

1. INTRODUÇÃO

A importância da quantificação do impacto dos produtos e serviços no ambiente é crescente. Os consumidores e os Governos solicitam cada vez mais informação sobre a sustentabilidade dos produtos e a comparação de potenciais soluções baseada em dados científicos é necessária para o fazer.

A indústria do betume reconheceu a necessidade desta informação há mais de 10 anos e produziu o primeiro eco-perfil 1 do betume ou análise do inventário do ciclo de vida (AICV) em 1999. Durante o ano de 2009, foi decidido actualizar o eco-perfil de 1999, por existirem mais dados disponíveis e a metodologia AICV estar mais desenvolvida.

Este eco-perfil fornece informação reunida na produção dos tipos de betume mais utilizados na Europa. A aplicação pretendida é de fornecer dados para os cálculos dos AICV's ou ACV's (análise do ciclo de vida) seguintes onde os betumes de pavimentação sejam usados.

Enquanto que os processos fundamentais não se alteraram, as mudanças nas operações ao longo de 10 anos são muito significativas e reforçam a necessidade de actualização periódica do AICV. Este trabalho apresenta as partes principais do segundo AICV da Eurobitume publicado em 2011. Em comparação com o anterior AICV, as principais diferenças deste eco-perfil estão descritas abaixo:

- O cabaz de crudes foi revisto com base no recente consume europeu.
- Os dados respeitantes aos consumos e emissões foram actualizados com base na mais recente informação relativa à extracção do crude, transporte para a refinaria, produção de betume e armazenagem.
- A metodologia de alocação para o processo de refinação foi revista.
- Foi efectuada uma análise de sensibilidade para os procedimentos de alocação.
- O impacto de processos de produção alternativos foi considerado.
- A produção de betume modificado com polímeros e emulsão betuminosa foram incluídos.
- O impacto da infra-estrutura dos poços de extracção, navios, pipeline e refinaria, é também reportado.

Este estudo está de acordo com a ISO 14040 e ISO 14044 e foi revisto por pares.

Os quadros apresentados neste trabalho mostram os fluxos mais relevantes e uma agregação de outros. Está disponível um eco-inventário completo no site da Eurobitume: www.eurobitume.eu.

2. OBJECTIVO E ÂMBITO DO ESTUDO

2.1 Descrição do produto e das unidades funcionais

Foram estudados três produtos:

- Betume: betume de pavimentação de acordo com a EN12591. Este é o betume de pavimentação mais usado na Europa. A unidade funcional é 1 tonelada de betume de pavimentação.
- Betume modificado com polímeros (PMB): betume de pavimentação como betume base e um típico polímero estireno butadieno estireno (SBS) até 3,5% em massa, na sua forma granular. O betume modificado com polímeros é largamente usado na Europa para aplicações rodoviárias e industriais e o SBS é o tipo polímero mais comum usado neste continente. A unidade funcional é 1 tonelada de betume modificado com polímeros.
- Emulsão betuminosa: a formulação de emulsão catiónica com incorporação de betume, um emulsionante do tipo amina e um ácido clorídrico. A emulsão usada no estudo é uma formulação catiónica com incorporação de betumes (65% em massa), um emulsionante do tipo amina (0,3% em massa) e ácido clorídrico (0,3% em massa). Este é o tipo de emulsão mais usado na Europa. A unidade funcional é 1 tonelada de betume residual que corresponde a 1,54 toneladas e emulsão.

2.2 Limites do sistema

O estudo cobre a cadeia de produção do betume, começando pela extracção da matéria-prima e terminando com o betume pronto para entrega a um cliente. O processo é dividido em 4 fases: extracção do crude, transporte do crude para a Europa, produção e armazenamento. Uma descrição esquemática dos limites do sistema é feita na figura 1.

