

## 6. RESULTADOS OBTIDOS

---

### 6.1 ENSAIO DE DESGASTE CANTABRO

As tabelas 6.1 e 6.2 apresentam o desgaste de todos corpos de prova submetidos ao ensaio cantabro enquanto na tabela 6.3 estão as médias dos valores e seus desvios padrões. Nas figura 6.1 e 6.2 estão representados os todos corpos de prova ensaiados e a média destes. Na figura 6.3 encontram-se os desgastes médios das duas misturas analisadas. As tabelas 6.4 a 6.6 apresentam a análise de variância dos resultados.

Emulsão	Teor de ligante	desgaste	Desgaste médio
RL – 1C	5,75%	4,11%	4,50%
		5,10%	
		4,73%	
		4,06%	
	6,50%	2,91%	3,14%
		3,32%	
		3,63%	
		2,71%	
	7,25%	2,31%	2,31%
		1,95%	
		2,05%	
		2,94%	

Tabela 6.1 : Resultado do ensaio Cantabro - RL - 1C

Emulsão	Teor de ligante	desgaste	Desgaste médio
Emulex	5,75%	7,51%	5,17%
		4,69%	
		4,69%	
		3,81%	
	6,50%	3,55%	3,51%
		2,83%	
		3,70%	
		3,94%	
	7,25%	0,72%	0,91%
		0,85%	
		1,15%	
		0,94%	

