,8	-16,0	5,1
37	380.0	0.0	95.0	0.0	90	-5,1	-12,2	-5,0	-6,6	-3,8	0,4
38	316.0	0.0	158.0	158.0	0	13,5	4,2	16,2	-0,8	-3,8	0,1
39	314.0	0.0	157.0	157.0	60	-0,5	-9,1	3,9	-11,5	-16,0	-0,5
40	315.0	0.0	158.0	158.0	90	-7,7	-18,5	-0,5	-21,8	-29,1	-0,1
41	279.0	279.0	140.0	0.0	0	14,0	1,0	16,3	4,5	-1,8	-6,4
42	284.0	284.0	142.0	0.0	90	10,7	-8,8	8,9	6,8	-8,9	-4,8
43	355.0	0.0	89.0	178.0	0	10,3	-1,2	11,8	-10,4	-17,0	-6,2
44	212.0	212.0	212.0	0.0	90	24,0	9,5	21,4	-2,0	-12,9	3,4
45	129.0	0.0	258.0	0.0	90	13,3	8,9	10,1	-0,3	0,2	7,3
Material: 30NCD16: $f_{-1} = 660.0$ MPa; $t_{-1} = 410.0$ MPa; $\sigma_u = 1880.0$ MPa											
46	485.0	0.0	280.0	0.0	0	4,7	-3,2	4,7	-0,3	1,1	1,8
47	480.0	0.0	277.0	0.0	90	-4,0	-19,7	-6,7	-17,2	-15,1	0,7
48	480.0	300.0	277.0	0.0	0	19,1	2,7	20,4	7,8	5,2	3,9
49	480.0	300.0	277.0	0.0	45	17,8	-1,5	17,8	2,6	-0,9	3,9
50	470.0	300.0	270.0	0.0	60	13,7	-7,1	13,4	-2,1	-6,0	1,6
51	473.0	300.0	273.0	0.0	90	12,3	-12,9	10,3	1,3	-7,0	2,4
52	590.0	300.0	148.0	0.0	0	10,8	-5,9	12,8	8,8	5,2	0,1

53	565.0	300.0	141.0	0.0	45	3,9	-12,8	6,0	3,8	-1,9	-4,1
54	540.0	300.0	135.0	0.0	90	-7,4	-22,1	-4,1	0,2	-8,0	-8,1
55	211.0	300.0	365.0	0.0	0	16,3	3,9	16,6	-4,3	-6,0	-0,7
Material: Mild steel: $f_{-1} = 235.4$ MPa; $t_{-1} = 137.3$ MPa; $\sigma_u = 518.8$ MPa											
56	245.3	0.0	0.0	0.0	0	4,2	1,1	4,2	3,9	4,0	4,1
57	235.6	0.0	48.9	0.0	0	7,2	4,3	7,2	5,9	6,0	6,3
58	187.3	0.0	93.6	0.0	0	7,8	5,5	7,8	4,7	5,0	5,0
59	101.3	0.0	122.3	0.0	0	2,6	1,3	2,5	-1,0	-1,0	-0,8
60	0.0	0.0	142.3	0.0	0	3,6	3,6	3,6	3,6	4,0	3,6
61	194.2	0.0	97.1	0.0	60	4,1	0,5	3,5	-2,9	-3,0	8,9
62	108.9	0.0	131.5	0.0	60	9,7	7,3	8,5	-0,5	-1,0	6,6
63	235.6	0.0	48.9	0.0	90	1,3	-1,9	1,3	1,9	2,0	6,3
64	208.1	0.0	104.1	0.0	90	1,0	-4,1	0,0	-1,4	-1,0	16,7
65	112.6	0.0	136.0	0.0	90	12,7	9,9	11,3	-2,2	-2,0	10,3
Material: Cast iron: $f_{-1} = 96,1$ MPa; $t_{-1} = 91,2$ MPa; $\sigma_u = 230,0$ MPa											
66	93.2	0.0	0.0	0.0	0	-3,0	-38,7	-3,0	-3,6	-13,9	-3,0
67	95.2	0.0	19.7	0.0	0	3,4	-33,1	3,4	2,5	-26,3	2,8
68	83.4	0.0	41.6	0.0	0	5,6	-26,3	5,6	4,0	4,8	3,8
69	56.3	0.0	68.0	0.0	0	8,5	-13,2	8,4	5,4	6,8	5,9
70	0.0	0.0	94.2	0.0	0	3,3	3,3	3,3	-1,7	2,7	3,3
71	104.2	0.0	21.6	0.0	90	12,7	-30,6	13,0	10,3	-10,8	12,5
72	97.1	0.0	48.6	0.0	90	48,9	-17,7	19,0	13,6	-1,5	20,9
73	71.3	0.0	86.1	0.0	90	64,6	31,1	16,6	4,3	3,7	33,7

Como dito no capítulo 2, Papadopoulos assume ser aceitável os Índices de Erro que estão entre -10% e 10%. Ao se observar a tabela para carregamentos em fase e com tensões médias nulas, é possível perceber que apenas os modelos de Carpinteri & Sapgnoli e Papadopoulos se mantiveram dentro dessa faixa. Findley e Matake também tiveram a maioria de seus índices dentro do considerado, com exceção de apenas um carregamento, em que ultrapassaram em menos de 1%. Os critérios de Liu & Mahadevan e McDiarmid ultrapassaram o limite em, respectivamente, 4 e 2 das condições de carregamento.

Para carregamento em fase com presença de tensão média, os modelos de Findley e Matake mostraram-se com os maiores valores, sendo considerados mais conservadores do que os outros critérios. Entretanto, para os outros modelos, foi observado valores mais negativos; em alguns casos, eles apresentaram o Índice de Erro muito menor do que -10%. Isso significa que, para estes modelos, as tensões aplicadas estão abaixo da resistência do material e, consequentemente, a falha não ocorreria.

