

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Emulsões asfálticas: obtenção e estudo dos parâmetros de fabricação

AUTORES:

Cristian Kelly Moraes de Lima, Tereza Neuma de Castro Dantas, Maria Carlenise Paiva de Alencar Moura, Afonso Avelino Dantas Neto, Herbert Senzano Lopes

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN/PPGEQ – Campus Universitário – 59.072-970 – Natal/RN, Brasil
Fone: (84) 32153773 - Fax: (84) 32153156
E-mail: kelly@eq.ufrn.br; carlenise@eq.ufrn.br

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

Emulsões asfálticas: obtenção e estudo dos parâmetros de fabricação

Abstract

Asphalt emulsions, also called hydro-asphalts, are mixtures of petroleum asphalt binder dispersed into a continuous aqueous phase. For its obtaining it is necessary to supply mechanical energy in order to break the asphalt binder in small droplets and also it is necessary to maintain, during a certain interval of time, these asphalt droplets dispersed into the aqueous phase. The emulsifying agent (surfactant agent) can be used to give stability to the obtained product. Emulsion stability depends on the type and amount of the used emulsifying agent. According to the used product, the asphalt emulsions can be classified as: nonionic, anionic, cationic, and amphoteric. Solvents and other additives, such as inorganic acids, can also be added. The main objective of this work was the development and characterization of cationic asphalt emulsions. The asphalt used in this research was the Petroleum Asphalt Cement 50-70 (CAP 50-70), from Fazenda Belém (PETROBRÁS -Aracati-Ce), kindly supplied by LUBNOR - Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (Fortaleza/CE). The first step in the research was the study and development of the asphalt phase (asphalt + solvent) and the aqueous phase (water + emulsifying agent + acid), separately. During the experiments for the obtaining of the asphalt emulsion, parameters such as the composition of each constituent were evaluated. The following solvents were tested in the composition of the asphalt phase: toluene and kerosene, being varied the solvent-to-asphalt ratio. For the obtaining of the aqueous phase two emulsifying agents were tested, being varied the amounts of emulsifying agent, acid and water. The asphalt emulsions were obtained by mixing 40 to 60 wt.% asphalt phase (150 °C heating temperature) to 40 to 60 wt.% aqueous phase (60 °C heating temperature). After the obtaining of each asphalt emulsion, some characterization rehearsals were accomplished, in agreement with Brazilian Technical Standards Association (ABNT). The results obtained in pH, evaporation residue, and penetration tests showed that the developed asphalt emulsion attends to the technical specifications of Brazilian National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP).

Keywords: asphalt, asphalt emulsion, cationic surfactant

1. Introdução

O uso de emulsões asfálticas começou na metade do século XX. Com o decorrer do tempo o seu uso foi aumentando e, em 2006, aproximadamente 3 milhões de toneladas de emulsões foram produzidas nos Estados Unidos, que é o grande produtor de emulsão asfáltica no mundo, representando aproximadamente de 5 a 10% do consumo de asfalto. Atualmente, mais de 8 milhões de toneladas de emulsões são produzidas no mundo (James, 2006).

As emulsões asfálticas podem ser definidas como misturas de cimento asfáltico de petróleo dispersos na fase aquosa, produzidas, normalmente, através de um processo mecânico em equipamentos de alta capacidade de cisalhamento, denominados moinhos coloidais. A emulsão asfáltica apresenta coloração marrom e sua consistência varia de um líquido de baixa consistência, como, por exemplo, o leite, até a consistência cremosa, como o mel (ABEDA, 2001). Além dos componentes básicos da emulsão (asfalto, água e agente emulsificante), em algumas situações a emulsão pode conter outros aditivos, tais como: estabilizantes, agentes para melhorar a adesão, controladores de quebra, etc. (AEMA, 2007).