Tabela 6.2 : Resultado do ensaio Cantabro - Emulex

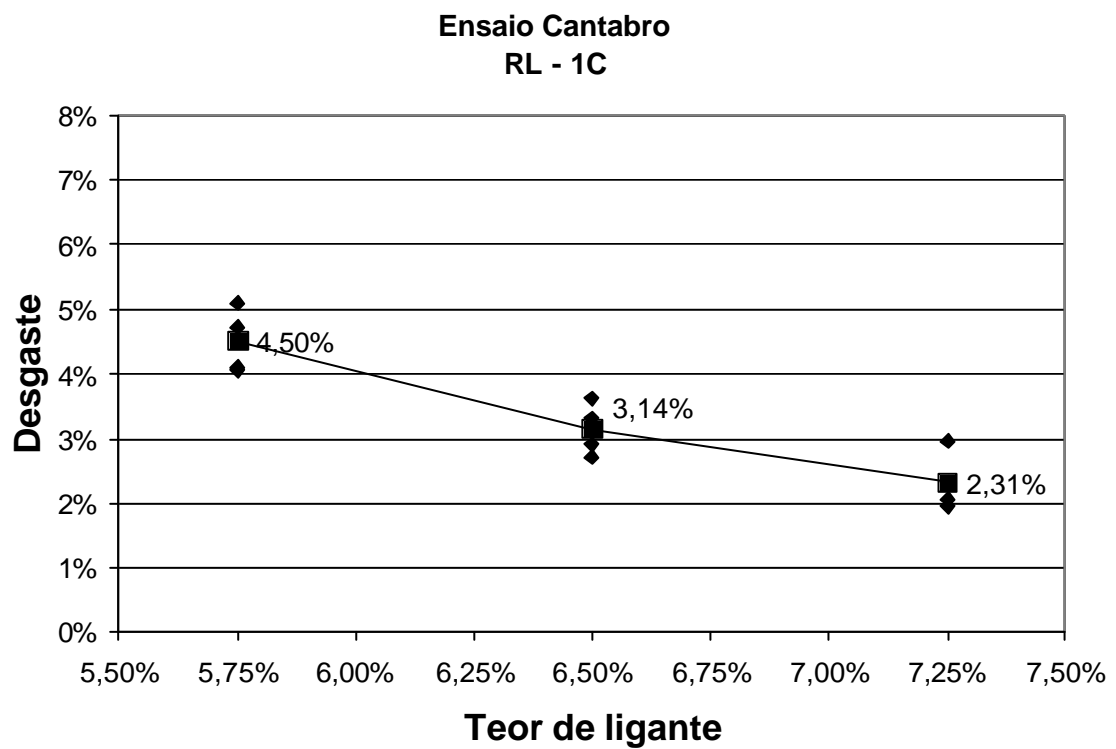


Figura 6.1: Resultado do ensaio Cantabro - RL - 1C

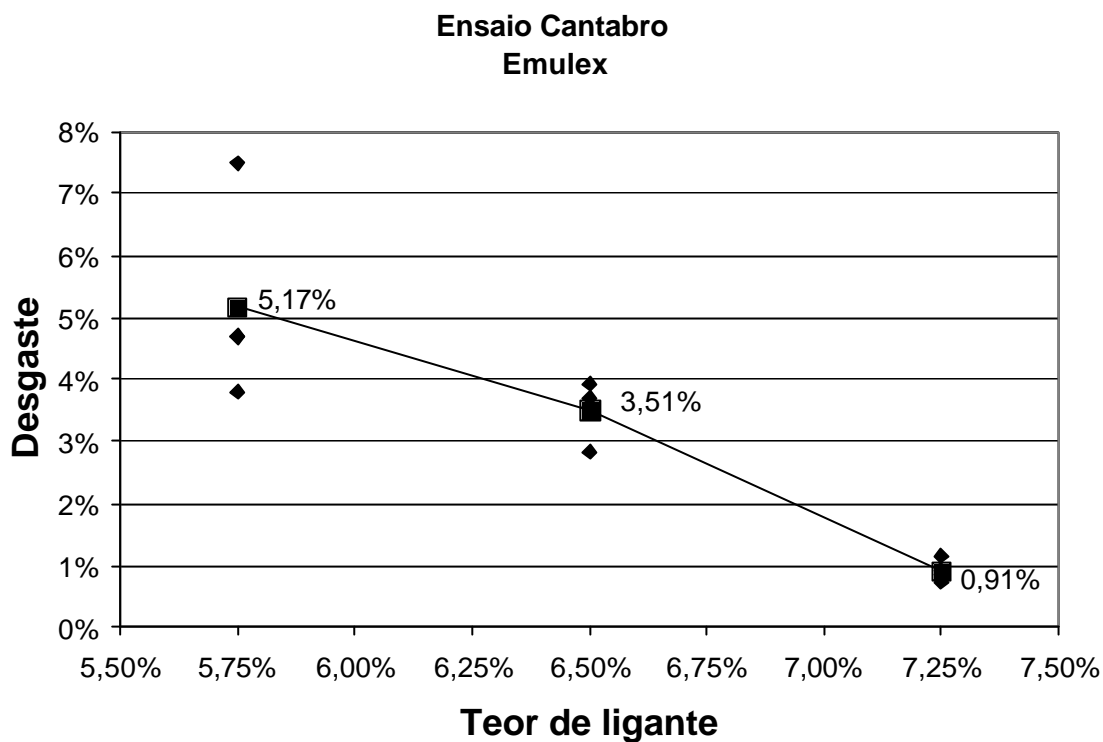


Figura 6.2: Resultado do ensaio Cantabro - Emulex

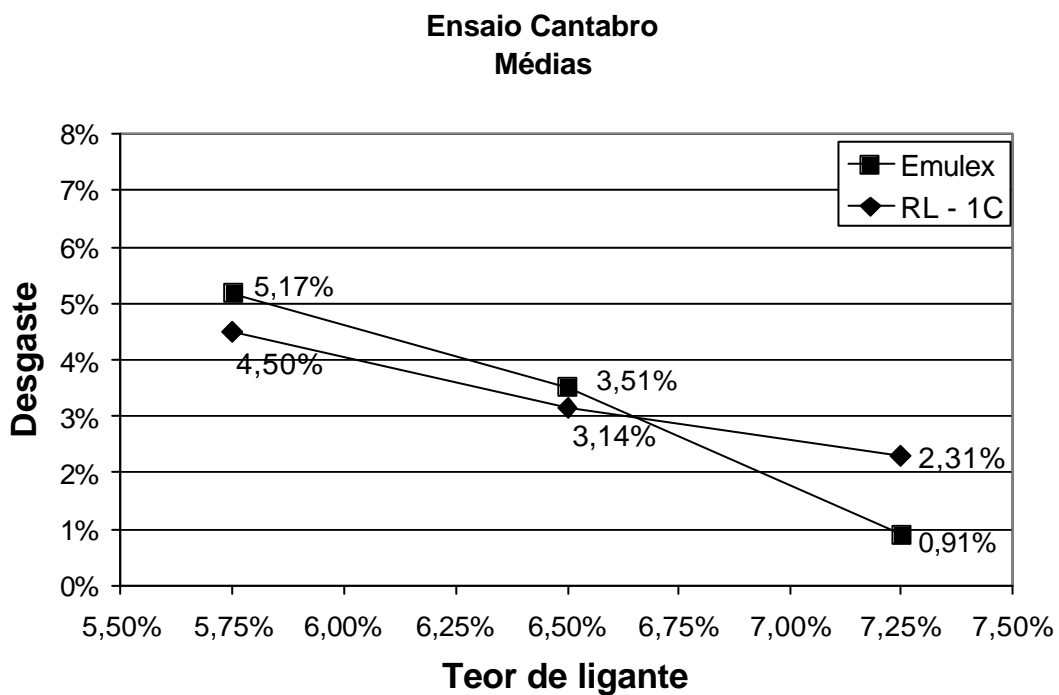


Figura 6.3: Resultado do ensaio Cantabro

### **6.1.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO CANTABRO**

As misturas analisadas seguiram a tendência de diminuir o desgaste com o aumento do teor de ligante. Com maior quantidade de asfalto na mistura os grãos tendem a ficar melhor envolvidos e conseqüentemente oferecem maior resistência ao arrancamento.

Com relação ao tipo de emulsão utilizada encontrou-se valores superiores de desgaste para a emulsão modificada com polímero nos teores abaixo do ótimo e ótimo. Para o teor acima do ótimo a emulsão modificada com polímero mostrou-se mais resistente ao desgaste do que a emulsão convencional. Esperava-se, com base na bibliografia (ZHOU et al., 1994) que as amostras com polímero fossem mais resistentes ao desgaste, fato que só aconteceu para um teor de ligante.

### **6.1.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS**

A análise de variância é um método de identificar diferença entre várias médias (COSTA NETO, 1977). Testa-se uma hipótese, que para este caso vem a ser a hipótese de que as médias de desgaste das misturas fabricadas com RL - 1C e com Emulex são iguais em cada um dos 3 teores analisados. Encontrando-se um valor  $F > F_{\text{crítico}}$  rejeita-se a hipótese, caso contrário aceita-se a hipótese que as médias são iguais. Para executar a análise de variância ao nível de significância de 5% em nosso experimento utilizamos uma rotina do programa EXCEL<sup>®</sup> 97.

O resultado da análise de variância mostra que as médias de desgaste das misturas fabricadas com RL - 1C e com Emulex nos teores abaixo do ótimo e ótimo não tem diferença significativa. Somente no teor acima do ótimo é que a hipótese das médias serem iguais foi refutada para um nível de significância de 5%. Neste teor a emulsão modificada com polímero apresentou um desgaste menor. Portanto, baseado nesta análise, verifica-se

que para os teores de 5,75% e 6,50% de ligante não há diferença significativa na resistência ao desgaste nas misturas fabricadas com RL - 1C e com Emulex. No teor de 7,25% de ligante as misturas fabricadas com Emulex são mais resistentes ao desgaste do que as fabricadas com RL - 1C.

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
RL 1C	4	0,180024	0,045006	2,55E-05
Emulex	4	0,20698	0,051745	0,00026

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	9,08E-05	1	9,08E-05	0,635303	0,455791	5,987374
Dentro dos grupos	0,000858	6	0,000143			
Total	0,000949	7				

Tabela 6.4: Quadro da análise de variância do teor 5,75%

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
RL 1C	4	0,12576	0,03144	1,7E-05
Emulex	4	0,140239	0,03506	2,31E-05

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,62E-05	1	2,62E-05	1,308888	0,296177	5,987374
Dentro dos grupos	0,00012	6	2E-05			
Total	0,000146	7				

Tabela 6.5: Quadro da análise de variância do teor 6,50%

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
RL 1C	4	0,092558	0,023139	1,98E-05
Emulex	4	0,036534	0,009133	3,21E-06

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,000392	1	0,000392	34,10143	0,001111	5,987374
Dentro dos grupos	6,9E-05	6	1,15E-05			
Total	0,000461	7				

Tabela 6.6: Quadro da análise de variância do teor 7,25%

## 6.2 CREEP DINÂMICO

As figuras 6.4 a 6.9 apresentam os resultados de todos os corpos de prova ensaiados no ensaio de creep dinâmico. As figuras 6.10 e 6.11 apresentam as médias dos corpos de prova de RL - 1C e Emulex respectivamente. Na figura 6.12 estão todas as curvas médias.

