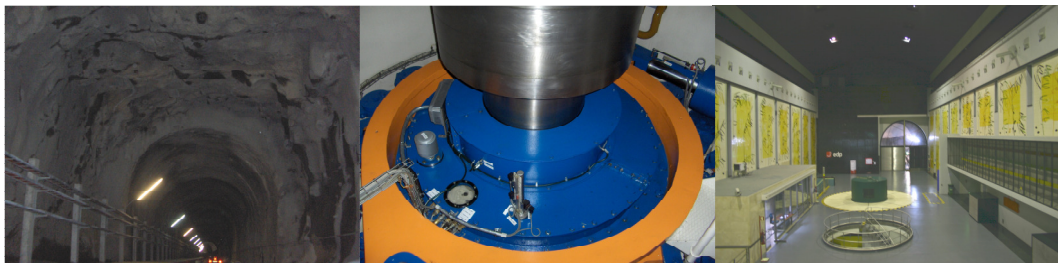




INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



Avaliação de Ciclo de Vida de uma Central Hidroelétrica

Central de Frades, caso de estudo
na EDP – Energias de Portugal, S.A.

Margarida Machado Boavida Ferreira

Nº51761

**Dissertação para obtenção do Grau em Mestre em
Engenharia do Ambiente**

Orientador IST: Professor Doutor João Carlos Bordado

Orientadores EDP: Engenheiro Filipe Vasconcelos

Engenheira Sara Fernandes

Outubro de 2007

Agradecimentos

Ao Professor Doutor João Carlos Bordado, por me ter proporcionado a oportunidade de realizar este trabalho numa empresa da dimensão da EDP, e pela confiança e apoio demonstrados;

Ao Engenheiro António Neves de Carvalho, pelo exemplo de empenho e generosidade, pela convivência, e confiança e amizade reveladas e pelo acompanhamento pessoal e profissional;

Ao Engenheiro António Freitas da Costa, pelo empenho demonstrado na execução deste trabalho, pelos meios disponibilizados para tal e pela amizade revelada;

Ao Engenheiro Simão Fougo e ao Sr^o Moisés Teixeira, pelas muitas horas partilhadas e pela amizade e iniciativa;

Ao Engenheiro Américo Simões, pela disponibilidade e empenho revelados;

Ao Engenheiro Joaquim Azevedo Costa e ao Engenheiro Armando Ferreira da Silva, pelo apoio técnico e disponibilidade;

Aos colegas de trabalho e amigos Doutor Pedro Paes, Engenheira Mariana Mestre, Dr^a Gilda Caetano, Dr^a Amélia Novo, e Yolanda Saló pelo carinho e apoio incondicionais, por me terem acompanhado ao longo dos meses que realizei o trabalho, transmitindo confiança e proporcionando um ambiente tranquilo e familiar;

À Diana Carvalho, por se ter revelado uma grande amiga e uma excelente companhia;

Ao Engenheiro Filipe Vasconcelos, pela orientação, apoio e confiança, e pela amizade e sentido de humor;

À Engenheira Sara Fernandes, pelo espírito pragmático e capacidades transmitidas, e pela boa disposição e amizade;

À minha mãe e irmão, e aos meus amigos, pelo incentivo e confiança e pelas horas a eles subtraídas.

Ao João, pelo espírito crítico e apoio incondicional, pela paciência e confiança reveladas.

Resumo

Esta Dissertação constitui uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) à central hidroelétrica de Frades, que opera em bombagem e está inserida no sistema de exploração do Cávado-Lima. Uma ACV visa avaliar os impactos ambientais decorrentes da utilização de um produto, desde a extração de matérias-primas associadas, até ao seu fim de vida. O produto estudado nesta Tese foi a unidade de potência instalada, considerando a exploração da central até 2050. Analisando os documentos do projecto, efectuou-se o inventário de materiais que compõem a central e mediante o contacto com a equipa de projecto, profissionais do sistema do Cávado-Lima e diversas visitas à central, inventariaram-se os consumos relevantes, da fase de construção e produção e da fase de exploração. Para avaliar os impactos, recorreu-se a um *software*, o *SimaPro 7.0*, do qual se seleccionou o método Eco-indicator 99. Dando como *inputs* os materiais e consumos nos diversos momentos do ciclo de vida, geraram-se árvores ou redes de impactos. O método atribui um eco-indicador, pondera os vários aspectos e revela aqueles em que se deverão, do ponto de vista ambiental, centrar as atenções, informando decisores e projectistas. Para a central de Frades identificaram-se como mais impactantes na fase de construção e produção, a utilização do cimento, os aços da construção, os aços dos equipamentos, em especial das turbinas-bombas e o cobre. Na fase de exploração, a utilização de energia eléctrica revelou-se o impacto dominante. O estudo faz revelações importantes e permitirá tomar melhores opções estratégicas e melhorar projectos futuros.

Palavras-Chave: Avaliação de Ciclo de Vida, Impactes Ambientais, Central Hidroelétrica de Frades, materiais, energia.

Abstract

This Thesis is a Life Cycle Assessment (LCA) focused in the Frades hydroelectric plant, which belongs to the Cávado-Lima system and is meant to bomb and then turbine the water, allowing a higher power to the system. A LCA assesses the major environmental issues that result from the life of certain product, since the extraction of raw-materials until its end of life. The product being studied in this Thesis is the plant power unit, considering its operation until 2050. The project documents were analyzed and contacts with the projectors and Cávado-Lima professionals have been made in order to inventory the major materials and consumptions, not only during the construction phase, but also during the operation one. To assess the impacts the SimaPro 7 software was used, through the Eco-indicator 99 method. Inputting the materials and consumptions due to the life cycle stages, SimaPro generates impact trees, by attributing an eco-indicator which evaluates the environmental aspects and reveals those which should focus attention, on an environmental level. Therefore, decision makers and projectors shall be well informed. The major construction impacts assessed in this study were the use of cement, reinforcing steel, equipment steel and copper. The most important operation impact was the use of electricity. This study has had important revelations and will allow better strategy and future projects on electricity production.

Key-Words: Life Cycle Assessment, Environmental Impacts, Frades Hydroelectric Plant, materials, energy.

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura II.1 – Esquema representativo de um ciclo de vida..... | 7 |
| Figura III.1 – Relação entre as emissões de CO ₂ e a taxa de carga de camiões..... | 21 |
| Figura III.2 – Cadeia metodológica do método Eco-indicator 99 até obtenção do Ecoindicador..... | 24 |
| Figura III.3 – Ilustração do “fate analysis” do método Eco-indicator 99..... | 25 |
| Figura IV.1 – Contribuição relativa das diferentes formas de produção de electricidade em 2006..... | 28 |
| Figura IV.2 – Esquema de localização da central hidroeléctrica de Venda Nova II..... | 29 |
| Figuras IV.3,4 e 5 – Esquemas da central e elementos do circuito hidráulico..... | 30 |
| Figura VI.1 – Rede de Impactes da Empreitada de Engenharia Civil criada pelo SimaPro 7.0..... | 58 |
| Figura VI.2 – Hierarquização dos aspectos ambientais da Empreitada de Engenharia Civil..... | 58 |
| Figura VI.3 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes da Empreitada de Engenharia Civil..... | 59 |
| Figura VI.4 – Rede de Impactes da equipamento hidromecânico criada pelo SimaPro 7.0..... | 61 |
| Figura VI.5 – Rede de Impactes da Ponte Rolante criada pelo SimaPro 7.0..... | 62 |
| Figura VI.6 – Hierarquização dos aspectos ambientais da ponte rolante..... | 63 |
| Figura VI.7 – Rede de impactes dos grupos reversíveis criada pelo SimaPro 7.0..... | 63 |
| Figura VI.8 – Hierarquização dos aspectos ambientais dos grupos reversíveis..... | 64 |
| Figura VI.9 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes dos grupos reversíveis..... | 64 |
| Figura VI.10 – Rede de Impactes dos transformadores criada pelo SimaPro 7.0..... | 66 |
| Figura VI.11 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes nos transformadores..... | 66 |
| Figura VI.12 – Rede de impactes a ICP pelo SimaPro 7.0..... | 67 |
| Figura VI.13 – Hierarquização dos aspectos ambientais da ICP..... | 68 |
| Figura VI.14 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes da ICP..... | 68 |
| Figura VI.15 – Rede de Impactes da etapa de construção e produção criada pelo SimaPro 7.0..... | 69 |
| Figura VI.16 – Hierarquização de fornecimentos com base nos contributos para os impactes ambientais da fase de construção e produção | 69 |
| Figura VI.17 – Atribuição de pesos nas categorias de impacte ambiental para os fornecimentos da fase de construção e produção | 70 |
| Figura VI.18 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes da fase de construção e produção | 71 |
| Figura VI.19 – Rede de impactes da fase de exploração criada pelo SimaPro 7.0..... | 73 |
| Figura VI.20 – Rede de impactes do ciclo de vida criada pelo SimaPro 7.0..... | 74 |
| Figura VI.21 – Atribuição de pesos nas categorias de impacte ambiental para as fases de construção e produção e de exploração | 75 |
| Figura VI.22 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes nas fases de construção e produção e de exploração | 76 |

Índice de Quadros

| | |
|---|----|
| Quadro III.1 – Aspectos considerados no Inventário da Avaliação de Ciclo de Vida..... | 16 |
| Quadro III.2 – Fontes de informação utilizadas..... | 17 |
| Quadro III.3 – Caso exemplificativo de caracterização de um transporte..... | 20 |
| Quadro III.4 – Diferentes perspectivas disponíveis do método Eco-Indicator 99..... | 26 |
| Quadro III.5 – Caracterização das categorias de impacte do método Eco-Indicator 99..... | 27 |
| Quadro IV.1 – Características do Aproveitamento Hidroeléctrico de Frades..... | 30 |
| Quadro V.1 – Quantitativos de materiais do betão moldado..... | 33 |
| Quadro V.2 – Quantitativos de materiais do betão projectado..... | 33 |
| Quadro V.3 – Totais de materiais utilizados no betão..... | 33 |
| Quadro V.4 – Contabilização da massa de aço utilizada nas Swellex..... | 34 |
| Quadro V.5 – Totais de aços utilizados na Empreitada de Engenharia Civil..... | 34 |
| Quadro V.6 – Contabilização da madeira utilizada nas cofragens..... | 35 |
| Quadro V.7 – Mecanismo de cálculo relativo à determinação dos quantitativos de explosivos utilizados..... | 35 |
| Quadro V.8 – Inventário de materiais da ponte rolante..... | 39 |
| Quadro V.9 – Características das tubagens da instalação de bombagem..... | 45 |
| Quadro V.10 – Consumos de gasóleo no ano de 2006 e extrapolação para os anos de exploração.. | 47 |
| Quadro V.11 – Factores de emissão de SF ₆ em equipamentos GIS, em diversos momentos do seu ciclo de vida..... | 48 |
| Quadro V.12 – Emissões de SF ₆ em disjuntores em diversos momentos do seu ciclo de vida..... | 49 |
| Quadro V.13 – Emissão de SF ₆ | 49 |
| Quadro V.14 – Levantamento dos consumos de panos absorventes..... | 50 |
| Quadro VI.1 – Comparação entre processos unitários e sistemas de processos..... | 51 |
| Quadro VI.2 – Opções disponíveis na base de dados para a simulação referente à madeira das cofragens..... | 55 |
| Quadro VI.3 - Factores de emissão dos explosivos utilizados..... | 55 |
| Quadro VI.4 – Opções disponíveis na base de dados para a simulação do transporte por navio..... | 57 |
| Quadro VI.5 – Dados para o cálculo da distância equivalente na simulação do transporte do equipamento da TAS em camiões de 40 toneladas..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Quadro VI.6 – Dados para o cálculo da distância equivalente na simulação do transporte dedicado do equipamento hidromecânico..... | 61 |
| Quadro VI.7 – Dados para cálculo da distância equivalente no transporte de um transformador..... | 65 |
| Quadro VI.8 – Síntese dos óleos inventariados e imputados para o período de exploração..... | 72 |
| Quadro VI.9 – Hierarquização dos aspectos ambientais da fase de exploração..... | 74 |

Lista de acrónimos

| | |
|--------------|---|
| ACV | Avaliação de Ciclo de Vida |
| BAC | Betão Auto-Compactável |
| BER | Betão de Alta Resistência |
| BM | Banco Mundial |
| CEF | Conversor Estático de Frequência |
| CEI | Chaminé de Equilíbrio Inferior |
| CES | Chaminé de Equilíbrio Superior |
| UCP | Unidade Central de Processamento |
| DALY | Disability Adjusted Life Years |
| DGEG | Direcção Geral de Energia e Geologia |
| EIA | Estudo de Impacte Ambiental |
| EPA | United States Environmental Protection Agency |
| GEE | Gás de Efeito de Estufa |
| GIS | Gas-Insulated Switchgear |
| ICP | Instalação Complementar de Produção |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| ISO | International Organization for Standardization |
| LCA | Life Cycle Assessment |
| NPI | National Pollutant Inventory |
| NREL | National Renewable Energy Laboratory |
| OECD | Organization for Economic Cooperation and Development |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| PAF | Potentially Affected Fraction |
| PET | Politereftalato de Etila |
| PNALE | Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão |
| PVC | Policloreto de Vinilo |
| SGA | Sistema de Gestão Ambiental |
| SP | Superplastificante |
| TAT | Tomada de água em turbinamento |
| TAB | Tomada de água em bombagem |
| URC | Unidade Remota de Comunicação |
| URT | Unidade Remota de Transmissão |

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1 APRESENTAÇÃO..... | 1 |
| 1.1 Objectivos e Âmbito..... | 1 |
| 1.2 Avaliação de Ciclo de Vida e sua contextualização..... | 2 |
| 1.3 Importância do estudo..... | 3 |
| 1.4 Grupo EDP..... | 3 |
| 1.5 Objecto de Estudo..... | 5 |
| | |
| 2 ESTADO DA ARTE..... | 6 |
| 2.1 Avaliação de Ciclo de Vida e Metodologia..... | 7 |
| 2.2 Avaliação de Ciclo de Vida em Sistemas Energéticos..... | 8 |
| 2.3 Estudos realizados..... | 10 |
| | |
| 3 METODOLOGIA UTILIZADA..... | 11 |
| 3.1 Objectivos e Âmbito..... | 11 |
| 3.1.1 Objectivos da ACV..... | 11 |
| 3.1.2 Âmbito da ACV..... | 12 |
| 3.2 Unidade Funcional..... | 14 |
| 3.3 Inventário da ACV..... | 15 |
| 3.3.1 Definição das fronteiras do sistema..... | 15 |
| 3.3.2 Recolha de informação..... | 17 |
| 3.3.2.1 Base de dados do software utilizado – Ecoinvent..... | 19 |
| 3.3.3 Metodologia de caracterização do transporte..... | 19 |
| 3.3.3.1 Determinação das distâncias percorridas..... | 19 |
| 3.3.3.2 Simulações..... | 20 |
| 3.3.3.3 Limitações..... | 22 |
| 3.4 Avaliação de impactes ambientais..... | 23 |
| | |
| 4 CARACTERIZAÇÃO DO OBJECTO DE ESTUDO..... | 28 |
| 4.1 Relevância ambiental da central e seu contributo no mix energético..... | 28 |
| 4.2 Caracterização da área de implantação da central e circuito hidráulico..... | 29 |
| 4.3 Descrição geral do projecto..... | 29 |
| | |
| 5 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA..... | 31 |
| 5.1 Introdução e memória descritiva..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2 Fase de construção e produção..... | 31 |
| 5.2.1 Fornecimento da empreitada de engenharia civil..... | 31 |
| 5.2.1.1 Descrição do fornecimento..... | 31 |
| 5.2.1.2 Inventário dos consumos de energia eléctrica e gasóleo..... | 32 |
| 5.2.1.3 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações..... | 32 |
| 5.2.1.4 Caracterização do transporte..... | 35 |
| 5.2.2 Fornecimento do equipamento hidromecânico..... | 37 |
| 5.2.2.1 Descrição do fornecimento..... | 37 |
| 5.2.2.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações..... | 37 |
| 5.2.2.3 Caracterização do transporte..... | 38 |
| 5.2.3 Fornecimento da ponte rolante..... | 38 |
| 5.2.3.1 Descrição do fornecimento..... | 38 |
| 5.2.3.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações..... | 38 |
| 5.2.3.3 Caracterização do transporte..... | 39 |
| 5.2.4 Fornecimento dos grupos reversíveis..... | 39 |
| 5.2.4.1 Descrição do fornecimento..... | 40 |
| 5.2.4.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações..... | 40 |
| 5.2.4.3 Caracterização do transporte..... | 40 |
| 5.2.5 Fornecimento dos transformadores de grupo..... | 41 |
| 5.2.5.1 Descrição do fornecimento..... | 41 |
| 5.2.5.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações..... | 41 |
| 5.2.5.3 Caracterização do transporte..... | 41 |
| 5.2.6 Fornecimento da instalação complementar de produção..... | 42 |
| 5.2.6.1 Descrição do fornecimento..... | 42 |
| 5.2.6.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações..... | 42 |
| 5.2.5.3 Caracterização do transporte..... | 45 |
| 5.3 Fase de exploração..... | 46 |
| 5.3.1 Considerações..... | 46 |
| 5.3.2 Consumos fixos..... | 47 |
| 5.3.2.1 Energia eléctrica..... | 47 |
| 5.3.2.2 Gasóleo..... | 47 |
| 5.3.2.3 Outros..... | 47 |
| 5.3.3 Consumos variáveis..... | 48 |
| 5.3.3.1 Consumos de equipamentos poluentes..... | 48 |
| 5.3.3.2 Outros consumos pontuais..... | 49 |
| 5.3.4 Substituição de equipamentos e materiais..... | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 6 AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS E RESULTADOS..... | 51 |
| 6.1 Metodologia geral e interacção com o <i>software</i>..... | 51 |
| 6.2 Metodologias específicas e resultados intercalares da fase de construção..... | 53 |
| 6.2.1 Fornecimento da empreitada principal de engenharia civil..... | 53 |
| 6.2.1.1 Entrada de dados de materiais e inventários subliminares..... | 53 |
| 6.2.1.2 Entrada de dados de dos consumos de energia eléctrica e gasóleo..... | 56 |
| 6.2.1.3 Entrada de dados de do transporte..... | 56 |
| 6.2.1.4 Resultados e discussões intercalares..... | 57 |
| 6.2.2 Fornecimento do equipamento hidromecânico..... | 60 |
| 6.2.2.1 Entrada de dados de materiais..... | 60 |
| 6.2.2.2 Entrada de dados de do transporte..... | 60 |
| 6.2.2.3 Resultados e discussões intercalares..... | 61 |
| 6.2.3 Fornecimento da ponte rolante..... | 62 |
| 6.2.3.1 Entrada de dados de materiais..... | 62 |
| 6.2.3.2 Entrada de dados de do transporte..... | 62 |
| 6.2.3.3 Resultados e discussões intercalares..... | 62 |
| 6.2.4 Fornecimento dos grupos reversíveis..... | 63 |
| 6.2.4.1 Entrada de dados de materiais..... | 63 |
| 6.2.4.2 Entrada de dados de do transporte..... | 63 |
| 6.2.4.3 Resultados e discussões intercalares..... | 63 |
| 6.2.5 Fornecimento dos transformadores de grupo..... | 65 |
| 6.2.5.1 Entrada de dados de materiais..... | 65 |
| 6.2.5.2 Entrada de dados de do transporte..... | 65 |
| 6.2.5.3 Resultados e discussões intercalares..... | 66 |
| 6.2.6 Fornecimento da Instalação Complementar de Produção..... | 67 |
| 6.2.6.1 Entrada de dados de materiais..... | 67 |
| 6.2.6.2 Entrada de dados de do transporte..... | 67 |
| 6.2.6.3 Resultados e discussões intercalares..... | 67 |
| 6.2.7 Resultados e discussões intercalares da fase de construção e produção..... | 68 |
| 6.3 Metodologias específicas e resultados intercalares da fase de construção..... | 71 |
| 6.3.1 Consumos fixos..... | 71 |
| 6.3.1.1 Entrada de dados da energia eléctrica e gasóleo..... | 71 |
| 6.3.1.2 Entrada de dados de outros consumos fixos..... | 71 |
| 6.3.2 Consumos variáveis..... | 72 |
| 6.3.2.1 Entrada de dados de consumos de equipamentos poluentes..... | 72 |

| | |
|---|-----------|
| 6.3.2.2 Entrada de dados de outros consumos pontuais..... | 73 |
| 6.3.2.3 Entrada de dados de substituição de equipamentos e materiais..... | 73 |
| 6.3.3 Resultados e discussões intercalares..... | 73 |
| 6.4 Resultados gerais..... | 74 |
| 7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS..... | 77 |

1 Apresentação

Este trabalho constitui uma Dissertação de Mestrado, do curso de Engenharia do Ambiente, de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de uma central hidroeléctrica portuguesa, o Aproveitamento Hidroeléctrico de Frades. O trabalho desenvolvido teve o apoio institucional da EDP - Energias de Portugal, SA., onde foi realizado o estudo, e contou com a orientação do Engenheiro Filipe Vasconcelos e, mais tarde, da Engenheira Sara Fernandes. No Instituto Superior Técnico, onde completo o Mestrado no regime de Bolonha, tive orientação do Professor Doutor João Carlos Bordado, do Departamento de Química.

Nesta introdução, após se dar a conhecer o objectivo e âmbito do trabalho, começa por fazer-se a contextualização da técnica de ACV e, de seguida, procede-se ao enquadramento do grupo EDP, bem como à análise e discussão da sua posição face aos problemas ambientais que enfrenta na sua actividade, terminando com uma referência breve à motivação por parte da EDP para o estudo desenvolvido. Para finalizar, vai fazer-se uma introdução sucinta ao objecto deste estudo, a central de Frades.

1.1 Objectivo e âmbito

Esta Tese de Mestrado incide sobre a ACV da Central Hidroeléctrica de Frades. Pretende-se com o estudo avaliar os principais impactes ambientais da unidade de potência instalada da central [Vide 3.2, página 14], considerando os meios afectos ao estudo, e mediante o recurso a um *software* amplamente utilizado, o *SimaPro 7.0*, da Pre-Consultants. A realização de uma ACV de um produto ou serviço é uma actividade que envolve o processamento de muita informação, nomeadamente no que concerne os processos de fabrico e utilização dos produtos, mas também mais a montante ou a jusante. Consequentemente, o recurso a programas informáticos e a bases de dados para apoio à realização da ACV é essencial. O *SimaPro*, da Pre-Consultants, constitui uma das possibilidades informáticas para a realização de ACV's (adaptado de GUINÉE, 2002).

A realização do trabalho: revisão bibliográfica, adaptação ao *software*, recolha de informação, inventário e avaliação de impactes (com carácter iterativo), teve a duração de seis meses. Nesse sentido, e considerando o número de componentes em presença, as estimativas necessárias, e os diversos estudos de composição, conclui-se que um estudo profundo e completamente detalhado da central constitui um volume de trabalho não consentâneo com um período de seis meses. Por conseguinte, centrou-se a análise e os inventários nos principais aspectos, tendo em vista a manutenção da qualidade e utilidade dos resultados.

1.2 Avaliação de Ciclo de Vida e sua contextualização

Só nos anos 90, na sequência da divulgação do *Relatório de Bruntland* em 1987, surgiu a noção de sustentabilidade. A Conferência do Rio, em 1992, veio fomentar a ideia de que aquilo que se considera desperdício, poderá ser um recurso, reforçando a necessidade de integrar as questões ambientais e ter uma atitude proactiva. Ganharam força as ideias de ciclo de vida dos materiais, nomeadamente de resíduos gerados, bem como os princípios de rotulagem ecológica, gestão integrada, voluntarismo (ultrapassava-se as obrigações legais), de compatibilização das questões ambientais com a gestão das organizações e de proactividade, em oposição à simples reactividade perante os problemas ambientais. Surgiu assim uma dimensão mais voluntária e alguma maturidade nos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA). Efectivamente, as questões ambientais podem ser encaradas como uma oportunidade de negócio em vez da visão tradicional que considera a preocupação ambiental como um custo acrescido para as organizações. Mesmo a nível de competitividade das empresas, a adopção de uma atitude proactiva pode trazer vantagens interessantes:

- Redução dos custos de controlo de poluição;
- Evidência do cumprimento da legislação ambiental;
- Identificação sistemática de oportunidades de prevenção;
- Motivação e consciencialização dos colaboradores para os assuntos relativos ao ambiente;
- Aumentos de produtividade e qualidade;
- Melhoria da imagem da organização junto das partes interessadas, nomeadamente vizinhança, clientes e autoridades do sector;
- Melhoria dos indicadores de desempenho ambiental da empresa;
- Redução dos consumos de matérias-primas, água e energia;
- Redução das taxas de descarga e deposição de resíduos;
- Redução dos prémios de seguros;
- Valorização económica de alguns materiais até aí considerados resíduos;
- Maior facilidade de obtenção de financiamentos.

Por outro lado, é de referir que é desejável que a regulamentação ambiental procure instaurar práticas que desencadeiem inovações, no sentido de baixar o custo total de um produto ou aumentar o seu valor, permitindo que as organizações usem os seus *inputs* de forma mais produtiva, o que, necessariamente, contribui para a competitividade das empresas.

Efectivamente, a poluição é uma forma de ineficiência, que traduz a incapacidade de um sistema de aproveitar de forma completa os recursos utilizados, levando assim à produção de emissões gasosas, resíduos, efluentes e energia perdida. Não obstante, as empresas têm ainda outros encargos que não aumentam o valor dos produtos para os seus clientes: o manuseamento, armazenamento e tratamento de resíduos. A instauração de SGA's

conscientes permite igualmente reduzir os custos na reputação das empresas decorrentes de acidentes ou danos ambientais graves.

Assim, poderá adoptar-se uma atitude mais optimista em relação ao ambiente, uma simbiose de *win-win*, com consideração pelos aspectos positivos e benefícios empresariais que advêm da adopção de medidas proteccionistas e atitudes proactivas perante o ambiente.

Segundo GUINÉE (2002), um projecto de ACV é mais do que um simples estudo. A ACV de produtos é uma técnica importante já que a escolha das opções de projecto mais viáveis do ponto de vista ambiental exige o conhecimento de todas as etapas da vida do produto, além de considerar todos os factores e níveis dos componentes do processo de produção. Com efeito, sem o conhecimento do ciclo de vida, só é possível resolver problemas parciais. A metodologia, ou, mais especificamente, a técnica de ACV preconiza que se realize a avaliação ambiental não tendo mais como objectivo o processo em si, mas o produto, ou melhor, a função que este se propõe a cumprir. É a mudança do paradigma.

1.3 Importância do estudo

De acordo com o *Expert Workshop on Life Cycle Analysis of Energy Systems*, realizado pela OECD- Organization for Economic Cooperation and Development, em 1992 (OECD, 1992), e confirmando a ideia que esteve subjacente à realização do estudo, as ACV's de sistemas energéticos são muito importantes uma vez que estes estão presentes em todas as actividades humanas, tratando-se a electricidade de um consumo essencial, com impactes significativos no ambiente, tanto em termos de produção e transporte, como também durante as fases de obras e construção. Por outro lado, é um facto que estes estudos podem constituir um apoio à decisão, fornecendo informações de carácter ambiental que de outra forma não teriam dimensão científica e, por conseguinte, não teriam a mesma autoridade. Por fim, uma vez que cada país ou região tem a sua matriz energética, muitas das bases de dados não são suficientemente específicas para fornecerem *inputs* com a qualidade muitas vezes requerida.

Também durante o evento realizado pela United States Environmental Protection Agency (EPA), um *workshop* de 3 dias, do qual resultou o *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories*, se afirma que o uso da electricidade apresenta importantes contribuições nos resultados das ACV's da maioria dos produtos, sendo por isso útil disponibilizar bases de dados públicas da produção de electricidade, tanto para quem realiza ACV's de produtos como para quem toma decisões baseadas nos resultados obtidos. Ficam assim implícitos a utilidade e interesse deste estudo.

1.4 Grupo EDP

De acordo com a consulta ao website www.edp.pt, a 8 de Maio de 2007, são consideradas relevantes, no âmbito deste estudo, as seguintes informações:

A EDP - Energias de Portugal, SA., foi criada em 1976, e é um grupo cuja actividade se centra no sector eléctrico. É a maior empresa de electricidade e grupo industrial de Portugal, desenvolvendo as suas actividades nas áreas de produção, comercialização e distribuição de electricidade e distribuição de gás.