As emulsões podem ser bombeadas, armazenadas e aplicadas em temperaturas muito frias, e são frequentemente referidas como materiais aplicados a frio (Harlan, 2002). As emulsões asfálticas oferecem uma série de vantagens em relação às misturas asfálticas utilizadas a quente, tais como: menor emissão de voláteis para a atmosfera, seu uso oferece maior segurança aos operários, e possibilitam o uso de equipamentos simples, pois dispensam sistemas de aquecimento. Além disso, são fáceis de manipular e reduzem o consumo de energia. Elas são classificadas de acordo com o tipo

de emulsificante utilizado em: catiônicas, aniônicas, não-iônicas e anfotéricas e, também, de acordo com o tempo de quebra em: ruptura rápida (RR), ruptura média (RM) e ruptura lenta (RL). Segundo Hermadi e Sterling (1998), formulações comuns de emulsões têm uma vida de armazenamento de aproximadamente três meses.

2. Metodologia

Esta pesquisa tem como objetivo principal o desenvolvimento de emulsões asfálticas catiônicas. Os principais constituintes da emulsão asfáltica são: asfalto, água, solvente, emulsificante e ácido. Para obter uma formulação adequada variou-se o tipo e o teor de emulsificante e solvente; o teor de asfalto e, conseqüentemente, o teor de água.

2.1. Preparação da fase asfalto

O asfalto é considerado o principal constituinte da emulsão, podendo variar na proporção de 40 até 70% em volume. O asfalto empregado foi um Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50-70), cedido pela empresa LUBNOR – Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (Fortaleza/CE), a qual processou o petróleo oriundo da Fazenda Belém, localizada no município de Aracati/CE. Como o asfalto na temperatura ambiente é praticamente um sólido, fez-se necessário aquecê-lo em estufa a uma temperatura de 150 °C e mantê-lo no estado líquido para facilitar o processo de emulsificação. Em seguida, foi adicionado o solvente na proporção estabelecida para cada experimento (tolueno ou querosene) e a mistura foi transferida para o equipamento de agitação e dispersão Hamilton Beach. O CAP 50-70 foi utilizado na emulsão nas seguintes proporções: 40, 42, 45, 50 e 60%.

O solvente foi utilizado para diminuir a viscosidade do asfalto, facilitando assim o processo de emulsificação. Geralmente emulsões asfálticas de quebra média (MS) contêm acima de 15% de solvente para facilitar o processo de emulsificação e aplicação em campo (James, 2006). Ao escolher um solvente é necessário observar sua compatibilidade com o asfalto, para que produza uma mistura homogênea sem sinais de separação e, também, que o mesmo seja suficientemente volátil para não deixar resíduos no asfalto depositado. Os solventes utilizados neste trabalho foram o tolueno (MERCK) e o querosene comercial (Petrobras) e, também, foram obtidas emulsões sem a adição de solventes.

2.2. Preparação da fase aquosa

A água é considerada o segundo principal constituinte da emulsão asfáltica. Segundo Baumgardner (2006) a água usada para fabricação de emulsões pode ser de várias origens, tais como: sistemas municipais, poços, entre outros. Seja qual for sua origem, a maioria contém uma quantidade mínima de minerais e impurezas orgânicas. Já segundo a AEMA (2007), a água pode conter minerais ou outros materiais que afetam a produção de emulsões asfálticas estáveis. O teor de água na emulsão asfáltica pode variar na proporção de 30 até 60% em volume, atuando como meio de transporte e interagindo com o emulsificante. Para se ter maior agilidade em campo é favorável que a água presente na emulsão asfáltica evapore o mais rápido possível após a quebra da emulsão. A água utilizada neste trabalho foi proveniente de poços artesianos. A fase aquosa da emulsão foi composta de: água, emulsificante (tensoativo) e ácido. A mistura foi aquecida (60 °C) em uma chapa aquecedora (TE-038-Tecnal) e, em seguida, transferida para o agitador Hamilton Beach.

O emulsificante presente na fase aquosa é o responsável por garantir uma dispersão estável das partículas de asfalto na água. Devido a sua estrutura molecular, ele possui afinidade pelo asfalto (parte lipofílica) e pela água (parte hidrofílica), reduzindo, assim, a tensão interfacial entre as duas fases. Além disso, ele fixa-se na periferia dos glóbulos dispersos de asfalto, evitando a coalescência e aumentando a estabilidade da emulsão. Os emulsificantes utilizados neste trabalho foram: uma amida

de ácidos graxos vegetais hidroxilados (**AMG**) e um aditivo a base de poliamida de ácidos graxos de origem vegetal (**PAG**).