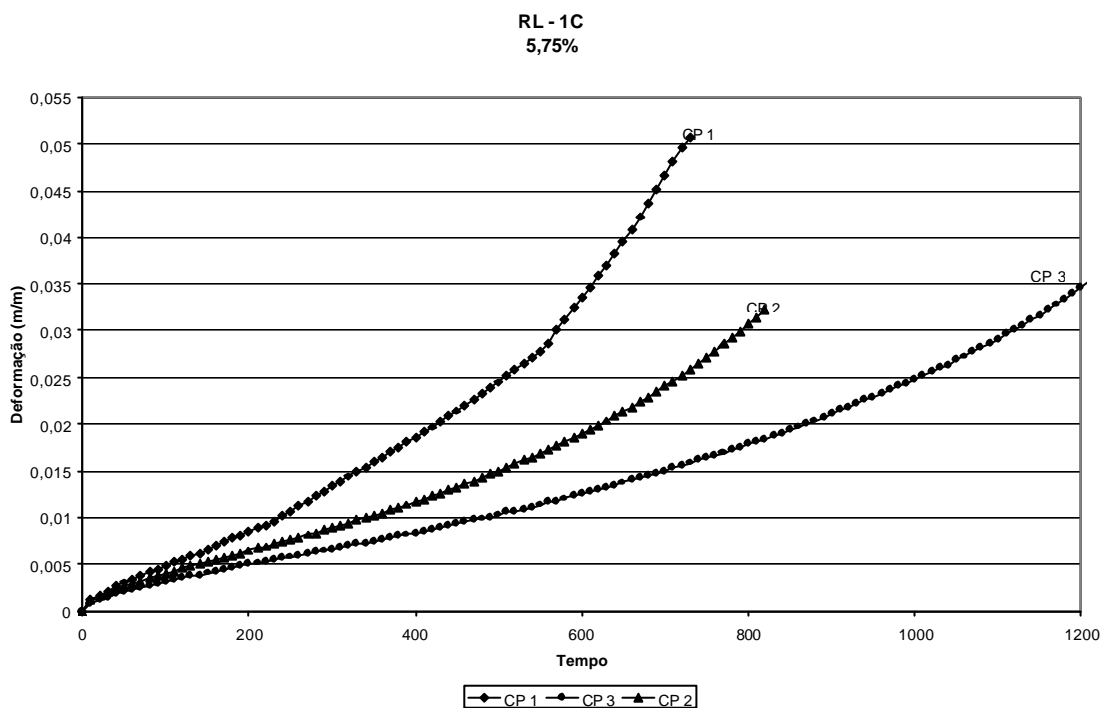


Figura 6.4: Resultado de creep dinâmico - RL - 1C -Teor de 5,75%

O corpo de prova 1 foi descartado da média porque o ensaio foi paralisado 3 vezes pois a escala do equipamento utilizado não estava preparada para uma deformação tão grande quanto a que foi registrada. O corpo de prova 3 também foi descartado porque o pistão de compressão estava mal fixado e a tensão aplicada ao corpo de prova foi inferior a planejada. A média para este teor foi considerada como sendo o resultado do corpo de prova 2. Nos outros teores todos os corpos de prova foram usados para calcular a média.