Para os resultados darem positivos é preciso que o lado esquerdo da equação, que expressa as condições de carregamento, seja maior do que o lado direito, representado por propriedade dos materiais. Isso pode ser interpretado como conservadorismo dos modelos, uma vez que para eles a combinação de carregamento do lado direito levaria a uma fratura que de fato não ocorreu, tendo em vista que tal combinação corresponde a uma vida “infinita”, comprovada experimentalmente.

Os valores calculados pela planilha de Excel para o modelo de Carpinteri & Spagnoli para carregamento fora de fase e tensão média nula não estão de acordo em sua totalidade com os valores apresentados pelos autores para o mesmo material. Entretanto, as equações utilizadas na planilha de Excel são as apresentadas pelos mesmos autores e suas aplicações para os casos em fase mostraram-se em concordância, o que sugere um erro nos resultados apresentados pelos autores em seu artigo.

Para os casos de carregamento fora de fase e com presença da tensão média, apenas o critério de Papadopoulos manteve todos os resultados dentro do intervalo.

Há uma certa dificuldade em fazer uma análise precisa com base nas tabelas, uma vez que não há uma uniformização ou uma tendência nos resultados. Para ajudar na análise dos Índices de Erro de cada modelo foram criados gráficos com a média desses Índices de Erro para cada situação e para todas as situações juntas:

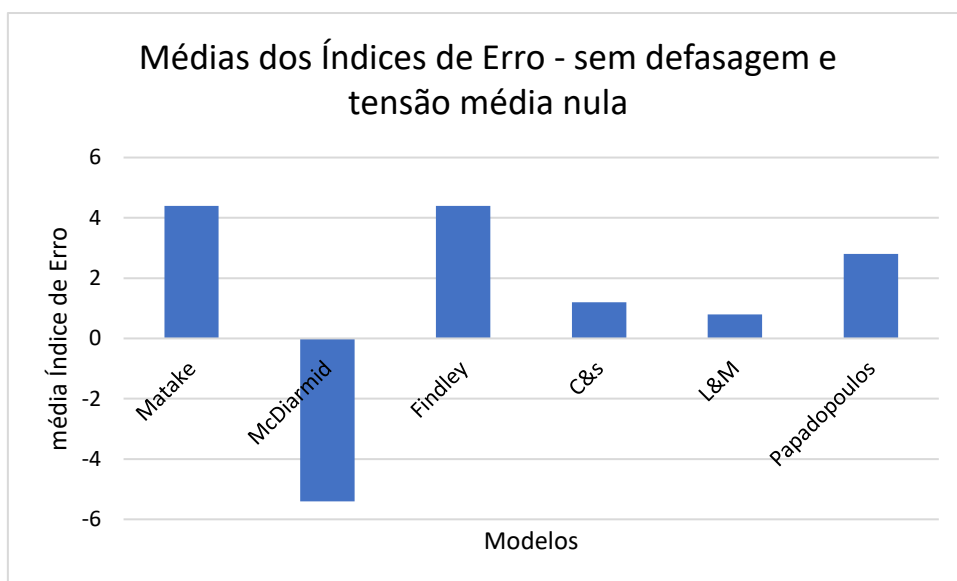


Figura 19: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamentos em fase e com tensão média nula.

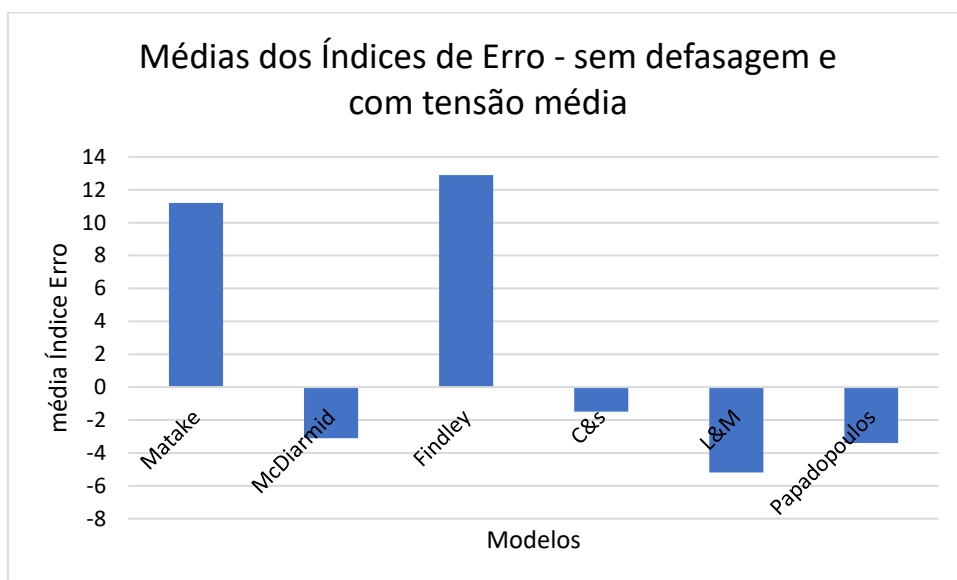


Figura 20: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamentos em fase com presença de tensões médias.