Os ácidos utilizados na emulsão asfáltica têm a função de formar sais solúveis com o emulsificante e reduzir o pH até o nível desejado. Isso ocorre porque alguns emulsificantes não apresentam boa solubilidade em água, sendo necessário convertê-los em sais para dissolvê-los na fase dispersante. Frequentemente é utilizado o ácido clorídrico (Baumgardner, 2006). Para este trabalho foi utilizado o ácido clorídrico (MERCK 36,5 – 38,0 %) nas seguintes proporções: 0,3; 0,5 e 1,0 %.

2.3. Obtenção da emulsão asfáltica

Segundo Santana (1993), para emulsificar o cimento asfáltico de petróleo deve-se dividi-lo em partículas muito pequenas e envolvê-las com um agente emulsificante, de modo a impedir a união dessas partículas dispersas na fase aquosa, ou seja, a ruptura prematura da emulsão asfáltica. Geralmente o equipamento mais adequado para a produção da emulsão asfáltica é o moinho coloidal. Segundo Harlan (2002) o moinho coloidal divide o asfalto em glóbulos com tamanho de aproximadamente 0,025 a 0,125 mm. Neste trabalho foi utilizado o equipamento representado pela Figura 1, um aparelho de agitação e dispersão Hamilton Beach (Scovili - modelo 936-1) com alta rotação (17.000 rpm).

Após o preparo da fase asfalto e da fase aquosa, estas foram misturadas e agitadas (17000 rpm) por 15 minutos no Hamilton Beach. As misturas, após o preparo, foram armazenadas para posteriores ensaios de caracterização. A Tabela 1 mostra as composições das emulsões obtidas.



Figura 1. Hamilton Beach (Scovili - modelo 936-1)

Tabela 1. Composições das emulsões asfálticas obtidas

Emulsão	CAP 50-70 (%)	Solvente (%)	Água (%)	Emulsificante	HCl (%)	CaCl ₂ (%)
1	50	0	48,5	1,0% AMG	0,5	-
2	45	10 (tolueno)	43,5	1,0% AMG	0,5	-
3	45	15 (tolueno)	37,5	2,0% AMG	0,5	-
4	40	20 (tolueno)	37,5	2,0% AMG	0,5	-
5	60	0	37,5	1,0% PAG	0,5	1,0
6	40	0	57,5	1,0% PAG	0,5	1,0
7	50	5 (querosene)	42,0	2,0% PAG	1,0	-
8	45	8 (querosene)	45,0	1,0% PAG	1,0	-
9	42	8 (querosene)	49,2	0,5% PAG	0,3	-

2.4. Caracterização das emulsões asfálticas

Para a caracterização das emulsões asfálticas podem ser realizados ensaios com a própria emulsão e, também, com o resíduo proveniente da evaporação. Segundo James (2006), as análises com emulsões podem ser divididas em três grupos: (1) os que analisam as propriedades da emulsão (como, por exemplo: teor de resíduo, viscosidade, estabilidade ao armazenamento, resíduo de peneiramento); (2) as análises que classificam a emulsão em quebra rápida, média ou lenta (como, por exemplo: desemulsibilidade, testes de mistura com cimento e testes de adesão); e (3) as análises sobre o resíduo recuperado pela evaporação (tais como penetração, ductilidade e ponto de amolecimento). Dentre os ensaios descritos a seguir, os ensaios de pH e resíduo por evaporação foram realizados com a emulsão asfáltica e, os ensaios de penetração, ductilidade e ponto de amolecimento foram realizados com o resíduo.

Ensaio de pH – realizado de acordo com a ABNT NBR 6299 (2005). Este ensaio tem por objetivo determinar o potencial hidrogeniônico (pH) das emulsões asfálticas. Conforme a norma, o ensaio de pH pode ser realizado entre as temperaturas de 20 e 30 °C. O equipamento utilizado foi um potenciômetro (Tec -3MP-Tecnal).