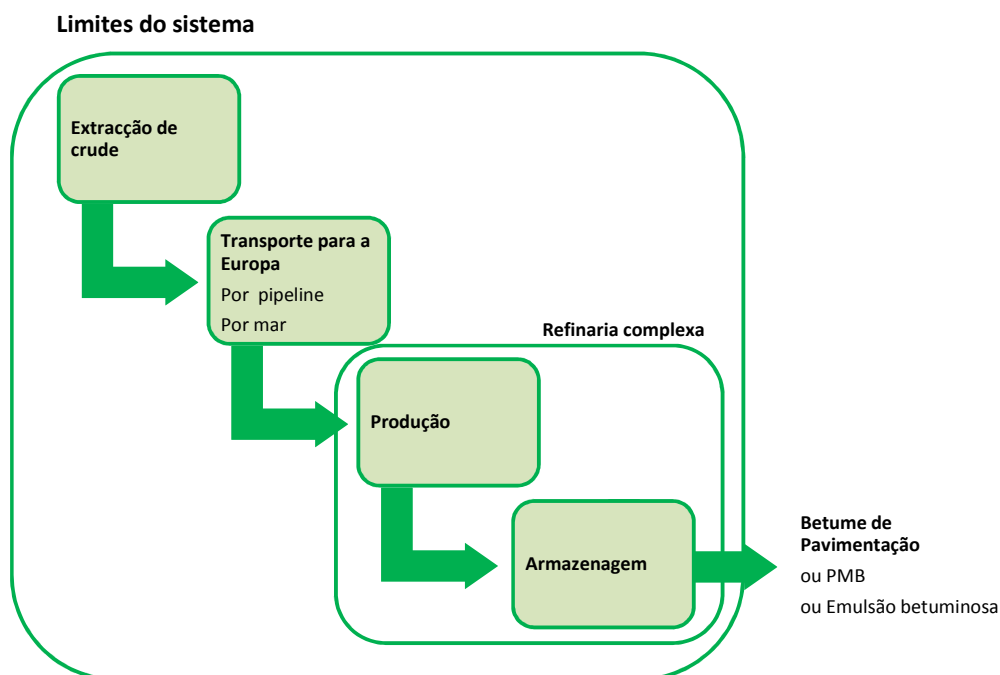


Figura 1. Limites do sistema para o eco-perfil do betume (abordagem cradle-to-gate)

O betume é feito numa hipotética mas típica refinaria, localizada na área ARA (Amsterdão, Roterdão, Antuérpia). Esta refinaria é complexa e produz uma larga variedade de produtos de petróleo, incluindo betume.

2.3 Procedimentos de alocação e origem dos dados

A alocação nas fases de extracção do crude e de transporte é baseada num balanço de massas. Nestas fases, todos os constituintes do crude, desde a gasolina ao fuelóleo pesado, ainda estão combinados e podem ser considerados como matérias-primas para as quais uma relação de massas (rendimento) pode ser estabelecida. Consequentemente, 1 tonelada de crude é alocada como uma matéria-prima, representando essa parte do crude inicial, que, após processamento, origina 1 tonelada de betume.

O betume é produzido durante o processo da refinação do crude. De modo a analisar o impacto ambiental do betume, deve ser definido um modo de alocação dos impactos da cadeia de produção entre o betume e outros produtos: gasolina, fuelóleo, gás petróleo liquefeito, etc. De acordo com a ISO 14044, existem várias formas de abordar os temas de alocação: preferencialmente a alocação física (p.ex: massa) e quando não seja possível, outras relações como a alocação económica. Uma vez que os produtos de refinação têm diferentes funções: o betume é encarado como uma matéria-prima para a construção e os restantes produtos são usados como combustíveis, o relatório técnico ISO TR (technical report) 14049 recomenda o uso de uma alocação económica (baseada em valores relativos) para o betume.

A alocação ao nível da refinação é baseada em factores económicos (baseados em valores relativos), que é baseada no rendimento físico do betume e nos valores *standard* relativos dos produtos fabricados nas unidades de produção da refinaria.

O processo de alocação foi sujeito a uma análise de sensibilidade considerando as duas seguintes opções alternativas: alocação económica ou alocação mássica para toda a cadeia de produção. O método de alocação com base em massa resulta em maiores impactos ambientais para o betume e a abordagem económica resulta em menores impactos. As opções tomadas pela Eurobitume no que respeita à alocação mostram resultados intermédios e esta considera-se uma abordagem muito conservadora.

Os dados dos processos principais são baseados nos relatórios mais recentes. Para a extracção do crude, os dados são provenientes da International Association of Oil & Gas Producers³; as emissões e utilização de combustíveis na refinação provêm de relatórios específicos publicados pela CONCAWE^{4,5}. Os crudes utilizados e o consumo energético da refinação resultaram de questionários anónimos aos membros da

Eurobitume. Para o transporte por *pipeline* e navio foram usados dados de companhias detentoras de *pipelines* e de um proprietário de navios.

3. ANÁLISE DO INVENTÁRIO

3.1 Crude

The crude oil slate for bitumen production was estimated to be as follows:

A selecção de crudes para a produção de betume foi estimada da seguinte forma:

- Ex-união soviética 61%
- Médio Oriente 18%
- América do Sul 11%
- Europa 10%

Estes crudes não são necessariamente usados em conjunto numa refinaria específica, mas representam as proporções aproximadas usadas na produção agregada de betume na Europa.