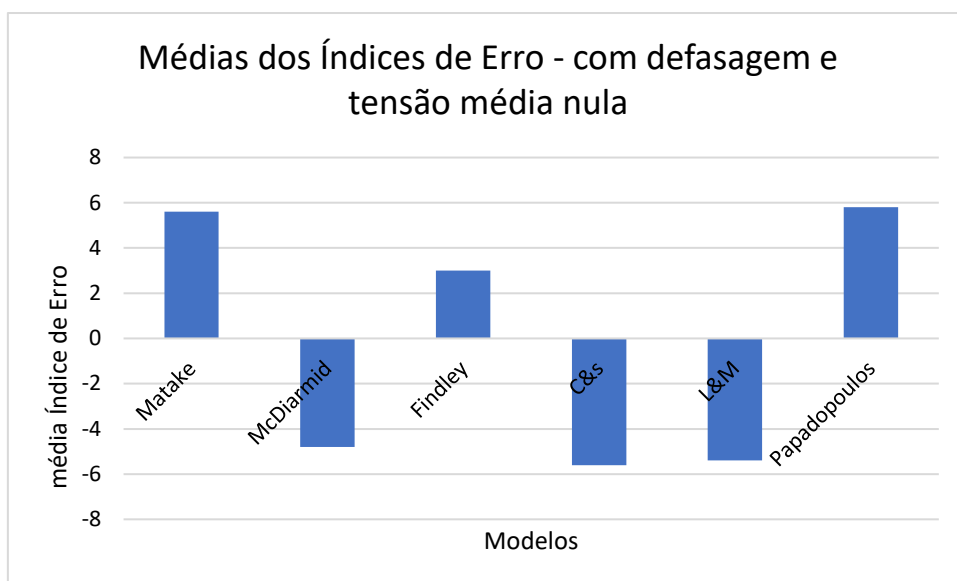


Figura 21: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamentos fora de fase com tensões médias nulas.

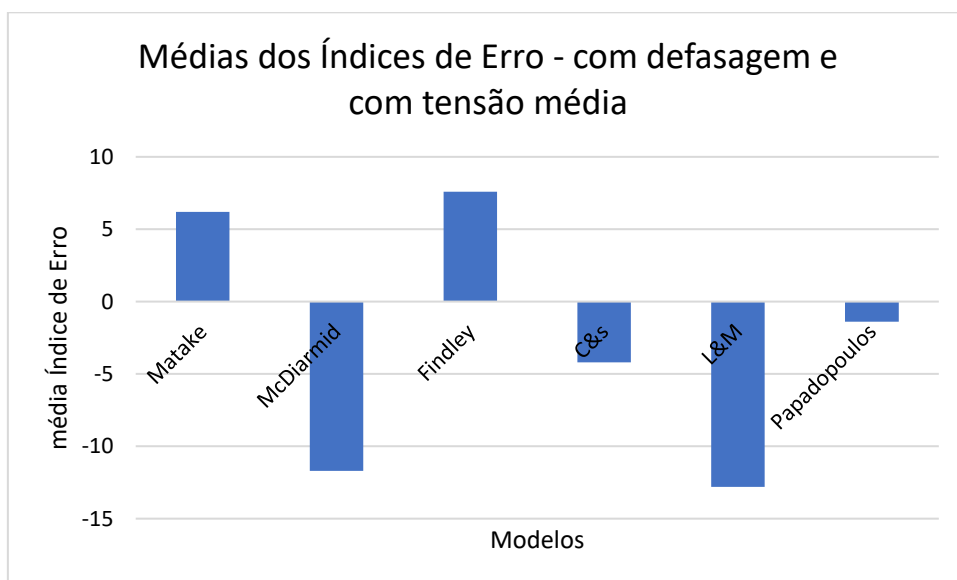


Figura 22: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamentos fora de fase e com presença de tensões médias.

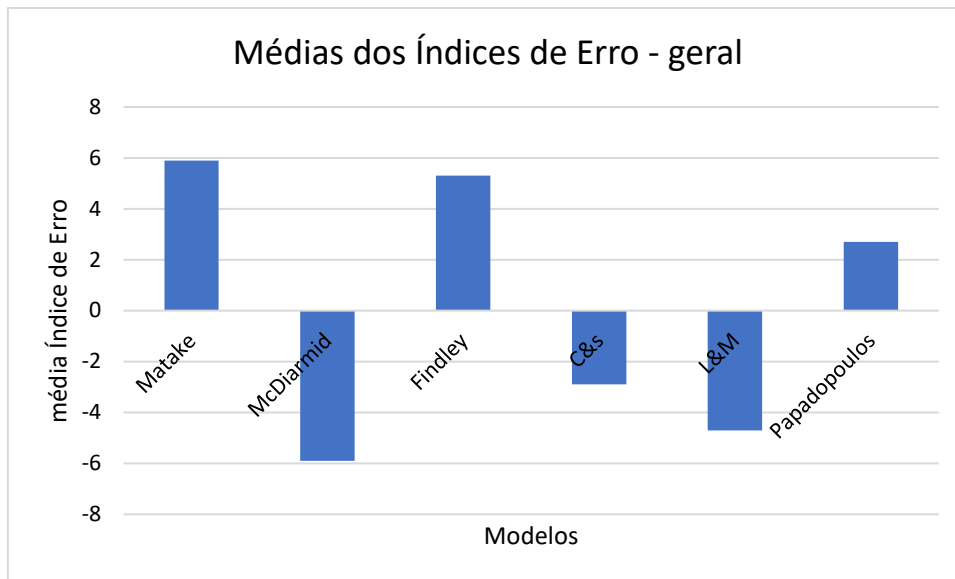


Figura 23: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para todos os tipos de carregamento.

Pelos gráficos ficou comprovado o conservadorismo dos critérios de Findley e Matake, sempre com valores positivos e, na maioria das vezes, maiores que os demais critérios. O oposto é observado no modelo de McDiarmid. Em todos os casos, seu critério apresentou valores negativos, inclusive menor do -10% para o caso de presença de tensão média e defasagem.

O critério de Carpinteri & Spagnoli apresentou resultados ótimos para quando não há defasagem. Porém na presença de defasagem, houve um aumento na média dos Índices de Erro. Esse mesmo aumento é observado no critério de Liu & Mahadevan.

