

Determinação da fluência em compressão da manta de poliéster com a referência Ecofiber Floor

Requerente:

Altenburg Textil Ltda – Unidade Ecofiber
Rodovia BR470 km 61 nº7235
89070-205 Blumenau – Santa Catarina - Brasil

RELATÓRIO DE ENSAIO

(ISO072/16)

O presente relatório anula e substitui o relatório ISO070/16

Relatório de Ensaio

Determinação da fluência em compressão da manta de poliéster com a referência Ecofiber Floor

1 - Enquadramento e âmbito do presente relatório

O presente relatório surge na sequência de uma solicitação formulada pela empresa Altenburg Textil Ltda., com sede em Blumenau, Santa Catarina, Brasil, com o objetivo de efetuar a determinação da fluência em compressão da manta resiliente Ecofiber Floor, com 8 mm de espessura e 240g/m², composta por fibra 100% poliéster com 200g/m² e um filme impermeável na face superior composto por 100% polipropileno com 40g/m². O ensaio de fluência em compressão foi realizado com base no procedimento descrito na norma EN 1606:2013 – Thermal insulation products for building applications – Determination of compressive creep.

2 - Determinação da fluência em compressão

Para a determinação da fluência em compressão, foi necessário acordar, inicialmente, as três forças necessárias à realização do ensaio de fluência em compressão, de acordo com indicações do cliente de que tipo de cargas estariam sujeitas as mantas em aplicações reais.

A fluência em compressão (X_{ct}) é determinada por medição do aumento da deformação do provete submetido a uma força constante de compressão e sob condições específicas de temperatura, humidade e tempo. Para a execução deste ensaio seguiram-se os pressupostos presentes na norma EN 1606:2013, que especifica um método para determinar a extrapolação da fluência em compressão até 30 vezes o tempo de ensaio real efectuado. Neste relatório de ensaio, determina-se a fluência em compressão para 10 anos, que corresponde a um tempo de medição real de 122 dias.

O método matemático utilizado para efetuar o cálculo para determinação dum valor de deformação, a longo termo, devido à fluência em compressão é o apresentado no Anexo A da norma EN 1606:2013. O método de cálculo é baseado numa função matemática (1), denominada «equação de Findley» a qual permite a descrição do comportamento à fluência dos produtos de isolamento térmico desde que a análise de regressão linear segundo a equação (2) se ajuste ao coeficiente da correlação $r^2 \geq 0,9$.

$$X_t = X_0 + m t^b \quad (1)$$

O presente relatório não pode ser reproduzido, excepto na íntegra, sem o acordo escrito do ITeCons.

Em que m e b são constantes do material. A equação (1) pode escrever-se sob forma logarítmica.

$$\log (X_t - X_0) = \log m + b \log t \quad (2)$$

Daqui se infere que $\log m$ é a interceção com a ordenada e b é a inclinação da reta definida por esta equação. Estas constantes devem ser calculadas por análise de regressão linear com base na deformação medida em função do tempo, durante o tempo em que ocorreu o ensaio.

Com base nas equações anteriores, é possível efetuar o cálculo da deformação a longo termo, utilizando a equação (1) em que b é dado a partir da equação da regressão linear obtida através dos valores reais medidos durante o ensaio e $m = 10^a$, sendo $a = \log m$ da equação (2). Com estes coeficientes da equação (1), pode ser calculada a deformação a longo termo, para um tempo qualquer t . A extrapolação é possível até 30 vezes o tempo de ensaio, desde que $r^2 \geq 0,9$ da equação (2).

2.1 - Resultados da determinação da fluência em compressão

Apresenta-se na Tabela 1, as 3 cargas de ensaio para fluência, sendo ensaiados 3 provetes para cada carga, num total de 9 provetes com referências ISO562A/16 a ISO570A/16. Considerou-se uma área de 100 mm x 100 mm para o cálculo da carga real aplicada.

Tabela 1: Cargas para as quais foi realizado o ensaio de determinação da fluência em compressão.

Carga de ensaio	Carga real aplicada (kPa)
Carga 1	0,6
Carga 2	0,8
Carga 3	1,0

2.1.1 Determinação da fluência em compressão para a Carga 1 (0,6 kPa)

Apresenta-se na Tabela 2, as referências dos provetes utilizados, a espessura inicial (d_c) e o valor da deformação após 60 segundos de aplicação da carga sobre o provete (X_0). Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos durante o período de recolha de dados, bem como o cálculo da deformação com base na espessura inicial dos provetes e um cálculo da fluência em compressão para o período de leituras, ou seja, os 122 dias. A análise é efetuada para os pontos indicados na norma e é considerada como primeira medição a leitura aos 7 dias (=168 horas).