Quadro 1. Dados da extracção de crude

	Unidade	Antiga União Soviética	Médio Oriente	América do Sul	Europa	Total	
Origem do crude	%	61	18	11	10	100	
Matéria-prima, Crude	kg/t	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	
Consumo de recursos energéticos							
Processo	Gasóleo ¹⁾	kg/t	21,1	12,3	19,8	2,7	17,5
	Gás natural ¹⁾	kg/t	2,3		16	19,9	5,2
Perdas	Gás natural, queimado na <i>flare</i>	kg/t	14,8	13,5	13,3	2,9	13,2
	Gás natural, libertado por <i>venting</i> ²⁾	kg/t	0,56	0,17	1,36	0,26	0,55
Emissões para a atmosfera							
CO ₂	g/t	102 870	70 140	148 900	73 800	99 135	
CO ₃	g/t	627	366	597	97	524	
SO ₂	g/t	230	760	80	40	290	
NO _x	g/t	240	140	670	250	270	
CH ₄	g/t	560	170	1 360	260	548	
NM _{VOC}	g/t	210	350	730	260	297	
Partículas ³⁾	g/t	158	93	152	26	133	
Emissões para a água, hidrocarbonetos							
	g/t	4,58	4,11	23,07	8,29	6,9	
Emissões para o solo, derrames de hidrocarbonetos							
	g/t	0,07	10,23	55,23	1,77	8,14	

1) Queimado no processo

2) A quantidade de gás libertado foi considerada igual às emissões de CH₄

3) Dados da base de dados ecoinvent 2.2

3.2 Transporte para a Europa

Os crudes para a produção de betume na Europa são sobretudo transportados por navio. A excepção é o crude da ex-União Soviética que pode ser transportado por *pipeline*. Neste estudo, assumimos que o crude da ex-união soviética é transportado da zona de Samara para o Mar Báltico pelo Baltic Pipeline System (BPS) e depois, do Mar Báltico para a região ARA por navio. As necessidades energéticas do BPS foram estimadas em 13,5 kWh/t.

Nos cálculos, o crude é transportado para a Europa em navios 106 000 DWT, o que é considerado um compromisso conservador para todas as regiões. A distância de transporte é calculada com uma ferramenta de cálculo da distância porto a porto. O consumo de combustível é calculado com uma viagem em vazio e uma viagem de retorno com carga completa, incluindo carga e descarga.

O uso de energia e as emissões devidos à combustão de fuelóleo marítimo são calculados separadamente para cada porto de abastecimento e o total é uma soma ponderada dos mesmos.

Quadro 2. Dados do transporte por navio

Origem do crude	Unidade	Antiga União Soviética	Médio Oriente	América do Sul	Europa	Total
	%	61	18	11	10	100
Transporte para ARA a partir de		São Petersburgo Rússia ¹⁾	Ras Tanura Arábia Saudita ²⁾	Maracaibo Venezuela	Bergen Mar do Norte	
Distância de transporte	km	2 406	11 794	8 312	1 007	4 605
Uso de fuelóleo pesado	kg/t	3,8	18,1	12,8	1,8	7,2

¹⁾ Ao largo da Dinamarca, não via Canal Kiel

²⁾ Via Suez

3.3 Produção de betume

O betume é produzido directamente por destilação do crude, figura 2. Neste processo, o resíduo da destilação atmosférica do crude é novamente destilado numa destilação de vácuo para produzir betume de pavimentação. Numa refinaria complexa é produzido um largo espectro de produtos petrolíferos, sendo o betume um produto menos valioso quando comparado com os combustíveis. Os valores das emissões da unidade de processo incluem uma parcela de recursos comuns como a movimentação do crude, dessalinização, *flaring*, zona de expedições, aquecimento geral e iluminação.