Ensaio de resíduo asfáltico por evaporação – realizado de acordo com a ABNT NBR 14376 (2007). Este ensaio tem por objetivo determinar a quantidade de ligante asfáltico contido em emulsões asfálticas. A amostra de emulsão é aquecida até a total evaporação da água ou da água e solvente. A amostra é aquecida de forma branda e com agitação contínua, a fim de evitar a ocorrência de respingos. No decorrer do ensaio observa-se a formação de uma fase pastosa devido à evaporação da

água ou água/solvente. O ensaio deve ser interrompido no momento em que esta fase pastosa se transforma em um fluido de superfície espelhada, constituído pelo resíduo asfáltico, e em seguida a amostra deve ser pesada. Esse procedimento deve ocorrer até a amostra atingir peso constante.

Ensaio de penetração - realizado de acordo com a ABNT NBR 6576 (2007). Este ensaio tem por objetivo medir a consistência do material asfáltico, através da distância medida em décimos de milímetros que uma agulha padronizada penetra na amostra sob condições específicas. As seguintes condições de ensaio foram utilizadas: carga de 100g, temperatura de 25°C e tempo de 5 segundos. O equipamento utilizado foi um penetrômetro universal (Pavitest, divisão em (1/10) mm).

Ensaio de ductilidade - realizado de acordo com a ABNT NBR 6293 (2001). Este ensaio tem por objetivo determinar a resistência de corpos-de-prova de materiais betuminosos quando expostos à tração, medindo sua flexibilidade. A ductilidade é expressa como a distância, em centímetros, necessária para haver o rompimento do corpo-de-prova do material betuminoso quando submetido à tração em condições controladas de velocidade e temperatura. A maioria dos cimentos asfálticos para pavimentação tem ductilidade superior a 100 cm.

Ensaio de ponto de amolecimento - realizado de acordo com a ABNT NBR 6560(2000). Este ensaio tem por objetivo avaliar a consistência do material asfáltico de acordo com a variação da temperatura. A temperatura do ponto de amolecimento é determinada no momento em que uma esfera metálica, envolvida por material betuminoso, toca uma placa de referência após ter percorrido uma distância de 25,4mm sob condições específicas.

3. Resultados e Discussão

Nesta primeira fase experimental foram desenvolvidas várias emulsões com diversas composições (Tabela 1), com o intuito de analisar e encontrar a composição mais adequada. Após a obtenção das emulsões, partiu-se para os ensaios de caracterização, os quais compreendem: pH e resíduo por evaporação da emulsão asfáltica, e determinação da penetração, ductilidade e ponto de amolecimento sob o resíduo. Desta maneira, será feita uma breve discussão sobre o comportamento das emulsões asfálticas obtidas quanto a sua consistência e tempo de quebra e, em seguida, serão discutidos os resultados dos ensaios de caracterização destas emulsões asfálticas.

3.1. Avaliação da estabilidade ao armazenamento da emulsão asfáltica

De maneira geral, conforme apresentado na Tabela 2, verificou-se que todas as emulsões no momento de sua obtenção apresentaram-se como uma mistura homogênea e com uma viscosidade que variou de baixa (tipo leite) a média (tipo mel). Porém, decorridas aproximadamente 18 h, algumas emulsões já mostravam uma maior consistência e também a formação de duas fases. Segundo Hermadi e Sterling (1998), algumas mudanças na formulação da emulsão asfáltica podem ser feitas para aumentar a estabilidade ao armazenamento. Asfaltos que possuem alta gravidade específica, a fase asfalto sedimenta rapidamente. Para que esse fenômeno seja evitado, pode-se adicionar solvente ao asfalto antes da emulsificação, diminuindo assim a gravidade específica da fase asfalto, reduzindo a taxa de sedimentação. Em relação à fase aquosa, para que ela tenha gravidade específica próxima a do asfalto, aditivos são adicionados, reduzindo, também, a taxa de sedimentação, ou seja, é necessário que ambas as fases possuam gravidade específica próximas.