A EDP pauta-se por desenvolver comportamentos ambientais conscientes e responsáveis. Desenvolvendo a sua actividade num sector vital para o desenvolvimento económico e social, produzindo e dando acesso a um bem essencial, gerando riqueza para a comunidade também através dos dividendos pagos aos accionistas e tendo um papel empregador, assenta a sua actividade em princípios de transparência, respeito pelo ambiente e cumprimento dos mais altos padrões de ética e honestidade. No contexto da sustentabilidade, a EDP procura manter o equilíbrio salutar entre os aspectos económicos, ambientais e sociais, através da aplicação dos seguintes princípios (são apresentados os considerados relevantes no âmbito do estudo):

- Criação de valor, através do aumento da produtividade e redução da exposição a riscos decorrentes dos impactes económicos, ambientais e sociais das suas actividades, e integrando os aspectos ambientais e sociais nos processos de planeamento e tomada de decisão;
- Eficiência na utilização de recursos, promovendo o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e eficientes, desenvolvendo formas de produção baseadas em energias renováveis, e promovendo a utilização racional da energia;
- Protecção do ambiente, minimizando o impacte ambiental de todas as actividades que desenvolve, participando em iniciativas que contribuam para a preservação do ambiente, e alargando a utilização de critérios ambientais a toda a cadeia de valor;
- Promoção do acesso fiável e generalizado à rede eléctrica;

Em termos ambientais, um dos principais desafios que a EDP assume é o combate às alterações climáticas, já que as actividades desenvolvidas pelo grupo na produção de electricidade e na sua distribuição, bem como de gás natural, têm impactes directos e indirectos nas emissões de gases de efeito de estufa, GEE. Pautando-se por estas preocupações ambientais, o grupo assume uma estratégia de combate às alterações climáticas, de cumprimento das metas do PNALE, o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão, através de uma gestão eficaz das emissões.

Por outro lado, ainda a respeito das preocupações ambientais, a EDP estabelece como prioritária a aposta nas energias renováveis, constituindo este um dos seus objectivos estratégicos. Pretende recorrer a um *mix energético* equilibrado, que conduza a um aumento global do rendimento do parque electroprodutor, em especial nas centrais térmicas, contribuindo desta forma para a redução das emissões de GEE, mas também através do incremento da produção a partir de fontes de energia renováveis, com especial destaque para a hídrica e eólica, mas não descurando as oportunidades das restantes fontes de energia.

A Política de Ambiente do grupo EDP é resultado da consciência da importância decisiva da energia eléctrica como factor de desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida das populações, assumindo que as actividades inerentes à sua produção e distribuição têm efeitos ambientais menos positivos. Desta forma, o grupo assume a procura incessante do equilíbrio entre a sua função essencial e a salvaguarda dos valores ambientais, através dos seguintes princípios:

- Consolidação da utilização de critérios de avaliação ambiental nas actividades da empresa e auditoria do seu desempenho;
- Exame da importância da componente ambiental em todas as fases dos processos de produção e distribuição e utilização final da electricidade;
- Aumento do conhecimento das interacções das actividades da empresa com o ambiente;
- Promoção de estratégias de conservação da natureza e valorização cultural;
- Salvaguarda dos mecanismos de informação ambiental adequados;

É neste contexto que surge o projecto de fazer a ACV da Central Hidroeléctrica de Venda Nova II, bem como a proposta, posterior, de uma metodologia para a ACV de outras centrais. Efectivamente, a EDP evidencia um esforço concentrado na redução dos problemas ambientais decorrentes da sua actividade, e a ACV permite, desde a extracção das matérias-primas, até à deposição e encaminhamento dos resíduos de materiais em fim de vida, identificar e avaliar os principais impactes ambientais, bem como permite ter uma visão mais esclarecida que poderá apoiar a decisão e acompanhar a execução de projectos futuros.

1.5 Objecto de estudo

O objecto estudado nesta Dissertação é a central hidroeléctrica de Frades (Venda Nova II), que constitui um empreendimento totalmente soterrado, a cerca de 300 m de profundidade, dotado de dois grupos reversíveis que totalizam 191,6 MW de potência instalada. A central de Frades entrou em serviço em 2005 e constitui o reforço de potência da central de Venda Nova, incluída no centro de produção do Cávado-Lima, e ocupa a margem esquerda do rio Rabagão, freguesia de Ruivães, no Minho.

Esta central opera numa estratégia de bombagem, ou seja, bombeia a água de jusante, da albufeira de Salamonde, armazenando-a numa outra albufeira, a de Venda Nova, a montante, nas horas de excedente de energia eléctrica (horas de vazio), disponibilizando assim a água de forma a turbiná-la nas horas de consumos de ponta. As características específicas desta zona do país motivaram a construção deste empreendimento que aproveita o desnível entre as albufeiras enunciadas, de cerca de 400 m, distando aproximadamente 4500 m.

Esta ACV refere-se à unidade de potência instalada da central de Frades, ou seja, proceder-se à avaliação dos impactes gerados pela central, no seu ciclo de vida, para 1 MW instalado. As motivações dessa escolha são discutidas oportunamente [Vide 3.2, página 14].

2 Estado da arte

2.1 Avaliação de Ciclo de Vida e Metodologia

A preocupação ambiental respeitante a um determinado produto, existia tipicamente durante a sua produção, ou seja, durante os processos industriais que levavam à obtenção do produto acabado. Com o novo paradigma, tem-se verificado a extensão da responsabilidade dos produtos a todo o seu ciclo de vida.

Interpretando FERRÃO (1998), o termo ciclo de vida refere-se a todas as etapas e processos de um sistema de produção ou de serviços, englobando a cadeia de produção e consumo, considerando consumos de energia, matérias-primas e produtos auxiliares; aspectos relativos aos sistemas de transportes e logística, características da utilização, manuseamento, embalagem, marketing e consumo; resíduos gerados e respectiva reciclagem ou outro destino final. Com a consciência de que qualquer produto, processo ou actividade produz impactes no ambiente desde o momento em que são extraídas as matérias-primas até à devolução do produto à Natureza (FERRÃO, 1998), surge a ideia de que, para avaliar ambientalmente um produto, é necessário utilizar uma metodologia que contabilize esta totalidade de interações, que ocorrem em diferentes processos, e muitas vezes em espaços e instantes distintos. Esta contabilização, e a avaliação deste conjunto de aspectos e impactes, têm sido o papel desempenhado pela ACV.

A ACV, internacionalmente designada por Life Cycle Assessment, LCA, constitui uma técnica de avaliação do impacte ambiental associado a um produto ou serviço (FERRÃO, 1998), que no caso presente deste estudo, se reporta à avaliação dos impactes da potência instalada de uma central hidroeléctrica. Os impactes ambientais são determinados pela entrada e saída de materiais e energia do sistema, em cada fase do ciclo de vida do produto. Esses impactes, depois de identificados, são agrupados em diferentes categorias de impactes ambientais.

Estes assuntos são abordados numa Norma internacional, a International Organization for Standardization (ISO) da série 14040. Esta, fornece os requisitos, estrutura e metodologias para a condução de estudos de ACV, definindo este processo como a *compilação dos fluxos de entradas e saídas e avaliação dos impactes ambientais associados a um produto ao longo do seu ciclo de vida*, surgindo a noção de ciclo de vida descrita como os *estados consecutivos e interligados de um produto, desde a extracção de matérias primas ou transformação de recursos naturais, até à deposição final do produto na natureza* (ISO 14040, *A Standard on Principles and Framework, 1st Edition, 1997*)

As principais fases de um Ciclo de Vida constam do diagrama abaixo representado:

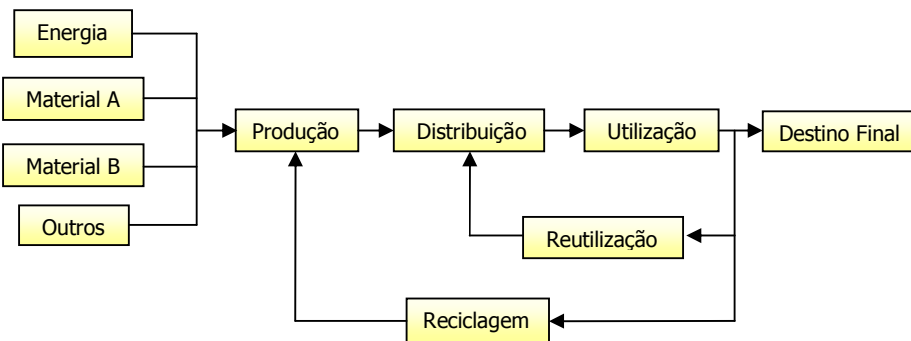


Figura II.1 – Esquema representativo de um ciclo de vida, Fonte: [Adaptado de *Introdução à gestão ambiental, a avaliação do ciclo de vida de produtos*, Paulo Cadete Ferrão, 1998, IST Press]

A ACV, acresce a uma Análise Energética de Sistemas a caracterização das emissões para o ambiente das diversas etapas do processo produtivo e ciclo de vida dos produtos (FERRÃO, 1998). De seguida, apresentam-se breves referências à metodologia proposta para a realização de ACV, atentando no facto de que, em capítulo posterior [3], se discutirá em pormenor a metodologia adoptada para este caso, com as nuances típicas de ACV's de sistemas energéticos. De acordo com a Norma Internacional ISO 14040, e interpretando GUINÉE (2002) a técnica de ACV deve englobar quatro fases, todas elas interligadas:

- **Definição do Objectivo e Âmbito da Análise.** Deve-se documentar e justificar os objectivos do estudo de ACV, explicando o propósito e especificando as aplicações do resultado, bem como se deve reflectir sobre a função do produto ou serviço, quais as fronteiras espaciais e temporais do sistema a considerar, quais os dados pretendidos e qualidade requerida. Por outro lado, deve decidir-se qual o tipo de avaliação de impactes a usar, bem como o método.
- **Inventário**, com enumeração das entradas e saídas do sistema e elaboração de um modelo do ciclo de vida do produto. Esta é a principal etapa, em termos de disposição de tempo, envolvendo a realização de diversas tarefas: definição das fronteiras do sistema; esquematização do diagrama de blocos representativo do sistema; recolha de informação; processamento dos dados; análise dos resultados e eventual redefinição das fronteiras do sistema.
- **Avaliação dos impactes ambientais** associados às entradas e saídas do sistema – através do recurso a um sistema informático, procede-se à avaliação dos impactes, após selecção de um método adequado ao estudo.
- **Interpretação dos resultados** das fases de inventário e avaliação.

O descrito anteriormente é genericamente aplicável a qualquer estudo de ACV. A Norma Internacional fornece orientações e *guidelines* que serão seguidas e mencionadas aquando da abordagem específica ao estudo em questão.

2.2 Avaliação de Ciclo de Vida em Sistemas Energéticos

O processo de recolha de informação nos inventários é um factor crítico na realização de uma ACV bem sucedida. A grande barreira continua a ser o acesso a informação fidedigna (EPA, 2002). Foi no sentido de apresentar as principais directrizes na ACV de sistemas energéticos que se realizou um *workshop* de 3 dias, contando com a presença de especialistas reconhecidos na produção de energia eléctrica e em ACV. Esse encontro foi proporcionado pela EPA e pela NREL (National Renewable Energy Laboratory).

Segundo o *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories* (EPA, 2002), o *workshop* realizado permitiu reconhecer que os sistemas energéticos estão envolvidos de grande complexidade quando se pretende fazer ACV, uma vez que:

- Existe uma extensa abrangência geográfica dos sistemas;
- Existem variações sazonais e diárias significativas;
- Existem grandes diferenças nas instalações, consumos e emissões;
- Verifica-se uma forte evolução tecnológica e regulatória do sector eléctrico;
- Os horizontes de análise são extensos;
- O consumo de electricidade goza de grande importância nos ciclos de vida dos produtos.

O relatório do evento também evidencia os dois objectivos principais da realização de ACV's a sistemas energéticos: suporte em processos de tomada de decisão em relação a projectos de produção de electricidade ou incorporação em ACV's de outros produtos. O primeiro corresponde a uma abordagem de inventário de ciclo de vida *consequencial* (para responder à forma como os fluxos de recursos e emissões variam em função de decisões, alternativas tecnológicas e estratégicas), apoiando a decisão. Por outro lado pode adoptar-se uma abordagem *atribucional*, que responde à forma como os fluxos ocorrem ao longo do tempo, sem verificar a influência de diferentes opções tecnológicas nos resultados na avaliação de impactes, e servindo por isso para alimentar ACV's de produtos que se baseiam em sistemas energéticos relativamente estanques. Esta abordagem visa alimentar as bases de dados de forma a melhorar as ACV's dos produtos (EPA, 2002).

É um facto assente que a definição das fronteiras do sistema é um aspecto muito importante na realização de ACV's, uma vez que a inclusão, por exemplo, da produção de bens de capital (auxiliares nos processos do ciclo de vida), pode levar a uma regressão interminável no espaço e no tempo, para a qual os recursos afectos ao estudo podem não ser suficientes. Segundo SETTERWALL (2002), nos sistemas energéticos, é habitual que se considere a fase de construção, produção de combustíveis, operação, como substituição de equipamentos e manuseio de resíduos e a fase de demolição, à excepção das centrais hídricas, porque na maior parte das vezes não ocorre demolição, sendo que, nesses casos, se deve considerar as operações de manutenção e troca de equipamento.

Na opinião dos especialistas reunidos no evento da EPA, os impactes ambientais advindos dos bens de consumo e da infra-estrutura, devem ser incluídos, e, de acordo com

CURRAN (2002), em especial para as fontes renováveis, a etapa de construção das instalações é muito impactante, pelo que se lhe deve dar o devido relevo.

Quando se reflecte sobre o ciclo de vida dos bens auxiliares ao ciclo de vida do produto em causa, podem distinguir-se três ordens ou níveis de detalhe (GOEDKOOP, 2006): a *primeira ordem*, em que apenas a produção de materiais e o seu transporte é incluído; a *segunda ordem*, em que todos os processos do ciclo de vida são incluídos, mas os bens necessários à produção, como máquinas, são excluídos, e a *terceira ordem*, em que os bens destinados à produção são considerados no estudo, sendo estes modelados em primeira ordem. Segundo as conclusões resultantes do evento da EPA, as fronteiras definidas devem ser tais que sejam considerados os equipamentos, instalações ou obras, construídas especificamente para o empreendimento, como, por exemplo, o material utilizado para o fabrico das turbinas. Já, por exemplo, o material usado do guindaste usado na obra, cujo tempo de vida em muito excede o tempo de duração da obra, não deve ser comutado. FRISCHKNECHT (2002), por sua vez, afirma que os equipamentos permanentes são muito importantes em ACV's de sistemas energéticos, em especial nas centrais hidroeléctricas, uma vez que os impactes da construção têm uma importância relativa considerável face aos impactes da exploração, o que não acontece, por exemplo, nas centrais térmicas.

Relativamente aos impactes das operações de manutenção e reparação das instalações, as opiniões não são muito consensuais: KREWITT (2002) afirma que estes não necessitam de ser considerados, uma vez que são muito baixos. Por sua vez, VIRTANEN e LUBKERT (2002) consideram que esses impactes poderão ser relevantes, pelo que devem ser contabilizados no ciclo de vida.

No que diz respeito à fase de construção, parece haver unanimidade. SETTERWALL (2002) e restantes especialistas do *workshop* da EPA partilham a opinião de que não se deverá considerar o fabrico dos componentes, e o inventário deve por isso centrar-se na produção dos materiais utilizados e no transporte dos fornecimentos da fábrica para a obra. Assim, e segundo SETTERWALL (2002), os principais materiais a ser considerados nestes estudos são: aço, cimento, cobre, alumínio, outros metais, plásticos, rocha e madeira. No entanto, CURRAN (2002) ressalva que os aspectos considerados são fortemente influenciados pela disponibilidade dos dados. Com efeito, é conveniente construir uma lista de referência, que não deve ser negligenciada, mas que deve gozar de alguma flexibilidade. Assim, segundo o seminário da EPA, no caso de haver ausência de dados, devem realizar-se estimativas majoradas com auxílio a especialistas, fazendo as devidas referências.

Outro dos aspectos debatidos no seminário da EPA prende-se com o transporte dos trabalhadores para a obra, durante as etapas construtivas, que não deve ser considerado, à semelhança das actividades quotidianas, como alimentação, que seriam realizadas houvesse ou não houvesse obra.

Em relação à fase de exploração das centrais, é notória a dificuldade em realizar inventários, uma vez que os impactes são relativamente reduzidos nas centrais de energias renováveis, em relação ao que sucede em centrais térmicas. Geralmente, nas centrais hídricas, a grande parte dos impactes ocorre nas fases de construção, daí advindo dois aspectos dignos

de análise: em primeiro lugar, muitos indicadores assumem valores traço ou nulos; por outro lado, é difícil imputar os aspectos à unidade funcional, uma vez que não é inequívoco estabelecer um período de vida para a central. Por conseguinte, é pertinente apresentar os impactes considerados mais relevantes na operação de uma central: consumo de combustível, uso de produtos químicos, uso do solo, emissões do uso de combustível, emissão de GEE de áreas alagadas e produção de resíduos, principalmente dos combustíveis (SETTERWALL, 2002). Como é evidente, parte destes aspectos dizem respeito a centrais térmicas (resíduos dos combustíveis, que constituem as cinzas).

Em muitos casos de ACV, procura-se associar o produto a um processo médio, modelado matematicamente para ser representativo de um universo de instalações com a mesma função. Não obstante, isso não se verifica para as centrais hídricas, de forma geral. Com efeito, o que se tem observado é o inventário de uma central única real, que é posteriormente extrapolado para a totalidade do sistema hidroeléctrico, à excepção dos estudos da Vattenfall AB (Swedish Environmental Management Council) (RIBEIRO, 2003), que realizaram este procedimento para mais de uma central no mesmo rio, obtendo posteriormente um resultado médio.

2.3 Estudos realizados

Em Portugal já foram efectuados alguns estudos de ACV. No entanto, em termos do Ciclo de Vida de sistemas energéticos, a Comunidade Científica Portuguesa não produziu ainda muitos trabalhos. Existe uma Dissertação, da Universidade do Minho, “Avaliação de Ciclo de Vida da energia eléctrica consumida em Portugal” (GUEDES, Isabel, 2004) que considerando o título, opta pela abordagem *atribucional* [Vide 2.2, página 8]. Tentou viabilizar-se o contacto com esta faculdade, no sentido de se obter mais informações a respeito do trabalho desenvolvido, mas não foram obtidas respostas, nem foi, por isso, cedido o acesso ao documento. Não obstante, constituindo o estudo uma ACV a todo o sistema energético, tem certamente grandes diferenças relativamente ao desta Dissertação.

Internacionalmente existem alguns estudos de ACV de sistemas energéticos, sendo de destacar principalmente a Tese de Mestrado relativa a uma central hidroeléctrica brasileira, de Inventário de Ciclo de Vida (RIBEIRO, 2003), que constituiu uma boa referência.

Na EDP – Energias de Portugal, S.A., estes estudos não tiveram ainda nenhum tipo de projecção, sendo esta Tese pioneira. Contudo, espera-se que venha a haver continuidade.

3 Metodologia utilizada

Por questões de fluidez de leitura, o capítulo anterior fez referências muito breves à metodologia de ACV, pelo que de seguida se apresenta pormenorizadamente a metodologia normalizada, com as adaptações, devidamente mencionadas, ao caso particular de estudo e com as suas concretizações, constituindo-se assim a metodologia adoptada.

3.1 Objectivos e Âmbito

Os modelos envolvem sempre simplificações da realidade, e, conseqüentemente, induzem erros. O desafio na realização de modelos, consiste na obtenção de bons resultados, que não distem demasiado da realidade, para o menor uso possível de recursos. Para isso, deve começar-se por definir cuidadosamente os objectivos e âmbito da ACV.

A definição dos objectivos e âmbito é a fase em que se fazem as escolhas iniciais, que determinam o plano de trabalho de toda a ACV e, de acordo com o que está definido nas Normas Internacionais da série ISO 14040, as aplicações do estudo devem ser descritas inequivocamente.

A ACV é uma técnica que envolve grande mobilização de meios e informações referentes ao produto ou serviço. A definição do âmbito é, portanto, um aspecto muito importante, que pode condicionar toda a avaliação, pelo que deve ser efectuada com rigor. Existe a possibilidade de, durante a ACV, alterar o disposto nos Objectivos e Âmbito, sempre que se conclua que as escolhas iniciais não são as mais adequadas ou praticáveis. É necessária a especificação das funções do serviço, o que implica a definição da unidade funcional, que será feita mais à frente [Vide 3.2, página 14] (GOEDKOOOP, 1997, GUINÉE, 2002).

3.1.1 Objectivos da ACV

Esta fase deve documentar e justificar os objectivos do estudo da ACV, explicando o propósito e especificando as aplicações do resultado. Assim, a metodologia deve atender às questões seguintes, cuja resposta constitui a metodologia adoptada (FERRÃO, 1998):

1. *Quais as razões que levaram à realização da ACV, e quais as perguntas a ser respondidas com a sua realização:*

- Análise dos desempenhos ambientais da central hidroeléctrica de Frades, perante o reconhecimento de que as questões e os impactes ambientais não são advindos somente da produção de energia, mas também das restantes fases do ciclo de vida. Com efeito, as centrais resultam de diferentes processos de construção, são dotadas de diferentes materiais e equipamentos, que podem ditar diferentes situações ambientais, cujo conhecimento e comparação é importante;

- Possibilidade de identificar oportunidades de melhoria nos desempenhos de centrais hidroeléctricas, numa perspectiva de ciclo de vida, apoiando a decisão e melhorando os projectos futuros;
- Desenvolvimento da óptica de comparação de serviços, ou seja, possibilidade de estudo comparativo de diversas alternativas de projectos, em fases de estudo prévio. A análise de impactes ambientais de centrais existentes pode acrescer de conhecimentos os projectos futuros;
- Necessidade de desenvolvimento de uma metodologia expedita de ACV para centrais hidroeléctricas. Assim, o estudo da central de Frades permitirá o desenvolvimento de uma metodologia a utilizar para estudo de outras centrais.

2. *Qual o objecto do estudo – sendo necessária uma definição precisa do mesmo, do ciclo de vida e das suas funções:*

- Central hidroeléctrica de Frades, reforço de potência da central de Venda Nova, do sistema hídrico do Cávado-Lima. Não se considera a estrutura da barragem nem a albufeira, uma vez que já estavam construídas e os impactes da sua construção e exploração já se faziam sentir, sendo por isso imputados à central de Venda Nova.

3. *Que produto ou função se pretende estudar?*

- Pretende-se estudar os impactes ambientais da unidade de potência disponível da central hidroeléctrica de Frades, desde a sua construção até à sua desactivação. Mais à frente referir-se-á a unidade funcional, com as devidas explicações [Vide 3.2, página 14].

4. *A quem se destinam os resultados?*

- Os resultados destinam-se à Direcção de Sustentabilidade e Ambiente (DSA) da EDP - Energias de Portugal, SA.

3.1.2 Âmbito da ACV

A metodologia de ACV, como já mencionado, deve também comportar a consideração pelos seguintes aspectos da definição do âmbito (FERRÃO, 1998):

1. *Função do produto ou serviço:*

- A central hidroeléctrica de Frades visa a produção de energia eléctrica.

2. *Fronteiras espaciais e temporais do sistema, no qual o produto ou serviço se desenvolve durante a sua vida:*

- Necessidade de prever, em primeiro lugar, o tempo de exploração da central hidroeléctrica de Frades, considerando questões como as tecnologias disponíveis e a sua evolução (que pode tornar obsoletas algumas das tecnologias usadas na central em estudo). No caso deste estudo, assumiu-se um período de exploração até 2050, mediante consulta técnica de profissionais da EDP.
- Conhecer o tempo de construção da central – a Empreitada Principal de Engenharia Civil durou 52 meses;
- Determinação e consideração pelos locais de produção dos materiais e equipamentos da central;
- Consideração pelas regiões do espaço associadas ao transporte dos materiais e equipamentos;

5. *Dados necessários à caracterização do sistema e qualidade requerida.* No caso deste estudo, pretende-se recorrer às seguintes estratégias para recolha específica de dados:

- Estudo de plantas e esquemas da central hidroeléctrica, de forma a obter informações específicas;
- Levantamento de materiais e equipamentos significativos da central;
- Recurso a especificações técnicas de materiais e equipamentos da central, com conhecimento da sua proveniência e condições de produção, bem como do seu período de vida útil, para prever eventuais necessidades de substituição;
- Informações referentes ao funcionamento da central – conhecimento profundo dos processos, indicadores e parâmetros, para correcta identificação dos problemas ambientais e avaliação de impactes durante o período de uso;
- Conhecimento de volumes e quantidades de cada tipo de material usado na construção da central, bem como o seu período de vida e eventuais necessidades de substituição;
- Obtenção de informações a respeito do transporte dos materiais para a construção da central, bem como do combustível usado;
- Acesso ao EIA (Estudo de Impacte Ambiental) da central, no sentido de identificar os impactes da construção e exploração da mesma;

6. *Limitações do estudo:*

- O tempo de realização do estudo (6 meses), meios, dados disponíveis e apoios das empresas envolvidas nos fornecimentos.

7. *Tipo de avaliação de impacte a usar:*

- Utilização de um *software* próprio para ACV, o *SimaPro 7.0*, através do Método Eco-Indicator 99.

8. *Qualidade dos resultados pretendidos:*

- Pretende-se ter a qualidade suficiente para se desenvolver, posteriormente, uma metodologia credível e expedita para a ACV de centrais hidroeléctricas, com o objectivo de apoiar a decisão e permitir o desenvolvimento de projectos de forma mais esclarecida, considerando as limitações existentes ao estudo.

9. *Tipo de revisão crítica a realizar:*

- Apoio profissional e experiente de diversos intervenientes do sector energético em Portugal, revisão por parte dos orientadores de Mestrado e Júris;
- Comparação com estudos semelhantes.

10. *Tipo e estrutura do relatório final:*

- Estrutura típica de um estudo de ACV, enquadrada com a produção de um Relatório de Estágio e Tese de Mestrado.

Existem também outras questões que, metodologicamente, devem ser respondidas (FERRÃO, 1998):

1. *Pretende-se comparar serviços ou produtos?*

- O objectivo inicial é fazer uma ACV da central de Frades. O estudo poderá permitir, mais tarde, a comparação de diferentes centrais.

2. *Há um plano no sentido de melhorar o serviço em termos do seu impacte ambiental, ou pretende-se conceber um serviço novo?*

- A identificação dos principais impactes ambientais, durante o ciclo de vida da central, desconhecidos antes da realização destes estudos, poderá permitir a minimização dos mesmos.

3.2 Unidade Funcional

Adoptando a definição de FERRÃO (1998), o estabelecimento da unidade funcional tem como objectivo permitir quantificar o desempenho do produto ou do serviço ao executar a função associada, constituindo uma referência em relação à qual se realiza o inventário. A sua definição, deve, pois, considerar sempre a perspectiva do consumidor, no que concerne a eficácia do produto ou serviço e a sua durabilidade. Em estudos comparativos, só faz sentido analisar sistemas com as mesmas funções ou equivalentes, que é o caso das centrais termo e

hidroeléctricas, cuja função é produção de energia eléctrica. Por outro lado, quando sistemas têm outras funções que não sejam quantificadas na unidade funcional, devem ser consideradas na documentação, porque podem acrescentar de vantagens um sistema versus o outro. Por exemplo, a função das centrais hidroeléctricas é a produção de energia, contudo, poderão proporcionar a existência de locais de lazer, de prática de desportos aquáticos e a manutenção de reservas de água doce. É algo a ter em consideração no caso deste estudo, se mais tarde os seus resultados forem utilizados.

Um sistema energético pode ser avaliado sob duas perspectivas: a produção de electricidade ou a realização de um serviço energético (OECD, 1992). Dentro destas duas alternativas, se se pretender analisar o sistema energético no cumprimento de uma necessidade da sociedade (abordagem *consequencial* [Vide 2.2, página 8]) a unidade funcional deve ser uma medida da realização de um serviço. Neste caso, tratando-se a central de Frades de uma central em bombagem, de reforço de potência, está patente a sua função de disponibilizar potência nas horas de ponta de consumo. Por conseguinte, julga-se ser a unidade de potência instalada a melhor unidade funcional neste caso. Por outro lado, e uma vez que a operação da central depende de uma estratégia energética, considera-se inadequado utilizar como unidade funcional a unidade de energia produzida, porque a estratégia da central (de bombagem como reforço de potência, com os consumos inerentes) desvirtuaria os resultados. Com efeito, a produtividade média anual (com contribuição da bombagem) é de cerca de 220 GWh (EDP, 2006), e, segundo informações obtidas a partir de profissionais da EDP, o consumo de bombagem é de cerca de 300 GWh, pelo que se conclui que a produtividade bruta é negativa.

Já uma abordagem *atribucional*, com o objectivo de alimentar bases de dados, poderia utilizar, como unidade funcional, a unidade de energia produzida.

3.3 Inventário da ACV

De acordo com FERRÃO (1998), o inventário constitui a maior etapa, em termos de disposição de tempo, de uma ACV. Envolve a realização de diversas subetapas, que usualmente são repetidas, actualizando-se, sempre que necessário, o disposto nos Objectivos e Âmbito.