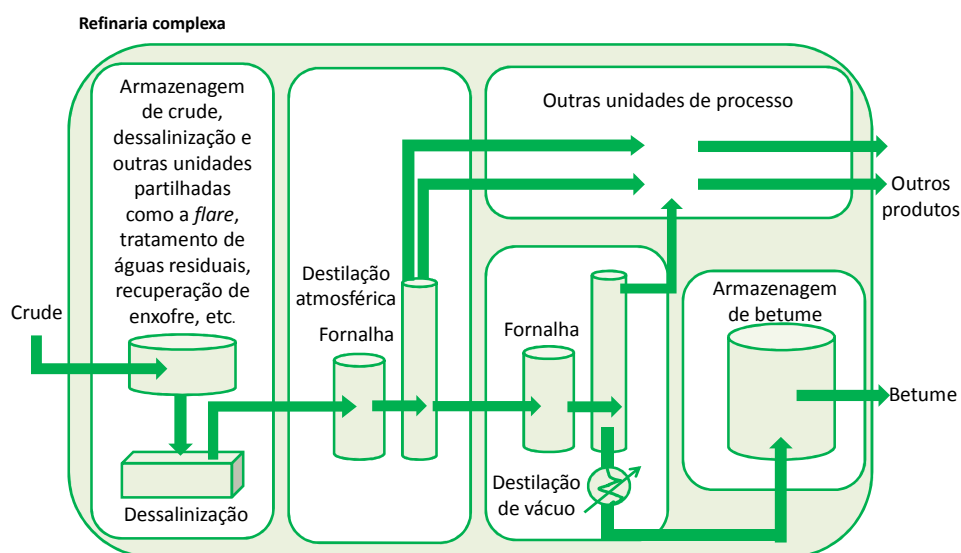


Figura 2. Destilação directa do betume numa refinaria complexa

A estimativa da energia usada para os processos de destilação é baseada no inquérito interno da Eurobitume. Os seus resultados foram validados por comparação com a abordagem da “tonelada ponderada de CO₂” (CWT) desenvolvida pela CONCAWE e Europa⁴.

A alocação de energia para a produção de betume por destilação é baseada nos rendimentos dos produtos obtidos nos processos de destilação e nos seus valores relativos, que são os valores médios das refinarias tipo obtidos no Noroeste da Europa para 2002 a 2008.

O consumo de recursos energéticos e não energéticos, emissões para o ar e água são sumarizados no quadro 3.

Outros processos de fabrico usando o resíduo de vácuo como alimentação podem também ser usados para produzir betume, como a semi-oxidação, desasfaltação por propano e viscorredução. O seu impacto no AICV foi abordado neste estudo. Os processos secundários usados na produção de betume parecem representar uma pequena contribuição para os impactos ambientais do processo de refinação. Esta contribuição é ainda menor se considerarmos a cadeia de produção total (menos de 3% de aumento dos fluxos principais). Pode ainda ser considerado que os impactos calculados para o betume obtido por destilação são representativos da cadeia de produção total.

3.4 Armazenagem de betume

Imediatamente após a produção, o betume quente é transferido através de um sistema de tubagens para os tanques de armazenagem na refinaria onde é mantido à temperatura necessária. No estudo foi usado um tanque de armazenagem de cerca de 6.200 m³. Os 175°C constituem uma temperatura típica de armazenagem. O betume contido no tanque de armazenagem é constantemente circulado usando uma bomba alimentada por um motor eléctrico. A mesma bomba é também usada para carregamento. A rotação anual do tanque foi fixada em 40.000 toneladas.

3.5. Análise do inventário do ciclo de vida do betume

Quadro 3. Análise do inventário do ciclo de vida do betume

Produção de 1 tonelada de betume	Unidade	Extracção de crude	Transporte	Refinaria	Armazenagem	Total
Matéria prima						
Crude	kg	1 000				1 000
Consumo de recursos energéticos						
Gás natural	kg	18,9	0,4	0,58	0,19	20,1
Crude	kg	17,5	9,3	11,9	2,2	40,9
Carvão	kg	0	0,21	0,49	0,33	1,03
Urânio	kg	0	0,00001	0,00003	0,00002	0,0001
Consumo de recursos não energéticos						
Água ¹	l	0	48	72	24	143
Emissões para a atmosfera						
CO ₂	g	99 135	30 078	37 200	7 831	174 244
SO ₂	g	290	334	130	27	781
NO _x	g	270	436	52	11	770
CO	g	524	70	16	3	613
CH ₄	g	548	16	25	6	595
Hidrocarbonetos	g	0,015	4,6	3,5	38,7	46,8
NMVOOC	g	297	15	15	3	331
Partículas	g	132,6	12,7	12,6	3,4	161,2
Emissões para a água						
Carência química de oxigénio	g	0	130	176	30	336
Carência bioquímica de oxigénio	g	0	128	166	30	324
Sólidos em suspensão	g	0	9,4	16,4	4,1	30
Hidrocarbonetos	g	6,9	40,9	52,5	9,5	109,8
Compostos de fósforo	g	0	2,52	6,77	4,79	14,1
Compostos de azoto	g	0	0,95	4,4	1,51	6,86
Compostos de enxofre	g	0	63	166	119	348
Emissões para o solo						
Hidrocarbonetos (óleos)	g	8,1	42,6	54,9	10	116

¹ Excluindo o arrefecimento de água e uso da turbina

Quando comparadas as diferentes fases do processo, a importância da extracção do crude destaca-se. Mais de 50% das emissões de CO₂ provêm da extracção do crude. A fase de transporte é responsável pelas principais emissões de SO₂ e NO_x. A parte da refinação associada ao betume produz menos de 20% das principais emissões.