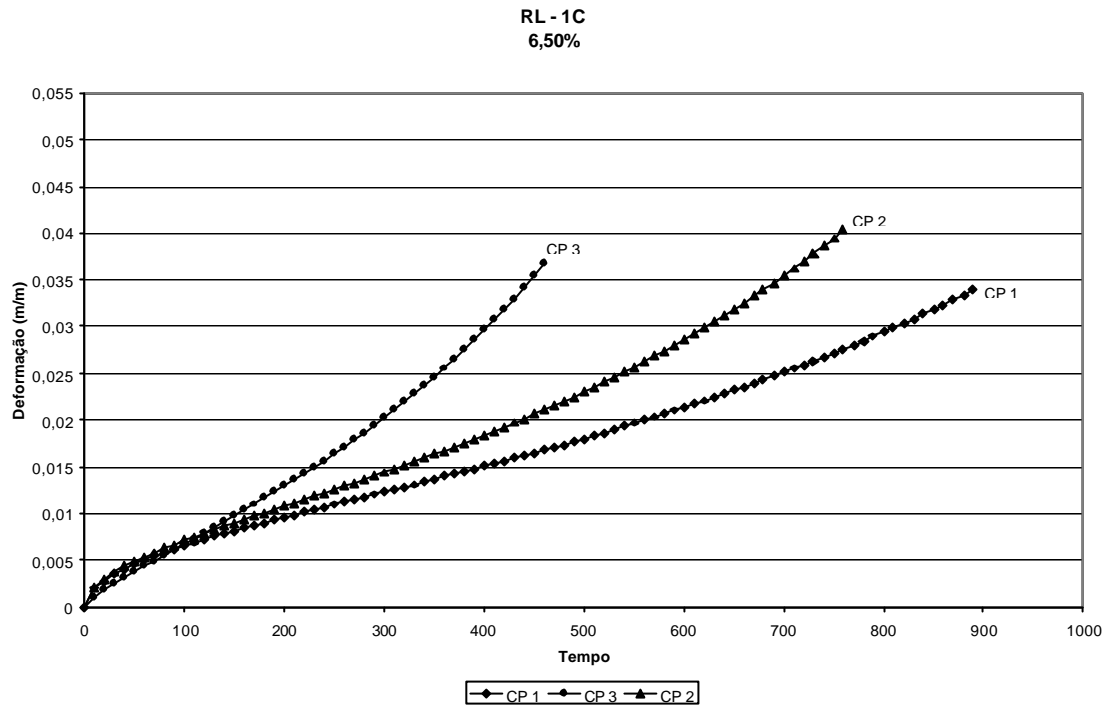


Figura 6.5: Resultado de creep dinâmico - RL - 1C - Teor de 6,50%

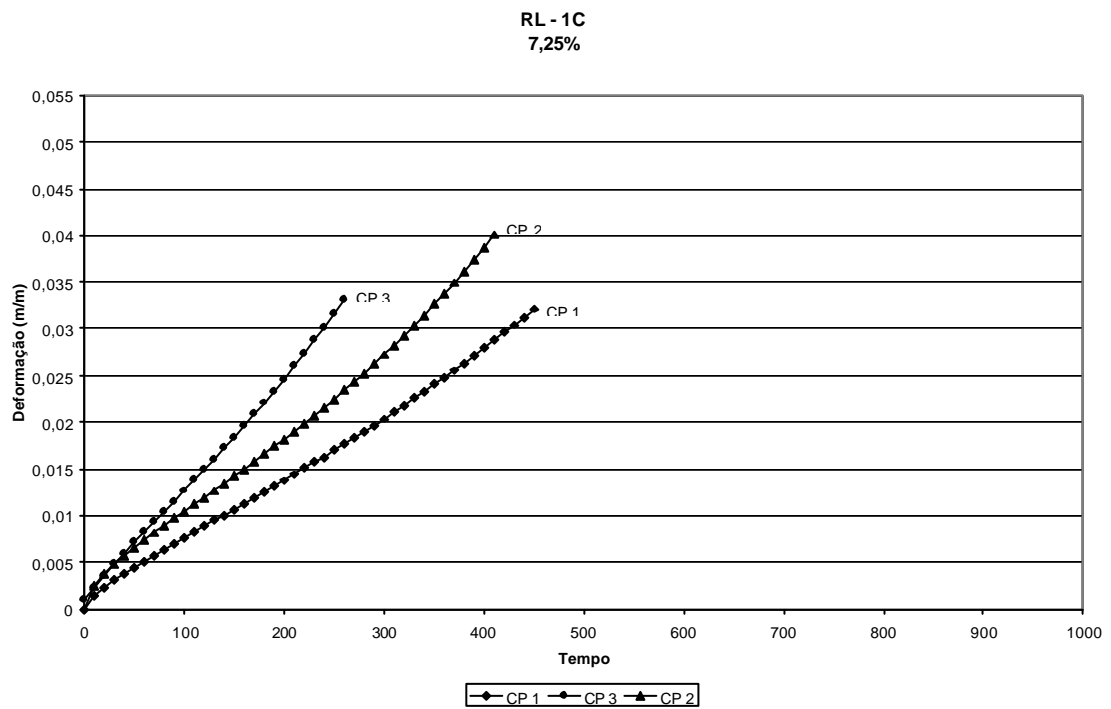


Figura 6.6: Resultado de creep dinâmico - RL - 1C - Teor de 7,25%

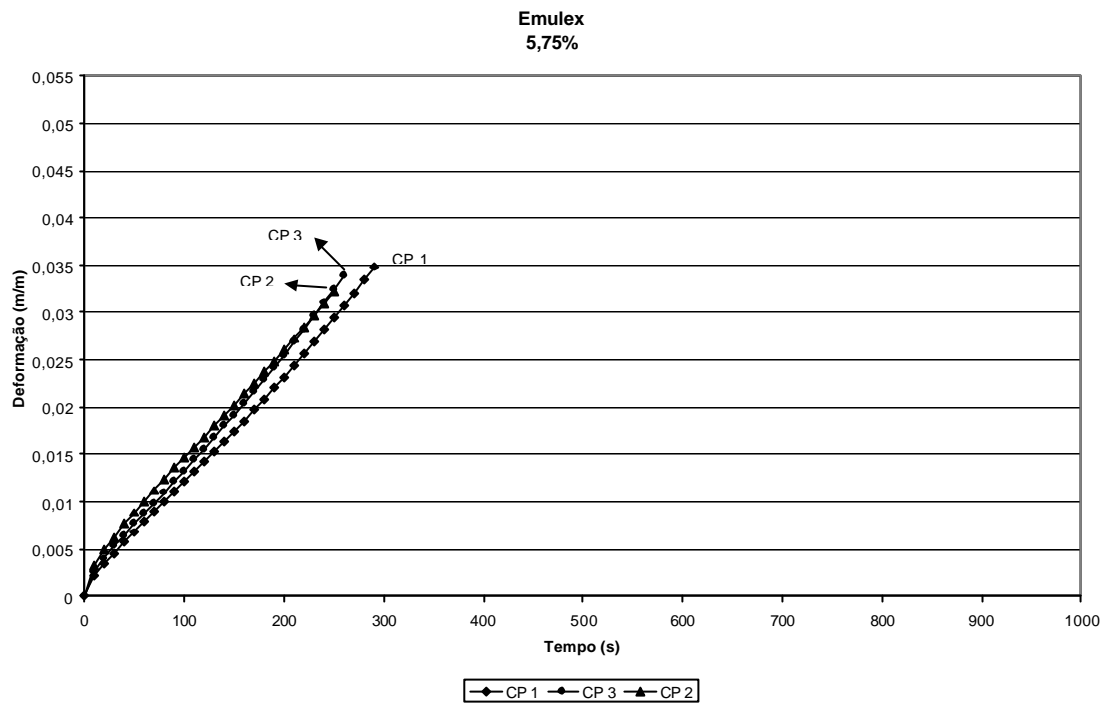


Figura 6.7: Resultado de creep dinâmico - Emulex - Teor de 5,75%

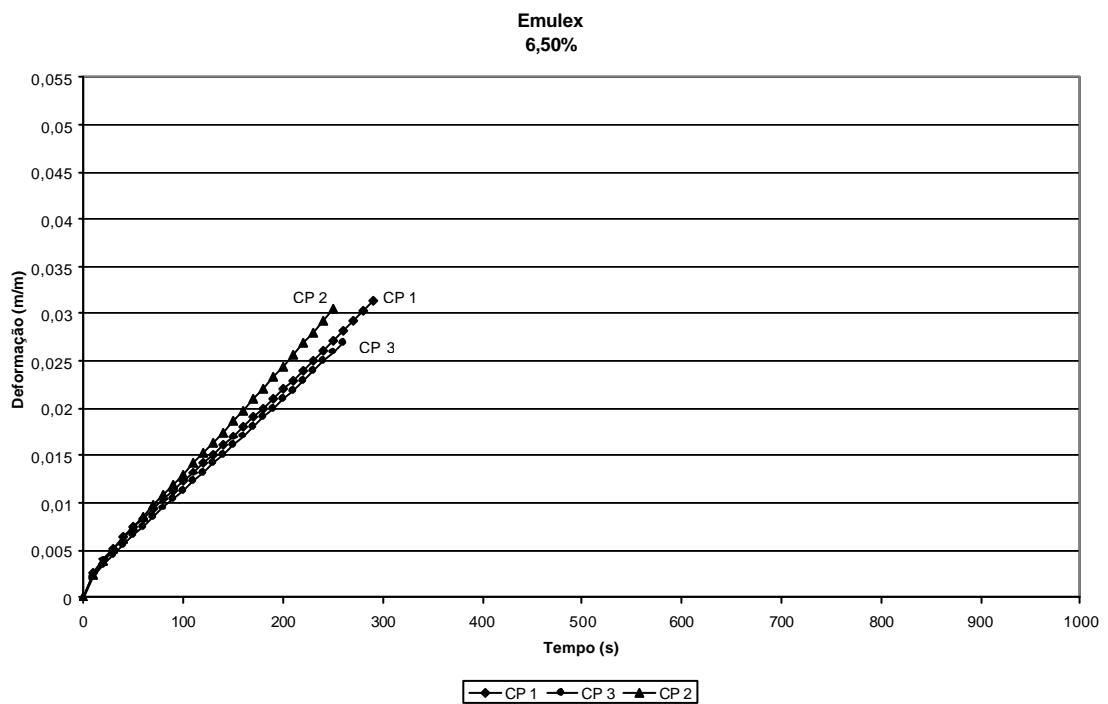


Figura 6.8: Resultado de creep dinâmico - Emulex - Teor de 6,50%



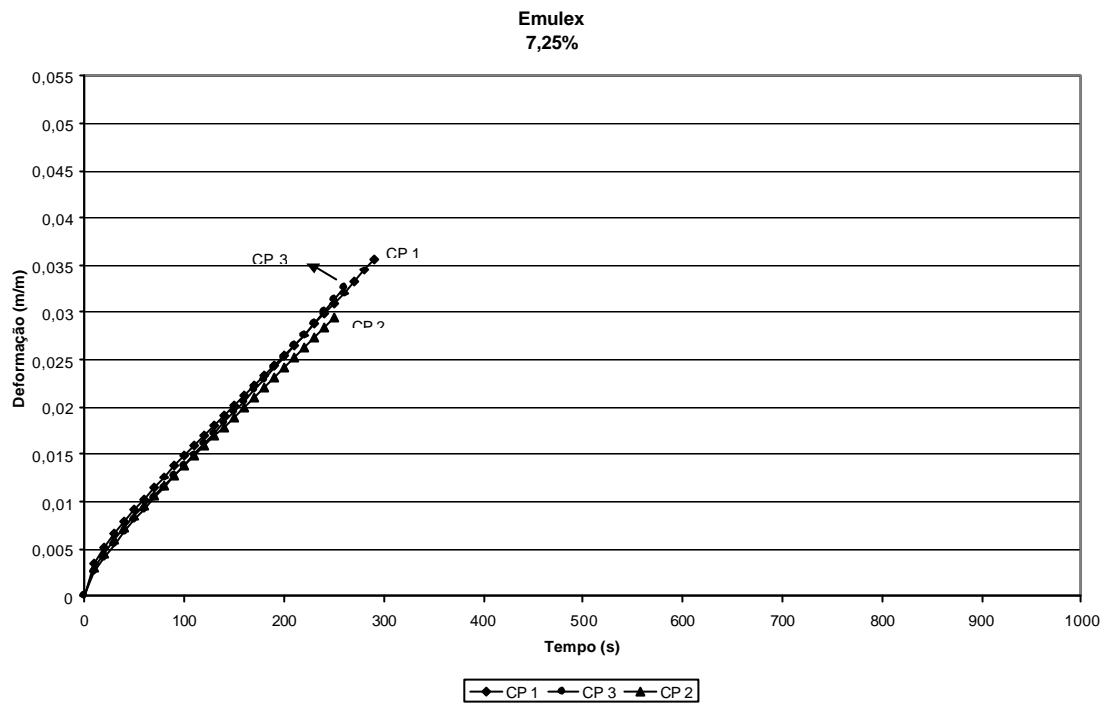


Figura 6.9: Resultado de creep dinâmico - Emulex - Teor de 7,25%

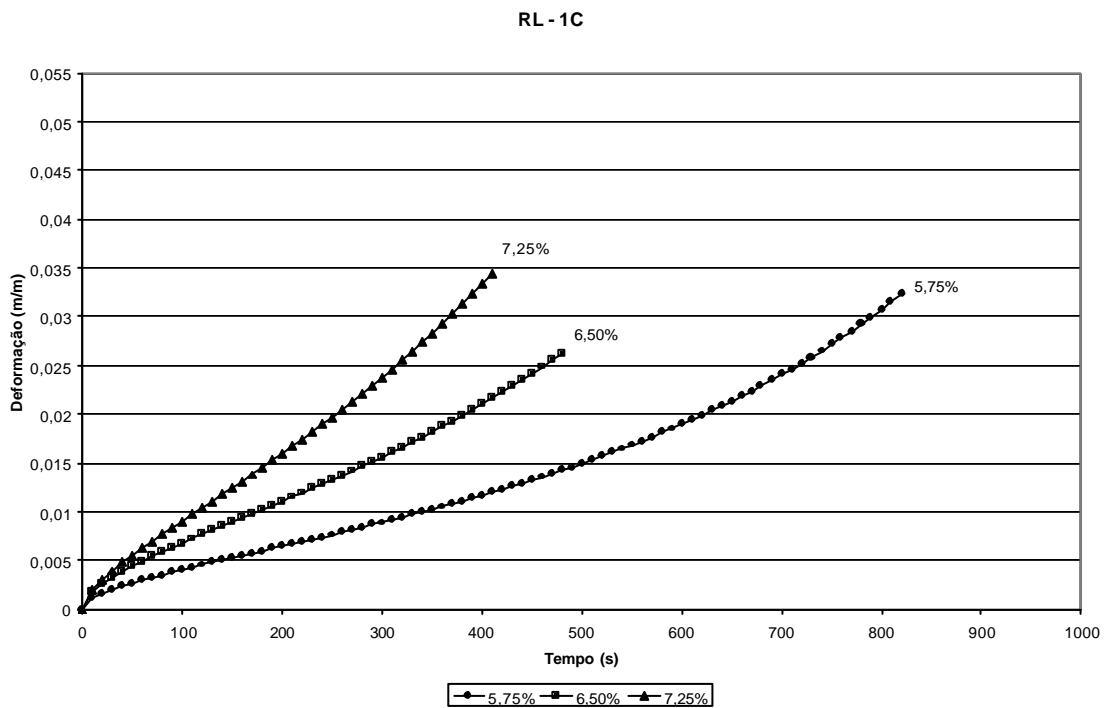


Figura 6.10: Resultado de creep dinâmico - RL - 1C

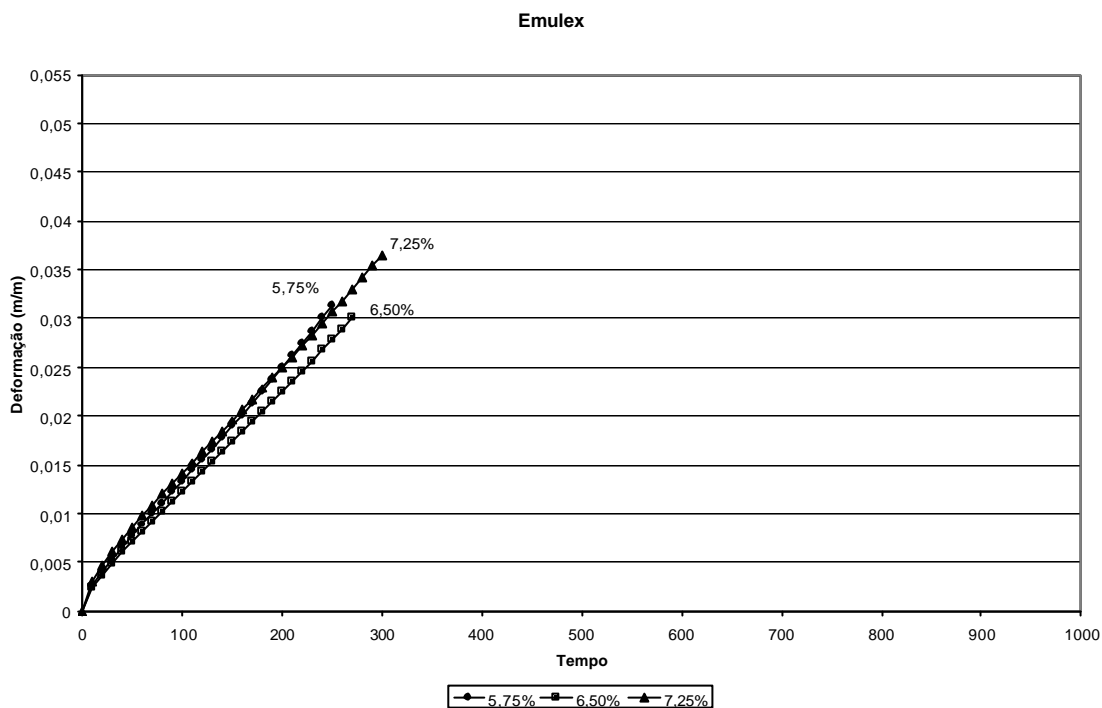


Figura 6.11: Resultado de creep dinâmico - Emulex

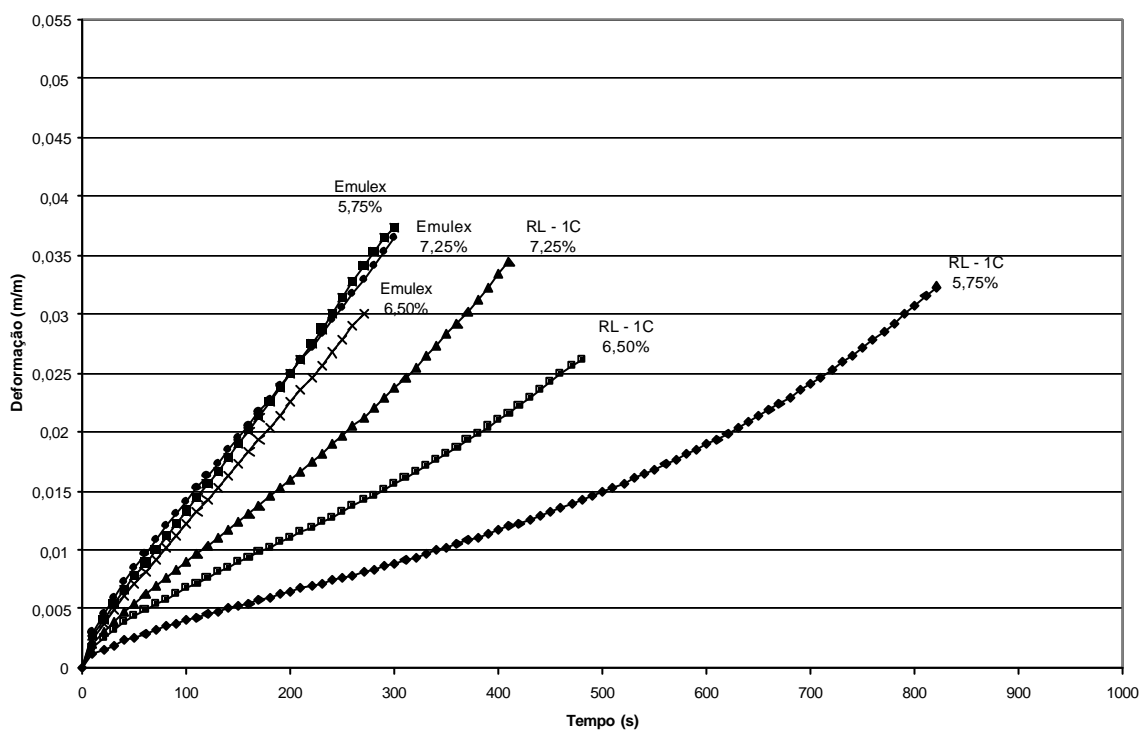


Figura 6.12: Resultado de creep dinâmico

### 6.2.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE CREEP DINÂMICO

Todos corpos de prova ensaiados romperam antes dos 60 minutos de duração do ensaio. Misturas de concreto asfáltico analisadas com o uso deste ensaio resistiram até a cargas superiores as que foram aplicadas nesta pesquisa (MOTTA et al., 1996; VALKERING et al., 