3.3.1 Definição das fronteiras do sistema

Habitualmente, citando FERRÃO (1998), considera-se o ambiente como o limite externo das fronteiras do sistema, ou seja, tudo o que não é contemplado na análise. A ACV deveria contemplar todos os fluxos de massa e energia, desde a sua origem até a sua devolução à Natureza. Não obstante, a análise é afectada por limitações de dados, tempo e recursos, pelo que a decisão de quais os processos a ser modelados no estudo é muito importante, devendo reflectir os impactes ambientais mais significativos. Assim, a delimitação das fronteiras do sistema passa também pela consideração pelos dados e informações disponíveis e que sejam

suficientes para conduzir de forma competente e expedita o estudo, contribuindo para um bom resultado final, credível e representativo.

A definição de fronteiras deverá, genericamente, considerar os aspectos do quadro seguinte (FERRÃO, 1998), no qual se referem também quais os considerados e as motivações subjacentes:

| Aspectos a considerar genericamente numa ACV | Consideração | Observações |
|--|--------------|---|
| Fluxos de matéria e de energia na sequência de produção | x/✓ | Não se considera o fabrico dos componentes, e o inventário centra-se na produção dos materiais e transporte dos fornecimentos (SETTERWALL, EPA). Para esses, tendo-se usado a base de dados do software, está inerente a sua consideração. |
| Produção e utilização de combustíveis, electricidade e calor | ✓ | Teve-se em consideração estes aspectos, durante a produção e transporte dos materiais, fase de obra e exploração. |
| Distribuição e transporte | ✓ | Foram considerados os transportes da fábrica e armazéns. Os transportes das matérias-primas também são considerados, uma vez que se utiliza a base de dados, que fornece os seus ciclos de vida e inclui os transportes. |
| Utilização de produtos | ✓ | São avaliados os impactes da fase de exploração. |
| Eliminação dos resíduos do processo e dos produtos | x | Adoptando o que afirma SETTERWALL, a fase de demolição deve ser considerada, à excepção das centrais hídricas, porque, na maior parte das vezes, não ocorre demolição, pelo que não deverá ser de considerar essa fase. |
| Recuperação de produtos já utilizados | x | Não aplicável. |
| Utilização de recursos naturais | ✓ | Considerado, uma vez que se inventaria os materiais utilizados. |
| Fabrico e manutenção dos equipamentos | ✓ | A operação de manutenção dos equipamentos é considerada na medida em que se inventaria as perdas e substituição de diversos óleos utilizados. |
| Manufatura de materiais auxiliares ao processo principal | x | Não são considerados estes aspectos, uma vez que o tempo de vida dos equipamentos usados na obra é muito superior ao tempo durante o qual este foi utilizado. As fronteiras definidas devem ser tais que sejam considerados os equipamentos, instalações ou obras construídas especificamente para o empreendimento, sendo, por exemplo, que o guindaste usado na obra não deve ser comutado (EPA). No entanto, para <i>inputs</i> da base de dados, estes aspectos são considerados. |
| Operações de manutenção, tais com iluminação e aquecimento | ✓ | Consideradas. |
| Chave | | ✓ - consideração plena pelos aspectos. |
| | | x – não se consideraram os aspectos. |
| | | x/✓ - consideraram-se os aspectos, até certo ponto. |

Quadro III.1 – Aspectos considerados no Inventário da Avaliação de Ciclo de Vida, Fonte: [Aplicação de FERRÃO, 1998].

Deve quantificar-se os fluxos de massa (matérias primas e auxiliares) associados a cada processo elementar, com base em dados específicos do caso em estudo ou dados publicados relativos a processos análogos. Para identificar as entradas a considerar no estudo, diz a Norma ISO 14041 (1997) que se deve integrar os seguintes critérios:

1. **Massa** – devem incluir-se no estudo as entradas que, acumuladas, contribuam com uma percentagem superior a um valor preestabelecido relativamente ao total das entradas no sistema considerado. Optou-se por desprezar os equipamentos e seus materiais que, cumulativamente, corresponderem a menos de 5% da massa do fornecimento. Esta análise não foi criteriosa do ponto de vista matemático, resultou antes de uma análise de sensibilidade e da consulta de especialistas.
2. **Energia** – deve incluir-se no estudo todas as entradas que, acumuladas, contribuam com uma percentagem superior a um valor preestabelecido relativamente ao total da energia consumida pelo sistema. O inventário dos consumos de energia foi minucioso.
3. **Relevância ambiental** – para as substâncias com impactes ambientais considerados significativos, deve estabelecer-se uma quantidade para a qual as entradas devem ser representadas. Neste estudo, procurou inventariar-se exaustivamente estas substâncias.

3.3.2 Recolha de informação

Esta etapa é muito importante para aperfeiçoar a definição de fronteiras. Com efeito, não interessa discretizar equipamentos ou processos sobre os quais não se detém informações fidedignas e significativas, bem como poderá ser útil decompor outros em subprocessos relevantes (FERRÃO, 1998). Da mesma forma, não tem interesse para o estudo entrar em detalhe exagerado, uma vez que é comum que o benefício daí advindo não seja significativo, desperdiçando-se meios e recursos desnecessariamente. Desta forma, adoptou-se a metodologia de não considerar aspectos cujos impactes não são significativos quando comparados com o ciclo de vida dos componentes num todo.

Segundo FERRÃO (1998) e a Série ISO 14040 (1997) existem várias fontes de informação possíveis. O quadro seguinte lista-as e evidencia quais as fontes utilizadas, incluindo outras.

| | Fontes de Informação | Utilização | Observações |
|------------------------------------|---|------------|---|
| FERRÃO ou Norma ISO | Artigos científicos | ✓ | Utilização pontual |
| | Estatísticas de foro ambiental | X | Não aplicável |
| | Enciclopédias técnicas | ✓ | Sobretudo em revisões bibliográficas |
| | Informação interna às empresas | ✓ | Diversos contactos com empresas |
| | Associações de produtores | X | Não aplicável |
| | Fornecedores de equipamento | ✓ | Diversos contactos com empresas |
| | Outros estudos de ACV | ✓ | Durante a pesquisa bibliográfica |
| | Bases de dados | ✓ | Fonte de informação crucial no estudo |
| Utilização específica | Dados da DGEG | ✓ | Aplicável pontualmente |
| | Estudo de Impacte Ambiental | ✓ | Primeiro contacto com o projecto |
| | Cadernos de Encargo dos fornecimentos | ✓ | Fontes de informação importantes para o inventário dos materiais e produtos utilizados e afectos à unidade funcional. |
| | Documentos das propostas de fornecimento | ✓ | |
| | Manuais de manutenção dos equipamentos | ✓ | |
| Catálogos dos produtores | ✓ | | |
| Chave | ✓ - consideração plena pelos aspectos. | | |
| | X – não se consideraram os aspectos. | | |
| | X/✓ - consideraram-se os aspectos, até certo ponto. | | |

Quadro III.2 – Fontes de informação utilizadas.

Podem distinguir-se dois tipos de informação: a informação de primeiro e de segundo plano. A informação de primeiro plano (*foreground data*, como se designa na literatura inglesa), refere-se à informação específica necessária à modelação do sistema em estudo, e representa, tipicamente, a informação que descreve o produto e um sistema particular de produção. A informação de segundo plano (*background data*) é a informação para materiais genéricos, energia, transporte e gestão de resíduos, tratando-se da informação típica das bases de dados e literatura (GOEDKOOOP, 2006).

Esta distinção nem sempre é fácil, e depende do objecto da ACV. No caso de se estar a estudar, por exemplo, uma máquina de lavar a louça, pode considerar-se que o camião usado no transporte não constitui algo de muito importante no sistema, pelo que os dados a recolher serão somente relacionados com a distância do transporte e a eficiência de carga. No entanto, no caso de se estar a estudar o ciclo de vida de um camião, não se pode usar os dados *standard* dos camiões, ter-se-á, nesse caso, que averiguar as emissões e outras características mais específicas. Por conseguinte, considera-se a informação relativa aos camiões, no primeiro caso, informação de segundo plano, e no segundo caso, de primeiro plano (GOEDKOOOP, 2006).

O manual de ACV da Pre-Consultants: *SimaPro 7 – Introduction to LCA* (GOEDKOOOP, 2006), sugere que se adopte a seguinte metodologia para a recolha de dados: deve começar-se por fazer uma ACV preliminar, usando as informações disponíveis nas bases de dados do *SimaPro*, averiguando depois quais as informações já obtidas e aquelas que são ainda necessárias. Para essas, devem procurar-se na base de dados informações relativamente semelhantes ao que se pretende, procedendo de seguida a uma análise sobre a importância dessas informações para a qualidade da ACV. Mediante esse exercício, pode tirar-se conclusões acerca da informação realmente importante, sobre a qual a pesquisa deve incidir.

No caso particular deste estudo, tornou-se impossível, por diversos motivos, adoptar a metodologia mais desejável. Em primeiro lugar, uma central hidroeléctrica goza de grande complexidade (bem diferente de um produto convencional), pelo que seria impraticável estudar especificamente todos os aspectos relevantes, sendo este estudo afectado por um conjunto finito de recursos. Por outro lado, na simulação preliminar que foi efectuada, identificaram-se como principais impactes: a utilização de energia eléctrica durante o período de exploração da central; o consumo de cimento e os consumos de aço e cobre. Ora, efectuar uma ACV da energia eléctrica utilizada constitui um trabalho paralelo, além de que seria muito especulativo, uma vez que é difícil prever como será o *mix energético* nacional num horizonte tão alargado como quase 50 anos [espera-se, aliás, um contributo superior de fontes de energia renováveis]. Em relação ao cimento, efectuou-se um contacto com a Cimpor, que forneceu parte do cimento utilizado na obra. No entanto, não foram recebidas em tempo útil as informações pedidas, pelo que teve que se recorrer à base de dados do *software*. Por fim, em relação aos aços e cobre, seria igualmente muito trabalhoso e moroso avaliar os processos e os impactes dos seus ciclos de vida, pelo que, mais uma vez, se recorreu às bibliotecas do *SimaPro*.

No entanto, para os aspectos para os quais não se encontrou informação disponível nas bases de dados, procurou colmatar-se essas falhas através buscas de dados alternativas.

3.3.2.1 Base de dados do software utilizado – Ecoinvent

Segundo o GOEDKOOOP (2006), o *SimaPro*, o *software* utilizado, dispõe de uma vasta base de dados, a *Ecoinvent*, que foi utilizada no estudo e disponibiliza informações sobre 2500 processos. Foi divulgada em 2003, e constitui o resultado de um enorme esforço levado a cabo por institutos suíços, de forma a actualizar as bases de dados ETH-SEU 96 e a BUWAL250, entre outras.

A *Ecoinvent* tem as seguintes características principais:

- Inclui uma grande gama de dados;
- Está disponível para processos unitários e sistemas de processos;
- É uma aplicação consistente com as fronteiras dos sistemas e atribuição de contribuições;
- Está bem documentada;
- Tem especificações sobre as informações com incerteza, com a distribuição normal e desvio padrão;
- As emissões são diferenciadas em subcompartimentos, por exemplo, as emissões para o ar podem ser feitas em áreas com elevada densidade populacional ou para a estratosfera (apesar de os métodos de avaliação de impacte não considerarem ainda estas diferenças);
- Considera os bens de produção *standards* (pode desligar-se no *software* esta opção), o que é muito importante nas centrais hidroeléctricas e nos sistemas de transporte;
- Sofre actualizações frequentes.

Pode por isso concluir-se que a base de dados do *SimaPro* é bastante fiável e completa.

3.3.3 Metodologia de caracterização do transporte

3.3.3.1 Determinação das distâncias percorridas

Para efectuar as simulações relativas ao transporte dos equipamentos e materiais, a metodologia adoptada consistiu em avaliar as distâncias percorridas, entre as fábricas e a obra, e, sempre que possível, inventariar os percursos intermédios - entre fábricas e armazéns, etc. Para tal, recorreu-se ao site da ViaMichelin (www.viamichelin.com), que fornece um valor aproximado das distâncias percorridas em estrada. Identificou-se os pontos de origem dos equipamentos e materiais, mediante diversas pesquisas e contactos, estabelecidos com empresas fornecedoras e subfornecedoras e com a equipa de projecto. Em relação aos transportes marítimos, as distâncias percorridas foram estimadas com base num site (www.world-register.com) que, indicando os portos de origem e destino, dá como *output* as distâncias pretendidas.

3.3.3.2 Simulações

Procurou-se sempre obter as informações mais específicas possíveis relativas ao transporte: capacidade dos camiões, número de percursos efectuados, massa e dimensão das maiores peças a transportar, etc., de forma a correctamente imputar os impactes.

É conveniente discutir as opções de que se dispõe quando se trabalha com o *SimaPro*. Existem duas formas de simular o transporte. Uma delas é indicar o valor da grandeza carga-distância, em que se assume, naturalmente, que os meios de transporte – camiões, navios, vão cheios, ou seja, com a carga máxima.

Uma simulação com base nesta grandeza poderá ter problemas. Repare-se nestes dois casos:

| | Carga | Distância | Carga-distância |
|---------------|-------|-----------|-----------------|
| CASO A | 28 t | 100 km | 2.800 t·km |
| CASO B | 30 t | 93 km | 2.800 t·km |

Quadro III.3 – Caso exemplificativo de caracterização de um transporte.

Verifica-se, nestes dois casos, que a grandeza carga-distância, toma iguais valores. No entanto, se se efectuar o transporte em camiões de capacidade igual a 28 toneladas, facilmente se conclui que os impactes imputáveis do transporte no caso A são inferiores aos impactes imputáveis no caso B (se o transporte for dedicado), uma vez que, neste último, tem que se efectuar dois percursos para fazer o carregamento, pelo que a distância percorrida é superior (dupla). Desta forma, a simulação efectuada será válida para as seguintes situações:

- Quando são necessários tantos percursos que não haja variação significativa no que respeita esta questão logística do transporte;
- Para transportes não dedicados, em que o camião circula com a carga máxima, e os impactes restantes são correctamente imputados à carga restante;
- Ou ainda para transportes dedicados, com carga máxima ou próxima.

No entanto, para carregamentos menores, em que a carga a transportar é da mesma ordem de grandeza que a capacidade do camião, é importante ter em consideração o número de percursos efectuados. Ora, quando se trata de transportes dedicados, e se simula o transporte com um camião de 28 toneladas, muitas vezes o camião não leva a carga máxima, pelo que, na verdade, os impactes do transporte são totalmente imputáveis à carga em questão, coisa que não é considerada no *software*, aquando da simulação que somente entra com a grandeza carga-distância. Atentando no exemplo dado, observa-se que, a carga de 30 toneladas necessitaria de dois camiões, e provavelmente seria distribuída por estes equitativamente. Uma vez que os impactes resultantes do transporte não são reduzidos proporcionalmente com a redução das cargas, há uma grande diferença entre as duas logísticas, que não é considerada na simulação.

Por conseguinte, a estratégia adoptada para os casos em que se trata de carregamentos dedicados, com massas da ordem de grandeza da capacidade dos camiões, foi a de dividir a carga pela capacidade dos camiões, obtendo um número inteiro de percursos efectuados. Para esses, optou-se por fazer a simulação disponível, com camiões cheios, inserindo a grandeza

distância que é pedida, naturalmente indicando a distância total, ou seja, multiplicando a distância percorrida pelo número de percursos efectuados. Alternativamente, efectuou-se a simulação com a grandeza carga-distância, uma vez que os camiões seguem cheios. Para os percursos dedicados em que o meio de transporte não circula à carga máxima, a simulação foi feita de maneira algo diferente. Para cada meio de transporte, foi feito o levantamento, na base de dados, das emissões de CO₂, para os camiões cheios ou vazios. Naturalmente, existem algumas diferenças. A partir daí, estabeleceu-se a seguinte função que relaciona a taxa de carga dos camiões (percentagem de carga relativamente à capacidade do camião) com as emissões de CO₂, considerada linear:

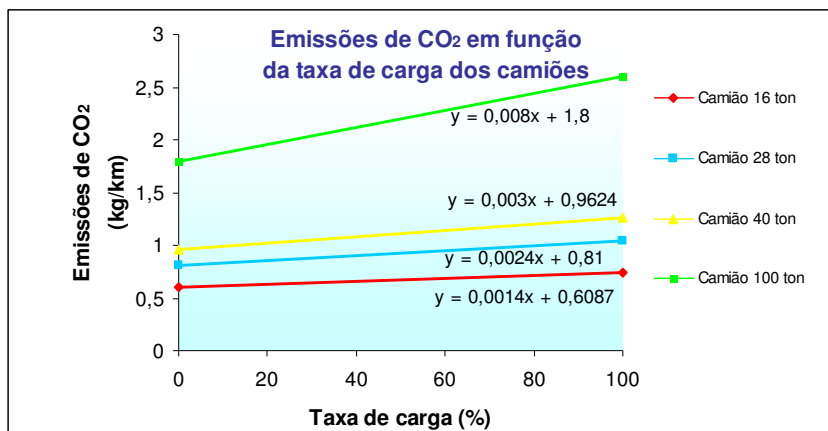


Figura III.1 – Relação entre as emissões de CO₂ e a taxa de carga de camiões.
 Fonte: [emissões de CO₂ dos camiões de 16, 28 e 40 t obtidas da base de dados Ecoinvent do *SimaPro*; emissões dos camiões de 100 t obtidas através de consulta telefónica a Transportes Gonçalves, SA.]

Desta forma, confirma-se que simular o transporte dedicado, com carga diferente da carga máxima, considerando o camião cheio (ou vazio) poderá ter algum erro, que se pode tornar significativo (em valor absoluto) para grandes distâncias. Por conseguinte, nesses casos, fez-se a simulação para uma distância equivalente, naturalmente menor do que se o camião fosse cheio (porque as emissões, para cargas inferiores, são menores). Isto é, usando como indicador a emissão de CO₂, estimou-se, para cada caso, a distância para a qual os impactes do transporte no camião não cheio (carga medida em % da capacidade) igualariam os impactes do transporte do camião cheio, para a distância efectivamente percorrida. É de notar que esta aproximação poderá ter algum erro, na medida em que nem todos os impactes podem ser aferidos pelas emissões de CO₂. Não obstante, tratando-se este de um bom indicador dos consumos de combustível, considera-se razoável considerar os impactes proporcionais às emissões de CO₂.

No que diz respeito aos camiões de 100 toneladas (utilizados para alguns transportes, e uma vez que não constam da base de dados do *software*), recorreu-se a uma transportadora nacional, a Transportes Gonçalves, no sentido de averiguar quais as emissões típicas destes camiões de transporte especial, cheios e vazios. O valor indicado foi de 260 kg de CO₂ por 100 km percorridos, com a carga máxima. Também se indicou que os consumos variavam entre os 60 e os 85 L/100 km, consoante o camião circulasse vazio ou cheio, respectivamente. Com

base nestes valores, pôde estimar-se a emissão para o camião vazio: cerca de 180 kg CO₂/100 km. Ora, a base de dados não dispõe de simulações para transportes com capacidade para 100 toneladas. Desta forma, adoptou-se, para esses casos, uma metodologia específica. Optou-se por efectuar a simulação do transporte com um camião de 40 toneladas, mas para uma distância equivalente. Essa distância é aquela para a qual a emissão de CO₂ é igualada à emissão do transporte com o camião de 40 toneladas.

Assim, e resumindo, para transportes não dedicados, utilizou-se a simulação com base na grandeza carga-distância, que assume que o camião vai cheio e por isso imputa os impactes às diversas cargas. Para transportes dedicados, com cargas elevadas, utilizou-se a ferramenta de simulação dos camiões cheios e, para os carregamentos em que o camião não ia cheio, utilizou-se a simulação com camião cheio, mas dando como *input* a distância equivalente ao invés da distância efectivamente percorrida.

Por fim, é de referir que também se consideraram os impactes advindos do retorno dos camiões às fábricas, naturalmente vazios.

3.3.3.3 Limitações

Importa mencionar algumas nuances. Quando determinado transporte não é dedicado, as distâncias percorridas não são iguais à distância entre os pontos de origem e destino, isto é, se um carregamento provier da Alemanha e não for dedicado, terá pontos de paragem e não efectuará, certamente, o percurso optimizado para o fornecimento para a obra sobre a qual incide o estudo. Por conseguinte, a distância efectivamente percorrida é superior àquela que seria percorrida caso o transporte fosse dedicado. Por outro lado, para transportes não dedicados, os impactes vão sendo cada vez mais imputáveis às cargas que são as últimas a ser distribuídas. Com efeito, as cargas vão sendo cada vez menores, à medida que os fornecimentos vão sendo efectuados, sendo que os impactes não são reduzidos na mesma proporção. Desta forma, é importante ressaltar que também para transportes não dedicados, o método tem alguns erros. Ainda assim, na impossibilidade de determinar os pontos de paragem efectuados, assumiu-se a distância entre os pontos de origem e a obra.

A metodologia adoptada nem sempre considera, por impossibilidade, questões logísticas do transporte relacionadas com as dimensões das cargas. Nas propostas de fornecimento, foram identificadas as peças maiores e de maiores massas, de forma a perceber que equipamentos necessitariam de um transporte dedicado, ou cujas massas não pudessem ser dissociadas. Vejamos: pode facilmente identificar-se um fornecimento de 50 toneladas, e fazer uma simulação considerando que este se divide em duas cargas de 25 toneladas. A verdade é que, para componentes como os que são tratados neste estudo, isso dificilmente é possível. Desta forma, procuraram identificar-se essas situações e dividir correctamente as cargas, tentando simular a logística efectivamente adoptada, apesar das dificuldades encontradas, devido à falta de informações disponíveis acerca do transporte dos equipamentos.

3.4 Avaliação de impactes ambientais

O *SimaPro* tem inúmeros métodos disponíveis para a avaliação dos impactes, sendo que cada um contém várias categorias de impacte [Para compreender melhor esta interacção com o *software*, leia-se 6, a partir da página 51].

De acordo com o disposto na norma ISO 14042 (1997), os métodos de avaliação de impactes têm elementos obrigatórios, como a possibilidade de classificação e caracterização dos impactes; e elementos opcionais, como a normalização, o *ranking*, o *grouping* e a atribuição de pesos. No capítulo de Avaliação de Impactes [Vide 6, a partir de página 51] ilustram-se alguns destes elementos.

Um dos passos mais importantes na avaliação de impactes, é a selecção das categorias de impacte a considerar, que deve ser apoiada pelo que foi definido no Âmbito do estudo. Para isso, pode começar-se por definir os *endpoints* (Eco-Indicator 99, Methodology Report, <http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm>) ou seja, os aspectos ambientais de preocupação, como a saúde humana, a extinção de espécies, a disponibilidade de recursos, etc. A Norma ISO (1997) não estabelece quais deverão ser os *endpoints* considerados, mas prevê uma selecção e uma definição dos mesmos cuidadosa e rigorosa. De seguida, pode então escolher-se as categorias de impacte, desde que o modelo ambiental que liga a categoria de impacte ao *endpoint* esteja bem descrito.

A ISO (1997) estabelece como sendo indispensável avaliar impactes no que concerne aspectos como o uso do solo, as partículas finas, e o ruído. Assim, à partida, a ISO exclui os seguintes métodos:

- *CML 92*, uma vez que não inclui nenhuma das categorias referidas;
- *Eco-indicator 95*, já que não inclui as categorias de uso do solo, ruído e depleção de combustíveis fósseis;
- *Eco-indicator 99*, já que não inclui a categoria de ruído;
- *EPS 2000*, que, apesar de incluir todas as categorias importantes, não as estuda em grande profundidade.

Apesar de não incluir a categoria ambiental de ruído, o método *Eco-indicator 99* é muito usado. No EIA do Empreendimento de Venda Nova II (1998) o ruído, na fase de construção, foi considerado significativo e de elevada magnitude, mas temporário, reversível e recuperável, sendo que, na fase de exploração, foi classificado como de magnitude média. No entanto, foram propostas as medidas de minimização adequadas, pelo que se considera aceitável desprezar os impactes advindos do ruído, justificando desta forma a opção tomada de escolher o método *Eco-indicator 99*, que aliás foi o método sugerido, e é utilizado no Instituto Superior Técnico. Neste, os *endpoints* admitidos são: a Saúde Humana, a qualidade dos ecossistemas e os recursos. Os danos na saúde humana são expressos em DALY [Vide páginas 25 e 26]; os danos na qualidade dos ecossistemas são expressos em percentagem de espécies em stress numa determinada área devido à carga ambiental. Esta definição não é tão homogénea como a da Saúde Humana, envolvendo aspectos como a ecotoxicidade, acidificação e eutrofização, e

o uso e transformação do solo. Por fim, o último *endpoint*, de extracção de recursos está relacionado com parâmetros que expressam a qualidade dos recursos minerais e fósseis remanescentes.

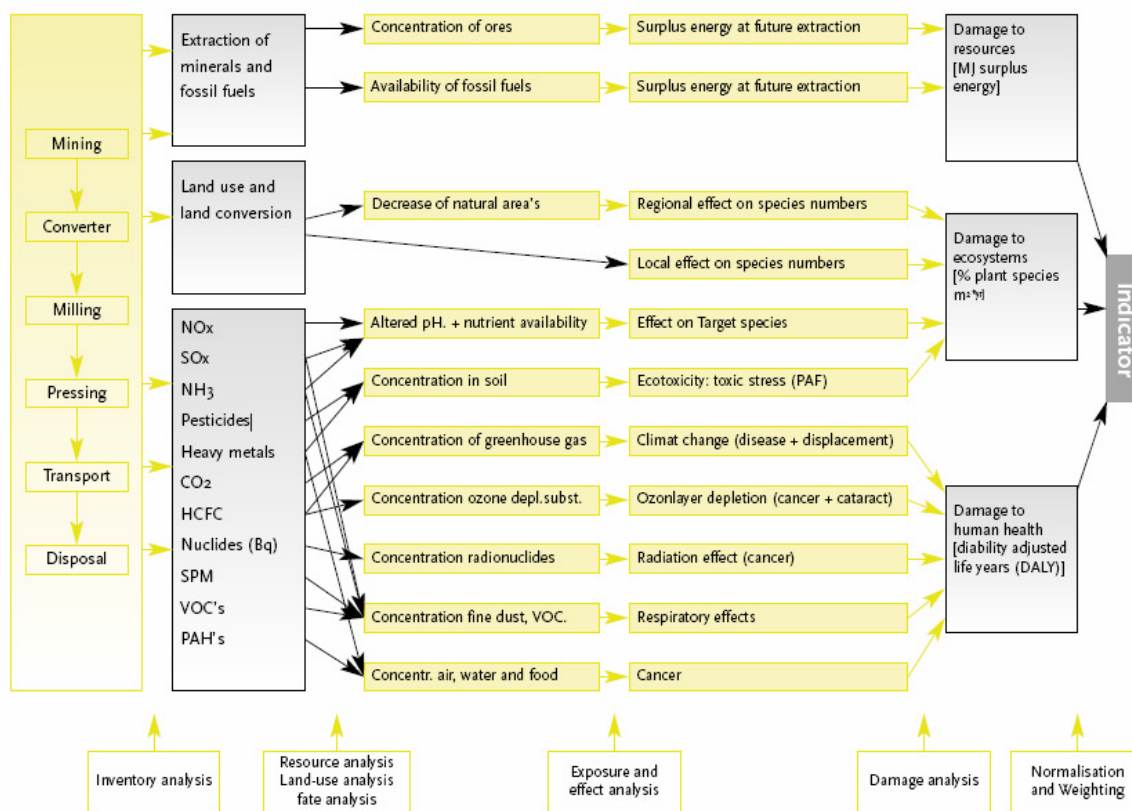


Figura III. 2– Cadeia metodológica do método Eco-indicator 99 até obtenção do Ecoindicador, Fonte: [Eco-indicator 99 – Manual for designers: A damage oriented method for Life Cycle Assessment, 2000,]

A figura III.2 ilustra o método Eco-indicator 99. As emissões de substâncias gasosas, sólidas e líquidas, ocupação de solo e extracção de minerais e combustíveis fósseis são sucessivamente convertidas até se atingir as categorias de impacto ambiental (como a ecotoxicidade, acidificação e eutrofização, as alterações climáticas, etc.), que, através de uma análise de danos – *damage analysis*, são convertidas nos *endpoints* do método, e, por normalização e atribuição de pesos (factores de ponderação), chega-se ao Eco-indicador (medido em pontos, Pt, milipontos, mPt, etc.), que permite ter um valor absoluto dos impactos, comparável (interpretação segundo FERRÃO, 1998 e GOEDKOOP, 2006). A atribuição do eco-indicador por material e processo é apresentada pela Pre-Consultants no Manual for Designers (2000).

Os resultados do inventário de ciclo de vida são relacionados com as categorias de impactos seleccionadas. A fase de classificação estabelece a correspondência entre um conjunto de intervenções ambientais listadas na tabela de Inventário e um conjunto de categorias ambientais (FERRÃO, 1998). Por exemplo, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de metano (CH₄), podem ser englobadas na categoria de impacto Aquecimento Global,

assim como as emissões de dióxido de enxofre (SO₂) e amônia (NH₃) podem ser agrupadas na de Acidificação. É também de referir que pode ligar-se emissões a mais do que uma categoria de impacto, como é o exemplo do SO₂, responsável pela acidificação e por causar doenças respiratórias, ou seja, implicando com a saúde pública (GOEDKOOOP, 2006).