4. BETUME MODIFICADO COM POLÍMEROS (PMB)

Neste estudo a fábrica de betume modificado com polímeros está localizada na refinaria. É assumido que toda a energia térmica para o processo de produção provém do betume a 175°C acrescida da energia térmica friccional resultante da moagem de corte. Este é o caso de muitas fábricas de PMB. A fase da armazenagem já está incluída no eco-perfil do betume.

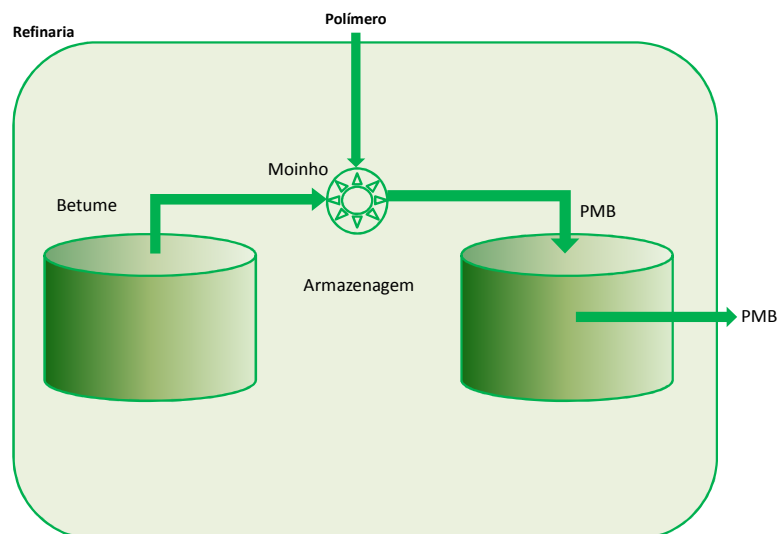


Figura 3. Produção de PMB

Um moinho de grande corte, alimentado a electricidade é usado para a moagem do polímero no betume. As emissões de hidrocarbonetos resultantes da armazenagem dos PMB's estão incluídas nos dados do eco-perfil do betume. Emissões de água e resíduos sólidos, por exemplo resultantes da limpeza dos tanques, estão incluídas nas emissões da refinaria.

Quadro 4. Análise do inventário do ciclo de vida do PMB

Produção de 1 tonelada de PMB	Unidade	Betume	SBS (produção e transporte)	Fabrico de PMB	Total
Matéria prima					
Crude	kg	965	22,6		988
Consumo de recursos energéticos					
Gás natural	kg	19,4	29,8	0,78	50,0
Crude	kg	39,5	20,1	0,3	59,9
Carvão	kg	1,0	5,4	2,1	8,5
Urânio	kg	0,00006	0,00000	0,00015	0,0002
Consumo de recursos não energéticos					
Água ¹	l	138	6 843	97	7 078
Emissões para a atmosfera					
CO ₂	g	168 146	117 719	10 046	295 910
SO ₂	g	754	842	34	1 630
NO _x	g	743	614	18	1 375
CO	g	591	76	3	671
CH ₄	g	574	493	18	1 085
Hidrocarbonetos	g	45,2	1 017	1	1 063
NMVOG	g	319	10	1	331
Partículas	g	155,6	99,8	9,9	265
Emissões para a água					
Carência química de oxigénio	g	324	42	4	370
Carência bioquímica de oxigénio	g	313	8	4	325
Sólidos em suspensão	g	29	56,6	14,4	100
Hidrocarbonetos	g	106	10,2	1,3	117
Compostos de fósforo	g	13,6	0,85	31,8	46,2
Compostos de azoto	g	6,62	0,89	9,66	17,16
Compostos de enxofre	g	336	35	788	1 159
Emissões para o solo, Hidrocarbonetos (óleos)	g	111,6	1,9	1,3	115

¹ Excluindo o arrefecimento de água e uso da turbina

5. EMULSÃO BETUMINOSA

A fábrica de emulsão betuminosa deste estudo está localizada no perímetro da refinaria.