Já o critério de Papadopoulos teve um bom desempenho geral, seguido por Carpinteri & Spagnoli. Entretanto, nos casos individuais, Papadopoulos se apresentou como o melhor critério apenas no caso onde há defasagem juntamente com tensão média.

4.1.4.

Influência das tensões médias e da defasagem

Foi observada a influência dos fatores de carregamento tanto para determinar os planos de fratura e críticos quanto para o Índice de Erro de cada

critério. As tabelas abaixo mostram esses fatores sendo analisados para cada item mencionado:

- Influência no plano de fratura:

Tabela 14: influência da tensão média e da defasagem no plano de fratura.

Característica do carregamento					ψ_f (°)
σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	β (°)	
42CrMo4: $f_{-1} = 398,0$ MPa; $t_{-1} = 260,0$ MPa; $\sigma_u = 1025,0$ MPa					
328,0	0,0	157,0	0,0	0	21,9
328,0	0,0	157,0	0,0	30	20,9
328,0	0,0	157,0	0,0	60	16,7
328,0	0,0	157,0	0,0	90	0,0
328,0	109,0	157,0	0,0	0	17,8
328,0	164,0	157,0	0,0	0	16,3
328,0	328,0	157,0	0,0	0	12,8
328,0	0,0	157,0	53,0	0	26,0
328,0	0,0	157,0	78,5	0	27,6
328,0	0,0	157,0	157,0	0	31,2

Pelos dados acima, é possível observar que ocorre uma diminuição na angulação do plano de fratura conforme a diferença de fases aumenta. Num estudo realizado por Baptista *et al* (2016), foi mostrado que a defasagem não influencia no caminho de propagação da trinca. Entretanto, no trabalho de Liu, Shi e Zhang (2016), mostrou-se que conforme a defasagem entre as tensões aumenta, a direção da trinca na superfície tende a ficar perpendicular à direção axial do componente, como mostrado na figura abaixo:

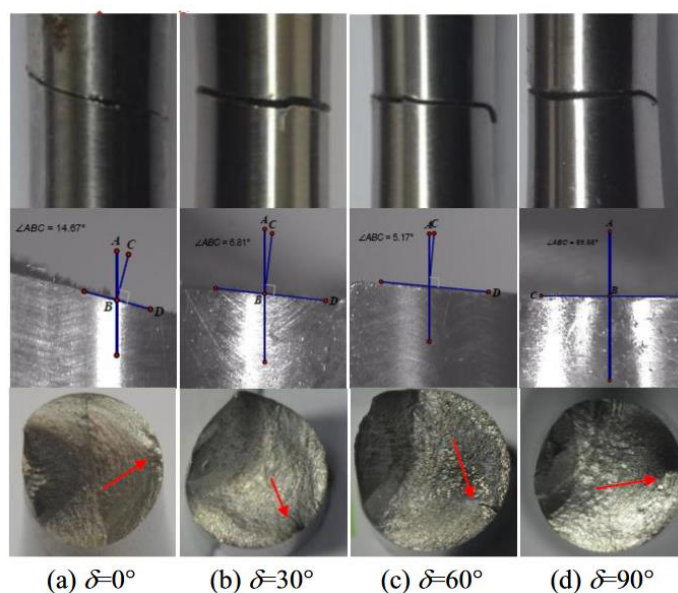


Figura 24: direção da trinca em função da defasagem. Retirado de Liu, Shi e Zhang (2016).

A influência da tensão normal média no plano de fratura parece ser maior do que a da defasagem, uma vez que os ângulos tiveram uma diminuição ainda maior com o aumento da tensão média. O oposto foi observado para a tensão cisalhante média: o aumento da mesma levou a uma inclinação maior do plano de fratura.

- Influência no plano crítico

Tabela 15: influência da tensão média e da defasagem no plano crítico.

Característica do carregamento					ψ_c (°)			
σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	β (°)	Matake e McDiarmid	Findley	Carpinteri & Spagnoli	Liu & Mahadevan
42CrMo4: f-1 = 398,0 MPa; t-1 = 260,0 MPa; σ_u = 1025,0 MPa								
328,0	0,0	157,0	0,0	0	156,9	165,8	60,6	58,5
328,0	0,0	157,0	0,0	30	156,8	165,3	59,6	57,5
328,0	0,0	157,0	0,0	60	156,2	164,9	55,4	53,3
328,0	0,0	157,0	0,0	90	45,0/135,0	0,0/180,0	38,7	36,6
328,0	109,0	157,0	0,0	0	156,9	166,7	56,5	54,4
328,0	164,0	157,0	0,0	0	156,9	167,2	55,0	52,9
328,0	328,0	157,0	0,0	0	156,9	168,3	51,5	49,4
328,0	0,0	157,0	53,0	0	66,9	57,1	64,7	62,6
328,0	0,0	157,0	78,5	0	66,9	56,7	66,3	64,2
328,0	0,0	157,0	157,0	0	66,9	55,7	69,9	67,8

Assim como no plano de fratura, o aumento da defasagem também diminui a inclinação do plano crítico. E, novamente, a defasagem de 90° mostrou um resultado mais acentuado comparado com outras defasagens. No trabalho de Bhatti e Wahab (2017) foi analisado a orientação do plano crítico sob carregamentos fora de fase. Foi mostrado que existe uma dependência dessa orientação com relação à defasagem, assim como há possibilidade de haver mais de um plano considerado crítico.

Segundo Lei *et al* (2014), a orientação do plano crítico é dependente da tensão normal média. A presença de tensões médias, tanto normal quanto cisalhante, não afetou o plano crítico dos modelos de Mataka e McDiarmid. Isso é explicado pelo fato de que nenhuma tensão média é incluída no cálculo de C_a , que determina o plano crítico.