É mencionado na norma internacional ISO um procedimento que salvaguarda a possibilidade de uma substância não poder provocar dois efeitos simultaneamente. Com efeito, se uma molécula de SO₂ for inalada, não pode provocar acidificação. O método do *SimaPro Eco-indicator 99*, que é o método utilizado no estudo, contempla esta questão, reconhecendo que não são as emissões as responsáveis pelos danos no ambiente, mas a concentração da substância no mesmo.

No método do *Eco-indicator 99*, o indicador para as alterações climáticas é expresso com base na DALY, ou seja, *Disability Adjusted Life Years*, que é uma unidade usada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e pelo Banco Mundial (BM). O indicador para a categoria de impacto de acidificação é expresso em percentagem da redução da biodiversidade numa área, ao longo de um determinado período. Apesar da evidente dificuldade de calcular estes indicadores, já que tem que considerar um modelo ambiental global, e dos erros inerentes, a interpretação é mais fácil. Este modelo faz uma “*fate analysis*”, ou seja, descreve o processo desde a emissão do poluente até à sua manifestação em termos dos indicadores de impacto ambiental. Por exemplo, uma substância, quando é emitida, é transportada para o ar, solo e água, e as concentrações que vai atingir nesses meios dependem das suas características, bem como das dos compartimentos ambientais. Outro aspecto a considerar é a degradabilidade da substância, que tem grande importância em termos dos impactos que advêm da sua emissão. Nestes métodos, é modelada a transferência da substância através dos compartimentos e a sua degradação, podendo depois determinar-se a sua concentração no ar, no solo, na água e nos alimentos. Com base nesses valores, é determinada a exposição, ou seja, a quantidade de substância que é assimilada pelas pessoas, pelas plantas e pelas restantes formas vivas. Uma vez determinada a exposição, é possível prever quais as doenças que levam à morte prematura ou à geração de problemas de saúde, bem como a sua frequência. Assim, pode determinar-se, por exemplo, quantos anos de vida ou quantos anos de saúde se perdem. Por fim, as doenças previsíveis podem ser expressas nas unidades de DALY, através de uma atribuição de pesos para cada tipo de problema de saúde.

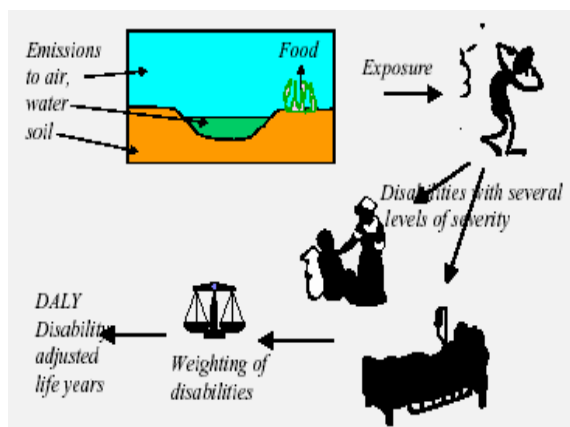


Figura III.3 – Ilustração da “*fate analysis*” do método Eco-Indicator 99, Fonte: [SimaPro 7 – Introduction to LCA, Pre-Consultants,(GOEDKOOOP,2006).]

Este modelo faz uma “*fate analysis*”, ou seja, descreve o processo desde a emissão do poluente até à sua manifestação em termos dos indicadores de impacto ambiental. Por exemplo, uma substância, quando é emitida, é transportada para o ar, solo e água, e as concentrações que vai atingir nesses meios dependem das suas características, bem como das dos compartimentos ambientais. Outro aspecto a considerar é a degradabilidade da substância, que tem grande importância em termos dos impactos que advêm da sua emissão. Nestes métodos, é modelada a transferência da substância através dos compartimentos e a sua degradação, podendo depois determinar-se a sua concentração no ar, no solo, na água e nos alimentos. Com base nesses valores, é determinada a exposição, ou seja, a quantidade de substância que é assimilada pelas pessoas, pelas plantas e pelas restantes formas vivas. Uma vez determinada a exposição, é possível prever quais as doenças que levam à morte prematura ou à geração de problemas de saúde, bem como a sua frequência. Assim, pode determinar-se, por exemplo, quantos anos de vida ou quantos anos de saúde se perdem. Por fim, as doenças previsíveis podem ser expressas nas unidades de DALY, através de uma atribuição de pesos para cada tipo de problema de saúde.

Uma vez que tenham sido definidas as categorias de impacto e os resultados do inventário atribuídos a cada uma das categorias, é necessário definir factores de

caracterização, que devem expressar a contribuição relativa dos resultados do Inventário no indicador da categoria de impacto. Por exemplo, o metano, CH₄ e o dióxido de carbono, CO₂, são ambos GEE, mas têm contribuições diferentes para esse efeito, por unidade de massa. Assim, a caracterização é o passo inerente ao método que pondera os contributos dos diferentes aspectos à categoria ambiental (GOEDKOOOP, 2006).

Para a caracterização, de entre as opções disponíveis, optou-se pela perspectiva Hierarquista, já que tem em consideração, em termos temporais, um balanço entre o curto e longo prazo, e as informações introduzidas são baseadas no consenso. O quadro seguinte evidencia esta perspectiva e as restantes, que foram preteridas:

| Perspectief of basishouding | Time perspective | Manageability | Required level of evidence |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| H (Hierarchist) | Balance between short and long term | Proper policy can avoid many problems | Inclusion based on consensus |
| I (Individualist) | Short time | Technology can avoid many problems | Only proven effects |
| E (Egalitarian) | Very long term | Problems can lead to catastrophe | All possible effects |

Quadro III.4 – Diferentes perspectivas disponíveis do método Eco-Indicator 99, Fonte: [Eco-indicator 99 – Manual for designers: A damage oriented method for Life Cycle Assessment, 2000]

O método utilizado, o Eco-indicator 99, pondera por fim as categorias ambientais e obtém um indicador, o Eco-indicador. Interessa conhecer as categorias ambientais do método utilizado. O quadro seguinte sintetiza as informações relevantes sobre esse assunto:

| Categoria ambiental | Descrição |
|-----------------------------|---|
| Carcinogenia | O aparecimento e desenvolvimento de doenças cancerosas é favorecido por diversas intervenções ambientais, como a radioactividade, o amianto, o fumo de tabaco, a radiação ultravioleta, certos compostos químicos, etc.. Esta categoria indica a probabilidade que um individuo, exposto a 1 µg/m ³ de uma determinada substância (por exemplo, arsénio) tem de desenvolver cancro. |
| Camada de ozono | Avalia a diminuição do ozono na estratosfera, o que provoca uma menor absorção da radiação ultravioleta, aumentando a sua incidência na superfície e provocando o aumento de doenças humanas (melanomas, por exemplo) e desequilíbrios no ecossistema. |
| Combustíveis fósseis | O excedente de energia é baseado no uso futuro de betumes e areias asfálticas. A categoria tem em consideração a descoberta de petróleo e a sua extracção. O conhecimento de geologia está suficientemente avançado para se saber que não serão descobertos grandes novos poços (Campbell, 1998). |
| Respiração Orgânicos | Categoria de Saúde Humana relacionada com a respiração de compostos orgânicos. |
| Eco-toxicidade | A Eco-toxicidade é expressa como sendo a percentagem de espécies presentes no ambiente que habitam em stress ecológico, Potentially Affected Fraction (PAF). O método foi desenvolvido pela RIVM for the Dutch Environment Outlook (MEENT AND KLEPPER, 1997) |
| Respiração Inorgânicos | Categoria de Saúde Humana relacionada com a respiração de compostos inorgânicos. |
| Acidificação / Eutrofização | Avalia os efeitos da acidificação das chuvas devido à presença na atmosfera de compostos que baixam o pH da chuva. A Acidificação provoca o aumento da acidez no meio, com efeitos na flora e fauna. A Eutrofização, por sua vez, resulta de uma excessiva concentração de nutrientes, e origina o aparecimento de algas em grande quantidade. A sua morte e decomposição consome grande parte do oxigénio na água, tornando-a um meio abiótico para a maior parte dos seres vivos. |
| Alterações Climáticas | Avalia o aumento da temperatura global do planeta devido à emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera. |
| Uso de solo | O Uso de solo e a sua transformação são baseados em informação empírica de ocorrência de plantas vasculares como função dos tipos de uso de solo e áreas. |
| Radiação | Mede as diferentes formas de radiação. |
| Minerais | São utilizados modelos geoestatísticos que relacionam a disponibilidade de um minério com a sua concentração. A qualidade dos recursos minerais diminui com a extracção. |

Quadro III.5 – Caracterização das categorias de impacto do método Eco-Indicator 99, Fonte: [Eco-indicator 99 – Manual for designers: A damage oriented method for Life Cycle Assessment, 2000]

4 Caracterização do objecto de estudo

4.1 Relevância ambiental da central e seu contributo no mix energético

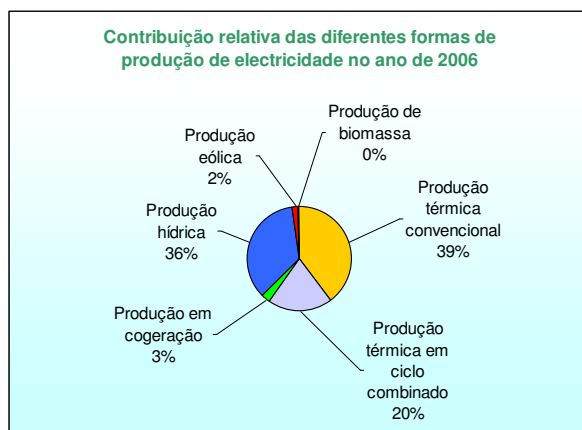


Figura IV.1 – Contribuição relativa das diferentes formas de produção de electricidade em 2006, Fonte: [Adaptado de Relatório e Contas, Caderno de Sustentabilidade, EDP, 2006]

O gráfico da figura IV.1 apresenta, para o ano 2006, a contribuição das diferentes formas de produção de electricidade na energia produzida em Portugal. Note-se desde logo, para estes valores, a importância da hidroelectricidade, ainda que se tenha a noção de que as produções dependem do ano hidrológico.

As preocupações ambientais da sociedade actual em muito estão relacionadas com os consumos energéticos, em especial devido às fontes de combustão, móveis ou fixas.

O EIA do Empreendimento de Venda Nova II (1998) assume a necessidade de construção sucessiva de centros de produção de electricidade, com base em estudos estatísticos que revelam que os consumos de energia sofrem aumentos anuais. Este, assume também que a hidroelectricidade é uma forma de produção de energia por via renovável, bastante menos agressiva para o meio ambiente que outras formas convencionais, ainda que existam impactes nas fases de construção e exploração. Assinala contudo as virtudes, que nesta Tese se sublinham, desta forma de produção de energia eléctrica. Efectivamente, a produção de uma central hidroeléctrica evita, alternativamente, a produção de electricidade numa central térmica, cuja exploração é muito mais impactante.

Por outro lado, a energia hidroeléctrica serve-se de um recurso endógeno, ao invés de contribuir para a dependência directa de combustíveis fósseis. Além disso, pode contribuir para a “animação” da economia, provocada pela construção deste tipo de empreendimentos, com recurso à engenharia portuguesa de alto nível e elevada incorporação de mão-de-obra e materiais portugueses.

Não se apresentam os incrementos ambientais decorrentes da alternativa hidroeléctrica face à térmica, uma vez que, para tal, seria necessário avaliar o ciclo de vida de uma central térmica [o que pode ser feito futuramente, tendo todo o interesse]. Contudo, pode afirmar-se peremptoriamente que o ciclo de vida de energia hidroeléctrica é menos impactante do que o das centrais térmicas, devido à fase de exploração (EIA, 1998).

4.2 Caracterização da área de implantação da central e circuito hidráulico

O empreendimento que é objecto da presente ACV localiza-se a 300 m de profundidade, na serra da Cabreira. Ocupa a margem esquerda do rio Rabagão, no lugar de Frades, freguesia de Ruivães, concelho de Vieira do Minho, inserindo-se na bacia do rio Cávado. Pode localizar-se a central observando a figura VI.2.

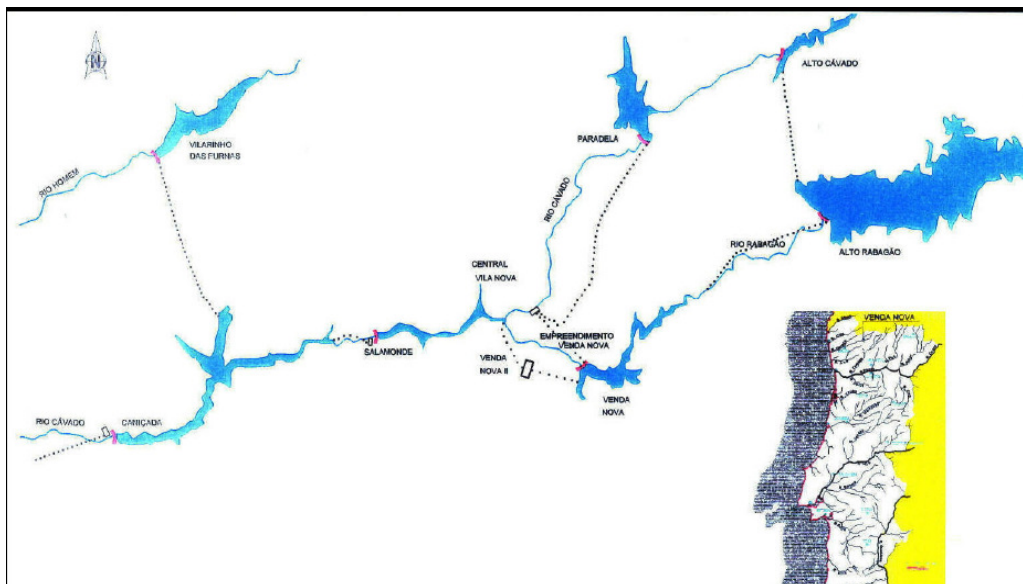


Figura IV.2 – Esquema e localização da central hidroelétrica de Venda Nova II, Fonte: [RNT do EIA, 1998]

O troço final do rio Rabagão encontra-se localizado nos concelhos de Vieira do Minho e Montalegre, numa região de baixa densidade populacional. A zona é normalmente designada por Alto Portugal, com paisagens de “montanha de granito e xisto – níveis pastoril e florestal”, onde se enquadram as albufeiras de Venda Nova e Salamonde. A margem direita do rio Cávado coincide com a fronteira do Parque Nacional Peneda-Gerês. O troço do vale em questão tem encostas de declives elevados, associados a altitudes entre os 300 e os 700 m (EIA, 1998).

Os solos são maioritariamente de granitos e rochas afins, tendo capacidades de uso bastante limitadas, sendo utilizados essencialmente para fins florestais. Desta forma, as vertentes, encontram-se, de uma forma geral, revestidas com mato e sujeitas a alguns afloramentos rochosos, à excepção das margens das linhas de água de maior expressão, ricas em mananciais de águas subterrâneas, com vegetação arbórea e arbustiva exuberante (EIA, 1998).

4.3 Descrição geral do projecto

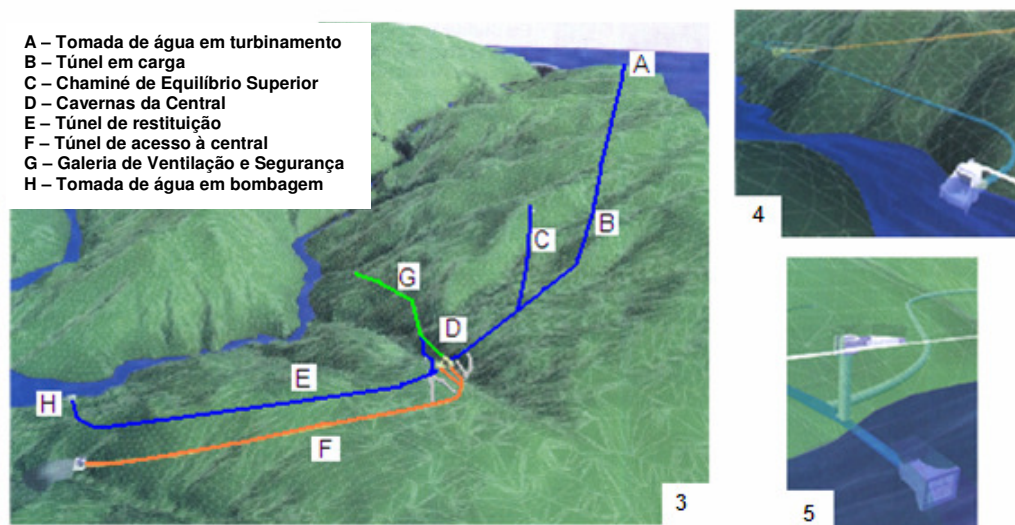
As obras de construção civil envolvidas no projecto do aproveitamento hidroelétrico de Venda Nova compreenderam a realização do circuito hidráulico, das cavernas de central e dos

transformadores, do edifício de apoio e posto de corte e seccionamento e da execução das vias de comunicação e acessos em túnel.

Mais do que descrever detalhadamente a central de Frades, interessa que se entenda as suas infraestruturas e dimensões. O quadro e a figura seguintes constituem uma boa ilustração disso mesmo:

| | |
|------------------------------------|--|
| Localização | Frades, Vieira do Minho, distrito de Braga |
| Características gerais | |
| Entrada em serviço | 2005 |
| Curso de água | Rabagão |
| Tipo de aproveitamento | Albufeira |
| Potência total instalada | 191,6 MW |
| Nº de grupos | 2 (reversíveis) |
| Turbina | |
| Tipo de turbina | Francis (vertical) |
| Caudal máximo turbinável | 51 m ³ /s |
| Queda bruta máxima | 422 m |
| Queda bruta mínima | 400 m |
| Potência nominal | 191.600 kW |
| Velocidade nominal | 600 r.p.m. |
| Alternador | |
| Potência aparente nominal | 106 MVA |
| Tensão nominal | 16512 kV |
| Transformador | |
| Potência nominal | 113 MVA |
| Razão de transformação | 165/12 kV |
| Produtibilidade média anual | 220 GWh (com contribuição de bombagem) |

Quadro IV.1 – Características do Aproveitamento Hidroeléctrico de Frades,
Fonte: [EDP, Centros Produtores, 2006]



Figuras IV.3, 4 e 5 – Esquemas da central e elementos do circuito hidráulico:
3– Esquema geral do projecto;
4 – Modulação em 3D da tomada de água em bombagem (Salamonde);
5 – Modulação em 3D da tomada de água em turbinamento (Venda Nova),
Fonte: [Revista *Engenharia e Vida*, Abril de 2004]

5 Inventário de ciclo de vida

5.1 Introdução e memória descritiva

O inventário de ciclo de vida da central de Frades constituiu a etapa mais morosa e importante do estudo. Foram efectuadas pesquisas e leitura das propostas de fornecimento, a principal fonte de informação do projecto em si. Efectuaram-se inventários de equipamentos e fornecimentos, tendo-se procurado as informações relevantes a respeito dos materiais.

Realizaram-se diversas deslocações ao Porto, para reunir com membros da equipa de projecto, esclarecendo dúvidas e pedindo informações, documentos e contactos e efectuaram-se várias visitas à central. O capítulo de Inventário de Ciclo de Vida é muito extenso, pelo que se encontra organizado por fases do ciclo de vida: Construção e Produção, e Exploração. Dentro das fases de construção e exploração, o inventário está dividido por fornecimentos e inclui pequenas reflexões metodológicas, consideradas oportunas e que se julgam não perturbar o ritmo de leitura.

5.2 Fase de construção e produção

5.2.1 Fornecimento da empreitada principal de engenharia civil

O fornecimento da Empreitada Principal de Engenharia Civil ficou a cargo da Somague, através de um consórcio entre esta e a Mota & Companhia e Moniz da Maia, e Serra & Fortunato - Empreiteiros. As informações presentes neste capítulo advieram da leitura da Proposta de Fornecimento – Empreendimento de Venda Nova II – Empreitada de Engenharia Civil. As restantes informações, que deste documento não advieram, são apresentadas com as respectivas referências.

5.2.1.1 Descrição do fornecimento

No âmbito do fornecimento da Empreitada Principal de Engenharia Civil constaram as obras relacionadas com a escavação, construção da central, acessos, edifício de apoio, e infra-estruturas inerentes. Foi montado um estaleiro principal, junto à estrada da galeria de acesso à central, dotado de várias instalações industriais, como uma central de betão, que utilizou os inertes resultantes da britagem dos granitos escavados, stockagem de inertes, central de britagem, diversas oficinas, armazéns, carpintaria, estaleiro de corte e fabrico de armaduras, etc.

As obras de engenharia civil tiveram a duração de 52 meses, não considerando as obras preliminares. Nesse período, o empreiteiro adquiriu energia eléctrica da rede, e consumiu gásóleo, abastecendo assim as máquinas em funcionamento das restantes empreitadas.

Para as escavações executadas, foram utilizados Jumbos Hidráulicos, perfuradoras, martelos pneumáticos e outros equipamentos de furação, procedendo-se de seguida à

aplicação de explosivos, fornecidos pela SPEL. A recolha do escombro foi feita, através de Dumpers articulados, sendo estes depois depositados em escombreciras.

No que respeita o betão, o cimento utilizado foi Portland tipo I, classe 42,5 R, tendo sido fornecido a granel, e tendo provindo, numa primeira instância, da Cimpor de Souselas, e mais tarde, da Baticim, da Turquia. As britas e os inertes resultaram da britagem de rocha granítica escavada.

O aço estrutural utilizado foi fornecido pela J. Justino e Florêncio Chagas. As *Swellex* foram fornecidas pela Atlas Copco, sendo da linha *Premium*, de aço, e, de forma a rever os principais materiais envolvidos no fornecimento, há que mencionar igualmente as madeiras das cofragens, que na sua maioria foram de pinho (as de contraplacado tiveram pequena expressão).

5.2.1.2 Inventário dos consumos de energia eléctrica e gasóleo

Segundo fontes da EDP, a factura da energia eléctrica notifica que o valor adquirido totalizou os 6,8 M€ de energia eléctrica. Existia na obra um posto de seccionamento e transformação, pelo que se chegou à conclusão que houve tarifa única. A potência total instalada na obra foi, segundo informações retiradas da proposta de fornecimento da Empreitada Principal de Engenharia Civil, de 6245 kVA. A tarifa considerada, para essa potência, foi de 0,06 €, o que perfaz um total de 6,13 GWh de energia eléctrica consumida.

Por outro lado, o gasóleo consumido na obra, da Galp, de acordo com as informações cedidas, foi de cerca de 550.000 L.

Não houve consumos de outras fontes de energia.

5.2.1.3 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações

Mediante os diversos contactos estabelecidos com a equipa de projecto responsável por Venda Nova II, foram sendo obtidos os dados, tanto qualitativos como quantitativos, no que diz respeito aos materiais e matérias-primas envolvidos no fornecimento da empreitada. A par desse contacto, utilizou-se os cadernos de encargos e os documentos da proposta de fornecimento do consórcio vencedor.

Materiais constituintes dos betões:

Em relação ao betão, houve duas grandes utilizações para este. O betão projectado, que totalizou os 20.000 m³ e o betão moldado, que perfaz cerca de 65.000 m³. Analisaram-se os dados respeitantes ao betão moldado, disponibilizados num documento cedido pela equipa de projecto, e desta análise resultou o seguinte quadro:

| Material / matéria-prima | kg / m ³ de betão | Quantidade total (10 ³ kg) |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Cimento tipo Portland tipo I 42,5 R | 332 | 21580 |
| Cinzas | 142 | 9230 |
| Sílica de fumo | 3 | 195 |
| Areia fina natural | 0 | 0 |
| Adjuvante Viscocrete 3000 | 4,9 | 318,5 |
| Água | 186 | 12090 |

Quadro V.1 – Quantitativos de materiais do betão moldado, Fonte: [adaptado de dados cedidos pela equipa de Projecto HidroRumo, em documento pdf: *Venda-Nova II e Ponte Frades/Cabril, Composições em vigor*]

Consideraram-se desprezáveis os autonivelante e auto-compactável, uma vez que as suas utilizações foram pontuais (fonte da EDP).

No que diz respeito ao betão projectado, os dados disponibilizados resultaram no seguinte quadro:

| Material / matéria-prima | kg / m ³ de betão | Quantidade total (10 ³ kg) |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Cimento tipo Portland tipo I 42,5 R | 410 | 8.200 |
| Cinzas | 0 | 0 |
| Sílica de fumo | 40 | 800 |
| Areia fina natural | 0 | 0 |
| Adjuvante Viscocrete 3000 | 6,2 | 124 |
| Água | 215 | 4.300 |

Quadro V.2 – Quantitativos de materiais do betão projectado, Fonte: [Idem]

Finalmente, o quadro seguinte indica os totais de materiais utilizados nos dois tipos de betão:

| Material / matéria-prima | Quantidade total (kg) |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Cimento tipo Portland tipo I 42,5 R | 29.780.000 |
| Cinzas | 9.230.000 |
| Sílica de fumo | 995.000 |
| Areia fina natural | 0 |
| Adjuvante Viscocrete 3000 | 442.500 |
| Água | 16.390.000 |

Quadro V.3 – Totais de materiais utilizados no betão

Não foram incluídas as informações respeitantes às britas e areias uma vez que os impactes advindos da sua utilização não serão imputados directamente, sendo que esse assunto será discutido oportunamente [Vide página 53].

Aços:

Identificaram-se as principais utilizações dos aços ao carbono, tendo estes sido fornecidos pela J. Justino e Florêncio Chagas (fornecimento em quantidades idênticas). Assim, os aços utilizados em armaduras, ou seja, na armação dos betões, trataram-se de aços do tipo A400 NR, e as quantidades usadas totalizaram as 3.000 toneladas, segundo dados fornecidos durante o contacto com a equipa de projecto. As pregagens utilizadas perfizeram 1.050 toneladas de aço do mesmo tipo. Estas informações foram devidamente cruzadas com o que era apresentado nos cadernos da proposta do fornecimento. Por fim, em termos de *Swellex*, fornecidas pela Atlas Copco contabilizaram-se 1.370 unidades de 2,5 m, 19.900 unidades de 3,0 m e 410 unidades de 4,0 m. Desta forma, investigou-se, para a linha *Premium* (*Swellex* de aço), mediante contacto com a Atlas Copco, quais as quantidades de aço correspondentes, tendo-se obtido o quadro seguinte:

| Comprimento (m) | Massa unitária (kg) | Quantidade utilizada na obra | Massa total de aço (kg) |
|-----------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|
| 2,5 | 6,60 | 1.370 | 9.042 |
| 3,0 | 8,15 | 19.900 | 162.185 |
| 4,0 | 10,73 | 410 | 4.399 |
| TOTAL | | | 175.626 kg |

Quadro V.4 – Contabilização da massa de aço utilizada nas Swellex

Por conseguinte, no que diz respeito ao aço utilizado na Empreitada de Engenharia Civil, obtém-se os valores indicados no quadro seguinte:

| Aplicação | Observações | Quantidade (ton) |
|---|---|------------------|
| Armaduras | Valores indicados por membros da equipa de projecto e confirmados com valores da proposta de fornecimento | 3.000 |
| Pregagens | | 1.050 |
| Pranchas de aço canelado tipo Gescoriac | Considerado não significativo (fonte da EDP) | |
| Rede de aço do tipo A500 EL (malha-sol) | Considerado não significativo (fonte da EDP) | |
| Swellex | 1.370 Unidades de 2,5 m, 19.900 unidades de 3,0 m, 410 unidades de 4,0 m. São linha Premium | 176 |

Quadro V.5 – Totais de aços utilizados na Empreitada de Engenharia Civil

Madeiras:

As madeiras utilizadas na empreitada principal de engenharia civil relacionam-se com as cofragens. Os dados recebidos revelam que as cofragens atingiram os 42.500 m² de moldes. De acordo com informações prestadas, cada molde foi utilizado, regra geral, 3 vezes. Assim, é aceitável considerar a área dos moldes de um terço da indicada. Por fim, assumindo 0,06 m³

de madeira/m² de molde (RIBEIRO, 2003), obteve-se o resultado de 850 m³ de madeira utilizada pela empreitada em descrição. Consultou-se a Revista *Arquitetura e Vida* (NERO, 2001), e, conseqüentemente, considerou-se uma densidade igual a 0,62 ton/m³, obtendo-se um fornecimento aproximado de 530 toneladas de madeira.