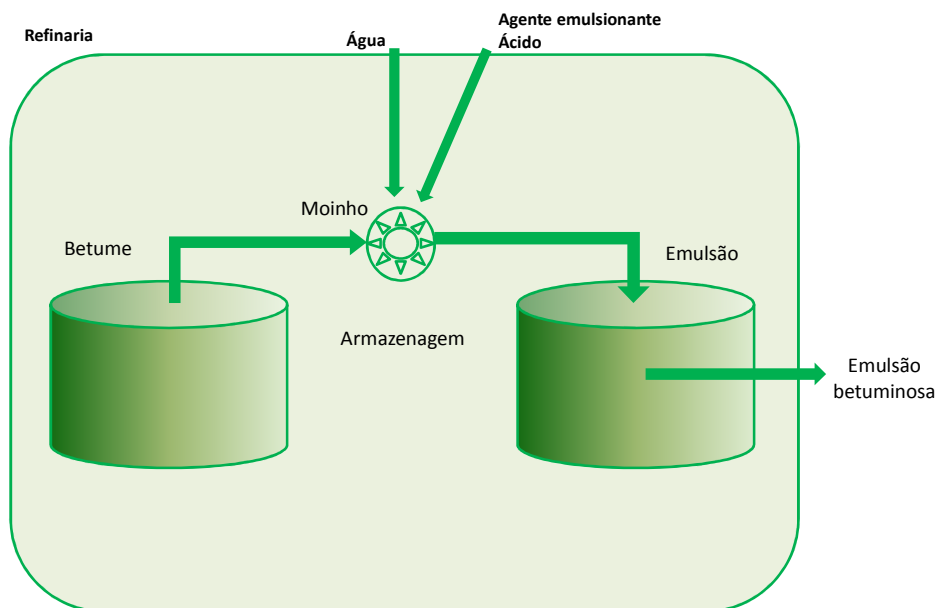


Figura 4. Produção de emulsão betuminosa

Na fase de produção, é assumido que a água é aquecida de 10°C a 40°C, usando um aquecedor em linha antes da moagem da emulsão. O equipamento de moagem é semelhante ao moído de grande corte do PMB.

Quadro 5. Análise do inventário do ciclo de vida da emulsão betuminosa

Produção de emulsão betuminosa	Unidade	Betume	Emulsificante ¹	HCl ¹	Água quente	Fabrico de emulsão	Total
1 tonelada de betume residual							
Matéria prima, Crude	kg	1 000	1,1				1 001
Consumo de recursos energéticos							
Gás natural	kg	20,1	0,22	0,34	0,08	1,21	21,9
Crude	kg	40,9	1,4	0,4	1,8	0,4	44,9
Carvão	kg	1,03	0,3	0,67	0,07	3,25	5,32
Urânio	kg	0,00006	0,00002	0,00004	0,00000	0,00023	0,0004
Consumo de recursos não energéticos, Água²	l	143	15	62	608	149	977
Emissões para a atmosfera							
CO ₂	g	174 244	4 602	3 985	5 459	15 455	203 746
SO ₂	g	781	7,1	16	19	53	876
NO _x	g	770	20	10	8	27	835
CO	g	613	4,9	4,1	2,9	5,1	629
CH ₄	g	595	6,0	7,7	3,7	28	640
Hidrocarbonetos	g	46,8	14,0	0,3	0,5	1,0	63
NMVOOC	g	331	0,9	1,4	2,3	2,1	338
Partículas	g	161,2	3,0	4,2	1,9	15,2	185,5
Emissões para a água							
Carência química de oxigénio	g	336	93	6	24	6,7	467
Carência bioquímica de oxigénio	g	324	1,4	4,4	24	6,3	360
Sólidos em suspensão	g	30	2,1	7,9	1,9	22	64
Hidrocarbonetos	g	110	0,4	1,1	7,7	1,9	121
Compostos de fósforo	g	14,08	4,4	10,76	0,82	48,92	79
Compostos de azoto	g	6,86	5,03	4,35	0,29	14,85	31,38
Compostos de enxofre	g	348	127	320	21,5	1213	2029
Emissões para o solo, Hidrocarbonetos (óleos)	g	116	0,2	1,2	8,1	2,0	127

1 Produção e transporte

2 Excluindo o arrefecimento de água e uso da turbina

6. INFRA-ESTRUTURA

Existe muito pouca informação disponível sobre a infra-estrutura e neste estudo essa informação provém da base de dados do Ecoinvent 2.2⁹. Foram usadas as seguintes análises do ciclo de vida:

- Poço para exploração produção, *onshore* e *offshore*
- Planta de produção e plataforma offshore
- Pipeline para crude
- Navio transoceânico
- Refinaria

Existem diferentes dados de acordo com a zona geográfica de produção. A quantidade de infra-estrutura na unidade funcional foi calculada com base com base no cabaz de crudes refinado.