Para os outros modelos é possível observar uma divergência nos resultados. Para Findley, o aumento da tensão normal média aumenta a inclinação do plano crítico, enquanto que o aumento da tensão cisalhante média diminui a inclinação do mesmo plano. O efeito oposto é observado nos modelos de Carpinteri & Spagnoli e Liu & Mahadevan.

- Influência nos Índices de Erro

Tabela 16: influência da tensão média e da defasagem nos Índices de Erro.

Característica do carregamento					Índice de Erro - I (%)					
σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	$\beta(^{\circ})$	Mataka	McDiarmid	Findley	C&S	L&M	Papadopoulos
42CrMo4: $f_{-1} = 398,0$ MPa; $t_{-1} = 260,0$ MPa; $\sigma_u = 1025,0$ MPa										
328,0	0,0	157,0	0,0	0	6,7	-4,7	6,7	0,6	4,1	4,2
328,0	0,0	157,0	0,0	30	6,4	-6,5	5,7	-2,0	1,2	4,2
328,0	0,0	157,0	0,0	60	3,8	-12,7	2,3	-9,2	-6,1	4,2
328,0	0,0	157,0	0,0	90	-10,1	-25,8	-3,8	-10,7	-17,2	4,2
328,0	109,0	157,0	0,0	0	17,5	-0,2	18,8	7,4	8,4	7,4
328,0	164,0	157,0	0,0	0	23,0	2,1	24,0	11,5	11,1	9,0
328,0	328,0	157,0	0,0	0	39,4	8,9	43,4	26,9	21,8	13,8
328,0	0,0	157,0	53,0	0	11,2	-2,8	12,3	3,4	4,4	4,2
328,0	0,0	157,0	78,5	0	13,3	-1,9	15,1	4,2	4,0	4,2
328,0	0,0	157,0	157,0	0	20,0	0,8	23,6	5,9	2,2	4,2

Com exceção do critério de Papadopoulos, que deixa claro em seu artigo que a defasagem não interfere na análise da falha por fadiga, os outros modelos foram ficando menos conservadores com o aumento da defasagem. Esse resultado pode ser visto também no trabalho de Matsubara e Nishio (2013).

O aumento da tensão normal média leva a um aumento do Índice de Erro de todos os modelos, mostrando o quanto ela contribui para a ocorrência de falhas por fadiga. Seu efeito nocivo é comentado por diversos autores (Susmel, 2008; Papadopoulos, 1997; Susmel et al, 2011; Carpinteri, Spagnoli e Vantadori, 2011; Matsubara e Nishio, 2013)

Já o efeito da tensão cisalhante média é menor nos Índices de Erro dos critérios. Segundo Papadopoulos (1997), a presença dessa tensão cisalhante média não tem qualquer influência na análise da falha. Isso é provado pelos valores do Índice de Erro deste critério se manterem independente do aumento do valor de τ_m .

Já o modelo de Findley apresentou um aumento considerável do seu Índice de Erro na presença de τ_m , passando de 6,7% para 23,6%. É possível observar essa dependência considerando um caso de carregamento em torção pura, com σ_a e σ_m nulos, e com superposição da tensão cisalhante média, como mostrado no Anexo II.

4.2.

Segunda etapa

As mesmas análises feitas anteriormente também foram realizadas nesta etapa, ou seja, foram definidos os planos de fratura e crítico, assim como os Índices de Erro para cada condição apresentada para o aço 34CrNiMo6. As tabelas a seguir mostram os resultados de cada análise.

4.2.1.

Análise do plano de fratura

Tabela 17: planos de fratura para DIN 34CrNiMo6, para diferentes parâmetros de carregamento.

Característica do carregamento					ψ_f (°)
σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	β (°)	
34CrNiMo6: $f_{-1} = 414,0$ MPa; $t_{-1} = 239,0$ MPa; $\sigma_u = 1035,0$ MPa					
210,0	0,0	121,4	0,0	0	24,6
240,0	0,0	138,7	0,0	0	24,6
270,0	0,0	156,1	0,0	0	24,6
300,0	0,0	173,4	0,0	0	24,6
330,0	0,0	190,8	0,0	0	24,6
210,0	210,0	121,4	0,0	0	15,0
240,0	240,0	138,7	0,0	0	15,0
270,0	431,3	156,1	0,0	0	12,0
300,0	479,2	173,4	0,0	0	12,0
330,0	166,2	190,8	0,0	0	18,8
210,0	0,0	121,4	0,0	30	23,9
240,0	0,0	138,7	0,0	30	23,9
270,0	0,0	156,1	0,0	60	20,9
300,0	0,0	173,4	0,0	90	0,0
330,0	0,0	190,8	0,0	90	0,0
210,0	105,8	121,4	0,0	90	0,0
240,0	120,9	138,7	0,0	30	17,8
270,0	199,6	156,1	0,0	30	15,8
300,0	655,0	173,4	0,0	60	6,0
330,0	527,0	190,8	0,0	60	7,5

Assim como visto nos itens anteriores, os planos de fratura são iguais para todos os modelos, independente da equação utilizada para determinar N_{max} .

Para os carregamentos em fase e com tensões médias nulas, todos os planos de fratura tiveram os mesmos resultados, ainda que com valores de carregamento diferentes. Isso ocorreu, pois, a relação entre σ_a e τ_a se manteve igual, independente dos seus valores variarem.

Já na presença de tensões médias, observa-se um aumento do valor de N_{max} e com isso o plano de fratura se aproximou de zero. Isso é facilmente observado ao se comparar os planos desse grupo de carregamento com os que possuem tensões médias nulas. Os valores de σ_a e τ_a são os mesmos, porém ao acrescentar uma tensão média os planos reduziram suas inclinações. O mesmo efeito é percebido com o aumento da defasagem.