As cofragens foram feitas, na sua maioria, a partir de moldes de pinho, sendo que os moldes de contraplacado não tiveram expressão, pelo que são desprezados (fonte da EDP). O quadro seguinte sintetiza o que foi apresentado:

| Observações | Quantidade (m ³) |
|---|---|
| Regra geral, cada molde foi usado 3 vezes, pelo que se dividiu a área de cofragem por 3 | 42.500 m ² de cofragem ⇒ 14.167 m ² de madeira = 850 m ³ (considerando 0,06 m ³ madeira/m ²). |

Quadro V.6 – Contabilização da madeira utilizada nas cofragens

Explosivos:

Para proceder à escavação dos túneis e das galerias, recorreu-se a explosivos, como já foi referido. Os valores indicados pelo consórcio construtor notificam que se utilizou cerca de 950.000 kg de explosivos, valores esses que procuraram ser sustentados. Assim, procedeu-se a variados cálculos, com base nos valores apresentados nos cadernos da proposta do fornecimento, de cargas de explosivo por unidade de volume escavado, para cada classe de rocha, e considerando as diferentes secções do túnel e galerias. Apresenta-se de seguida, muito simplificada, o mecanismo de cálculo seguido:

| Dados | Cálculos |
|---|---|
| - Cerca de 7.500 m de túnel; - Carga de explosivo média para os túneis: 100 kg/m; - Galerias com 1.500 m; - Carga de explosivo para as galerias: 130 kg/m. | $7500 \text{ m de túnel} \cdot 100 \text{ kg de explosivo/m de túnel} +$ $1500 \text{ m de galeria} \cdot 130 \text{ kg explosivo/m de galeria} \approx$ $\approx 950.000 \text{ kg de explosivos}$ |

Quadro V.7 – Mecanismo de cálculo relativo à determinação dos quantitativos de explosivos utilizados

Foi cedida a informação de que os explosivos usados seriam amonites e gelamonites, não tendo sido divulgada a proporção usada. De acordo com o relatório emitido pela NPI (National Pollutant Inventory), publicado em Março de 1999 pelo Governo Australiano, *Emission Estimate Technique Manual for Explosive Detonation and Firing Ranges*, as amonites são explosivos adequados para demolições, trabalhos de construção e minas, e as gelamonites para trabalhos de construção e minas. Assim, sendo ambos os tipos adequados para as escavações, assumiu-se que a proporção utilizada foi 1:1, ou seja, que foram utilizados 475 toneladas de amonites e 475 toneladas de gelamonites.

5.2.1.4 Caracterização do transporte

O transporte dos materiais de construção durante a fase de obra foi feito de formas distintas. De seguida apresenta-se a sua caracterização:

Materiais constituintes dos betões:

O betão usado na obra foi fabricado na central de betão de que dispunha o estaleiro. As britas e areias provieram da britagem da rocha escavada.

Como já se apresentou, a quantidade de cimento usada foi de cerca de 30.000 toneladas. Ora, este cimento teve duas origens diferentes. Os fornecedores do cimento foram, numa primeira fase, a CNE, que recorreu à Cimpor de Souselas, e, a partir de Outubro de 2002, o cimento foi proveniente da Baticim da Turquia. A Cimpor de Souselas terá, segundo informações disponibilizadas pela equipa de projecto da central de Frades, mediante outros contactos, fornecido cimento para cerca de 25.000 m³ de betão, o que, com base numa média assumida de 350 kg de cimento por m³ de betão, corresponde a cerca de 9.000 toneladas de cimento, sendo as restantes 21.000 toneladas fornecidas pela cimenteira turca (correspondentes aos restantes 60.000 m³ de betão). Note-se que se assumiu uma média de 350 kg de cimento por m³ de betão, mantendo consistentes os dados apresentados no Quadro V.3, uma vez que se contabilizou 29.780.000 kg de cimento, correspondendo esta quantidade a 85.000 m³ de cimento (20.000 m³ de betão projectado e 65.000 m³ de betão moldado).

Mediante o contacto telefónico com o serviço técnico comercial da Cimpor, obteve-se a informação de que o transporte terá sido efectuado em camiões de 25 toneladas. Por outro lado, e de acordo com a metodologia adoptada, verificou-se que a distância em estrada entre Souselas e Frades é de cerca de 220 km [Vide 3.3.3.1, páginas 19 e 20].

O cimento proveniente da Turquia, por sua vez, foi transportado por barco até Aveiro e depois transportado de camião de Aveiro para o estaleiro. Foram transportadas 21.000 toneladas de cimento da Turquia, de barco, transporte esse que não foi dedicado. Por fim, seguindo a metodologia já mencionada, verificou-se que a distância entre o porto da Turquia e o porto de Aveiro é de cerca de 4.260 km [Vide 3.3.3.1, páginas 19 e 20].

Aços:

Os aços, como já foi mencionado, foram fornecidos pela J. Justino e Florêncio Chagas. O fornecimento totalizou cerca de 4.500 toneladas, e foi feito por camiões com reboque (12 m) e capacidade de carga de 25 toneladas. Foi cedida a informação (por parte da equipa de projecto) de que a J. Justino e a Florêncio Chagas terão fornecido os aços em proporção 1:1. Por conseguinte, consideraram-se cargas iguais de 2.250 toneladas de aço, transportadas em camiões de 25 toneladas.

De acordo com a metodologia adoptada [Vide 3.3.3.1, páginas 19 e 20], a distância entre as instalações da J. Justino, em Fátima, e a obra, é de cerca de 300 km.

O aço fornecido pela Chagas, sendo do tipo A400, de acordo com o contacto com o departamento comercial da empresa, terá provindo da Siderurgia Nacional (na Maia). A informação prestada não foi muito explícita, não havendo certeza se o fornecimento foi feito directamente a partir da Siderurgia Nacional ou de Torres Vedras (sede da Florêncio Chagas), pelo que se considera o pior dos cenários, ou seja, aquele que envolve as maiores distâncias

percorridas. Assim, o transporte da Maia, até Torres Vedras perfaz cerca de 290 km. Por outro lado, a distância de Torres Vedras até Frades é de cerca de 370 km.

Madeiras:

Relativamente às madeiras utilizadas para cofragem, o fornecimento foi feito por empresas locais, não se conhecendo as distâncias percorridas no seu transporte. Desta forma, assumiu-se uma distância média percorrida de 50 km por fornecimento.

Explosivos:

O abastecimento de explosivos foi feito cerca de duas vezes por semana, de manhã, em carregamentos de cerca de 4 toneladas. O consumo de explosivos foi de 950 toneladas. O paiol situava-se na zona de Campos, distando cerca de 5 km da obra.

Gasóleo:

O abastecimento de gasóleo Galp totalizou cerca de 550.000 litros. O estaleiro detinha um depósito e bombas para abastecimento de 15.000 litros, e o combustível Galp proveio da refinaria de Leça da Palmeira (Matosinhos), percorrendo-se cerca de 110 km para efectuar o abastecimento.

5.2.2 Fornecimento do equipamento hidromecânico

O fornecimento do equipamento hidromecânico foi assegurado pela ALSTOM.

5.2.2.1 Descrição do fornecimento

O fornecimento do equipamento hidromecânico contemplou os equipamentos da tomada de água inferior (em bombagem) - grades de protecção, comportas ensecadeiras, balancim, guiamientos e apoios – e da tomada de água superior (em turbinamento) – grades de protecção, comporta de segurança, comporta ensecadeira e todo o manancial de acessórios e componentes inerentes.

5.2.2.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações

Estudou-se com pormenor a proposta da ALSTOM para o fornecimento do equipamento hidromecânico e desenvolveu-se um mapa de materiais, cujo preenchimento foi assegurado através das leituras efectuadas, consulta de esquemas, descrições técnicas, etc.. Mais tarde, numa oportuna deslocação ao Porto, em contacto com membros da equipa do projecto, foi cedido acesso a manuais de manutenção do equipamento fornecido pela ALSTOM, a partir dos quais foi possível confirmar, sustentar ou corrigir dados.

O Quadro A1.1 (Anexo I) constitui o resultado dessa pesquisa. Faz-se referência aos valores das propostas e do manual de manutenção. As informações do manual de manutenção são mais fiáveis, já que os manuais são elaborados após o fornecimento, pelo que foram esses os valores assumidos.

5.2.2.3 Caracterização do transporte

Procedeu-se ao levantamento da origem dos equipamentos. Os equipamentos associados à comporta vagão da tomada de água superior, o tabuleiro, o servomotor, o armário hidráulico e as peças fixas, provieram do Porto, perfazendo cerca de 17 toneladas, e estes equipamentos foram transportados num camião de 25 toneladas. A comporta ensecadeira, o tabuleiro, guincho e peças fixas perfazem cerca de 15 toneladas e tiveram origem também no Porto tendo sido o transporte feito igualmente em camião de 25 toneladas. Por fim, o equipamento da tomada de água inferior – tabuleiro, grades, balancim e peças fixas – perfazendo cerca de 63 toneladas, foi transportado em conjunto, em camiões de 25 toneladas.

5.2.3 Fornecimento da ponte rolante

A ponte rolante foi fornecida pela Tegopi.

5.2.3.1 Descrição do fornecimento

A ponte rolante constituiu um dos fornecimentos sujeitos a concurso. Os elementos principais que a constituem são as vigas resistentes e os carros laterais ligadas entre si por parafusos de alta resistência. O carro guincho principal é formado por uma estrutura fabricada em perfis e vigas caixão, com capacidade para 140-25 toneladas. A ponte goza igualmente de um carro guincho auxiliar (8 toneladas), em consola. O equipamento eléctrico principal da ponte são os motores, de fabrico DEMAG, de rotor em curto-circuito e cónico ou rotor cilíndrico e em curto-circuito.

5.2.3.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações

Para efectuar o inventário dos materiais constituintes da ponte rolante, recorreu-se a diversas leituras e visualização de figuras e catálogos que estavam incluídos nos documentos da Tegopi da proposta de fornecimento. No entanto, a informação não se encontrava muito acessível e surgiram diversas dificuldades para reunir o que era pretendido. Numa deslocação ao Porto, em que foram disponibilizados os documentos relativos aos planos de manutenção do equipamento, obteve-se com relativa facilidade as massas dos 3 componentes que constituem a ponte rolante: a estrutura global, o carro guincho principal e o carro guincho auxiliar. Assim, de acordo com o manual de manutenção, a massa da estrutura é de 33.700 kg, a massa do carro guincho principal 14.000 kg e do carro guincho auxiliar 1.500 kg.

Apesar da credibilidade desta informação, considerou-se conveniente fazer algum tipo de confirmação. Por conseguinte, a metodologia específica adoptada consistiu em inventariar

de forma exaustiva, através dos esquemas, plantas, descrições técnicas e catálogos, todos os itens de um dos 3 componentes da ponte, de forma a verificar a consistência entre os dados. Decidiu adoptar-se esta metodologia para o carro guincho principal, tendo-se julgado este significativo do fornecimento. O Quadro A1.2 (Anexo I) é o reflexo da pesquisa e inventário desenvolvidos no sentido de verificar qual a massa desse carro guincho.

A massa obtida desta forma revelou-se suficientemente aproximada da que é indicada no manual de manutenção para se afirmar que existe consistência nos dados. A partir das massas obtidas, e com base nos materiais de cada item, estabeleceu-se a seguinte proporção: 98% de aço ao carbono, 1% de cobre e 1% de alumínio, proporção essa que se considerou também para a estrutura da ponte e para o carro guincho auxiliar.

Desta forma, os valores de massa para cada componente, indicados no manual de manutenção foram assumidos como válidos e a proporção entre os materiais considerada foi a apresentada. Destas ideias resulta o seguinte quadro:

| Componente | Massa total (kg) | Massa de aço (kg) | Massa de cobre (kg) | Massa de alumínio (kg) |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Estrutura | 33.700 | 33.026 | 337 | 337 |
| Carro guincho principal | 14.000 | 13.720 | 140 | 140 |
| Carro guincho auxiliar | 1.500 | 1.470 | 15 | 15 |

Quadro V.8 – Inventário de materiais da ponte rolante

5.2.3.3 Caracterização do transporte

Mais uma vez, em reunião com membros da equipa do projecto, foi disponibilizada a informação de que os principais componentes do fornecimento eram produzidos nas instalações fabris da Tegopi, em Vila Nova de Gaia, sendo posteriormente transportados por camião até Venda Nova II. Os motores e mecanismos DEMAG foram produzidos na Alemanha e foram transportados daí para Vila Nova de Gaia.

De acordo com as informações que constavam dos documentos da proposta da Tegopi analisados, a maior peça a transportar teria 23 toneladas, e 18,5 m de comprimento, o que obrigou a que se fizesse um transporte especial. Assim, em contacto com a Direcção Comercial da empresa, obteve-se a informação de que se utilizou um camião extensível a 21 m, com capacidade para cerca de 25 toneladas. O restante fornecimento foi assegurado por um camião clássico de 25 toneladas.

5.2.4 Fornecimento dos grupos reversíveis

Os grupos turbina-bomba foram fornecidos pela Voith-Siemens.

5.2.4.1 Descrição do fornecimento

O fornecimento da Voith-Siemens compreende duas turbinas-bombas, tipo Francis, com eixo vertical, com espiral, distribuidor, técnica de regulação, tubo de sucção, instalação geral de refrigeração, assim como os alternadores-motores com dispositivos de excitação, conversor de arranque e instalação de CO₂ contra incêndios. A potência de cada grupo é de 101 MVA.

Os grupos têm capacidade de turbinar 51 m³/s, a uma velocidade nominal de 600 r.p.m.

5.2.4.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações

Para inventariar os materiais que constituem o fornecimento dos grupos reversíveis, a metodologia adoptada foi, uma vez mais, a leitura da proposta do fornecimento. Esta destacava um mapa de materiais e pesos bastante completo, o que simplificou a pesquisa, mas exigiu o cruzamento de dados. Com efeito, procurou-se atestar as informações contidas no Questionário Técnico e nos mapas de materiais, tendo-se, efectivamente, encontrado algumas discrepâncias, que foram ultrapassadas. Desta análise, e da discussão com a equipa de projecto, resultou o Quadro A1.3 (Anexo I).

Para os compressores de ar, do equipamento de desafogamento da roda e do sistema de regulação de velocidade, conseguiu aceder-se somente às massas unitárias. Desta forma, para se obter as composições relativas, considerou-se que estes seriam constituídos por 70% de aço, 20% de cobre e 10% de Policloreto de Vinilo (PVC). Para as bombas da instalação geral de refrigeração e do sistema de regulação de velocidade, considerou-se 80% de ferro e 20% de cobre. Estas assunções resultaram da consulta de especialistas da EDP, pelo que gozam da pertinência e autoridade adequadas.

5.2.4.3 Caracterização do transporte

O fornecimento dos grupos reversíveis teve diversas origens. A comporta ensecadeira da turbina teve origem em Itália (Milão) e o fornecimento – tabuleiros, tampas, caixões e diversos – pesava cerca de 50 toneladas. Também o tubo de aspiração, a conduta forçada e as portas estanques provieram de Itália.

As turbinas-bombas, mais concretamente a roda, o distribuidor, a tampa, o aro de saída e o antedistribuidor vieram do Brasil, da fábrica da Voith-Siemens de São Paulo, tendo por isso sido transportadas por navio a partir do porto de Santos ou de S. Sebastião (não foram disponibilizadas as informações pretendidas, no entanto, as diferenças entre as distâncias não são significativas), até ao Porto, e daí para Venda Nova, por camião. A massa deste fornecimento atingiu as 170 toneladas (2 x 85 toneladas). Em relação ao transporte da fábrica até ao porto de São Paulo, não foram obtidos os dados desejáveis. Assim, tratando-se de uma pequena distância, optou-se por não considerar a simulação deste transporte, que não foi dedicado, pelo que os impactes imputáveis ao ciclo de vida da central de Frades deverão ser pouco relevantes.

As válvulas esféricas provieram também do Brasil, e o fornecimento perfazia cerca de 70 toneladas. Também os alternadores tiveram origem em São Paulo, sendo que, os dois

transformadores tinham a massa de cerca de 540 toneladas. A chumaceira-guia e a chumaceira-combinada, ambas com origem em Inglaterra, totalizavam, respectivamente, cerca de 35 e 3 toneladas.

Os veios das turbinas, por sua vez, provieram de Reinoso, Espanha, e a sua massa era de 50 toneladas (2 x 25 toneladas).

O sistema de refrigeração dos grupos, com massa igual a cerca de 6 toneladas, proveio da Alemanha, à semelhança da chumaceira (massa de 6 toneladas).

O fornecimento do conversor estático de frequência (CEF), num total de cerca de 20 toneladas, proveio da Alemanha.

5.2.5 Fornecimento dos transformadores de grupo

Os transformadores de grupo foram fornecidos pela EFACEC.

5.2.5.1 Descrição do fornecimento

Os transformadores fornecidos pela EFACEC são do tipo CORE (colunas, concêntricos), permitindo o funcionamento do alternador como gerador, bomba ou compensador. A sua arquitectura interna permite o seu funcionamento quer como abaixador quer como elevador da tensão. Os transformadores têm um sistema de arrefecimento constituído por dois hidropermutadores de calor óleo/água.

5.2.5.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações

De forma a efectuar o inventário dos materiais que constituem os transformadores de grupo, procedeu-se, à semelhança do que se tinha feito para os outros fornecimentos, à leitura exhaustiva dos cadernos de encargos e documentos relativos à proposta do fornecimento. Assim, com base em descrições técnicas, catálogos e questionários técnicos, obteve-se as informações figurantes no Quadro A1.4 (Anexo I).

5.2.5.2 Caracterização do transporte

A fábrica da EFACEC que forneceu os transformadores de grupo tem sede na Arroteia, freguesia de Leça do Basílio, concelho de Matosinhos. Como tal, o equipamento foi transportado dali para Venda Nova, sendo somente esse o transporte a simular. De acordo com o contacto estabelecido com a EFACEC, o tempo de trânsito das peças principais, desde a fábrica até à entrada no túnel da central, foi de 24h, e dos acessórios, de 5 horas por cada camião. As duas maiores peças transportadas dos transformadores, tinham 94.000 kg cada, tendo-se recorrido a plataformas da empresa Transportadora Gonçalo, designadas por “pescoços” com 4 + 4 linhas de eixos, tendo o transporte das duas peças sido efectuado em dias distintos. A totalidade dos acessórios para os dois transformadores foi transportada em dois camiões de 13 m de comprimento, por 2,4 m de largura.

5.2.6 Fornecimento da instalação complementar de produção

A instalação complementar de produção foi fornecida por um consórcio EFACEC-Siemens.

5.2.6.1 Descrição do fornecimento

Em termos de complexidade, este foi o maior fornecimento. Com efeito, o consórcio EFACEC-Siemens forneceu as instalações de comando e controlo centralizado, com os servidores do empreendimento e periféricos, o quadro de teleregulação, telecomando, as unidades remotas de comunicação (URC's), autómatos das chaminés, quadro de sincronização horária, equipamentos de medição de níveis e pressão, telecontagem e redes de dados. No que diz respeito à instalação de comando e controlo distribuído, foram fornecidos autómatos de comando, unidades remotas terminais (URT's), autómato da tomada de água em turbinamento, painéis auxiliares de comando, etc. As instalações à tensão de produção e de média tensão foram também do âmbito do fornecimento, bem como as instalações de bombagem (drenagem da central e túnel de restituição), instalações de ventilação e climatização, instalações de utilização geral (sistema de iluminação, telecomunicações, instalações de segurança) e, por fim, o ascensor.

5.2.5.2 Inventário de materiais e metodologia de aquisição de informações

O inventário da Instalação Complementar de Produção, ICP, foi o mais moroso e difícil, por diversos motivos. Em primeiro lugar, a proposta de fornecimento era constituída por muitos volumes, em que a informação pretendida não se encontrava discriminada nem sequer, por vezes, encadeada nas centenas de páginas de descrição técnica das instalações fornecidas. Começou pois por se estudar exaustivamente os documentos disponíveis, procedendo-se simultaneamente a um inventário preliminar, sob a forma de um quadro que atingiu as dezenas de páginas. De seguida, procurou estabelecer-se as categorias principais (ou seja, agruparam-se na mesma categoria os equipamentos que teriam proporções idênticas de materiais), desprezaram-se os equipamentos que, no seu conjunto, não teriam massas expressivas face às restantes (com contributo global inferior a 5%, Vide 3.3.1) e sistematizou-se assim o exercício de pesquisa que seria depois necessário.

Obtido já um inventário com as categorias principais a considerar do fornecimento da ICP, ocorreram algumas reuniões com a equipa de projecto do Porto e membros da EDP Produção, ligados à exploração do sistema Cávado-Lima. Também na sequência de diversas visitas à central, foram recolhidas as informações mais importantes relativas ao fornecimento. Consultaram-se manuais de manutenção, fichas técnicas dos equipamentos, etiquetas dos mesmos, contaram-se equipamentos cuja contabilização não era apresentada nos documentos da proposta, discutiram-se as proporções de materiais a admitir para cada tipo de equipamento, etc. Deste esforço resultou o Quadro A1.5 (Anexo I).

De seguida apresentam-se os principais comentários à metodologia usada para alguns dos resultados apresentados no quadro.

Considerou-se aceitável fazer a contabilização de diversos componentes (servidores, consolas de operação, unidades centrais, URC's, URT's, autómatos) em conjunto, uma vez que, em termos de materiais e suas proporções, estes equipamentos são muito idênticos. Por conseguinte, fez-se a sua contabilização, a partir de um esquema da rede de dados, obtido através do contacto estabelecido com profissionais da exploração do sistema Cávado-Lima, e, de seguida, cruzando esta informação com os documentos da proposta, nomeadamente catálogos, apresentou-se o resultado em *número de computadores equivalentes*, ou seja, aproximou-se cada elemento contabilizado a um determinado número de computadores, para o qual se estabeleceu uma massa de material electrónico igual a 5 kg.

Procedeu-se, num dos dias que durou a visita à central, com apoio logístico e técnico adequados, à contabilização dos armários de electrónica, constituídos pela estrutura do armário, construído com 60 kg de aço, e pelo material electrónico no seu interior, ao qual se atribuiu uma massa de 40 kg (fonte da EDP).

Relativamente aos quadros eléctricos de comando e controlo, procedeu-se também às devidas contagens, sendo que as massas atribuídas ao material eléctrico dependeram muito da sua aplicação. Ao abrir os quadros, tornaram-se evidentes algumas diferenças entre os armários, tendo sido encontrados armários vazios, para os quais, obviamente, só foram contabilizadas as estruturas. Em relação ao material eléctrico adoptou-se uma proporção básica: 60% de ferro, 20% de PVC e 20% de cobre. As mesmas proporções foram assumidas para os normablocos contabilizados (fonte da EDP).

Foram identificados dois grupos diesel: o do edifício de apoio e da tomada de água. Para ambos, as massas foram obtidas na proposta de fornecimento e confirmadas no próprio local, consultando as etiquetas dos mesmos. Assumiu-se para estes uma proporção de 80% de ferro e o restante de cobre (fonte da EDP).

Foram contabilizadas as baterias, consultadas as suas massas e a proporção de matérias considerada foi de 90% de Chumbo e 10% de PVC. De acordo com os dados da Tudor, as baterias ácidas têm cerca de 7 kg. Por outro lado, as baterias alcalinas têm 1,75 kg. Estas são as massas das baterias secas. No que diz respeito aos fluidos electrolíticos, é de referir que as baterias ácidas têm cerca de 6 L e as alcalinas 1,5 L. Para ambas a proporção entre o electrolito e a água destilada é de 3:7 (fonte da Tudor).

Fez-se também, durante uma das visitas à central, a contabilização dos disjuntores, bem como o levantamento das suas massas (nas etiquetas técnicas, manuais de manutenção e documentos da proposta). Considerou-se, com o devido aconselhamento técnico (EDP), que os disjuntores teriam uma proporção de 1:1 em ferro e cobre.

Foi também efectuado o levantamento dos transformadores com óleo, para cada tensão de interligação. Mediante a pesquisa nos documentos do fornecedor, manuais de manutenção e fichas técnicas, obteve-se as massas dos transformadores, tendo-se assumido, para a descobagem, uma proporção de 80% de cobre e 20% de isolante, para o qual a proporção considerada foi de 70% de papel e 30% de madeira (fonte da EDP).

De seguida, identificaram-se os transformadores secos, para os quais se considerou 40% em massa de ferro e o restante de cobre (fonte da EDP), sendo que as massas dos equipamentos foram, mais uma vez, pesquisadas nos documentos do fornecimento, manuais de manutenção, e etiquetas dos equipamentos.

No que diz respeito aos seccionadores (terra, isolamento, gerador, motor, barramento de arranque), assumiu-se uma proporção de 60% de ferro 20% de cobre e 20% de porcelana. Foram igualmente contabilizadas as reactâncias e considerou-se que são constituídas por 90% de cobre e 10% de ferro (fonte da EDP).

Em relação às instalações de ventilação, foram identificados primeiramente os equipamentos significativos, que se resumem aos ventiladores, tubagens e electrobombas. Durante as visitas à central, foram contabilizados os ventiladores, e esta informação foi posteriormente cruzada com a constante dos documentos da proposta de fornecimento. As massas apresentadas no quadro do inventário evidenciam a concordância entre os diversos métodos de recolha das informações. Com efeito, os dados das propostas, manuais, fichas técnicas e etiquetas revelaram-se consistentes. Para os ventiladores, considerou-se 90% de ferro e 10% de cobre (fonte da EDP). Os comprimentos das tubagens foram determinados *in loco*, tendo-se obtido o valor aproximado de 570 m, não existindo, contudo, qualquer forma de confirmação desse dado, uma vez que a EDP Produção aguarda ainda a recepção de manuais de manutenção da instalação de ventilação. Obteve-se acesso ao esquema do circuito, que não disponibilizando contudo a escala, não permitiu justificar o valor apresentado, tendo servido somente para identificar os troços do circuito. As tubagens, em ferro vincado (com tratamento de zinco, desprezável em massa) têm diâmetro interior igual a 0,5 m e espessura de 2 mm (dado cedido pela EDP Produção). Assim, facilmente se determinou o volume do material das condutas, e, com base na sua densidade (Tabela Periódica), a massa de ferro. Em anexo apresenta-se o mecanismo de cálculo utilizado (Anexo II.1).

Em relação às electrobombas, adoptou-se a proporção seguinte: 80% de ferro e 20% de cobre, quer para as da instalação de ventilação, quer para as da refrigeração dos grupos e da instalação de bombagem (fonte da EDP).

Outro aspecto relevante da instalação complementar de produção é a instalação de bombagem da central. Através dos documentos do fornecimento, e esquemas dos manuais de manutenção, identificaram-se os troços da rede de drenagem. Surgiram alguns problemas neste ponto, uma vez que houve alterações ao projecto. Efectivamente, a proposta de fornecimento referia que as tubagens do túnel de acesso ao túnel de restituição eram em PVC quando na realidade estas tubagens foram construídas em Aço Inoxidável. Assim, da leitura da proposta e da interpretação dos esquemas da instalação, identificaram-se os trechos, com as características apresentadas no quadro seguinte:

| Trecho | Comprimento | Diâmetro Nominal | Espessura | Massa específica |
|---|-------------|------------------|-----------|------------------|
| Central | 2 x 185 m | DN 250 | 4 cm | 26,9 kg/m |
| | 1 x 185 m | DN 250 | 3 cm | 20,2 kg/m |
| | 1 x 500 m | DN 350 | 3 cm | 26,3 kg/m |
| Túnel de acesso ao túnel de restituição | 1 x 170 m | DN 32 | 0,15 cm | 1,2 kg/m |

Quadro V.9 – Características das tubagens da instalação de bombagem

As massas específicas das tubagens foram obtidas a partir de tabelas normalizadas dos fornecedores, consultadas com o apoio de membros da EDP Produção do Porto, e permitiram, com base nos comprimentos das tubagens, determinar as massas de aço utilizadas. Considerou-se, para os acessórios e suportes, 20% da massa das tubagens, tendo sido esta opção discutida com elementos da equipa de projecto, gozando por isso da pertinência adequada. Estes suportes e acessórios são em aço ao carbono, vulgar.

Durante a visita à central e em reuniões com vários profissionais, tanto da equipa de projecto como do sistema Cávado-Lima, ficou patente que seria impossível determinar sem apoio dos fornecedores as quantidades de cabos eléctricos utilizados na central. Com efeito, pôde constatar-se que havia muitas calhas com cabos de diferentes espessuras, cujos percursos não se encontram informatizados. Assim, numa reunião com a equipa de projecto, foi solicitada a colaboração experiente de um contacto da EFACEC, que divulgou, através de um documento Excel, os comprimentos e as secções dos cabos utilizados na central. Assim, com base nas secções, secções reduzidas (alma dos cabos) e comprimentos dos cabos, foi possível determinar as massas totais dos materiais que compunham o total de 187.200 m de cabos eléctricos.

Em relação aos barramentos, as informações contidas nos documentos da proposta de fornecimento eram adequadas, à excepção do facto de não serem divulgados os seus comprimentos. Assim, com o contributo de membros da equipa de projecto, teve-se acesso a esses valores. De seguida, com base nos materiais constituintes, secções nominais e densidades (massa por unidade de comprimento dos barramentos), determinou-se as massas de materiais destes equipamentos.

Por fim, fez-se também o levantamento das armaduras das lâmpadas. As armaduras das lâmpadas fluorescentes, têm, segundo informações do fornecedor, 2,5 kg de massa, com 60% de ferro, 30% de cobre e 10% de PVC. Por outro lado, as armaduras das lâmpadas de vapor de sódio (e restantes) têm a seguinte proporção de materiais: 60% de ferro, 20% de cobre, e 20% de PVC.