O presente relatório não pode ser reproduzido, excepto na íntegra, sem o acordo escrito do ITeCons.

Tabela 2: Referências dos provetes, espessura inicial (d_0) e deformação após aplicação da carga (X_c).

Provete	Nº1	Nº2	Nº3
Referência do provete	ISO562A/16	ISO563A/16	ISO564A/16
Espessura, d_0 (mm)	7,4	7,3	7,4
Deformação, X_c (mm)	0,43	0,36	0,46

Tabela 3: Valores obtidos nos provetes ISO562A/16 a ISO564A/16 para uma carga de 0,6 kPa. Valores medidos durante o ensaio, cálculo da deformação relativa e da fluência em compressão.

Tempo (horas)	Log t	Deformação X_c (mm)			Deformação relativa ϵ_c (%)			ϵ_c médio (%)	Fluência em compressão X_{ct} (mm)			X_{ct} média (mm)	Log X_{ct}
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº1	Nº2	Nº3		Nº1	Nº2	Nº3		
168	2,22531	0,52	0,45	0,55	6,96	6,11	7,41	6,826	0,09	0,09	0,09	0,090	-1,04460
216	2,33445	0,52	0,45	0,55	7,04	6,17	7,47	6,892	0,10	0,09	0,10	0,095	-1,02255
264	2,42160	0,53	0,46	0,56	7,11	6,27	7,53	6,969	0,10	0,10	0,10	0,101	-0,99746
336	2,52634	0,53	0,47	0,56	7,21	6,38	7,63	7,073	0,11	0,11	0,11	0,108	-0,96556
432	2,63548	0,54	0,47	0,57	7,31	6,46	7,66	7,151	0,12	0,11	0,11	0,114	-0,94310
576	2,76042	0,55	0,48	0,58	7,46	6,61	7,82	7,299	0,13	0,12	0,12	0,125	-0,90345
768	2,88536	0,56	0,49	0,58	7,55	6,65	7,83	7,343	0,13	0,13	0,12	0,128	-0,89216
1008	3,00346	0,57	0,49	0,58	7,64	6,73	7,89	7,418	0,14	0,13	0,13	0,134	-0,87390
1272	3,10449	0,57	0,51	0,60	7,72	6,92	8,14	7,593	0,15	0,15	0,15	0,147	-0,83368
1660	3,19312	0,59	0,51	0,62	7,97	7,05	8,34	7,786	0,17	0,16	0,16	0,161	-0,79366
1920	3,28330	0,60	0,52	0,63	8,16	7,17	8,49	7,936	0,18	0,17	0,17	0,172	-0,76447
2400	3,38021	0,62	0,54	0,64	8,36	7,36	8,68	8,132	0,19	0,18	0,19	0,186	-0,72979
2952	3,47012	0,62	0,54	0,65	8,41	7,44	8,76	8,205	0,20	0,19	0,19	0,192	-0,71738

Com base nos resultados $\log t$ (logaritmo do tempo) e $\log X_d$ (logaritmo da média da fluência em compressão) para os 122 dias de ensaio, é efectuado o Gráfico 1 e determinada a regressão linear dos valores individuais.