Quadro 6. Análise do inventário do ciclo de vida do betume para o processo e infra-estrutura

Produção de 1 tonelada de betume (processo e infra-estrutura)	Unidade	Extracção de crude	Transporte	Refinaria	Armazenagem	Total
Matéria prima, Crude	kg	1 000				1 000
Consumo de recursos energéticos						
Gás natural	kg	21,0	0,66	0,59	0,19	22,5
Crude	kg	26,2	10,2	12,0	2,2	50,5
Carvão	kg	8,2	1,8	0,6	0,3	10,9
Urânio	kg	0,00018	0,00003	0,00003	0,00002	0,0003
Consumo de recursos não energéticos,						
Água ¹	l	1 024	117	74	24	1 239
Emissões para a atmosfera						
CO ₂	g	144 563	36 352	37 422	7 831	226 167
SO ₂	g	395	346	131	27	899
NO _x	g	604	474	53	11	1 142
CO	g	887	132	18	3	1 040
CH ₄	g	659	28	25	6	719
Hidrocarbonetos	g	4,8	5,4	3,5	38,7	52,4
NMVOOC	g	364	22	16	3	404
Partículas	g	249	34	13,6	3,4	300
Emissões para a água						
Carência química de oxigénio	g	317	151	177	30	675
Carência bioquímica de oxigénio	g	171	144	166	29,8	511
Sólidos em suspensão	g	190	13,3	16,6	4,1	224
Hidrocarbonetos	g	43,5	44,8	52,5	9,5	150
Compostos de fósforo	g	54,91	10,21	7,49	4,79	77,4
Compostos de azoto	g	14,78	2,88	4,54	1,51	23,7
Compostos de enxofre	g	1279	219	184	119	1 801
Emissões para o solo, Hidrocarbonetos (óleos)	g	43,7	46,5	54,9	10	155

¹ Excluindo o arrefecimento de água e uso da turbina

A infra-estrutura tem um grande efeito nas emissões no que respeita à extracção do crude e transporte, mas não na refinação.

7.COMPARAÇÃO COM O AICV DE 1999

A mais recente e precisa informação mostra melhorias no sistema coberto pelo AICV quando comparado com o primeiro relatório de 1999, figura 5. As melhorias são sobretudo devidas aos limites mais apertados para o enxofre contido no fuel, limites mais restritivos para as emissões da refinaria e aumento de eficiência energética.

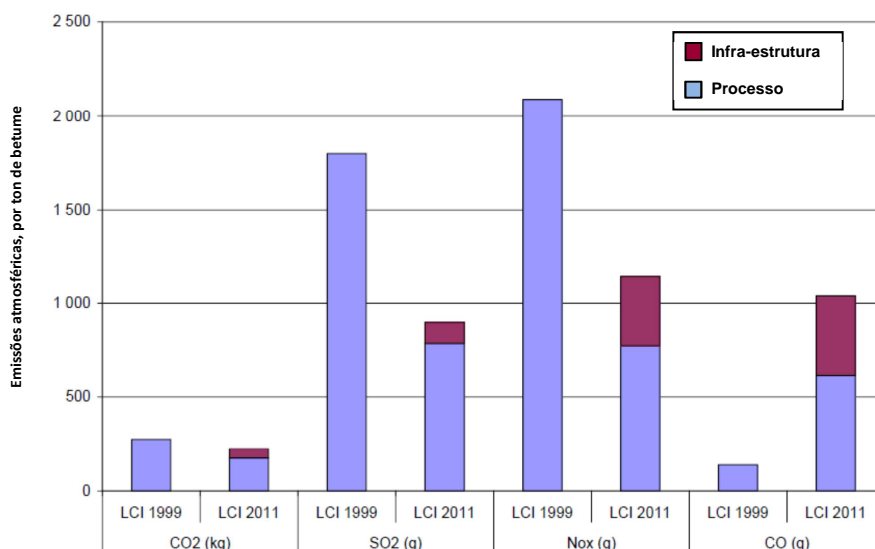


Figura 5. AICV de 1999 e 2011, comparação de algumas emissões atmosféricas (2011 inclui o processo e a infra-estrutura)

Olhando para o desenvolvimento em diferentes fases das emissões de CO₂ para a atmosfera, a principal evolução registou-se na fase da refinação, figura 6.