5.2.5.3 Caracterização do transporte

O fornecimento da Instalação Complementar de Produção, à semelhança do que sucedeu para os grupos reversíveis, teve diversas origens. As instalações de 150 kV, tiveram origem em Munique, Alemanha. O fornecimento principal era constituído pelos cabos eléctricos (cerca de 55 toneladas), *Gas-insulated switchgear* (GIS) do edifício de apoio (cerca de 18 toneladas) e GIS da caverna (cerca de 6 toneladas). A distância de Munique até Frades é de

cerca de 2.230 km. As instalações 15/12 kV provieram do Porto, e os transformadores e celas de média tensão perfaziam cerca de 20 toneladas. As reactâncias, e os disjuntores de alternadores, tiveram origem em França (Gemenos), e a massa deste fornecimento foi de cerca de 10 toneladas. A distância é de cerca de 1.470 km. Os barramentos (cerca de 8 toneladas), provieram da EFACEC portuguesa (Vila Nova de Gaia). Quanto aos armários de baixa tensão (cerca de 40 toneladas), provieram de Lisboa. Os grupos Diesel tiveram origem no Reino Unido, desconhecendo-se o porto ou a fábrica de onde foram transportados até Leixões. Desta forma, optou-se por assumir que terão provindo do porto de Aberdeen, sendo a distância deste até Leixões igual a 727 milhas náuticas – 1346 km. Também os ventiladores terão provindo de França. Por sua vez, o acumulador de ar/óleo proveio de Sever do Vouga, tendo sido percorrida a distância de cerca de 175 km.

5.3 Fase de exploração

5.3.1 Considerações

A fase de exploração é uma fase presumivelmente importante do ciclo de vida da central. Existem alguns consumos que poderão ser considerados significativos, que estão subjacentes ao projecto desenvolvido, mais do que propriamente ao regime de exploração, ou seja, à estratégia energética adoptada para a central. Repare-se: dos consumos mais importantes constam a energia eléctrica e o gasóleo – independentes da estratégia energética; os óleos isolantes e lubrificantes – cujo tempo de vida é idêntico sendo ou não o funcionamento dos equipamentos intenso (fonte da EDP). As diferenças nesses consumos, mesmo que as haja, são adoçadas, porque, por kWh produzido, os consumos são menores para centrais com produções líquidas superiores.

A grande dificuldade consiste na elaboração de hipóteses especulativas. Em primeiro lugar, é necessário estimar um tempo de vida para a central, bem como para os equipamentos. Em segundo lugar, é necessário decidir se se consideram eventuais incidentes e avarias, inesperadas. Por outro lado, carece-se de certezas científicas quando se simula a substituição de equipamentos, uma vez que a evolução tecnológica tem ritmo acelerado e é imprevisível num espaço de tempo de algumas dezenas de anos.

É pois conveniente fazer referência a alguns aspectos considerados. Assumiu-se que a central teria um período de exploração até 2050. Esta decisão surgiu de um debate com profissionais do sistema Cávado-Lima, pelo que goza da pertinência devida.

Relativamente aos tempos de vida dos equipamentos, as metodologias adoptadas foram específicas para cada caso. Considerou-se que o tempo de vida dos principais equipamentos, como grupos-reversíveis, transformadores, etc estaria coberto pelo tempo de vida da central. Poderá sempre haver incidentes e avarias, mas essa consideração seria meramente especulativa, além de que seria igualmente complicado prever que tipo de equipamento substituiria o obsoleto ou avariado. Não obstante, para o material electrónico e informático, cuja substituição é altamente previsível, a metodologia adoptada assume 5

substituições durante o ciclo de vida da central. Outro tipo de considerações serão feitas oportunamente, tendo ficado aqui registadas as mais significativas.

5.3.2 Consumos fixos

Como consumos fixos, considerou-se aqueles para os quais é razoável fazer a extrapolação a partir dos valores já registados nos anos de exploração da central, ou seja, aqueles para os quais não há grandes incertezas e que são quase independentes de situações pontuais, ainda que isso não seja absolutamente correcto para o gasóleo, que ainda assim se considera um consumo fixo.

5.3.2.1 Energia eléctrica

Em relação à energia eléctrica, a metodologia adoptada foi a de considerar os consumos registados no ano de 2006, e extrapolá-los para o restante tempo de exploração da central. Assim, fez-se o levantamento dos equipamentos consumidores de energia eléctrica, e, com base nas horas de funcionamento destes, obteve-se os seguintes resultados presentes no Quadro A3.1 (Anexo III). Não se consideraram os consumos de bombagem da água para montante já que estes são feitos com base no excedente de energia eléctrica e/ou energia renovável [Vide 7].

5.3.2.2 Gasóleo

Em relação aos consumos de gasóleo, existem dois grandes pontos de consumo: o grupo diesel de emergência do edifício de apoio e o grupo diesel da tomada de água. Os valores registados em 2005 não são extrapoláveis, já que este se tratou de um ano de ensaios, ficando assinalado o consumo de 10.000 litros. Em 2006, por sua vez, tem-se um valor cuja extrapolação é mais aceitável. É de referir que os consumos de gasóleo considerados pressupõem a ausência de situações de emergência ou de falha de abastecimento de energia. De qualquer forma, majorou-se o consumo anual a 1000 L de gasóleo. Assim:

| Ponto de consumo | Gasóleo consumido em 2006 | Estimativa do gasóleo consumido no tempo de vida da central |
|---|---------------------------|---|
| Grupo diesel de emergência do edifício de apoio | 800 L | - |
| Grupo diesel da tomada de água | 130 L | - |
| TOTAL | 930 L ~ 1000 L | 45.000 L |

Quadro V.10 – Consumos de gasóleo no ano de 2006 e extrapolação para os anos de exploração

5.3.2.3 Outros

Em relação a consumos fixos, pode apontar-se mais alguns significativos, que constam do Quadro A3.2 (Anexo III). Os dados do quadro anterior foram obtidos com o apoio de

profissionais ligados à central de Frades, inclusivamente da empresa de limpeza, e são referentes a 2006, sendo que se fez a extrapolação para o período de exploração da central.

5.3.3 Consumos variáveis

Como consumos variáveis assumem-se aqueles para os quais os anos de exploração da central já ocorridos não podem constituir uma base de extrapolação, bem como os que, embora sejam previsíveis, não são facilmente mensuráveis. Por exemplo, espera-se que venham a ser consumidos materiais absorventes, para recolha de óleos, no entanto, é difícil prever qual o seu consumo, uma vez que este está intimamente relacionado com incidentes, operações de substituição, reparação ou manutenção de equipamentos. A simulação deste tipo de situações será sempre especulativa. Por outro lado, entende-se por consumo variável os próprios equipamentos, materiais e itens que são substituídos durante o tempo de vida da central. De seguida apresentar-se-á as considerações feitas em relação a cada consumo variável, para o ciclo de vida em estudo.

5.3.3.1 Consumos de equipamentos poluentes

Fez-se um levantamento exaustivo dos equipamentos poluentes, bem como dos seus consumos. O Quadro A3.3 (Anexo III) sintetiza as informações relevantes acerca desses equipamentos e dos consumos associados.

Um dos poluentes identificados no quadro referido anteriormente é o SF₆, o hexafluoreto de enxofre. As *Guidelines da IPCC – Revised 1996 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Guidelines for National Greenhouse Inventories*, apresentam as estimativas dos factores de perda em diversos momentos do ciclo de vida do gás. O quadro seguinte apresenta as informações relevantes a respeito das perdas de SF₆ nos equipamentos GIS, nos diversos momentos em que estas ocorrem:

| Momento | Factor de emissão | Factor de incerteza | Factor de emissão majorado | Observações |
|--|-------------------|---------------------|----------------------------|--|
| Produção de SF ₆ | 0,1% | 50% | 0,15% | Não significativo. |
| Fabrico dos equipamentos eléctricos, instalação e comissionamento de GIS | 12% | 25 + 25 = 50% | 18% | 6 % correspondem às emissões durante a produção dos equipamentos e os restantes 6% são emissões <i>on site</i> . Para fabricantes europeus. |
| Fugas e manutenção GIS | 3% | 25% | 3,75% | Porque se tratam de equipamentos novos (depois de 1980). Para taxas de fuga de 0,5% por ano, para 30 anos de tempo de vida dos equipamentos. |
| Factor de emissão total majorado | 21,9 ~ 22% | | | Uma vez que existem impactes não considerados, utiliza-se o total de perdas majorado, ou seja, considerando os factores de incerteza para sobrestimar as perdas. |

Quadro V.11 – Factores de emissão de SF₆ em equipamentos GIS, em diversos momentos do seu ciclo de vida, Fonte: [adaptado de *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*]

Os factores de emissão para os disjuntores são diferentes:

| Momento | Factor de emissão | Factor de incerteza | Factor de emissão majorado | Observações |
|---|-------------------|---------------------|----------------------------|--|
| Produção de SF ₆ | 0,1% | 50% | 0,15% | - |
| Fabrico, instalação e comissionamento dos disjuntores | 29% | 50% | 43,5% | Valor relativo a anos decorridos após 1995; para períodos anteriores a 1970, as fugas são superiores. |
| Fugas e manutenção | 20% | 50% | 30% | - |
| Factor de emissão total majorado | ~74% | | | Uma vez que existem impactes não considerados, utiliza-se o total de perdas majorado, ou seja, considerando os factores de incerteza para sobrestimar as perdas. |

Quadro V.12 – Emissões de SF₆ em disjuntores em diversos momentos do seu ciclo de vida,
Fonte: [adaptado de *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*]

Assim, com base nestes factores de emissão, e considerando os valores indicados no Quadro A3.3 (Anexo III) da contabilização dos equipamentos poluentes, incluindo com SF₆, obteve-se o seguinte quadro:

| Equipamentos | Quantidade de SF ₆ | Factor de emissão considerado | Emissões de SF ₆ no ciclo de vida |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| GIS | 700 kg | 22 % | 154 kg |
| Disjuntores | 12 kg | 74% | 9 kg |
| TOTAL | | | 163 kg |

Quadro V.13 – Emissão de SF₆

Estas quantidades foram consideradas, ainda que correspondam a massas significativamente inferiores às massas de dióxido de carbono emitidas no ciclo de vida da central. Esta opção advém do facto de o SF₆ ter um potencial de efeito de aquecimento global superior ao do CO₂, sendo que cada kg de SF₆ equivale a 23.900 kg de CO₂ (IPCC, 1996).

5.3.3.2 Outros consumos pontuais

Nesta categoria incluem-se os consumos que não estão associados aos equipamentos poluentes, mas que ainda assim são variáveis. Os únicos consumos que são de ressaltar são os de materiais absorventes, que se encontram armazenados em depósitos. A forma usada para contabilizar estes materiais foi a de avaliar o volume dos contentores onde estão depositados os absorventes, e considerar que se consome um contentor no ciclo de vida. Esta informação tem grande incerteza e é especulativa: depende da existência de incidentes ou necessidade de manutenção.

Assim:

| Absorvente | Volume contentor | Volume de material absorvente | Consumo no ciclo de vida |
|------------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Biomatrix Gold | 230 L | 200 L | 200 L |
| Absorventes hidrófobos | 280 L | 200 L | 200 L |
| Trapos absorventes | - | | 45 x 100 kg/ano = 4.500 kg |

Quadro V.14 – Levantamento dos consumos de panos absorventes

5.3.4 Substituição de equipamentos e materiais

Como já foi referido, a modelação da substituição de equipamentos é especulativa. Com efeito, é difícil prever situações de avaria, incidentes, bem como quais as tecnologias disponíveis quando tal suceder. Não obstante, para alguns equipamentos ou itens, a previsão de substituição não é tão complexa como para outros. Os exemplos mais óbvios são as lâmpadas e o material electrónico. Efectivamente, as lâmpadas têm um tempo de vida admissível, bem menor que o tempo de vida da central, pelo que seria conveniente considerar a sua substituição. No entanto, uma vez que se considerou o fornecimento das lâmpadas desprezável face ao restante, mantendo a coerência, não se considerará a sua substituição [É de notar o carácter iterativo da técnica de ACV. A decisão de não considerar as lâmpadas adveio também de se terem efectuado simulações que revelaram a sua total insignificância. Por outro lado, a especificidade da central, por ter túneis iluminados, vem expressa em termos da electricidade consumida no período de exploração, o que já a distingue das outras].

Por outro lado, os equipamentos informáticos e electrónicos rapidamente se tornam obsoletos, e têm que ser substituídos de forma a manter com a operacionalidade adequada uma central hidroeléctrica. Por conseguinte, assumiu-se para o material informático, 5 substituições durante o ciclo de vida da central. É de notar que o próprio fornecimento do material informático foi diferente do que constava na proposta da EFACEC, uma vez que nos meses que se sucederam, havia já disponíveis melhores tecnologias. É um facto que parte do material poderá sofrer um simples *up-grade*, mas por simplicidade, considera-se a sua efectiva substituição.

6 Avaliação de impactes ambientais e resultados

6.1 Metodologia geral e interacção com o *software*

Como já foi anteriormente referido, para a avaliação de impactes utilizou-se o *software* de ACV, o *SimaPro 7.0*. Neste texto, introduz-se ao leitor o *software* do ponto de vista de utilização e de avaliação de impactes. Até este momento, as referências ao mesmo foram teóricas, de método, sendo que na fase de avaliação de impactes, a utilização prática do *SimaPro* é perfeitamente essencial e crucial. Os assuntos referidos neste capítulo resultam do estudo do manual da Pré-Consultants: *SimaPro 7 – Introduction to LCA*, e da própria interacção com o *software*.

Quando se inicia o programa, surge a possibilidade de abrir um *Project* ou uma *Library*: um *Project* é uma área onde se armazena informação colectada e processada; uma *Library* é um tipo especial de projecto que contém as informações fornecidas pelo *SimaPro*, servindo de recurso para os *Projects*.

A fase com mais resultados de uma ACV é a construção da árvore de processos. Um *Process* no *SimaPro* contém informação sobre fluxos ambientais e sociais (emissões para o ar, água e solo; resíduos sólidos; emissões não materiais; uso de matérias-primas e impactes sociais); fluxos económicos (*inputs* e *outputs* de outros processos, *output* de resíduos para tratamento posterior; processos evitados e impactes económicos).

Os *Processes* identificam-se na base de dados de acordo com o seu *output*, e podem ser ligados uns aos outros, criando redes. Podm descrever-se os Processos através de processos unitários ou sistemas de processos, apesar de os resultados não serem significativamente diferentes. A versão de processos unitários contém apenas as emissões e *inputs* de um passo do processo, além das referências aos *inputs* vindos de outro processo unitário. Assim, o impacte ambiental é descrito através de uma série de processos unitários. O *SimaPro*, quando se escolhe este método, inclui todos os processos unitários que envolvem o processo em si.


A outra possibilidade é a caracterização do sistema de processo, ao invés de considerar isoladamente cada processo unitário que o compõe. Ainda assim, todas as emissões são contempladas, sendo por isso equiparado este método a uma caixa negra, ou o resultado de uma ACV ao processo global.

| Processos unitários | Sistemas de processos |
|--|--|
| Árvores de processos muito transparentes, mas muito grandes, que permitem avaliar as contribuições dos processos unitários | Árvore de processos muito mais simples, com muitas "caixas negras" |
| Contém informação com incertezas | Não tem informações incertas |
| Cálculo relativamente lento | Cálculo muito rápido |

Quadro VI.1 – Comparação entre processos unitários e sistemas de processos, Fonte: [SimaPro 7, Introduction to LCA, Goedkoop, 2006]

A metodologia adoptada consistiu no recurso a sistemas de processo durante a ACV preliminar, tendo-se passado para a análise dos processos unitários na ACV mais rigorosa, dita final, de forma a se ter a percepção de, dentro de um sistema de processos, quais os processos unitários mais relevantes do ponto de vista ambiental.

Os *Product Stages* são utilizados para descrever a composição do produto, a fase de uso e o percurso final deste. Destes, destacam-se as *Assemblies*, que contêm uma lista de materiais e *Subassemblies* e de processos de produção, transporte, ou energia. O *SimaPro* tem enormes potencialidades adicionais, mas não interessa ou é possível descrevê-las na sua totalidade.

Introduzidas as informações, o que se processa de forma intuitiva e segmentada, pode seleccionar-se o botão , obtendo-se uma visão gráfica da rede criada. O *SimaPro* possibilita, através do uso do critério *cut-off*, que se faça uma análise interessante na árvore de processos ou no diagrama de rede. Com efeito, em ACV's, alguns diagramas assumem proporções que tornam a sua análise impraticável ou muito dificultada. E, muitas vezes, alguns desses processos têm contribuições muito pouco significativas para o impacte global do ciclo de vida do produto. Assim, pode definir-se o critério de *cut-off*, por exemplo, a 1%, excluindo-se da visualização os processos com contribuição inferior a esse valor.

O subcapítulo seguinte [6.2] contém as informações relativas às simulações efectuadas e refere-se às metodologias específicas e eventuais inventários subsequentes. Efectivamente, a ACV é uma técnica iterativa, pelo que foi necessário fazer novas pesquisas, à medida que se foram fazendo as simulações finais e se foi concluindo que a base de dados não continha todas as informações relevantes ou adequadas. Esses inventários incluem-se aqui, não por questões cronológicas, mas de forma a facilitar a leitura e justificar mais oportunamente certas metodologias ou pesquisas.

É também relevante mencionar que os *inputs* dados foram todos adaptados à unidade funcional, ou seja, os dados do inventário foram todos divididos por 191,6 MW, a potência instalada. Para além disso, e uma vez que há sempre impactes que não são considerados, optou-se por majorar todas as entradas em 5%, ou seja, multiplicou-se por 1,05 todos os valores do inventário [Note-se que este valor é consistente com o critério assumido de definição de fronteiras, vide 3.3.1]. Devido a questões de fluidez do texto, não se vai incluir quadros ou tabelas com os valores dados como entrada nas simulações. Julgou-se mais importante apresentar os valores absolutos de quantidades de materiais, que se encontram, no Capítulo de Inventário [Vide Anexo I], e dos valores considerados na simulação dos transportes, que se encontram em cada subcapítulo com tal designação deste capítulo de Avaliação de Impactes [Vide Anexo IV]. No entanto, os valores simulados são os que são apresentados, adaptados à unidade funcional e à majoração considerada.

6.2 Metodologias específicas e resultados intercalares da fase de construção

Este capítulo debruça-se sobre as simulações efectuadas, pressupostos assumidos e investigações necessárias, ou seja, sobre as metodologias específicas de avaliação de impactes e resultados intercalares. Começou por se criar *Assemblies* para cada um dos fornecimentos. Os subcapítulos seguintes discutem os aspectos mais relevantes de cada um desses momentos, bem como apresentam os resultados intercalares, com os comentários e conclusões consideradas oportunas.

6.2.1 Fornecimento da empreitada principal de engenharia civil

6.2.1.1 Entrada de dados de materiais e inventários subliminares

O fornecimento da Empreitada Principal de Engenharia Civil foi devidamente inventariado em capítulo anterior [Vide 5.2.1, a partir da página 31]. Para incluir os processos e materiais deste fornecimento no ciclo de vida da unidade de potência instalada da central de Frades, foi criada a *Assembly* da Empreitada de Engenharia Civil, na qual foram sendo inseridos os materiais que compuseram este fornecimento. De seguida, para cada um deles, ilustram-se e discutem-se os aspectos mais relevantes.

Materiais constituintes dos betões:

As britas utilizadas na produção do betão provieram da rocha escavada, e os impactes da escavação foram contabilizados como tal (não seria correcto contabilizá-los duas vezes). A rocha seria escavada de qualquer forma, pelo que a aplicação dada não deve considerar também os impactes decorrentes da sua depleção. Por outro lado, a energia usada na britagem é considerada nos valores indicados de consumo de gasóleo e energia eléctrica.

O cimento Portland, na classe de resistência em questão, existe disponível na base de dados do *software* utilizado. No entanto, procurou-se obter mais informações acerca da sua produção, tendo-se por isso recorrido a um contacto da Cimpor. Não obstante, não se obteve, em tempo útil, as respostas pretendidas, pelo que se optou por utilizar a base de dados.

Já a sílica de fumo, outro dos materiais identificados no Inventário [Vide Quadros V.1 e V.2, página 33], por seu lado, não consta das bibliotecas. Desta forma, procurou investigar-se o processo produtivo da sílica de fumo, de forma a incluir pelo menos alguns dos impactes da sua utilização [Note-se o carácter iterativo patente do procedimento de ACV]. Deste estudo, resultou o conhecimento de que a sílica de fumo é um subproduto industrial, que advém da preparação do silício ou de ligas de silício (ferro-silício), pelo que não se considerou apropriado considerar os impactes da sua produção, uma vez que estes deverão ser alocados maioritariamente, aos produtos principais que resultam deste processo. Assim, no que diz respeito aos impactes da utilização da sílica de fumo, só se considerará o transporte deste material para a obra. O mesmo foi considerado para as cinzas utilizadas, que são consideradas subprodutos.

Também em relação ao superplastificante, não há informações na base de dados.

Considerando que as suas quantidades, face ao cimento, não são muito expressivas, mas que, em termos absolutos, correspondem a quantidades elevadas, a metodologia adoptada visou considerar os impactes relativos à utilização do superplastificante. Segundo a especificação do LNEC E374-1993, os SP (superplastificantes) são materiais adicionados durante a amassadura em quantidade que não exceda os 5% da massa de cimento. O SP utilizado, Viscocrete 3000 é um adjuvante superplastificante forte, de 3ª geração, adequado para betão de alta resistência (BER) e autocompactável (BAC). Está isento de cloretos ou produtos corrosivos para as armaduras, sendo do tipo dos carboxilatos modificados, constituindo uma solução aquosa de polímero. O catálogo deste produto não foi suficiente para obter as informações pretendidas acerca do SP. Assim, foi criado um contacto telefónico com os serviços técnicos da Sika Portugal, no sentido de conhecer com rigor quais os carboxilatos modificados utilizados, de forma a poder modelar convenientemente a utilização do adjuvante. Não obstante, verificou-se que as informações pretendidas tinham um carácter confidencial, como de resto se compreende. Estas, limitaram-se a esclarecer que a Sika procede às misturas das diversas matérias-primas envolvidas, matérias-primas essas que não puderam ser divulgadas. Ficou a esperança que, em tempos próximos, a empresa possa fornecer as informações de carácter ambiental mais importantes, uma vez que o contacto telefónico indicou que a sucursal francesa estaria a preparar ACV's dos produtos vendidos pela empresa, contudo, não a tempo da sua inclusão no estudo.

Verificou-se que, na base de dados, não estava disponível, para imputar na *Assembly* da Empreitada de Engenharia Civil, o tipo de água utilizado para a produção de betão. Com efeito, existe a possibilidade de dar como *input* uma água para consumo doméstico, não adequada à simulação em causa, e águas industriais, que incluíam diversos processos de tratamento, que, na verdade, também não correspondem às características da água utilizada. Por conseguinte, criou-se um *Process* no sentido de incluir os impactes da utilização de água. Esta, para a produção dos betões, proveio de uma captação de água na albufeira de Salamonde, junto ao estaleiro de construção da tomada de água em bombagem. Existia uma rede com mangueira flexível, e um reservatório. O processo criado, de forma muito simples, incluía como único *input* água de barragem. Com efeito, os restantes impactes da sua utilização são contabilizados nas restantes formas, com os consumos de gásóleo e energia eléctrica. Pôde, então, dar-se entrada na *Assembly*, do Processo criado.

Aços:

De acordo com os dados fornecidos pelo inventário, foram introduzidas as quantidades de aço utilizadas, e determinadas e apresentadas no Inventário [Vide página 34]. O tipo de aço foi seleccionado nas bases de dados, correspondendo ao mais adequado para a construção civil: *Reinforcing Steel*.

Madeiras:

Como foi indicado no capítulo de Inventário, a madeira utilizada para as cofragens foi madeira de pinho. Assim, procurou-se criar, na *Assembly* da Empreitada de Engenharia Civil, a entrada para a madeira, surgindo na base de dados as seguintes, entre outras, opções:

| Input disponível | Produto associado |
|-------------------------|----------------------------|
| Sawn timber | Madeira serrada |
| Pallets | Aglomerados |
| Plywood | Contraplacados |
| Bark chips | Aparas de material lenhoso |
| Softwood | Resinosas, coníferas |
| Hardwood | Folhosas |

Quadro VI.2 – Opções disponíveis na base de dados para a simulação referente à madeira das cofragens

Sendo o pinho uma conífera, o tipo de produto seleccionado foi, naturalmente, a softwood.

Explosivos:

As escavações com recursos a explosivos também não se encontram disponíveis na base de dados do *software*, pelo que foi necessário fazer uma pesquisa no sentido de identificar os principais impactes da sua utilização. A pesquisa foi efectuada com base em documentos vários, todos eles consensuais, e que constam das Referências Bibliográficas desta Dissertação.

As gelamonites são explosivos com nitroglicerina, e as amonites têm na sua constituição nitratos de amónio. Os explosivos, sendo capazes de provocar reacções de combustão extremamente rápidas, e, uma vez que não é possível retirar do ar a quantidade de oxigénio necessária, têm na sua constituição este elemento comburento. Os produtos resultantes da explosão dependem sobretudo do teor de oxigénio na equação de balanço da reacção, à semelhança do que sucede noutras reacções de combustão.

Todos os explosivos emitem consideráveis quantidades de monóxido de carbono, CO, e, no que se refere às partículas, o grande contributo resulta da fractura das rochas e solo, não sendo estas distinguíveis das emitidas pelo próprio explosivo. Pode haver emissão de óxidos de azoto, entre outros compostos, sulfurados, amónia, etc. As emissões dependem igualmente de outros factores, como a composição do explosivo, a expansão dos produtos, o método de rebentamento, e o confinamento da explosão. Não obstante, estes factores específicos são difíceis de avaliar e, por conseguinte, não serão considerados nesta análise.

Geralmente, a técnica de estimativa de emissões mais precisa é a que se serve de medições directas em laboratório. Evidentemente, não sendo possível fazê-lo, e tendo sido o contacto com a SPEL inviabilizado, procuraram-se factores de emissão para explosivos do tipo dos que foram utilizados na obra de Frades. Assim, obteve-se as seguintes informações:

| | | FACTORES DE EMISSÃO | | | | |
|------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------|---|------------------------------------|
| Explosivo | Composição | Monóxido de carbono (kg/ton) | Óxidos de azoto (kg/ton) | Metano (kg/ton) | Sulfureto de hidrogénio (kg/ton) | Dióxido de enxofre (kg/ton) |
| Gelamonite | 20-100% de nitroglicerina | 52 | 26 | 0,3 | 2 | 1 |
| Amonite | Nitrato de amónia | 34 | 8 | - | - | 1 |

Quadro VI.3 - Factores de emissão dos explosivos utilizados, Fonte: [National Pollutant Inventory, Australian Government, Emission estimation technique manual for Explosion Detonation and Firing Ranges]

O procedimento adoptado foi o de adicionar no *software* os Processos designados por *Escavação com gelamonite* e *Escavação com amonite*, tendo sido incluídas, como *outputs* para a natureza, as emissões dos compostos identificados no quadro, com base nos seus factores de emissão.

É de referir, no entanto, que as emissões devidas à detonação dos explosivos não são os únicos factores ambientais considerados do ciclo de vida dos explosivos, para além do seu transporte para a obra. Efectivamente, também existem impactes no que diz respeito ao ciclo de vida dos explosivos, até ao seu armazenamento. A base de dados dispõe somente de um tipo de explosivos, designado por *Tovex*. Este tipo de explosivos, de acordo com a Brochura de uma empresa, a Biafo, que vende este produto, é constituído por nitratos de amónio, sendo que são considerados, do ponto de vista ambiental, melhores do que os explosivos de nitroglicerina. Estes explosivos são considerados menos tóxicos e impactantes no fabrico, transporte armazenamento. A Ecoinvent, no entanto, não dispõe de informações a respeito do ciclo de vida dos restantes tipos de explosivos. Sendo os *Tovex* considerados melhores do ponto de vista ambiental, não se efectua uma majoração descontrolada se se considerar o ciclo de vida dos explosivos de *Gelamonite* igual ao dos de *Amonite*. Por outro lado, esta aproximação é melhor do que não considerar o ciclo de vida das *gelamonites* até armazenamento.

6.2.1.2 Entrada de dados dos consumos de energia eléctrica e gasóleo

Como já foi mencionado no capítulo de Inventário, o consumo de energia eléctrica per fez os 6,13 GWh, e esse valor foi introduzido, na *Assembly*, como um processo, tendo-se recorrido à base de dados e escolhido o *mix energético* para Portugal, para o fornecimento de alta tensão.