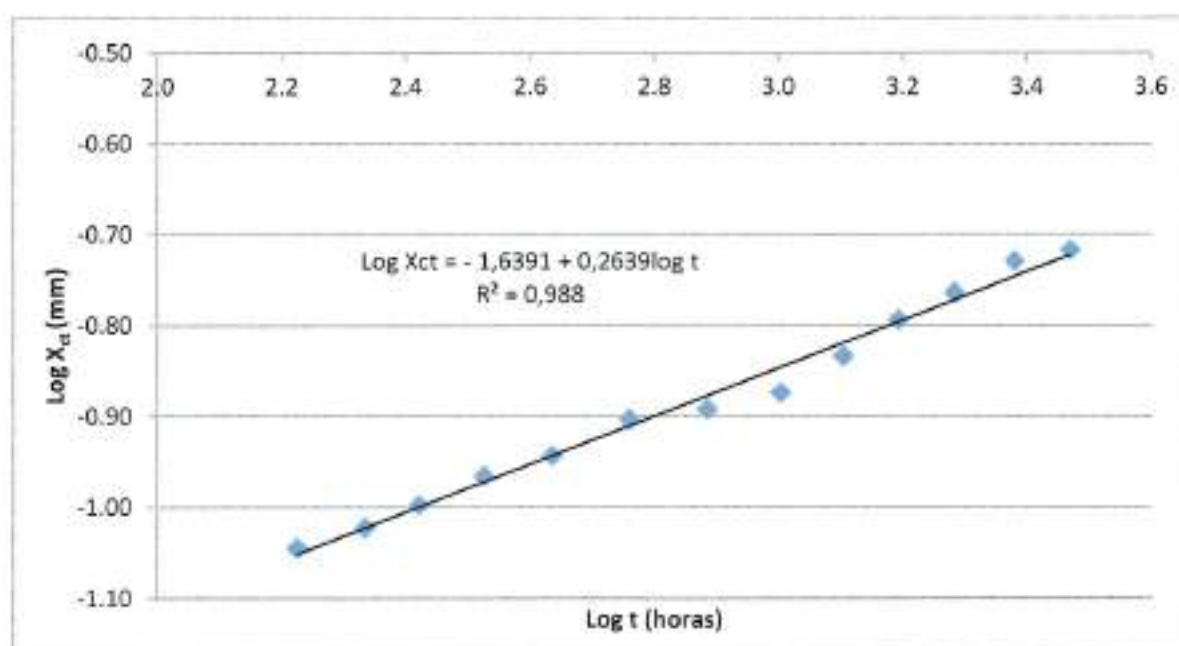


Gráfico 1: Deformação por fluência com base nas leituras obtidas durante o ensaio – análise de regressão linear.

Com base nos valores da regressão apresentados no Gráfico 1 e tendo em conta que a mesma apresenta um valor de coeficiente de correlação superior a 0,9, é possível efetuar a determinação dos coeficientes da «equação de Findley» para a carga 1 de 0,6 kPa. Os coeficientes calculados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Coeficientes obtidos através da regressão linear e calculados para a «equação de Findley».

Regressão linear		«equação de Findley»	
$\log m = a$	b	$m = 10^a$	b
-1,6391	0,2639	0,0229	0,2639

A «equação de Findley» fica então $X_t = X_0 + 0,0229 t^{0,2639}$ para a carga de 0,6 kPa. A presente equação é apenas válida para um período de extrapolação de 30 vezes, portanto até 88560 horas.

Efetuada o cálculo para a fluência em compressão a 10 anos (cerca de 87600 horas), obteríamos o valor:

$$X_t(87600) = 0,41 + 0,0229 \times 87600^{0,2639} = 0,84 \text{ mm}$$

A deformação relativa é retirada de $\epsilon_t = (X_t / d_s) \times 100$:

$$\epsilon_t = (0,84 / 7,37) \times 100 = 11,9\%$$

No Gráfico 2, apresenta-se a deformação relativa em função do tempo, ϵ_t , num gráfico linear/logarítmico. Os valores medidos são representados por pontos e a curva resulta do cálculo matemático da «equação de Findley» evidenciando uma extrapolação até 88560 horas.