4.2.2.

Análise do plano crítico

Tabela 18: planos críticos para DIN 34CrNiMo6, para diferentes parâmetros de carregamento.

Característica do carregamento					ψ_c (°)			
σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	β (°)	Matake e McDiarmid	Findley	Carpinteri & Spagnoli	Liu & Mahadevan
34CrNiMo6: f-1 = 414,0 MPa; t-1 = 239,0 MPa; σ_u = 1035,0 MPa								
210,0	0,0	121,4	0,0	0	69,6	65,1	69,6	69,6
240,0	0,0	138,7	0,0	0	69,6	65,1	69,6	69,6
270,0	0,0	156,1	0,0	0	69,6	65,1	69,6	69,6
300,0	0,0	173,4	0,0	0	69,6	65,1	69,6	69,6
330,0	0,0	190,8	0,0	0	69,6	65,1	69,6	69,6
210,0	210,0	121,4	0,0	0	159,6	165,4	60,0	60,0
240,0	240,0	138,7	0,0	0	159,6	165,4	60,0	60,0
270,0	431,3	156,1	0,0	0	159,6	166,2	57,0	57,0
300,0	479,2	173,4	0,0	0	159,6	166,2	57,0	57,0
330,0	166,2	190,8	0,0	0	159,6	164,8	63,8	63,8
210,0	0,0	121,4	0,0	30	159,9	163,9	68,9	68,9
240,0	0,0	138,7	0,0	30	159,9	163,9	68,9	68,9
270,0	0,0	156,1	0,0	60	161,6	165,0	65,9	65,9
300,0	0,0	173,4	0,0	90	180,0	180,0	45,0	45,0
330,0	0,0	190,8	0,0	90	180,0	180,0	45,0	45,0
210,0	105,8	121,4	0,0	90	0,0	0,0	45,0	45,0
240,0	120,9	138,7	0,0	30	159,9	164,8	62,8	62,8
270,0	199,6	156,1	0,0	30	159,9	165,0	60,8	60,8
300,0	655,0	173,4	0,0	60	161,6	169,1	51,0	51,0
330,0	527,0	190,8	0,0	60	161,6	168,3	52,5	52,5

Acrescenta-se ainda que, para todos os quatro grupos de carregamento, os critérios de Carpinteri & Spagnoli e de Liu & Mahadevan tiveram valores iguais de ψ_c . Isso se deve ao fato de terem o mesmo plano de fratura e o mesmo valor de δ para o material estudado.

No primeiro grupo, onde tanto a tensão média quanto a defasagem são nulas, os planos críticos, correspondentes a cada modelo, tiveram os mesmos valores de ψ_c para as diferentes condições de carregamento, mostrando que uma relação constante entre as tensões normal e cisalhante chegam ao mesmo resultado, independentemente de suas magnitudes individuais.

No que se refere aos três outros grupos, observa-se que o aumento da tensão média e/ou da defasagem está associado a uma diminuição na inclinação do plano crítico em relação ao eixo horizontal. Pode-se ainda ressaltar que o aumento inicial de ψ_c no último grupo se deve à diminuição da defasagem, apesar do aumento da tensão média.

Cabe lembrar, conforme mencionado anteriormente, que as condições de carregamento constantes nas tabelas 17 e 18 não correspondem ao estado de equilíbrio definido por uma vida infinita. Assim sendo, possíveis planos de fratura e crítico seriam pertencentes rigorosamente àquelas condições específicas de carregamento.

4.2.3.

Comparação dos diferentes modelos para DIN 34CrNiMo6

Tabela 19: Índices de Erro para DIN 34CrNiMo6, para diferentes parâmetros de carregamento

Característica do carregamento					Índice de Erro - I (%)					
σ_a (MPa)	σ_m (MPa)	τ_a (MPa)	τ_m (MPa)	$\beta(^{\circ})$	Matake	McDiarmid	Findley	C&S	L&M	Papadopoulos
34CrNiMo6: $f_{-1} = 414,0$ MPa; $t_{-1} = 239,0$ MPa; $\sigma_u = 1035,0$ MPa										
210,0	0,0	121,4	0,0	0	-26,0	-27,8	-26,0	-28,2	-28,3	-28,2
240,0	0,0	138,7	0,0	0	-9,2	-11,2	-9,2	-18,0	-18,0	-18,2
270,0	0,0	156,1	0,0	0	-4,9	-7,1	-4,9	-7,7	-8,0	-7,7
300,0	0,0	173,4	0,0	0	5,6	3,2	5,6	2,5	2,0	2,5
330,0	0,0	190,8	0,0	0	16,2	13,5	16,2	12,8	13,0	12,8
210,0	210,0	121,4	0,0	0	-14,1	-18,8	-13,4	-18,0	-24,0	-28,2
240,0	240,0	138,7	0,0	0	-1,8	-7,3	-1,0	-7,0	-13,0	-18,0
270,0	431,3	156,1	0,0	0	19,6	11,2	21,1	15,2	2,0	-7,7
300,0	479,2	173,4	0,0	0	32,9	23,5	34,6	28,0	15,0	2,5
330,0	166,2	190,8	0,0	0	25,7	20,6	26,2	19,5	17,1	12,8
210,0	0,0	121,4	0,0	30	-27,1	-29,1	-27,3	-30,2	-30,3	-28,2
240,0	0,0	138,7	0,0	30	-16,7	-19,0	-16,9	-20,3	-20,3	-18,2
270,0	0,0	156,1	0,0	60	-11,1	-14,6	-11,6	-18,0	-18,1	-7,7
300,0	0,0	173,4	0,0	90	-8,0	-12,9	-8,9	-16,3	-16,3	2,5
330,0	0,0	190,8	0,0	90	1,2	-4,2	0,2	-7,9	-8,0	12,8
210,0	105,8	121,4	0,0	90	-28,8	-33,9	-29,4	-32,3	-38,9	-28,2
240,0	120,9	138,7	0,0	30	-9,8	-13,8	-9,7	-15,4	-17,6	-18,2
270,0	199,6	156,1	0,0	30	5,1	-0,3	5,5	-1,7	-5,9	-7,7
300,0	655,0	173,4	0,0	60	36,9	23,4	38,4	41,9	13,4	2,5
330,0	527,0	190,8	0,0	60	39,7	27,3	40,3	36,9	17,8	12,8

Observando os três primeiros grupos, conforme as amplitudes das tensões normal e cisalhante aumentam, os Índices de Erro naturalmente aumentam para todos os modelos. O mesmo pode ser observado com o aumento da tensão média e da defasagem.