Tabela 2. Consistência das emulsões asfálticas conforme composições utilizadas

Comportamento da consistência emulsão asfáltica			
Emulsão	Término da emulsão	Após 18 h	Separação de fases
1	Viscosidade média*	Semi-sólida	Sim
2	Viscosidade média	Semi-sólida	Sim
3	Viscosidade baixa**	Maleável (flexível)	Sim
4	Viscosidade baixa	Líquida (leite)	Sim (Após 4 dias)
5	Viscosidade média	Sólida (Asfalto)	Sim (mínima)
6	Viscosidade média	Sólida (Asfalto)	Sim
7	Viscosidade média	Semi-sólida (Pastosa)	Sim (mínima)
8	Viscosidade média	Semi-sólida (Pastosa)	Sim
9	Viscosidade média	Semi-sólida (Pastosa)	Sim

* Aparência de mel ** Aparência de leite

3.2. Caracterização da emulsão asfáltica

Para a caracterização da emulsão asfáltica foram realizados os ensaios de pH, resíduo por evaporação e penetração do resíduo. Os resultados são apresentados na Tabela 3 e serão comentados a seguir.

Tabela 3. Ensaios de caracterização da emulsão asfáltica.

Emulsão	pH	Resíduo por evaporação (%)	Penetração (1/10 mm)
1	1,34	60,33	51,33
2	1,15	60,71	50,00
3	3,21	53,10	44,66
4	3,74	58,34	56,33
5	1,17	71,91	45,33
6	1,90	64,18	45,83
7	1,29	59,50	51,00
8	1,65	60,32	51,50
9	1,17	46,50	65,00

Ensaio do potencial hidrogeniônico (pH)

Segundo Baumgardner (2006) as emulsões asfálticas catiônicas devem apresentar pH na faixa de 1 a 7. Conforme mostrado na Tabela (3), as emulsões asfálticas apresentaram pH no intervalo de

1,15 a 3,74, ou seja, num intervalo ácido. Em todas as emulsões adicionou-se ácido clorídrico (0,3 a 1,0%) como fator de ajuste do pH. Somente as emulsões 3 e 4 apresentaram pH mais elevado, o que pode ser atribuído a um maior percentual do tensoativo AMG (2,0%) na mistura, que reage com o ácido formando um sal. O mesmo comportamento era esperado para a emulsão 7, porém nesta emulsão foi utilizada uma maior quantidade de ácido (1%), o que reduziu o efeito do maior percentual de tensoativo PAG (2%).

Ensaio do resíduo por evaporação

O ensaio do resíduo por evaporação é um teste investigativo que indica o teor de asfalto contido na amostra. Conforme observado na Tabela 3 os resultados obtidos não foram adequados quando comparados as formulações definidas. A diferença entre esses valores pode ter sido provocada pela evaporação parcial da água durante a fabricação da emulsão asfáltica. Outro fator que pode ter influenciado foi a não homogeneidade das amostras (separação de fases).

Ensaio de penetração do teor de resíduo

De acordo com a Tabela 3 pode-se observar que a penetração sob o resíduo das emulsões obtidas com o tolueno apresentou valores de penetração entre 44,66 e 56,33, ou seja, valores bem próximos e com a emulsão 3 fora da especificação para este tipo de CAP (50-70). As emulsões que utilizaram o querosene como solvente também apresentaram valores (51 e 65) de acordo com a especificação para este CAP (50-70). Nas emulsões 1, 5 e 6, obtidas sem a adição do solvente, observou-se que as emulsões 5 (45,33) e 6 (45,83) apresentaram valores abaixo do especificado, o que pode ter sido ocasionado pela evaporação de pequenas frações de constituintes leves presentes no CAP e pela presença do cloreto de cálcio. Estes resultados indicam que durante o ensaio de resíduo por evaporação, nas amostras com o tolueno e com o querosene, houve evaporação de todos os constituintes presentes na emulsão, inclusive do tolueno, que apresenta temperatura de ebulição entre 110,2 e 114,0 °C, e do querosene, que apresenta temperatura de ebulição entre 150 e 290 °C, ficando apenas o resíduo asfáltico.