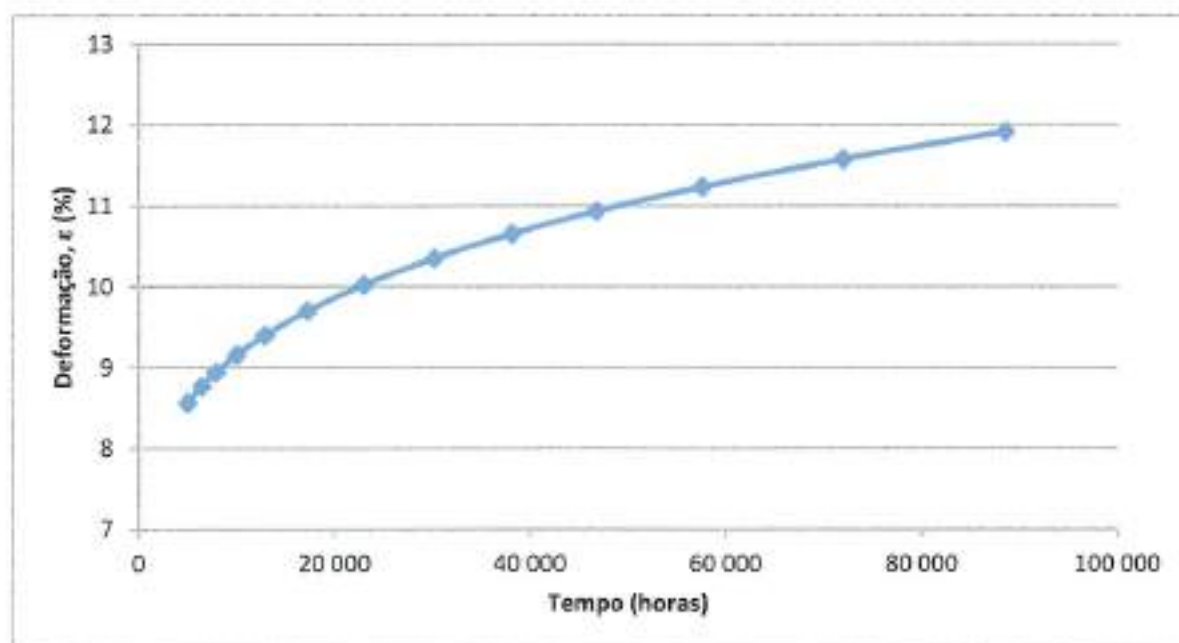


Gráfico 2: Comportamento da fluência em compressão a longo termo, para uma carga de 0,6 kPa, e com uma extrapolação até 88560 horas.

2.1.2 Determinação da fluência em compressão para a Carga 2 (0,8 kPa)

Apresenta-se na Tabela 5, as referências dos provetes utilizados, a espessura inicial (d_s) e o valor da deformação após 60 segundos de aplicação da carga sobre o provete (X_0). Na Tabela 6 são apresentados os valores obtidos durante o período de recolha de dados, bem como o cálculo da

O presente relatório não pode ser reproduzido, excepto na íntegra, sem o acordo escrito do ITeCons.

deformação com base na espessura inicial dos provetes e um cálculo da fluência em compressão para o período de leituras, ou seja, os 122 dias. A análise é efetuada para os pontos indicados na norma e é considerada como primeira medição a leitura aos 7 dias (=168 horas).

Tabela 5: Referências dos provetes, espessura inicial (d_s) e deformação após aplicação da carga (X_0).

Provete	Nº4	Nº5	Nº6
Referência do provete	ISO565A/16	ISO566A/16	ISO567A/16
Espessura, d_s (mm)	7,2	7,3	7,4
Deformação, X_0 (mm)	0,74	0,71	0,82

Tabela 6: Valores obtidos nos provetes ISO565A/16 a ISO567A/16 para uma carga de 0,8 kPa. Valores medidos durante o ensaio, cálculo da deformação relativa e da fluência em compressão.

Tempo (horas)	Log t	Deformação X_t (mm)			Deformação relativa ϵ_t (%)			ϵ_t médio (%)	Fluência em compressão X_{ct} (mm)			X_{ct} média (mm)	Log X_{ct}
		Nº4	Nº5	Nº6	Nº4	Nº5	Nº6		Nº4	Nº5	Nº6		
168	2,22531	0,87	0,83	0,94	12,02	11,38	12,76	12,047	0,13	0,12	0,13	0,125	-0,90302
216	2,33445	0,88	0,84	0,96	12,18	11,53	12,92	12,208	0,14	0,13	0,14	0,137	-0,86401
288	2,42160	0,89	0,85	0,96	12,32	11,61	13,03	12,320	0,15	0,14	0,14	0,145	-0,83893
336	2,52634	0,90	0,86	0,97	12,47	11,74	13,16	12,458	0,16	0,15	0,16	0,155	-0,80981
432	2,63548	0,91	0,87	0,98	12,57	11,88	13,28	12,579	0,17	0,16	0,16	0,164	-0,78569
576	2,76042	0,92	0,88	0,99	12,83	12,08	13,40	12,770	0,19	0,17	0,17	0,178	-0,75030
768	2,88536	0,94	0,89	1,01	13,10	12,21	13,59	12,964	0,21	0,18	0,19	0,192	-0,71706
1008	3,00346	0,96	0,90	1,01	13,28	12,39	13,68	13,117	0,22	0,20	0,19	0,203	-0,68250
1272	3,10449	0,97	0,92	1,03	13,41	12,67	13,92	13,335	0,23	0,22	0,21	0,219	-0,65966
1560	3,19312	0,97	0,94	1,04	13,51	12,82	14,00	13,442	0,24	0,23	0,22	0,227	-0,64445
1920	3,28330	0,98	0,95	1,05	13,68	12,96	14,15	13,595	0,25	0,24	0,23	0,238	-0,62354
2400	3,38021	1,00	0,96	1,07	13,89	13,20	14,45	13,845	0,26	0,26	0,25	0,256	-0,59142
2952	3,47012	1,01	0,97	1,07	13,96	13,27	14,51	13,915	0,27	0,26	0,25	0,261	-0,58286

O presente relatório não pode ser reproduzido, excepto na íntegra, sem o acordo escrito do ITeCons.

Com base nos resultados $\log t$ (logaritmo do tempo) e $\log X_{ct}$ (logaritmo da média da fluência em compressão) para os 122 dias de ensaio, é efectuado o Gráfico 3 e determinada a regressão linear dos valores individuais.