No entanto, deve-se mencionar que o índice I , neste caso, se refere meramente a diferença relativa entre os dois lados da desigualdade específica de cada modelo.

Para determinadas condições de carregamento, a tabela acima indica uma variação considerável do índice I de um modelo para o outro. Além disso, o critério de Papadopoulos obteve o mesmo Índice de Erro para todos os grupos de carregamento, o que mostra sua independência à influência da tensão média e da defasagem, tendo interferência apenas das amplitudes das tensões.

Entretanto, observa-se que essa independência da tensão média σ_m no modelo de Papadopoulos, se deve ao fato de que, para o material em questão, os valores de t_{-1} e f_{-1} anulam os valores de α .

Novamente, gráficos com a média dos Índices de Erro para cada grupo de carregamento foram feitos, com o objetivo de apresentar uma visão geral e auxiliar na comparação entre os modelos.

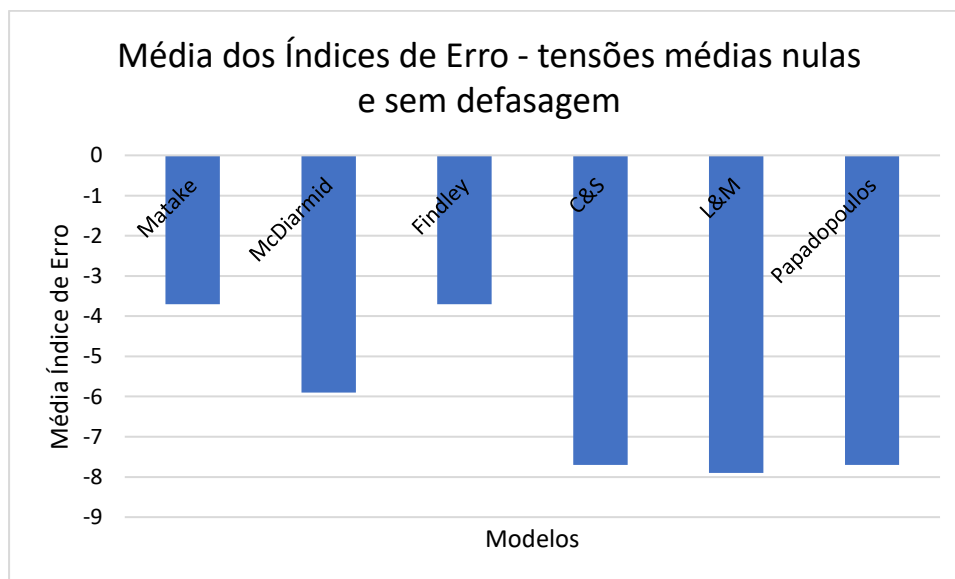


Figura 25: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamento em fase e com tensões médias nulas.

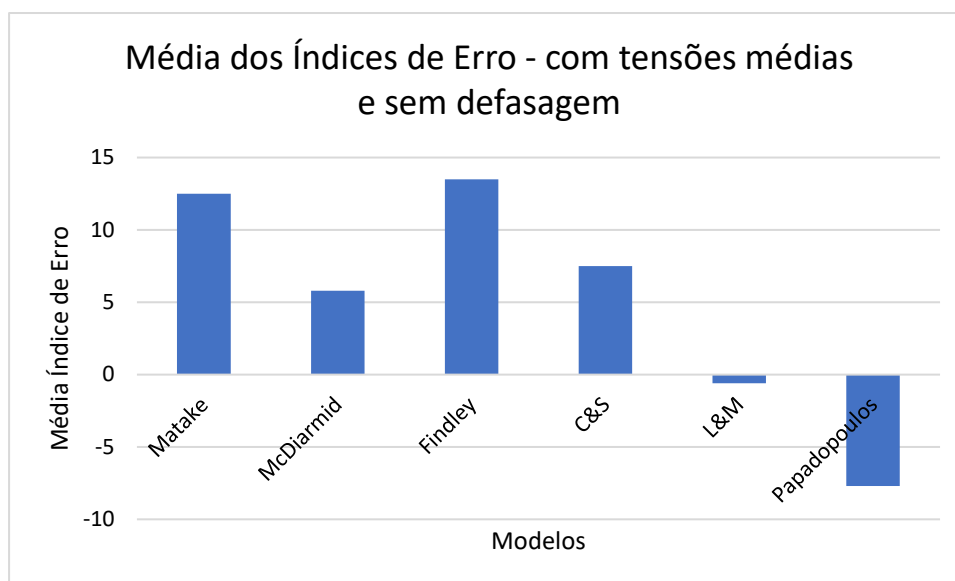


Figura 26: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamento em fase com presença de tensões médias.