Em relação ao gasóleo, verificou-se que a introdução do *input* teria de ser em unidades de energia (no que se refere aos Processos), pelo que se recorreu à Galp no sentido de aferir qual seria o poder calorífico inferior do diesel, convertendo o volume em unidades de energia e introduzindo a informação no *Process* criado. Assim, o PCI do combustível ronda os 43 GJ/t. Foi necessário, para converter o volume em massa, investigar qual seria a densidade do diesel. De acordo com a Galp a densidade mínima deste é de 0,85 kg/L, tendo sido esse o valor considerado. Desta forma, concluiu-se que terão sido gastos cerca de 467.500 kg de gasóleo. Este dado foi inserido no campo de *Materials*, de forma a simular o ciclo de vida até armazenamento (produção, transporte, etc.), e foi também usado para indicar a energia correspondente para a simulação da sua queima. Ora, para o PCI indicado, conclui-se que a energia libertada na queima do gasóleo equivale a 20.102,5 GJ.

6.2.1.3 Entrada de dados do transporte

Como já foi mencionado no capítulo de Inventário, o betão usado na obra foi fabricado na central de betão de que dispunha o estaleiro [Vide 5.2.1.1, página 31]. As britas e areias provieram da britagem da rocha escavada, pelo que o seu transporte não necessita de simulação: os consumos associados, além de serem desprezáveis, uma vez que as distâncias

são muito pequenas face às distâncias percorridas no transporte dos restantes materiais, são englobados no valor já mencionado de consumo de gasóleo.

O cimento era armazenado em estaleiro em dois silos de 8 toneladas cada. Assim, verifica-se que, o cimento proveniente de Souselas (9.000 toneladas) terá sido transportado para a obra em cerca de 560 fornecimentos. Como cada camião transportava, no máximo, 16 toneladas de cimento afectos à obra do corrente estudo, não será adequado desprezar o facto de o transporte desses camiões não ser dedicado. Assim, para simular o transporte do cimento, utilizou-se por isso, simplesmente, a ferramenta do *SimaPro* que permite quantificar os impactes do transporte com base na grandeza carga-distância.

O Quadro A4.1 (Anexo IV) inclui as informações relevantes para a simulação do transporte para a obra dos materiais referentes ao fornecimento da empreitada principal de engenharia civil.

Para a simulação do transporte marítimo, há na base de dados algumas hipóteses de selecção de navios, evidenciadas no seguinte quadro:

| Input disponível | Meio de transporte associado |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Barge tanker | Barca, lanchão cisterna |
| barge | Barca, lanchão |
| Transoceanic freight ship | Navio de passageiros / carga |
| Transoceanic tanker | Navio cisterna transoceânico |

Quadro VI.4 – Opções disponíveis na base de dados para a simulação do transporte por navio, [Fonte: Ecoinvent, SimaPro 7]

Optou-se pela simulação com o *transoceanic freight ship*, considerado o mais adequado para o caso.

A simulação efectuada também considerou o transporte dos elementos de regresso às instalações de origem. Adoptou-se a metodologia anteriormente, de se indicar uma distância, neste caso, carga-distância equivalente, considerando que o meio de transporte, no retorno, vem vazio. Como se optou pela simulação com base nesta grandeza, não existe disponível a possibilidade de considerar o meio de transporte vazio, pelo que foi necessário indicar o valor equivalente da carga-distância.

6.2.1.4 Resultados e discussões intercalares

Tem interesse observar os resultados intercalares que resultam da simulação da *Assembly* da Empreitada Principal de Engenharia Civil. Assim, para começar, pode observar-se a rede criada pelo *SimaPro*. Por questões de visualização, escolheu-se um critério de *cut-off* de 5%. Desde logo se nota que os principais impactes que advêm da Empreitada de Engenharia Civil são decorrentes do uso do cimento, do aço, e dos transportes efectuados (constituindo estes três cerca de 65% dos impactes).

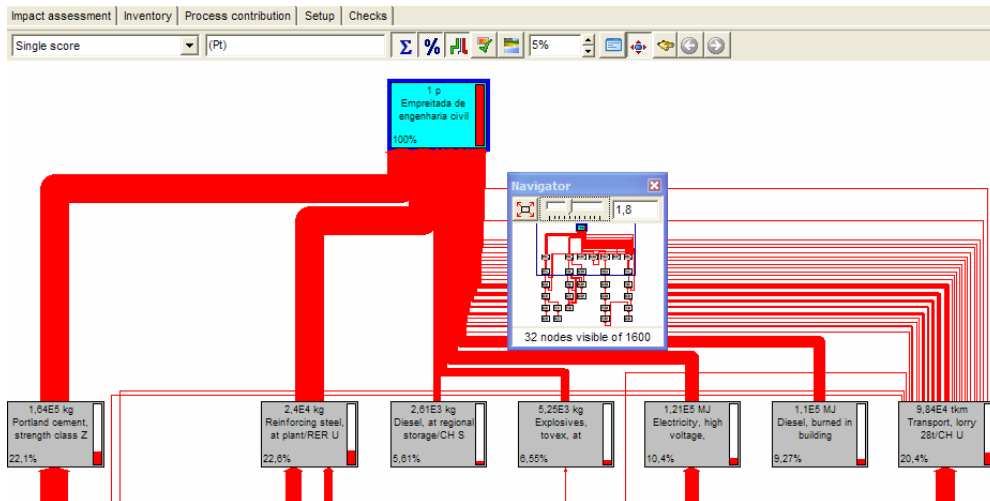


Figura VI.1 – Rede de Impactes da Empreitada de Engenharia Civil criada pelo SimaPro 7.0

Uma vez que a rede apresentada na figura anterior permite apenas visualizar grosseiramente a relação entre os impactes ambientais dos diferentes aspectos simulados, efectuaram-se diversas simulações com *cut-offs* mais baixos, de forma a envolver na análise gráfica outros impactes que não os mencionados. Desse exercício resultou a Figura VI.2, que hierarquiza os aspectos mais impactantes relativos à Empreitada de Engenharia Civil.

Os totais não são iguais à unidade, uma vez que, alguns dos aspectos, são contabilizados mais do que uma vez nos valores apresentados (e.g.: os impactes apontados para o transporte englobam também o transporte do diesel, considerado também no ciclo de vida deste). No entanto, por se considerar a diferença pouco significativa, optou-se por apresentar os valores desta forma. Efectivamente, observando a rede (Figura VI.1) verifica-se que do *Process* dos transportes, a maior parte da rede é criada directamente para a *Assembly*.

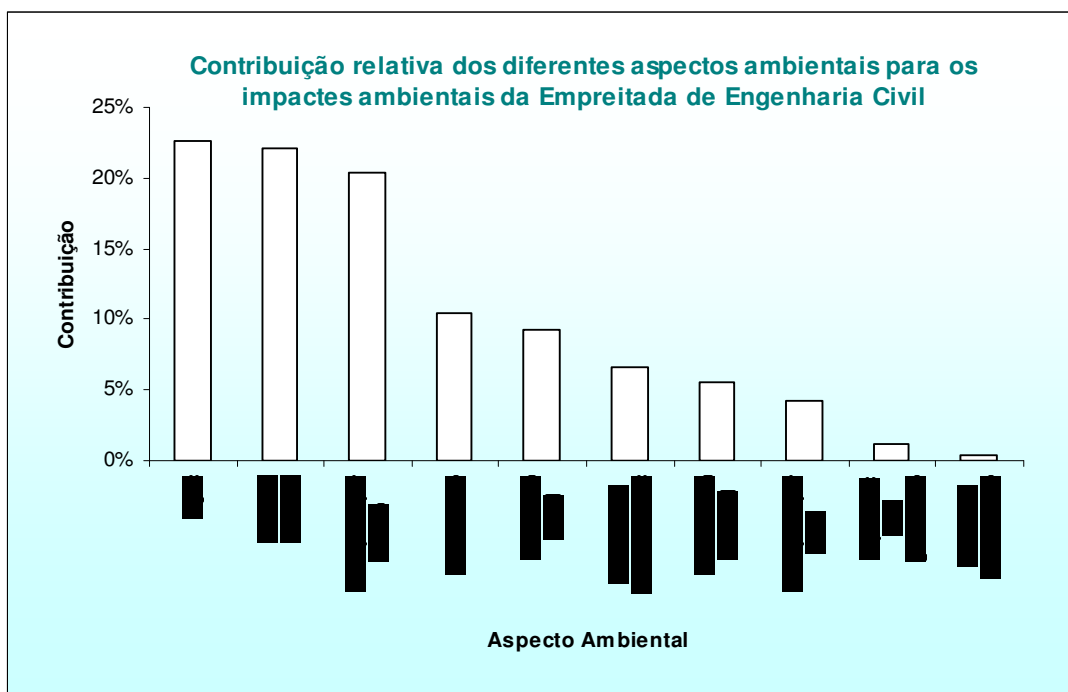


Figura VI.2 – Hierarquização dos aspectos ambientais da Empreitada de Engenharia Civil

Cedo se repara que o transporte dos materiais tem um peso muito considerável nos impactes advindos da Empreitada de Engenharia Civil. Efectivamente, para fornecimentos da ordem dos milhares de toneladas, como é o caso do cimento, tem que haver muitos transportes [Vide Anexo IV, Quadro A4.1], pelo que os impactes são muito significativos. Com efeito, no caso do cimento, só o que era proveniente de Souselas, foi posto em obra em cerca de 560 fornecimentos.

Outro facto talvez inesperado é a importância dos aços usados na construção face à do cimento (as cimenteiras são admitidas como indústrias muito poluentes). Mediante a surpresa nos resultados, os cálculos foram verificados, bem como os dados do inventário, e confirmou-se que os *inputs* tinham sido bem lançados. De forma a tentar explicar este facto, algo surpreendente, observou-se a rede construída pelo *SimaPro* e concluiu-se que alguns aspectos do ciclo de vida do aço têm impactes consideráveis. Há muitos consumos de energia durante o processo produtivo, e para além disso, há depleção dos minérios. Repare-se, na figura abaixo, que a contribuição da depleção dos minérios para os impactes da Empreitada de Engenharia Civil não é muito significativa, mas ainda assim, toda essa contribuição será devida à utilização dos aços. Além desse facto, da figura seguinte resulta também a reflexão acerca da importância nos impactes da Empreitada de Engenharia Civil, do consumo de combustíveis fósseis. Efectivamente, os consumos de energia, em todas as fases do ciclo de vida dos materiais, são muito significativos, expressando-se em termos dessa mesma categoria.

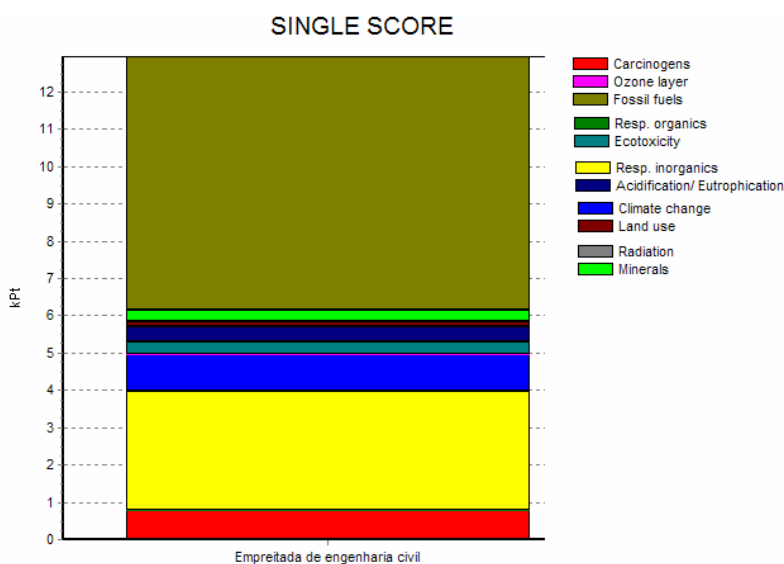


Figura VI.3 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes da Empreitada de Engenharia Civil, output do *SimaPro* 7.0

Outro facto a comentar relaciona-se com os impactes dos consumos de electricidade e de gasóleo: uma vez que se atribuíram à Empreitada de Engenharia Civil todos estes consumos, já que o empreiteiro é que detinha as instalações, seria talvez de esperar um contributo superior. Por outro lado, verifica-se que os impactes do ciclo de vida dos explosivos (mais do que das explosões em si, que são bastante insignificantes no ciclo de vida, perfazendo, no total, menos de 2% dos impactes da Empreitada de Engenharia Civil) são

bastante significativos. Para se poder comparar as alternativas de escavação: com furadoras ou com explosivos, seria necessário conhecer: a) a fracção dos consumos de energia eléctrica e diesel atribuível às escavações; b) a fracção dos volumes totais escavados com furadoras ou máquinas eléctricas. Seria, pois desejável que, futuramente, este tipo de informações fosse disponibilizado, de forma poder averiguar-se qual dos métodos é preferível sob o ponto de vista ambiental, nunca esquecendo, obviamente, os aspectos económicos na decisão.

O que já era evidente durante o inventário subliminar realizado é que os explosivos com nitroglicerina têm mais impactes, uma vez que as suas emissões são consideravelmente superiores às emissões da amonite [Vide Quadro VI.3, página 55]. Ainda assim a análise seria mais completa se se soubesse o potencial comparativo de escavação dos dois explosivos. Efectivamente, se as amonites tiverem consumos específicos muito superiores, não é tão evidente que sejam preferíveis às gelamonites.

6.2.2 Fornecimento do equipamento hidromecânico

6.2.2.1 Entrada de dados de materiais

A entrada de dados referentes ao equipamento hidromecânico obedeceu aos dados recolhidos no Inventário, considerando, como é evidente, a unidade funcional, e uma majoração de 5% em todos os *inputs*.

6.2.2.2 Entrada de dados do transporte

Como se explicou na metodologia [Vide 3.3.3, a partir de página 19], a base de dados não dispõe de informações sobre transportes com camiões de carga superior a 40 toneladas, pelo que a simulação foi feita com camiões de 40 toneladas, dando como *input* uma distância equivalente, naturalmente acrescida à real. O quadro seguinte evidencia os resultados do cálculo efectuado para o transporte especial utilizado para o equipamento da tomada de água inferior:

| Transporte em camião de 100 toneladas | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Taxa de carga (%) | Emissão (kg CO ₂ /km) | Distância real (km) | Distância equivalente (km) |
| 63 | 2,304 | 75 | 137 |

Quadro VI.5 – Dados para o cálculo da distância equivalente na simulação do transporte do equipamento da TAS em camiões de 40 toneladas

Note-se que a emissão à taxa de carga de 63% foi calculada com base na metodologia já mencionada, a partir da linearização das emissões de CO₂.

No que se refere ao procedimento efectuado para a simulação dos transportes não especiais, tendo estes sido dedicados, utilizou-se a metodologia descrita anteriormente, de determinação da distância equivalente, de forma a considerar o facto de o camião não se deslocar à carga máxima.

| Equipamento | Taxa de carga do camião (%) | Emissão (kg CO ₂ /km) | Emissão a carga máxima (kg CO ₂ /km) | Distância real (km) | Distância equivalente (km) |
|---|-----------------------------|----------------------------------|---|---------------------|----------------------------|
| Comporta ensecadeira da tomada de água superior | 60,71 | 0,9557 | 1,0467 | 75 | 68 |
| Equipamento da tomada de água inferior | 53,57 | 0,9386 | 1,0467 | 75 | 67 |

Quadro VI.6 – Dados para o cálculo da distância equivalente na simulação do transporte dedicado do equipamento hidromecânico

Assim, com base nas distâncias apresentadas no Inventário [Vide 5.2.2.3, página 38], e com base nas considerações feitas, efectuou-se a simulação para o transporte do equipamento hidromecânico, de acordo com os dados do Quadro A4.2 (Anexo IV).

6.2.2.3 Resultados e discussões intercalares

À partida o fornecimento do equipamento hidromecânico não se julga como muito importante do ponto de vista ambiental, comparativamente, por exemplo, com o fornecimento analisado anteriormente, da Empreitada de Engenharia Civil principalmente porque as massas de materiais são significativamente inferiores.

Por outro lado, este fornecimento é simples do ponto de vista de materiais: os principais materiais são o aço ao carbono e o aço inoxidável. É exactamente isso que revela a figura seguinte. Com efeito, o aço ao carbono, sendo também aquele que representa a maior proporção, é o que contribui para a maior parte dos impactes.

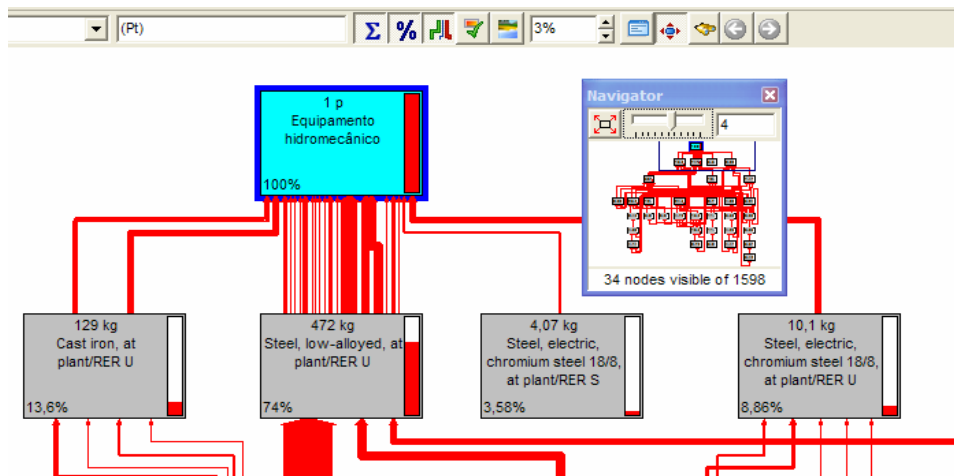


Figura VI.4 – Rede de Impactes do equipamento hidromecânico criada pelo SimaPro 7.0

Dividindo a percentagem dos impactes pela massa de cada material observa-se que os impactes do aço inox, por unidade de massa, estão numa razão de cerca de 8,5:1 em relação ao ferro fundido e 5,7:1 relativamente ao aço. Efectivamente, assim como seria de esperar, por unidade de massa, o aço inoxidável é mais impactante do que o aço ao carbono comum, e este, mais impactante do que o ferro fundido. No entanto, as aplicações do aço inox são específicas, não devendo este poder ser substituído por aço ao carbono vulgar, bem como o aço ao carbono por ferro fundido. De qualquer modo, pode, futuramente, atentar-se neste facto.

6.2.3 Fornecimento da ponte rolante

6.2.3.1 Entrada de dados de materiais

Os *inputs* de materiais na simulação da *Assembly* da ponte rolante respeitaram o que foi mencionado no Inventário, considerando, uma vez mais, majoração de 5% nas entradas, que foram de acordo com a unidade funcional.

6.2.3.2 Entrada de dados do transporte

De acordo com o que foi apresentado no Capítulo de Inventário [Vide 5.2.3.3, página 39], foram efectuadas as simulações referentes ao transporte. O Quadro A4.3 (Anexo IV) sintetiza as informações referentes a essa simulação.

6.2.3.3 Resultados e discussões intercalares

Está-se então em condições de fazer as simulações relativas à ponte rolante. Os resultados obtidos são evidenciados na figura seguinte:

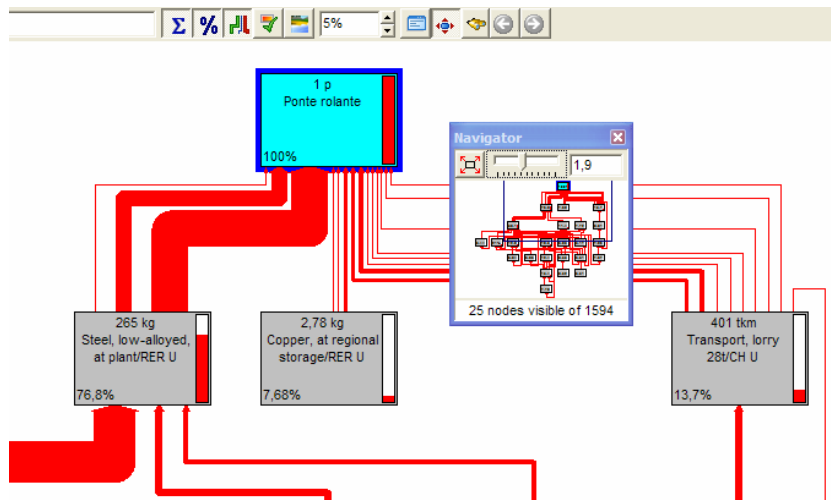


Figura VI.5 – Rede de Impactes da Ponte Rolante criada pelo SimaPro

A simulação evidencia o que já era expectável: os principais impactes da ponte rolante advêm do ciclo de vida dos materiais usados, sendo que o principal é o aço. O transporte é significativo. Ainda que o cobre e o alumínio sejam utilizados em iguais quantidades na ponte rolante, verifica-se que os impactes do uso do cobre são mais severos, sendo que, para o *cut-off* imputado, os impactes da utilização do alumínio não são visualizados na rede criada pelo *software*. O gráfico seguinte apresenta as contribuições relativas entre os diferentes aspectos ambientais relativos ao fornecimento da ponte rolante:

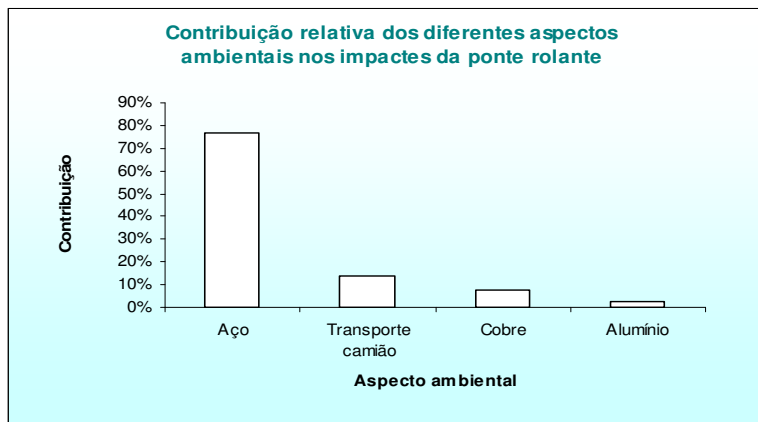


Figura VI.6 – Hierarquização dos aspectos ambientais da ponte rolante

6.2.4 Fornecimento dos grupos reversíveis

6.2.4.1 Entrada de dados de materiais

De acordo com o que foi apresentado no Inventário [Vide Anexo I, Quadro A1.3], introduziram-se na *Assembly* dos grupos reversíveis os dados de *Materials*, adaptados à unidade funcional e à majoração adoptada.

6.2.4.2 Entrada de dados do transporte

O Quadro A4.4 (Anexo IV) apresenta os resultados dos cálculos efectuados para a simulação dos transportes dos grupos reversíveis. Corrigiram-se as distâncias para carregamentos para os quais o transporte era dedicado, em que o camião não circulava com a carga máxima, e, por outro lado, efectuou-se a simulação de transportes especiais de cargas elevadas com a correcção da distância percorrida, com camiões de 40 toneladas.

6.2.4.3 Resultados e discussões intercalares

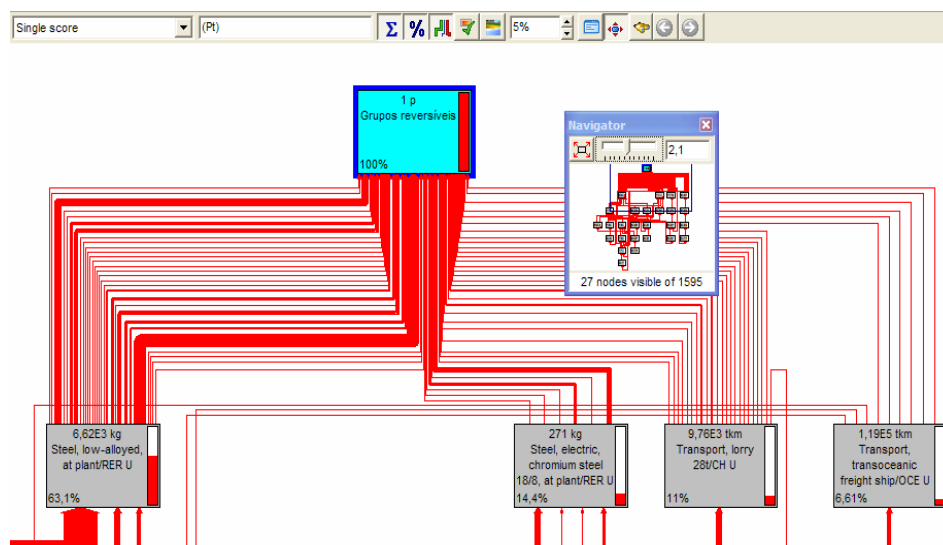


Figura VI.7 – Rede de Impactes dos grupos reversíveis criada pelo SimaPro 7.0

A simulação efectuada para a Assembly dos grupos reversíveis obteve o resultado da figura anterior.

Observa-se a importância do aço e aço inoxidável nos impactes ambientais imputáveis aos grupos reversíveis. O gráfico seguinte foi obtido a partir de simulações com diferentes valores de *cut-off*.

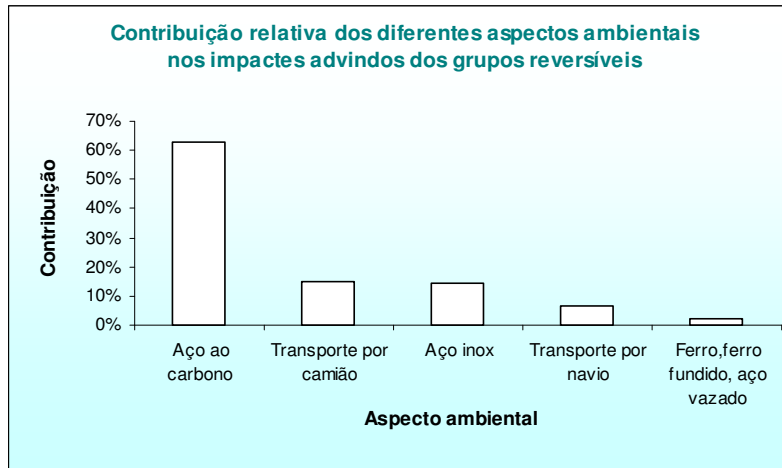


Figura VI.8 – Hierarquização dos aspectos ambientais dos grupos reversíveis

Para além do já observado, importa verificar quais as principais categorias de impacte a contribuir para o impacte advindo dos grupos reversíveis. Para isso, recorreu-se à função de *Single Score* do *SimaPro*:

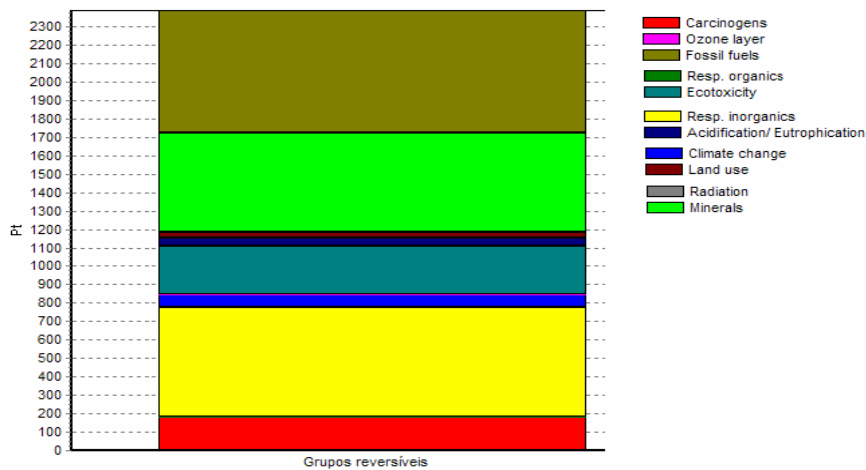


Figura VI.9 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental dos impactes dos grupos reversíveis

Como de facto seria previsível, sendo os grupos reversíveis constituídos quase exclusivamente por aços, as categorias dos Minerais e Respiração de Inorgânicos são das mais importantes no impacte global dos grupos reversíveis.

6.2.5 Fornecimento dos transformadores de grupo

6.2.5.1 Entrada de dados de materiais

A entrada de dados referentes aos materiais da *Assembly* dos transformadores de grupo fez cumprir o que tinha sido inventariado. Surgiram algumas dificuldades na escolha dos *inputs* dos materiais, nomeadamente em relação à chapa magnética. Este material é um aço silicioso, que não consta da biblioteca do *software*. Desta forma, teve que fazer-se a sua aproximação a um aço normal, pouco ligado (ou seja, um aço baixo em ligas de outros metais). Não se considera esta aproximação problemática, já que as diferenças entre os aços não são muito significativas. Em relação ao papel isolante, optou-se por dar como *input* um material misto, ou seja, com composição média.

No que diz respeito à madeira do isolante, a estratégia adoptada foi idêntica. No entanto, surgiu a questão de que o *input* a dar seria em unidades de volume, além de que o material teria uma humidade de 40%. Desta forma, entendeu-se, uma vez que a massa inventariada seria para a madeira seca (isolante), que teriam de ser feitas as devidas conversões. De acordo com as características notificadas na base de dados, a madeira em questão (seca) teria a massa volúmica de 188,6 kg/m³. O procedimento de cálculo efectuado é exemplificado no Anexo II, no Mecanismo de Cálculo 2.2.