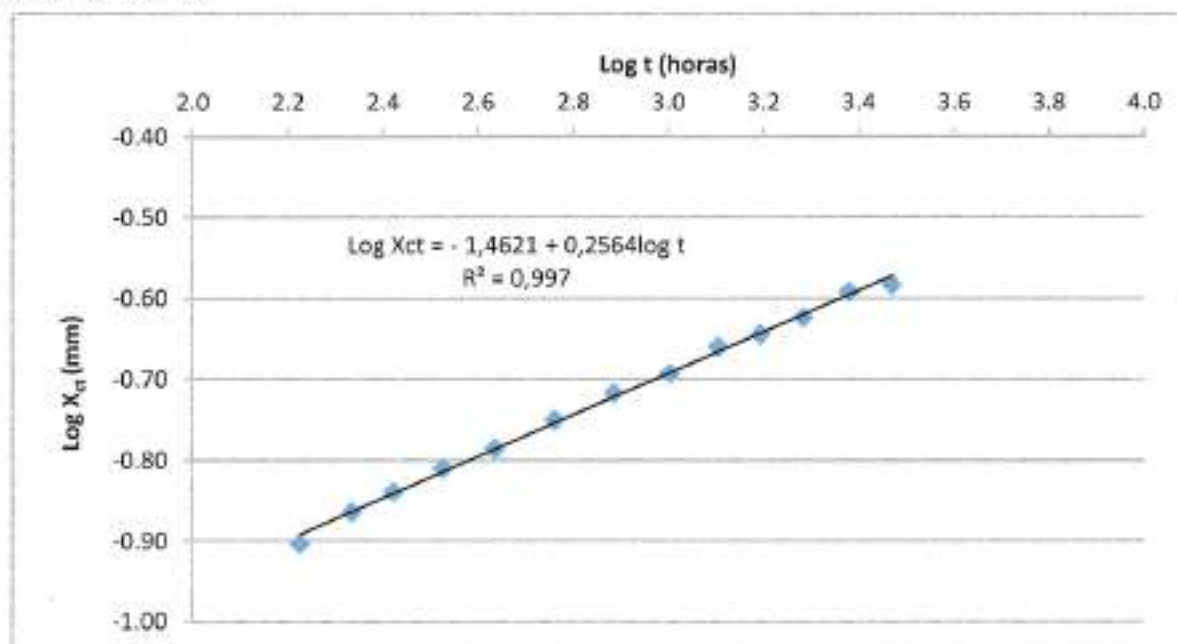


Gráfico 3: Deformação por fluência com base nas leituras obtidas durante o ensaio – análise de regressão linear.

Com base nos valores da regressão apresentados no Gráfico 3 e tendo em conta que a mesma apresenta um valor de coeficiente de correlação superior a 0,9, é possível efetuar a determinação dos coeficientes da «equação de Findley» para a carga 2 de 0,8 kPa. Os coeficientes calculados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Coeficientes obtidos através da regressão linear e calculados para a «equação de Findley».

Regressão linear		«equação de Findley»	
$\log m = a$	b	$m = 10^a$	b
-1,4621	0,2564	0,0345	0,2564

A «equação de Findley» fica então $X_t = X_0 + 0,0345 t^{0,2564}$ para a carga de 0,8 kPa. A presente equação é apenas válida para um período de extrapolação de 30 vezes, portanto até 88560 horas.

Efetuada o cálculo para a fluência em compressão a 10 anos (cerca de 87600 horas), obteríamos o valor:

$$X_t(87600) = 0,75 + 0,0345 \times 87600^{0,2564} = 1,39 \text{ mm}$$

A deformação relativa é retirada de $\epsilon_t = (X_t / d_0) \times 100$:

$$\epsilon_t = (1,39 / 7,3) \times 100 = 19,1\%$$

No Gráfico 4, apresenta-se a deformação relativa em função do tempo, ϵ_t , num gráfico linear/logarítmico. Os valores medidos são representados por pontos e a curva resulta do cálculo matemático da «equação de Findley» evidenciando uma extrapolação até 88560 horas.