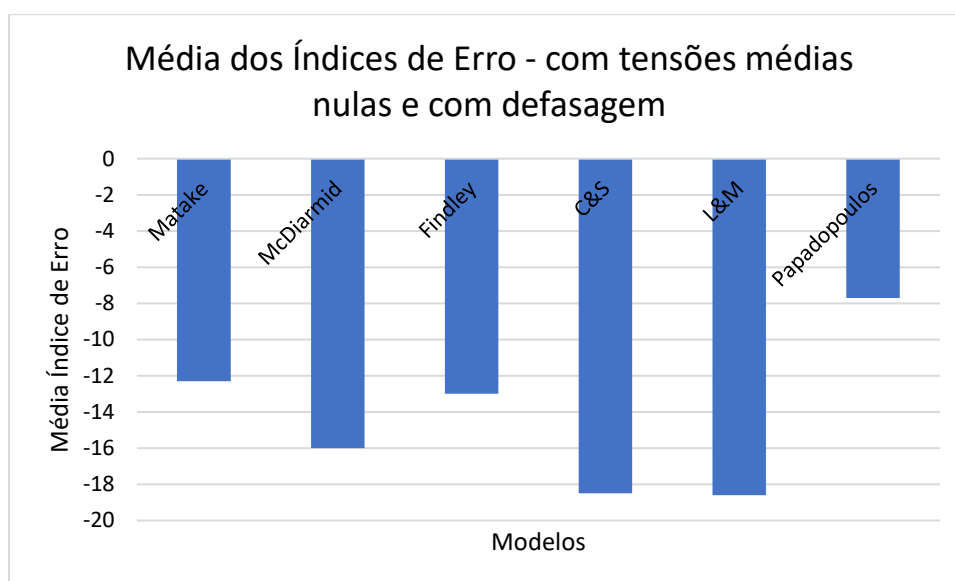


Figura 27: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamento fora de fase e tensões médias nulas.

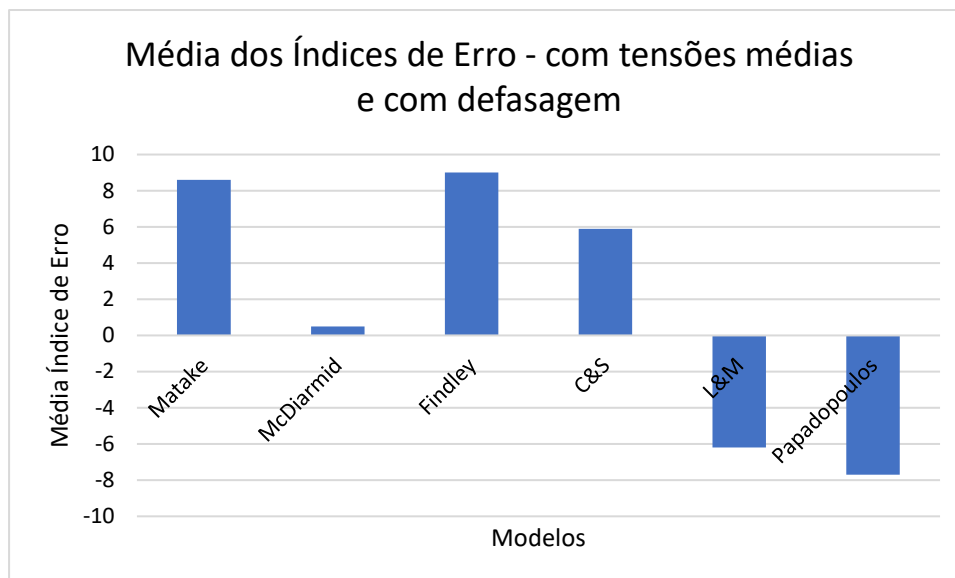


Figura 28: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para carregamento fora de fase e com presença de tensões médias.

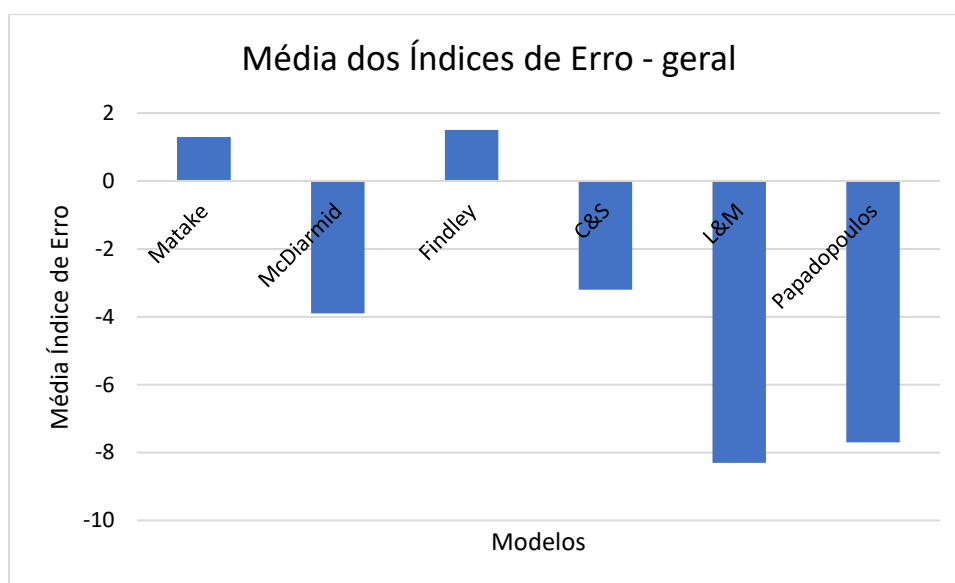


Figura 29: gráfico comparativo da média dos Índices de Erro de cada modelo para todos os parâmetros de carregamento.

Vale ressaltar que, apesar de terem sido baseados em equações já fundamentadas e em dados da Literatura, esses conjuntos de carregamento escolhidos não são comprovados de serem os que melhor representem o carregamento real. Assim, não seria justo apontar um melhor critério baseado nesses valores.