1990). Mesmo levando em consideração que CBUQ é mais resistente que areia-asfalto, este fato leva a crer que a tensão utilizada não foi excessiva, e que as misturas ensaiadas não apresentam resistência adequada à deformação permanente.

Comparando-se as duas misturas, ilustradas na figura 6.12, vê-se que os corpos de prova de RL - 1C foram mais resistentes que os de Emulex, mas apresentaram uma dispersão de resultados maior, como pode-se verificar nas figuras 6.4 a 6.9.

Pode ser observado na figura 6.10 que com o aumento do teor de ligante a mistura com RL – 1C ficou mais susceptível à deformação, o que não ocorreu para a mistura com Emulex. A mistura preparada com emulsão modificada com polímero rompeu muito prematuramente. A dispersão entre os 3 corpos de prova ensaiados para cada teor foi pequena, assim como foi pequena a diferença entre as curvas dos 3 teores de ligante ensaiados.

Analisando a figura 6.12, onde estão as curvas médias de todas as misturas ensaiadas verificamos que as misturas mais resistentes seriam em ordem decrescente as com teores 5,75%, 6,50% e 7,25% fabricadas com RL - 1C. Em seguida estaria a mistura com 6,50% de Emulex, que é apenas um pouco mais resistente que as misturas com 5,75% e 7,25%.