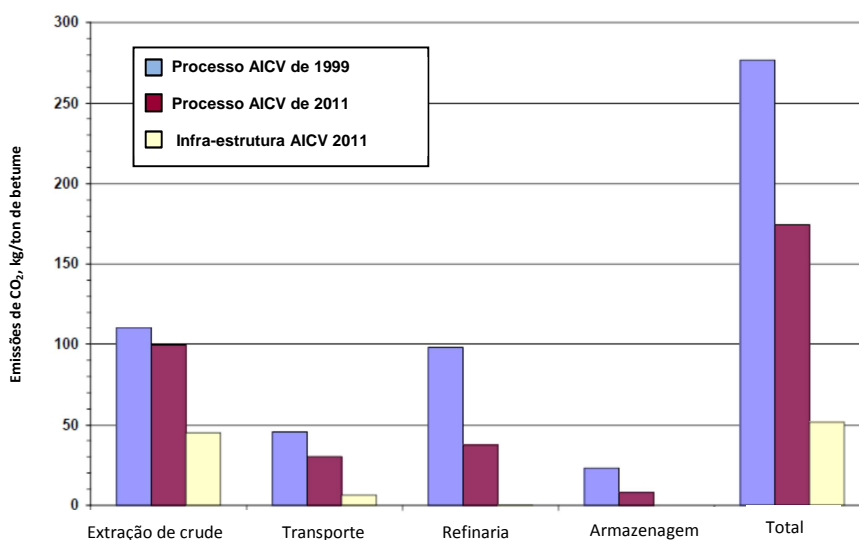


Figura 6. Comparação de emissões de CO₂ nas diferentes fases do processo incluindo a infra-estrutura

8. CONCLUSÕES

As autoridades públicas e privadas procuram cada vez mais bens, serviços e trabalhos com reduzido impacto ambiental o que torna estes estudos uma base importante para a sua seleção.

É importante que a abordagem na elaboração do AICV seja transparente, uma vez que o seu resultado depende dos pressupostos e dos limites definidos para o sistema analisado.

As análises deste tipo são apenas comparáveis se os pressupostos forem os mesmos mas continua a faltar uma base de trabalho consensual. Assim, seguindo o mesmo modelo de 1999, o estudo actual mostra melhorias no sistema coberto (associado à produção dos tipos de betume mais utilizados na Europa). As mesmas são sobretudo devidas aos limites legais mais apertados para o enxofre contido no fuel, aos limites mais restritivos para as emissões da refinaria e ao aumento de eficiência energética.

Nas várias fases consideradas no sistema (extração de crude, transporte, refinação e armazenagem) a que melhor evoluiu em termos de emissões de CO₂ foi a da refinação (redução superior a 60%).

AGRADECIMENTOS

O grupo de trabalho da Eurobitume produziu o AICV. Os membros do grupo de trabalho foram os seguintes:

Timo Blomberg – Nynas – Chairman
Jeff Barnes – Total
Frédéric Bernard – Total Raffinage Marketing
Philippe Dewez – Eurobitume
Stéphane Le Clerc – Shell
Marco Pfitzmann – BP
Laurent Porot – Shell
Mike Southern – Eurobitume
Ron Taylor – Petroplus

Com a colaboração de
Charlotte Petiot – Bio Intelligence Service
Yannick Leguern – Bio Intelligence Service

Revisor
Niels Jungbluth – ESU-Services

REFERÊNCIAS

1. Partial Life Cycle Inventory or “Eco-Profile” for Paving Grade Bitumen, Eurobitume Report 99/007, May 1999
2. Life Cycle Inventory: Bitumen, Eurobitume Report, 2011
3. Environmental performance in the Exploration & Production industry, International Association of Oil & Gas Producers, Report No. 429, November 2009.
4. CONCAWE report no. 1/10. Sulphur dioxide emissions from refineries in Europe, 2006.
5. CONCAWE report no. 1/20. Refinery BREF related environmental parameters for aqueous discharges from refineries in Europe. April 2010.
6. www.searates.com
7. Ecofys (Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012 Sector report for the refinery industry, 2009)
8. Volatile emissions from hot bitumen storage tanks, Deygout, F. Environmental Progress & Sustainable Energy, n/a. doi: 10.1002/ep.10444
9. www.ecoinvent.org