Das emulsões obtidas, resolveu-se selecionar 4 pontos com penetração semelhantes e dentro da especificação (Tabela 4) para realizar os ensaios de ductilidade e ponto de amolecimento sob os resíduos de evaporação. Observou-se que os resultados de ductilidade se encontram na faixa de valores especificados pela norma (DNIT 095/2006 – EM), e Os resultados do ponto de amolecimento ficaram próximos ao especificado pela norma citada.

Tabela 4. Propriedades do resíduo da emulsão asfáltica

Ensaio	Penetração (1/10 mm)	Ductilidade (cm)	Ponto de amolecimento (°C)
1	51,33	>120	54,50
2	50,00	>120	55,75
7	51,00	>120	55,75
8	51,50	>120	55,85
Especificação*	50-70	60 (mín.)	46,00

* Norma DNIT 095/2006 - EM

4. Conclusões

De maneira geral pode-se concluir que as emulsões 3 e 4 foram as que apresentaram melhores resultados devido a um maior tempo de separação de fases, que variou de 18 h até 4 dias após a obtenção de tais emulsões. Estas emulsões, que têm em sua composição uma quantidade mínima de asfalto (45 e 40 %), um alto valor de solvente (15 e 20 %) e uma quantidade apreciável de emulsificante (2 %), apresentaram consistência bem fluida. Já as emulsões 1, 5, 6 não apresentaram bons resultados. Estas emulsões não têm em sua composição o uso de solventes, apresentando separação de fases em um intervalo que variou de 3 a 18 h após o término de cada emulsão e uma viscosidade bastante elevada, podendo ser comparada a consistência de um asfalto puro. De maneira geral, pode-se concluir que variações feitas na composição das emulsões influenciam de forma significativa no desempenho das mesmas. Novas emulsões asfálticas precisam ser desenvolvidas para se obter uma emulsão com maior estabilidade ao armazenamento.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - CTPetro pelo suporte financeiro e ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH – ANP 14) pela bolsa da aluna envolvida na pesquisa.

6. Referências Bibliográficas

- ABNT (2007) NBR 6576 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Materiais asfálticos – Determinação da penetração.
- ABNT (2007) NBR 14376 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo asfáltico por evaporação – método expedito.
- ABNT (2005) NBR 6299 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação do pH.
- ABNT (2000) NBR 6560 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Materiais betuminosos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola.
- ABNT (2001) NBR 6293 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Materiais betuminosos – Determinação da ductilidade.
- ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos). *Manual básico de emulsões asfálticas: soluções para pavimentar sua cidade*. Rio de Janeiro. 2001.
- AEMA (Asphalt Emulsion Manufacturers Association). *A basic asphalt emulsion manual*. Manual series No. 19, third edition. Annapolis, Maryland. 2007.
- BAUMGARDNER, G.L.; *Asphalt emulsion manufacturing today and tomorrow*. Paragon Technical services, Inc. Transportation Research Circular E-C 102: Asphalt Emulsion Technology.2006.
- DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte). Norma DNIT 095/2006 – EM. Cimentos Asfálticos de Petróleo – Especificação de material.
- JAMES, A.; *Overview of Asphalt Emulsion*. Akzo Nobel Surface Chemistry, LLC. Transportation Research Circular E-C 102: Asphalt Emulsion Technology.2006.
- HARLAN, C.W. *Polymer-modified asphalt emulsion* . U.S. patent application Ser. No. 09/654,382. 2002.
- HERMADI, M.; STERLING, A.B. *A new mix composition to increase the storage life of Indonesian bitumen emulsion*. Proceedings of the 9th Road Engineering Association of Asia and Australasia Conference (REAAA), Wellington, New Zealand, 3-8 May 1998.
- SANTANA, H. *Manual de pré-misturados a frio*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo/Comissão de Asfalto, 1993. 2ª Reimpressão.