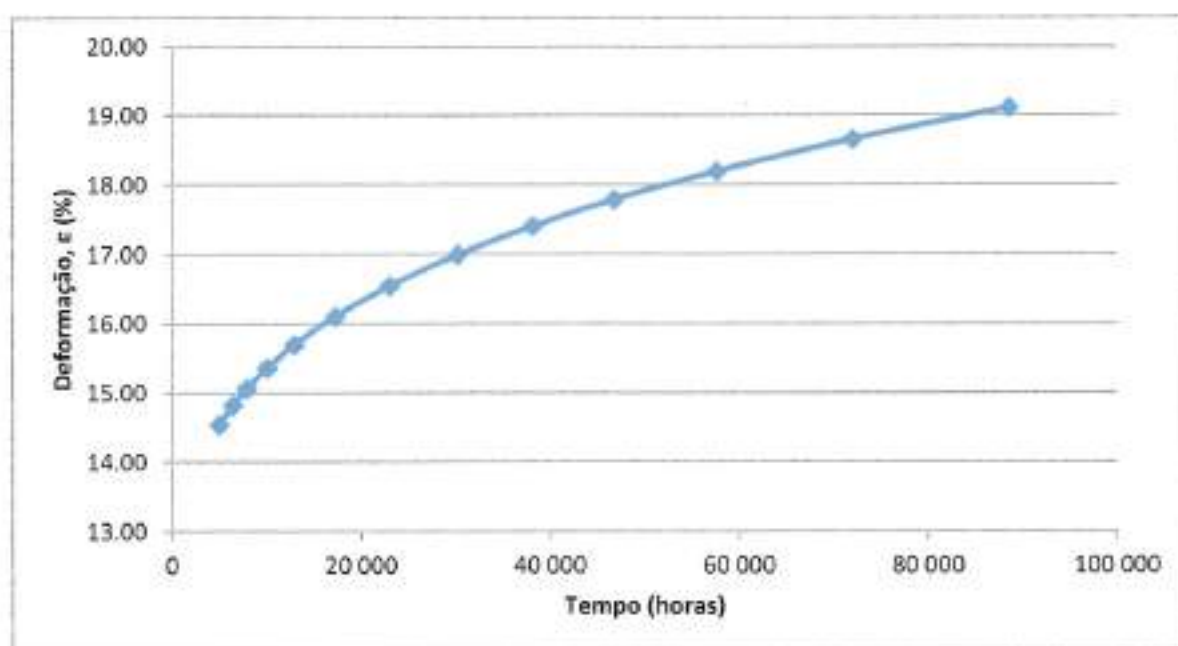


Gráfico 4: Comportamento da fluência em compressão a longo termo, para uma carga de 0,8 kPa, e com uma extrapolação até 88560 horas.

2.1.3 Determinação da fluência em compressão para a Carga 3 (1,0 kPa)

Apresenta-se na Tabela 8, as referências dos provetes utilizados, a espessura inicial (d_0) e o valor da deformação após 60 segundos de aplicação da carga sobre o provete (X_0).

Na Tabela 9 são apresentados os valores obtidos durante o período de recolha de dados, bem como o cálculo da deformação com base na espessura inicial dos provetes e um cálculo da fluência em

compressão para o período de leituras, ou seja, os 122 dias. A análise é efetuada para os pontos indicados na norma e é considerada como primeira medição a leitura aos 7 dias (=168 horas).

Tabela 8: Referências dos provetes, espessura inicial (d_0) e deformação após aplicação da carga (X_0).

Provete	Nº7	Nº8	Nº9
Referência do provete	ISO568A/16	ISO569A/16	ISO570A/16
Espessura, d_0 (mm)	7,5	7,4	7,4
Deformação, X_0 (mm)	1,18	1,13	1,17

Tabela 9: Valores obtidos nos provetes ISO568A/16 a ISO570A/16 para uma carga de 1,0 kPa. Valores medidos durante o ensaio, cálculo da deformação relativa e da fluência em compressão.