### 6.3 CREEP ESTÁTICO

A maioria dos corpos de prova ensaiados rompeu muito prematuramente, por este motivo preferiu-se colocar os gráficos em escalas diferentes para facilitar a visualização. As figuras de 6.13 a 6.15 apresentam os resultados dos corpos de prova fabricados com RL - 1C. Os resultados dos corpos de prova fabricados com Emulex estão apresentados nas figuras 6.16 a 6.18.

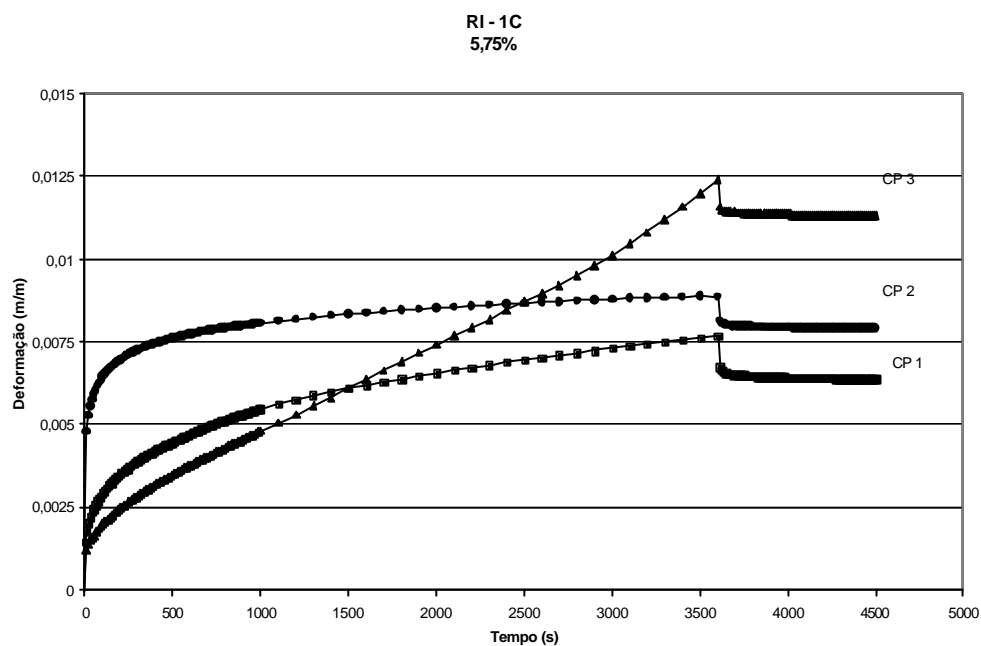


Figura 6.13: Resultado de creep estático - RL - 1C - Teor de 5,75%

Todos 3 corpos de prova resistiram até o final do ensaio, mas um corpo de prova, o de número 3, apresentou um comportamento diverso dos outros dois, e por isso foi descartado da média.

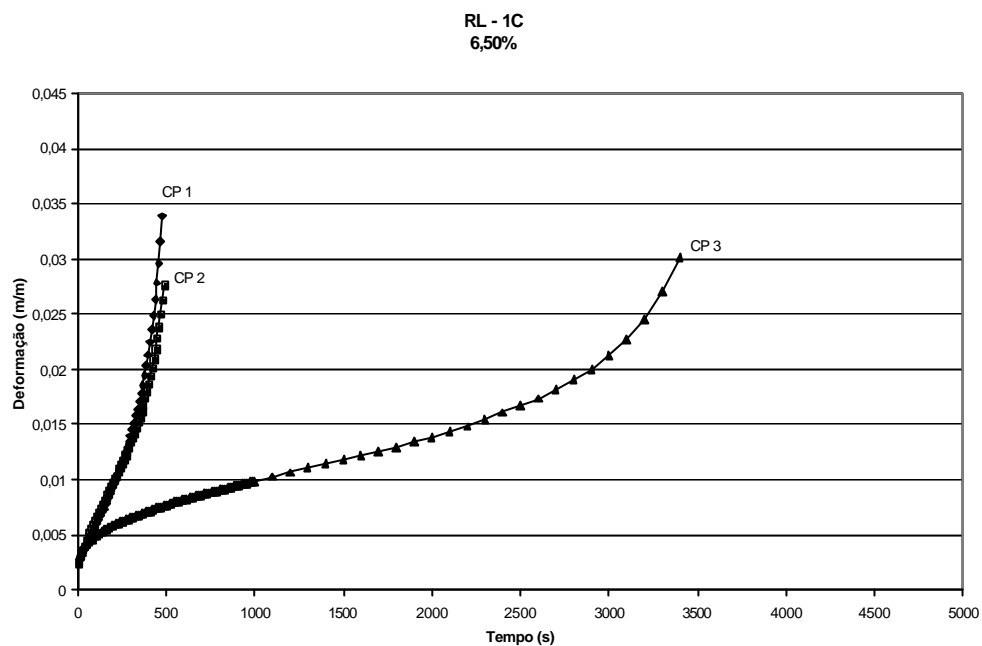


Figura 6.14: Resultado de creep estático - RL - 1C - Teor de 6,50%

No teor de 6,50% de RL - 1C nenhum dos 3 corpos de prova chegou ao final do ensaio, mas o terceiro corpo de prova teve que ser descartado por ter apresentado comportamento bem diferente dos outros dois. No restante das misturas analisadas todos os corpos de prova foram utilizados para a média.