Tempo (horas)	Log t	Deformação X_t (mm)			Deformação relativa ϵ_t (%)			ϵ_t médio (%)	Fluência em compressão X_{ct} (mm)			X_{ct} média (mm)	Log X_{ct}
		Nº7	Nº8	Nº9	Nº7	Nº8	Nº9		Nº7	Nº8	Nº9		
168	2,22531	1,39	1,34	1,39	18,49	18,05	18,73	18,424	0,21	0,21	0,21	0,211	-0,67682
216	2,33445	1,41	1,36	1,41	18,74	18,32	18,99	18,684	0,23	0,23	0,23	0,230	-0,63859
264	2,42160	1,42	1,37	1,41	18,89	18,50	19,11	18,834	0,24	0,24	0,24	0,241	-0,61791
336	2,52634	1,43	1,39	1,43	19,08	18,74	19,29	19,039	0,26	0,26	0,26	0,256	-0,59139
432	2,63548	1,44	1,39	1,43	19,17	18,84	19,35	19,123	0,26	0,27	0,26	0,263	-0,58087
576	2,76042	1,45	1,41	1,45	19,38	19,07	19,57	19,339	0,28	0,28	0,28	0,279	-0,55507
768	2,88536	1,47	1,43	1,46	19,58	19,26	19,74	19,526	0,29	0,30	0,29	0,292	-0,53394
1008	3,00346	1,48	1,44	1,48	19,79	19,48	19,94	19,735	0,31	0,31	0,30	0,308	-0,51148
1272	3,10449	1,51	1,46	1,50	20,09	19,77	20,25	20,035	0,33	0,33	0,33	0,330	-0,48106
1560	3,19312	1,51	1,47	1,51	20,14	19,88	20,41	20,143	0,33	0,34	0,34	0,338	-0,47074
1920	3,28330	1,52	1,48	1,52	20,26	20,02	20,56	20,278	0,34	0,35	0,35	0,348	-0,45805
2400	3,38021	1,55	1,51	1,55	20,62	20,38	20,92	20,641	0,37	0,38	0,38	0,375	-0,42582
2952	3,47012	1,55	1,52	1,55	20,72	20,49	21,01	20,738	0,38	0,39	0,38	0,383	-0,41737

Com base nos resultados $\log t$ (logaritmo do tempo) e $\log X_{ct}$ (logaritmo da média da fluência em compressão) para os 122 dias de ensaio, é efectuado o Gráfico 5 e determinada a regressão linear dos valores individuais.

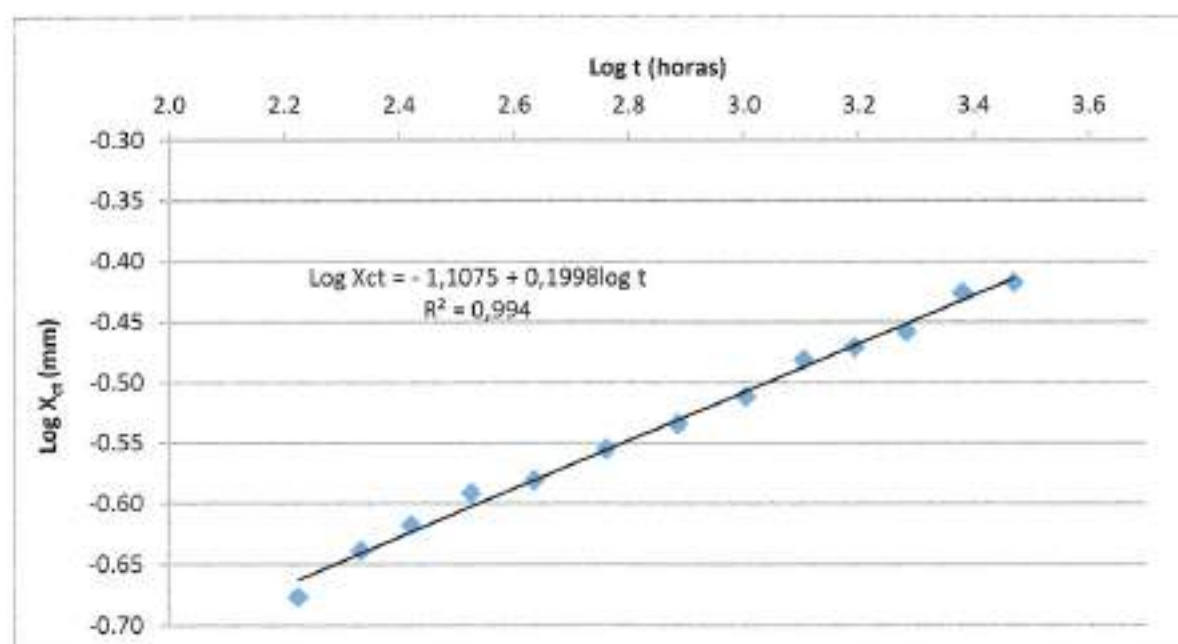


Gráfico 5: Deformação por fluência com base nas leituras obtidas durante o ensaio – análise de regressão linear.

Com base nos valores da regressão apresentados no Gráfico 5 e tendo em conta que a mesma apresenta um valor de coeficiente de correlação superior a 0,9, é possível efetuar a determinação dos coeficientes da «equação de Findley» para a carga 3 de 1,0 kPa. Os coeficientes calculados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Coeficientes obtidos através da regressão linear e calculados para a «equação de Findley».

Regressão linear		«equação de Findley»	
$\log m = a$	b	$m = 10^a$	b
-1,1075	0,1998	0,0781	0,1998

A «equação de Findley» fica então $X_t = X_0 + 0,0781 t^{0,1908}$ para a carga de 1,0 kPa. A presente equação é apenas válida para um período de extrapolação de 30 vezes, portanto até 88560 horas.

Efectuando o cálculo para a fluência em compressão a 10 anos (cerca de 87600 horas), obteríamos o valor:

$$X_t(87600) = 1,16 + 0,0781 \times 87600^{0,1908} = 1,92 \text{ mm}$$

A deformação relativa é retirada de $\epsilon_t = (X_t / d_c) \times 100$:

$$\epsilon_t = (1,92 / 7,43) \times 100 = 25,8\%$$

No Gráfico 6, apresenta-se a deformação relativa em função do tempo, ϵ_t num gráfico linear/logarítmico. Os valores medidos são representados por pontos e a curva resulta do cálculo matemático da «equação de Findley» evidenciando uma extrapolação até 88560 horas.

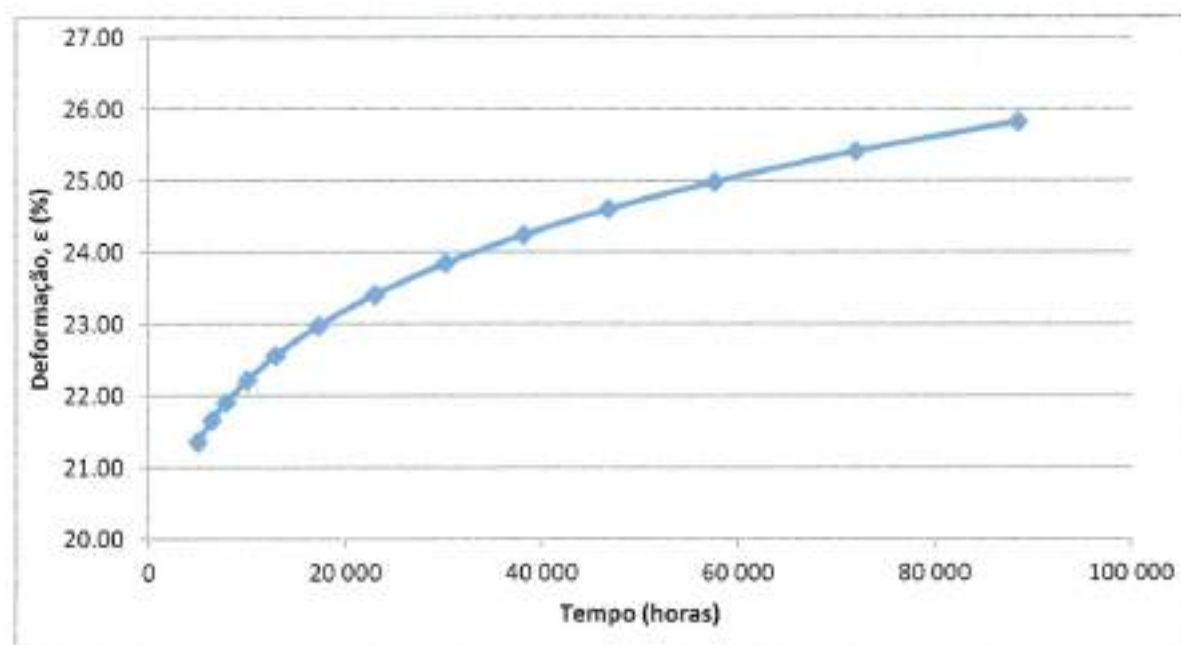


Gráfico 6: Comportamento da fluência em compressão a longo termo, para uma carga de 1,0 kPa, e com uma extrapolação até 88560 horas.

3 - Considerações finais

No presente relatório apresentaram-se os resultados obtidos para o ensaio de determinação da fluência em compressão da manta de poliéster com uma massa por unidade de área de 240 g/m² com a referência Ecofiber Floor, de 8 mm de espessura nominal, da empresa Altenburg Textil Ltda. Realizaram-se 3 ensaios de fluência em compressão para 3 cargas distintas de 0,6 kPa, 0,8 kPa e 1,0 kPa. Apresentaram-se os valores reais medidos e efetuou-se o cálculo das «equações de Findley» para os três casos, permitindo esta equação a extrapolação dos valores da deformação até 30 vezes o tempo real de ensaio. Apresentaram-se também os gráficos de deformação/tempo, para a referida extrapolação, e para cada uma das cargas ensaiadas.

Coimbra, 06 de Setembro de 2016

Autoria técnica:

Saúl Martins:



Responsável técnico:

Nuno Simões

Supervisor Técnico e Científico do ITeCons



Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico
para a Construção e o Ambiente
Direcção do ITeCons