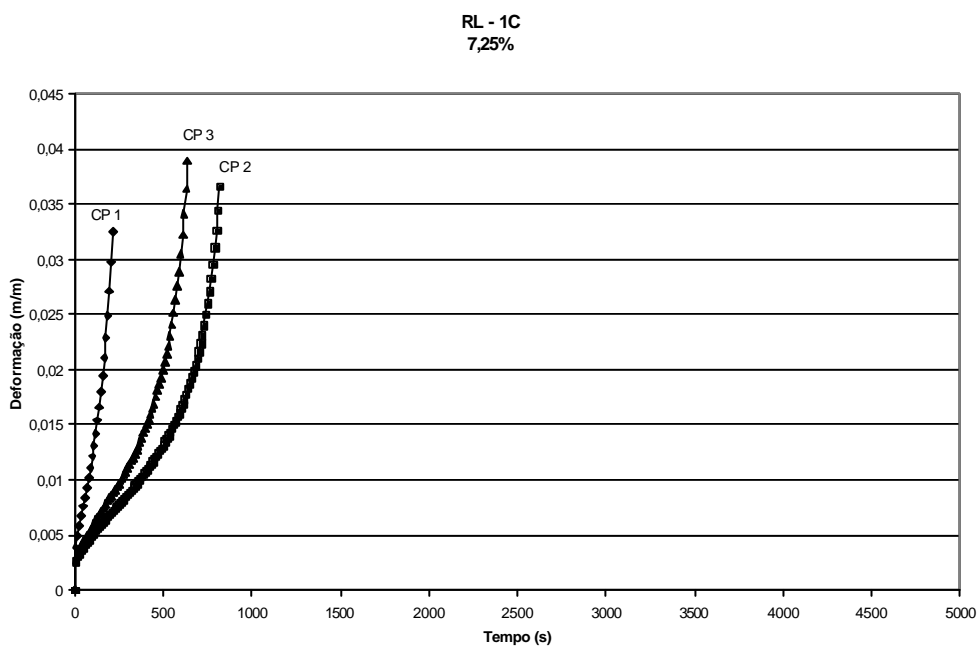


Figura 6.15: Resultado de creep estático - RL - 1C - Teor de 7,25%

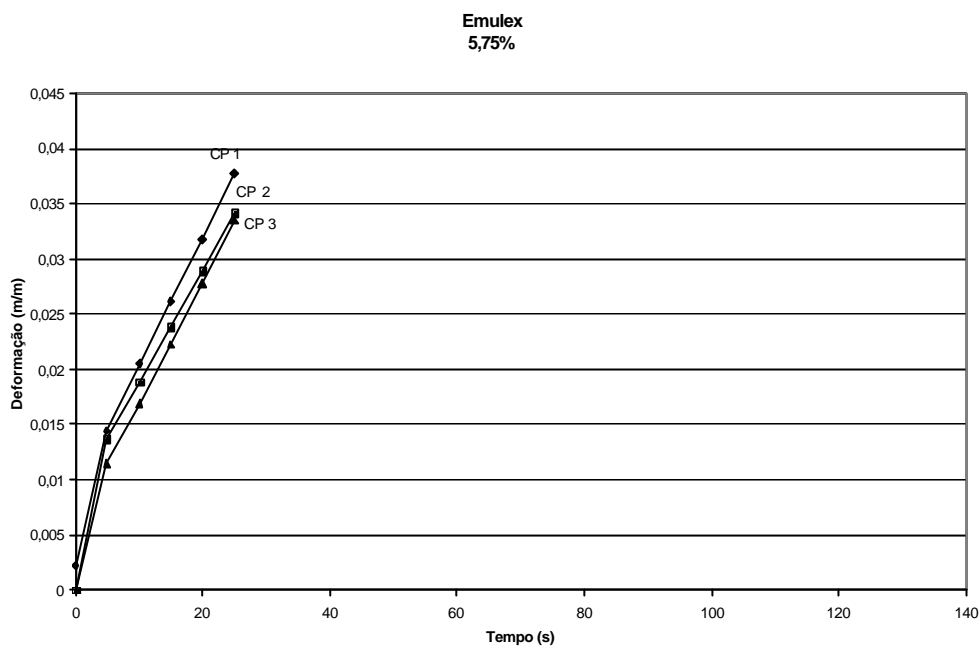


Figura 6.16: Resultado de creep estático - Emulex - teor 5,75%

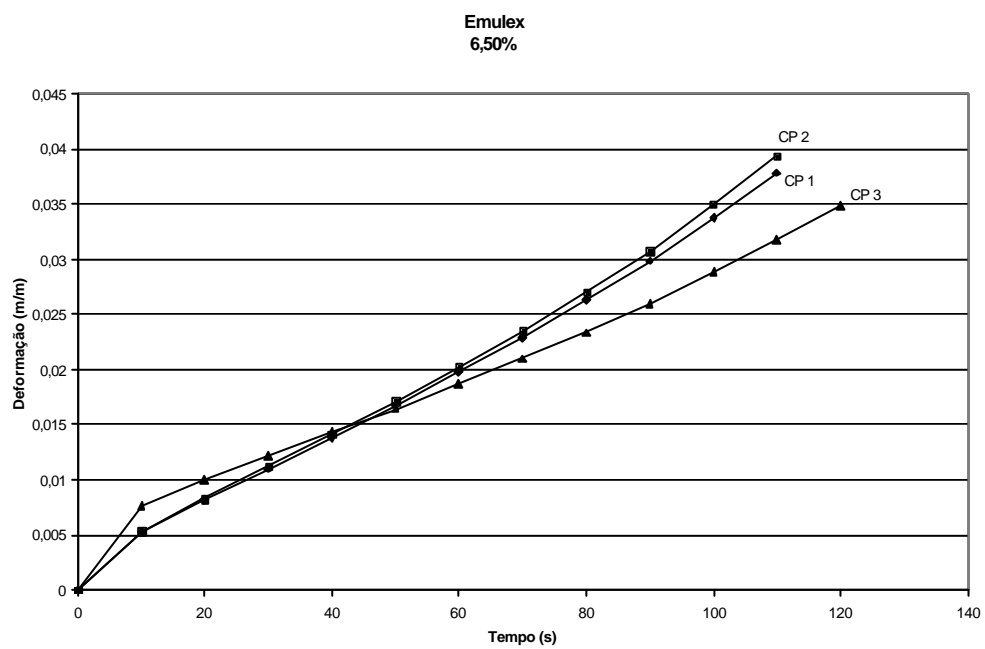


Figura 6.17: Resultado de creep estático - Emulex - teor 6,50%

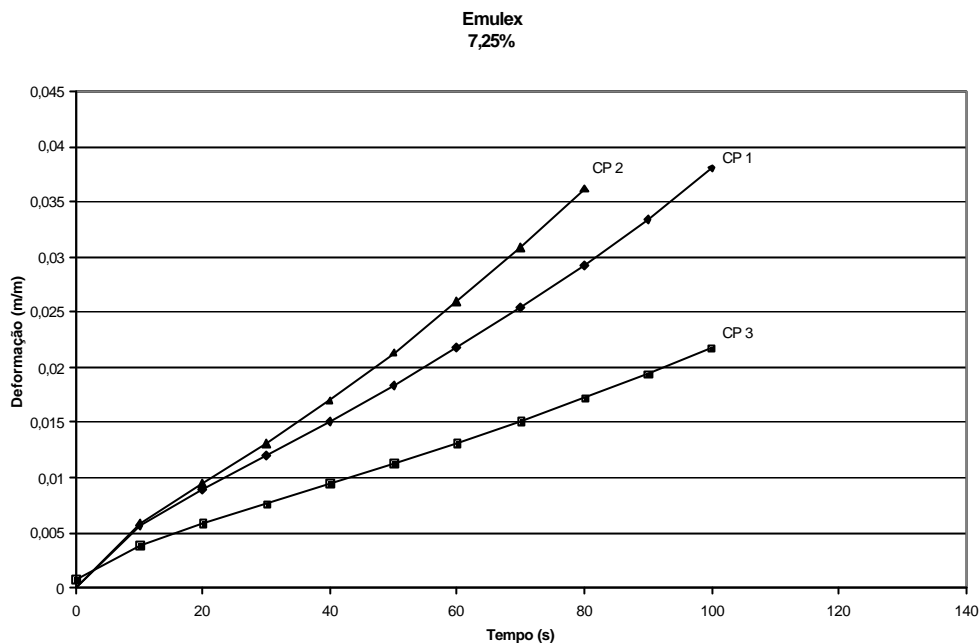


Figura 6.18: Resultado de creep estático - Emulex - teor 7,25%

As figuras 6.19 e 6.20 apresentam as curvas médias nos 3 teores dos dois ligantes utilizados. No teor de 5,75% de RL -1C a média é de somente dois corpos de prova, nos outros teores a média foi feita com o resultado de todos os três corpos de provas ensaiados.

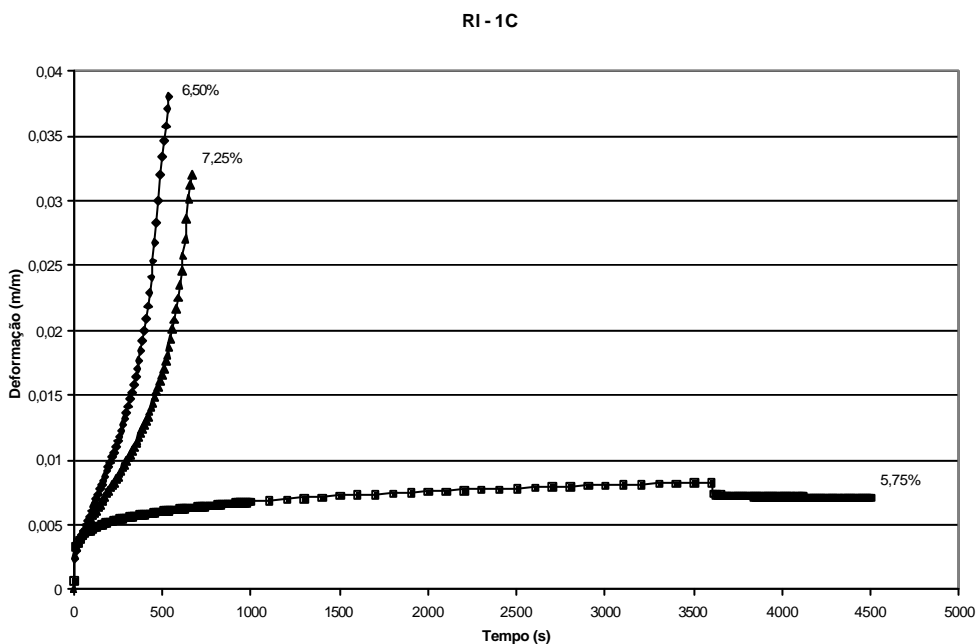


Figura 6.19: Resultado de creep estático - RL - 1C - Todos os teores

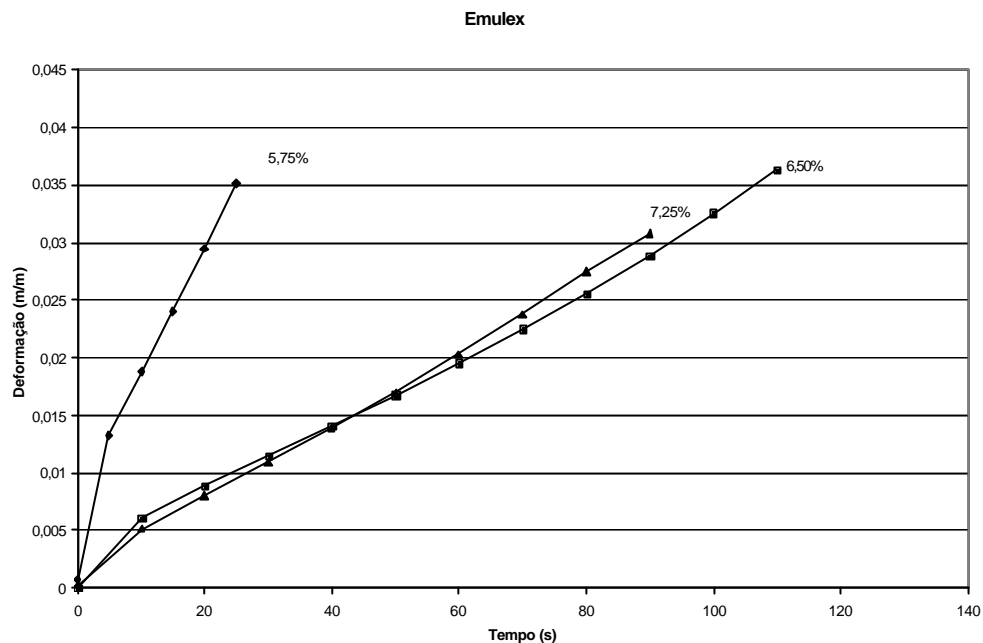


Figura 6.20: Resultado de creep estático - Emulex - Todos os teores

### 6.3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE CREEP ESTÁTICO

No ensaio de creep estático os corpos de prova também romperam antes dos 60 minutos de ensaio. Somente para o teor de 5,75% de ligante na mistura convencional os corpos de prova chegaram ao final do ensaio. Os corpos de prova fabricados com Emulex romperam com poucas aplicações de carga.

A resistência à deformação permanente avaliada com o ensaio de creep dinâmico para as amostras fabricadas com RL – 1C foi semelhante a encontrada no ensaio dinâmico. O teor de 5,75% pareceu ser o mais indicado pois as amostras com este teor resistiram mais tempo. Para as amostras fabricadas com Emulex o rompimento dos corpos de prova aconteceu com poucas aplicações de carga, sendo que o teor de 5,75% foi o menos resistente.



Com base no resultado deste ensaio as misturas analisadas parecem ser pouco adequadas para o uso em revestimentos de rodovias, mesmo com baixo volume de tráfego.