É de notar que não se incluiu o óleo isolante dos transformadores, uma vez que se julga mais adequado considerar os impactes da sua utilização, assim como da sua substituição e perdas, na fase de exploração.

6.2.5.2 Entrada de dados do transporte

O contacto telefónico estabelecido com os serviços técnicos da EFACEC permitiu concluir que houve necessidade de efectuar um transporte especial, num camião com vários eixos, e capacidade para 100 toneladas de carga, para transportar as maiores peças do fornecimento: os transformadores. Efectuou-se a simulação deste transporte recorrendo à base de dados, e imputando uma distância equivalente na simulação com um camião de 40 toneladas. O quadro seguinte evidencia os resultados do mecanismo de cálculo que levou à obtenção da distância equivalente (a partir dos dados da Figura III.1, página 21), para cada transformador transportado, de massa unitária de 94 toneladas.

| Transporte em camião de 100 toneladas | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Taxa de carga (%) | Emissão (kg CO ₂ /km) | Distância real (km) | Distância equivalente (km) |
| 94 | 2,552 | 90 | 182 |

Quadro VI.7– Dados para cálculo da distância equivalente no transporte de um transformador

É de relembrar que a distância equivalente, que constitui o *input* na simulação do transporte com um camião de 40 toneladas, é aquela para a qual as emissões de CO₂ com esse camião igualam as emissões de um camião de 100 toneladas, para a distância efectivamente percorrida [Vide 3.3.3.2].

O Quadro A4.4 (Anexo IV) apresenta os dados necessários à simulação do transporte dos equipamentos, da fábrica para a obra, evidenciando os dados de simulação. Note-se que a simulação do retorno dos camiões é trivial e obedece às regras já mencionadas.

6.2.5.3 Resultados e discussões intercalares

Mais uma vez, feitas as simulações relativas à *Assembly* dos transformadores de grupo, apresenta-se a árvore obtida no *SimaPro*.

Observa-se que os aços, mas sobretudo, o cobre utilizado são os materiais com mais impactes que constituem os transformadores de grupo.

Uma vez mais, pela observação do gráfico anterior, se conclui que a utilização de cobre é, por unidade de massa, muito impactante. E, à semelhança dos restantes fornecimentos cujas massas principais são constituídas por metais, a categoria ambiental de Minerais tem uma contribuição para o Eco-indicador muito significativa (mais do que em fornecimentos anteriores).

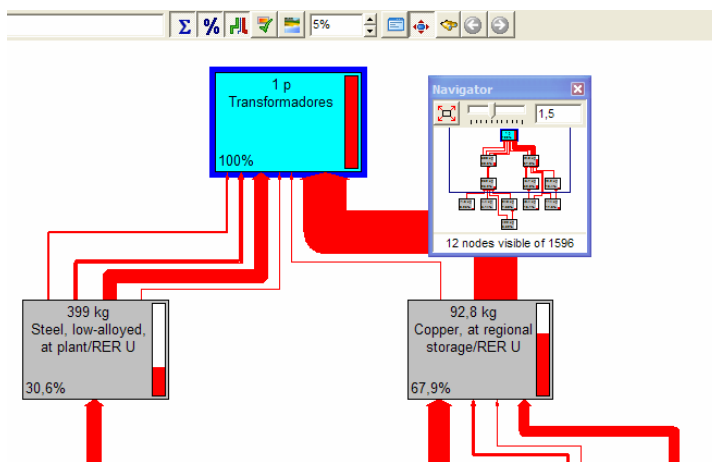


Figura VI.10 – Rede de impactes dos transformadores criada pelo SimaPro 7.0

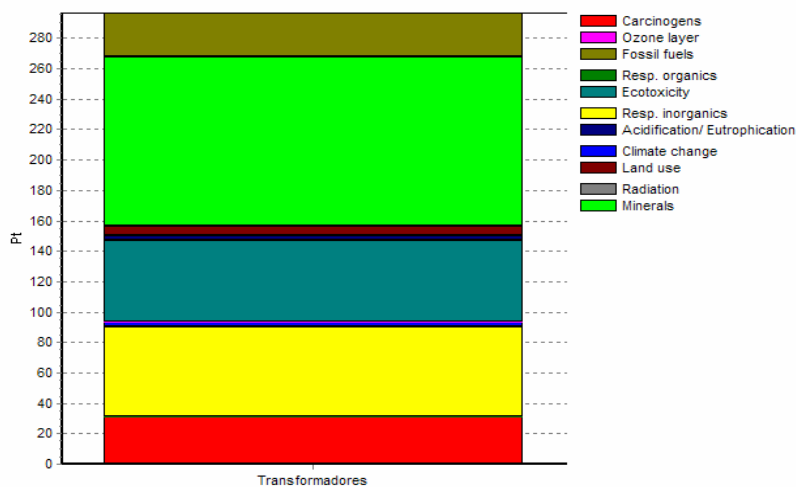


Figura VI.11 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes dos transformadores, output do SimaPro 7.0

Além da categoria de Minerais, a categoria de Respiração de Inorgânicos também tem desempenhos graves do ponto de vista ambiental, provavelmente devido à extração dos minérios, em especial do cobre.

6.2.6 Fornecimento da Instalação Complementar de Produção

6.2.6.1 Entrada de dados de materiais

Criou-se uma *Assembly* para este fornecimento e não houve dificuldades na selecção dos materiais. A madeira do isolante dos transformadores foi a já escolhida aquando das simulações realizadas para o fornecimento dos transformadores de grupo, assim como a metodologia utilizada na conversão de unidades. Ao contrário do que sucedeu para os outros fornecimentos, em que os *inputs* foram discriminados, no caso da ICP, por se tratar de um fornecimento muito extenso, julgou-se que seria mais fácil (e menos sujeito a erros) introduzir os totais de materiais, que, na verdade surgem sempre agrupados quando se simula e observa a rede construída pelo *SimaPro*.

6.2.6.2 Entrada de dados de transporte

O Quadro A4.5 (Anexo IV) apresenta as informações relevantes respeitantes à simulação do transporte dos equipamentos da ICP. Note-se que, uma vez que há diversos carregamentos dedicados e com massas da ordem de grandeza da capacidade dos camiões, adopta-se diversas vezes a metodologia já discutida anteriormente, dando *inputs* de distâncias equivalentes.

6.2.6.3 Resultados intercalares

Nas figuras seguintes pode observar-se que, no que diz respeito à Instalação Complementar de Produção, os principais impactes identificados são os decorrentes da utilização do cobre.

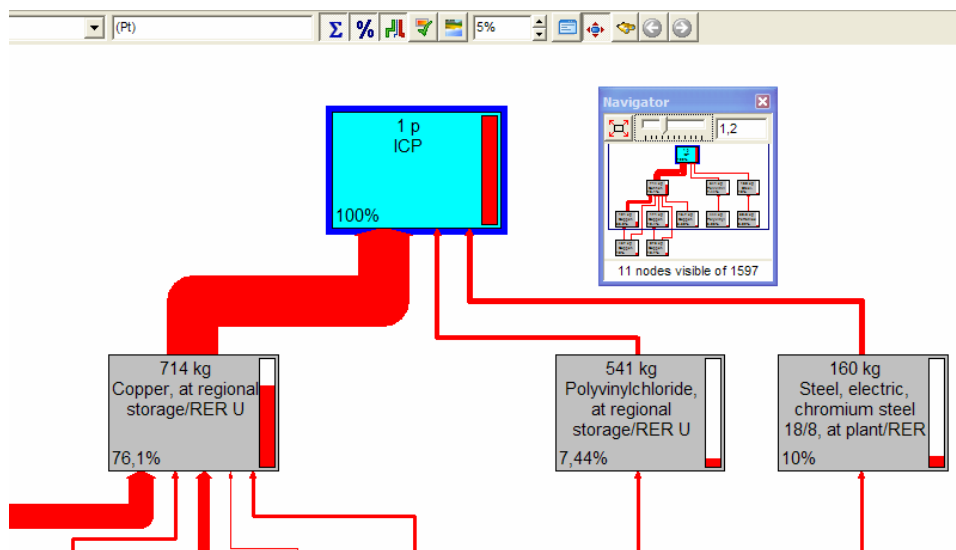


Figura VI.12 – Rede de impactes da ICP criada pelo SimaPro 7.0

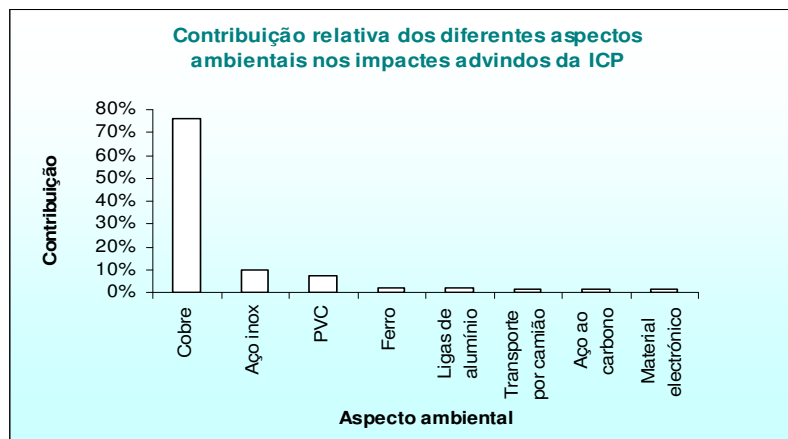


Figura VI.13 – Hierarquização dos aspectos ambientais da ICP

Como também se pode observar no gráfico seguinte, e à semelhança do que aconteceu para os transformadores de grupo, a categoria de impacte de Minerais tem uma contribuição muito significativa para o valor do Eco-indicador.

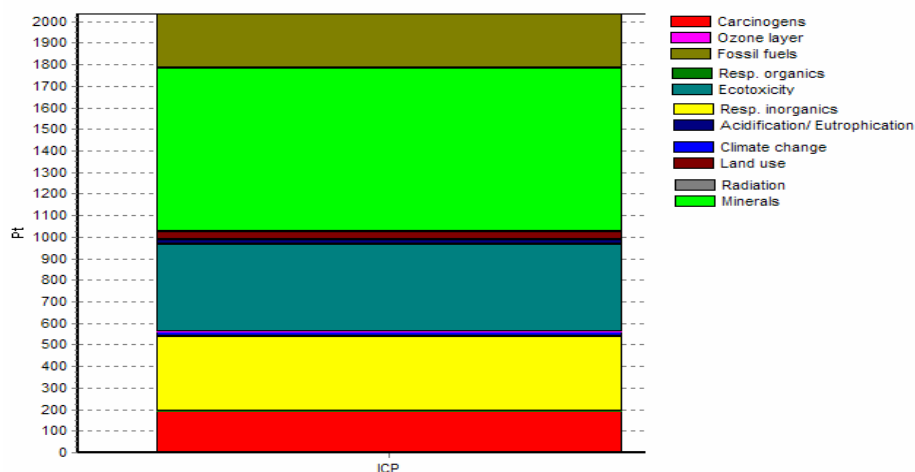


Figura VI.14 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes da ICP, output do SimaPro 7.0

6.2.7 Resultados e discussões intercalares da fase de construção e produção

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados intercalares referentes à etapa de construção e produção. Feitas as simulações apresentadas anteriormente, está-se em condições de visualizar de forma integrada, e entender as contribuições relativas, entre os diversos fornecimentos efectuados. Efectivamente, até aqui apresentaram-se os impactes relativos entre os diferentes aspectos ambientais dos grandes grupos de fornecimentos: Empreitada de Engenharia Civil, equipamento hidromecânico, ponte rolante, grupos reversíveis, transformadores de grupo, e ICP – não se entendendo que relação teriam os impactes globalmente, na fase de construção e produção.

Desta forma, foi criada uma *Assembly* que desse entrada de todas as *Subassemblies* mencionadas, e efectuou-se a simulação. A figura seguinte evidencia, para um critério *cut-off* de 8% (para o qual existe boa visibilidade), os resultados gráficos obtidos:

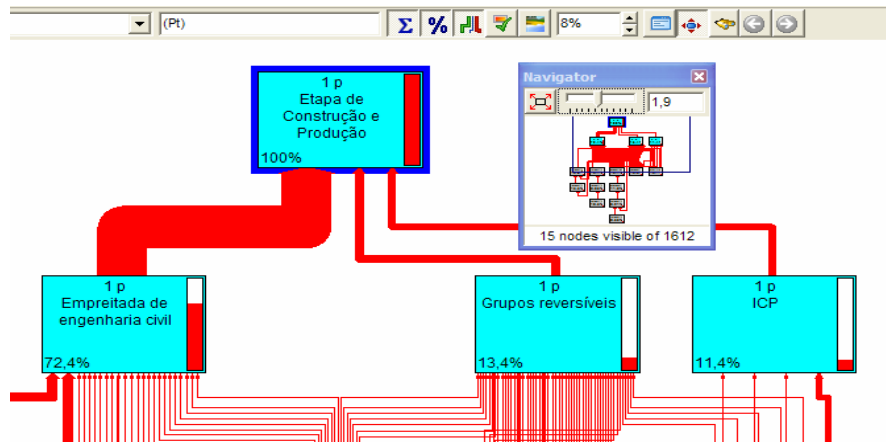


Figura VI.15 – Rede de impactes da etapa de construção e produção criada pelo SimaPro 7.0

Desde logo se observa a importância da Empreitada de Engenharia Civil. Não é um facto surpreendente, já que: a) a massa do fornecimento da Empreitada de Engenharia Civil é muito significativa [Vide 5.2.1, a partir de página 31], b) imputou-se a este fornecimento todos os consumos de electricidade e gasóleo, apesar de os restantes fornecimentos também se terem servido, em menor escala, destes serviços, c) o fornecimento da Empreitada de Engenharia Civil tem especificidades relacionadas com o transporte dos materiais: o cimento e outros materiais de construção, por serem fornecidos em grandes quantidades, originam impactes consideráveis relativos ao transporte. Note-se que foram efectuados fornecimentos com muitos percursos (em vários momentos da obra), o que não se verifica para os restantes fornecimentos.

Fazendo as simulações para outros valores do critério de *cut-off*, chegou-se à seguinte hierarquia em termos de importância de impactes:

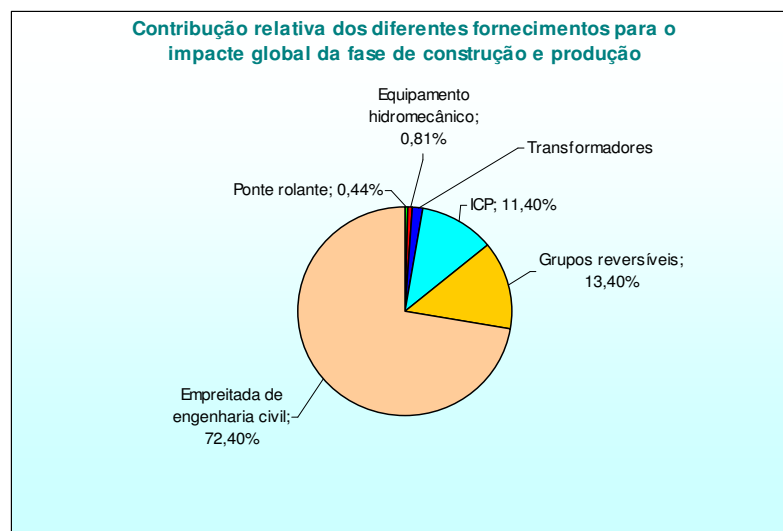


Figura VI.16 – Hierarquização de fornecimentos com base nos contributos para os impactes ambientais da fase de construção e produção

De forma a compreender, em cada categoria ambiental do método Eco-Indicator 99, a contribuição dos diferentes fornecimentos, recorreu-se à ferramenta de Caracterização do

SimaPro. No entanto, julga-se mais importante apresentar a figura seguinte, em que se observa notoriamente que a Empreitada de Engenharia Civil é, para quase todas as categorias, a que mais contribui para o impacto gerado durante a fase de construção e produção. Como seria de esperar, a sua contribuição só não é tão significativa para a categoria de Minerais, Eco-toxicidade e Respiração de Inorgânicos, uma vez que a ICP, os transformadores e os grupos reversíveis constituem fornecimentos em que se utilizou muito cobre.

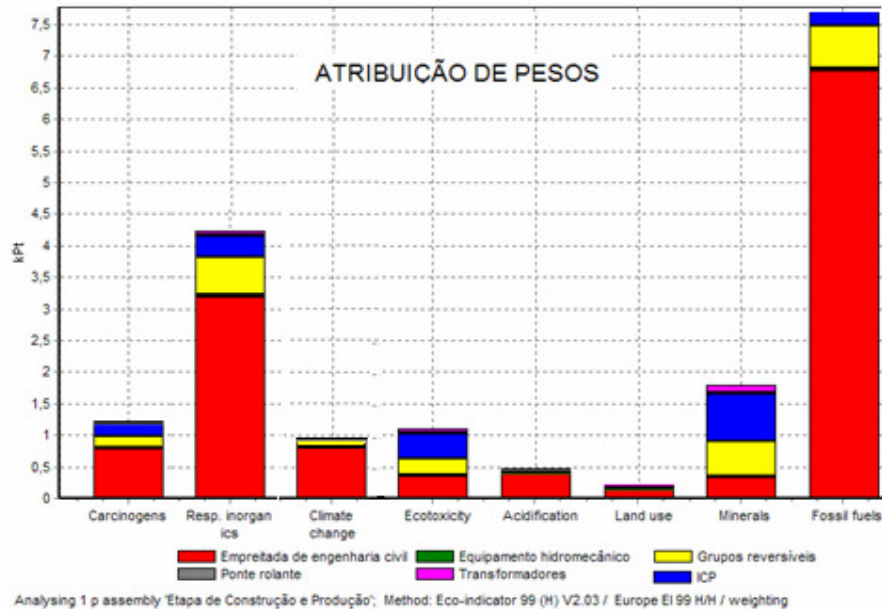


Figura VI.17 – Atribuição de pesos nas categorias de impacto ambiental para os fornecimentos da fase de construção e produção, output do SimaPro 7.0

Observa-se que a utilização de combustíveis fósseis, ao longo do ciclo de vida dos materiais, é a categoria ambiental com impactos mais severos. Daqui, conclui-se que seria muito útil melhorar os processos em termos de eficiência energética, diminuindo desta forma a pressão e dependência nos combustíveis fósseis. Por outro lado, seria benéfico do ponto de vista ambiental continuar a aposta estratégica nas fontes renováveis de produção de energia, sendo que, provavelmente, também outras categorias ambientais sofreriam melhorias. A afirmação anterior não goza da força de que poderia gozar uma vez que com este trabalho se ganhou o espírito crítico suficiente para ter consciência de que não existem conhecimentos absolutos, e de que é necessário efectuar estudos de ACV para comparar produtos, neste caso, energia a partir de fontes renováveis ou fósseis. Ainda assim, julga-se ser importante a aposta no desenvolvimento e inovação, dado o potencial das formas renováveis de energia e admitida a possibilidade de que os impactos decorrentes de todo o seu ciclo de vida, uma vez conhecidos, possam vir a ser diminuídos.

Por fim, apresenta-se um outro resultado, este decorrente da aplicação da ferramenta de *Single Score* do *SimaPro*. Observa-se, nesta figura, o contributo da Empreitada de Engenharia Civil, e pode visualizar-se a relação entre as diferentes categorias ambientais. Fica patente, mais uma vez, a importância das categorias ambientais.

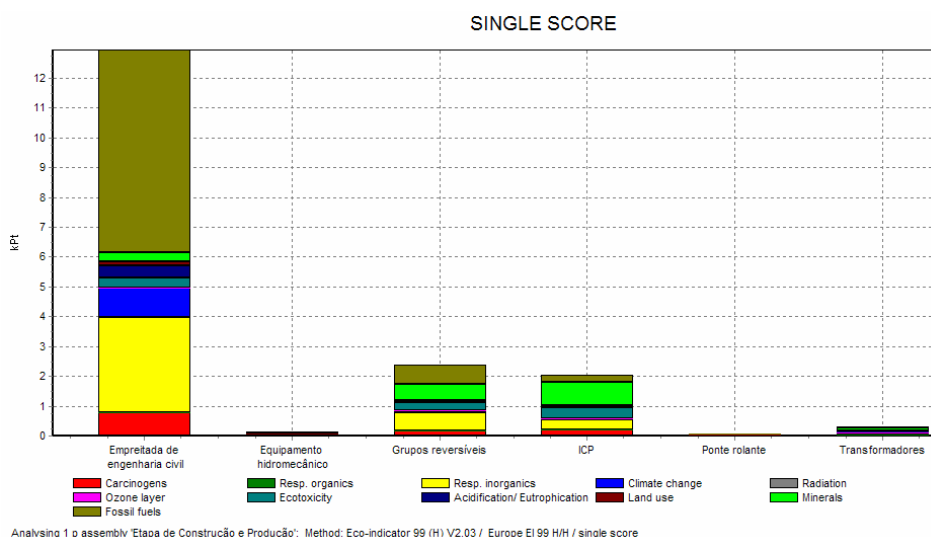


Figura VI. 18 – Contributo relativo de cada categoria de impacto ambiental nos impactos da fase de construção e produção, output do SimaPro 7.0

6.3 Metodologias específicas e resultados intercalares da fase de exploração

6.3.1 Consumos fixos

De acordo com o que foi disposto no capítulo de Inventário [Vide 5.3.2, página 47], referente à fase de exploração, foram considerados consumos fixos a energia eléctrica e o gasóleo.

6.3.1.1 Entrada de dados da Energia Eléctrica e gasóleo

Para a simulação do consumo de energia eléctrica, efectuou-se o *input*, adaptado à unidade funcional e majorado em 5%, da energia eléctrica, na *Assembly* criada para a fase de exploração.

Relativamente ao gasóleo consumido, considerou-se o valor indicado no capítulo de Inventário [Vide 5.3.2.2, página 47] e imputou-se os impactos advindos da sua queima e do restante do seu ciclo de vida. O valor obtido, para o ciclo de vida, era de 45.000 L. Admitindo a densidade de 0,85 kg/L (já assumida anteriormente), obtém-se uma massa de 38.250 kg. Por outro lado, admitiu-se, mais uma vez um PCI de 43 GJ/tonelada de gasóleo.

6.3.1.2 Entrada de dados de outros consumos fixos

Em relação a outros consumos considerados fixos, os *inputs* foram os que constam do do Inventário [Vide 5.3.2.3, página 47], adaptados à unidade funcional e majoração considerada.

A água potável de garrafão teve que ser aproximada a água de beber, uma vez que não existia especificamente água engarrafada na base de dados do *Software*.

No que diz respeito ao plástico politereftalato de etila (PET) dos copos, não houve problema na selecção do material na biblioteca do *SimaPro*.

Os detergentes seleccionados são policarboxilatos. Optou-se por considerá-los todos idênticos, pelo que o *input* foi a soma das quantidades usadas ao longo de toda a exploração da central. Efectivamente, e uma vez que é impossível saber que tipo de detergente se vai utilizar durante todo o período de exploração da central, considera-se aceitável a aproximação feita. Assumiu-se também a densidade da água ao imputar essas quantidades.

Não existia na base de dados nenhum material adequado à simulação da utilização dos panos de limpeza, pelo que se optou por não imputar os impactes da sua utilização, uma vez que, por um lado, se espera que não sejam significativos (comparativamente aos impactes da utilização de energia eléctrica ao longo do período de exploração da central). Por outro lado, não foram afectos a este estudo os recursos suficientes para obter as informações necessárias à simulação do ciclo de vida destes materiais, de utilização menor.

6.3.2 Consumos variáveis

6.3.2.1 Entrada de dados de consumos de equipamentos poluentes

Para a simulação da utilização do SF₆, com base na análise efectuada anteriormente e apresentada em capítulo anterior do Inventário [Vide 5.3.3.1], criaram-se dois *Process*, para os quais, a utilização de 1 kg de SF₆ emitia para a atmosfera o correspondente aos factores de emissão obtidos e apresentados nos Quadros V.11 e V.12 [Vide páginas 48 e 49] (para equipamentos GIS e disjuntores). Note-se que se assume que as perdas verificadas nos diversos momentos conduzem a emissões directas para a atmosfera. O *input* de SF₆ considerou igualmente essas perdas, ou seja, o valor imputado de SF₆, enquanto material, foi acrescido dos factores de emissão, uma vez que, na verdade, a utilização de, por exemplo 700 kg de SF₆ nos equipamentos dos GIS pressupõe a necessidade de atestar os equipamentos quando ocorrem fugas e durante o fabrico e comissionamento. Esses acréscimos estão igualmente sujeitos aos factores de emissão apresentados.

Foram também introduzidas as quantidades de SF₆ nos *Materials*, já que a base de dados dispunha de informações relativas à produção do gás.

Por outro lado, é necessário avaliar os impactes decorrentes do ciclo de vida dos diferentes óleos utilizados. O quadro seguinte agrupa-os, consoante os tipos:

| Tipo de óleo | Consumo no ciclo de vida | Input de simulação |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|
| Óleo de esforços | 20.220 L | 88,65 kg |
| Óleo isolante eléctrico | 51.250 kg | 280,86 kg |
| Óleo lubrificante | 7.250 L | 31,78 kg |

Quadro VI.8 – Síntese dos óleos inventariados e imputados para o período de exploração

Os óleos isolantes são óleos minerais resultantes da destilação do petróleo natural, pelo que se seleccionou, na base de dados, o óleo de petróleo. Em relação aos óleos lubrificantes e de esforços, optou-se por imputar as suas quantidades seleccionando o *Material* de Óleo

Lubrificante, por se considerarem idênticos. Considerando para ambos uma densidade média de 0,8, obteve-se os valores de *input* do quadro acima.

Por outro lado, inclui-se também a informação respeitante ao dióxido de carbono dos extintores e ao consumo do gás refrigerante das instalações de climatização.

Os restantes consumos inventariados foram considerados desprezáveis, por constituírem massas muito inferiores às anteriores.

6.3.2.2 Entrada de dados de outros consumos pontuais

Verificou-se alguma dificuldade em obter informações específicas destes consumos (panos absorventes), após o seu inventário. A base de dados não dispunha de entradas adequadas, e, uma vez que não se considerou estes consumos significativos no ciclo de vida da central, optou-se por afectar a aspectos mais significativos os recursos disponíveis.

6.3.2.3 Entrada de dados de substituição de equipamentos e materiais

Como foi mencionado anteriormente no capítulo de Inventário, a única substituição de equipamentos considerada é aquela que se relaciona com os equipamentos electrónicos [Vide 5.3.4]. Assim, e tendo-se assumido 5 substituições destes equipamentos no ciclo de vida, o procedimento adoptado consistiu simplesmente em efectuar o input de material electrónico, com valor cinco vezes o outrora inventariado [Vide Anexo I, Quadro A1.5].

6.3.3 Resultados e discussões intercalares

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados referentes à fase de exploração da central. A figura seguinte constitui a árvore criada pelo software:

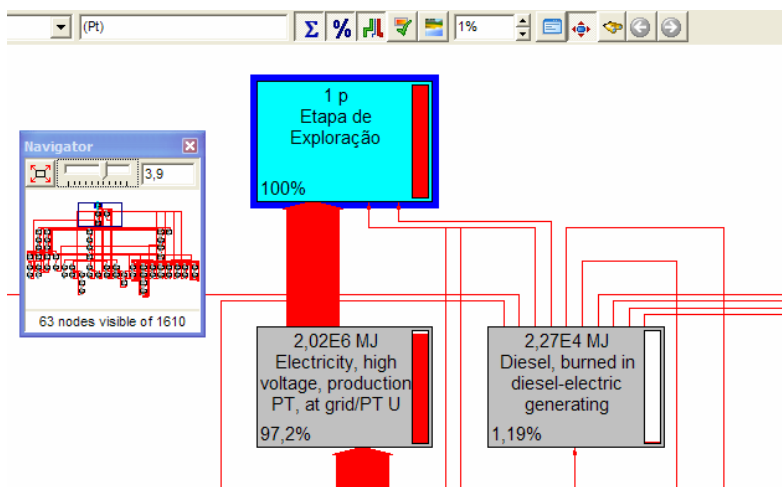


Figura VI.19 – Rede de impactes da fase de exploração criada pelo SimaPro 7.0

É notório o domínio, em termos de impactes ambientais relativos à fase de exploração, da utilização de energia eléctrica. Os restantes aspectos inventariados têm contribuições muito inferiores. De certa forma, tal facto era esperado. O inventário dos consumos eléctricos no ano 2006 [Vide quadro A3.1, Anexo III] levava a crer que assim seria.

O Quadro A2.3 (Anexo II) apresenta os dados e mecanismo de cálculo que sustenta os resultados obtidos. O mecanismo de cálculo adoptado serve-se de diversas informações, e

mostra que, por unidade de energia eléctrica consumida o impacte das fases de construção e produção e exploração são idênticos (uma vez que o quociente dos contributos e dos *inputs* é idêntico), como seria de esperar.

Ao contrário do que foi efectuado anteriormente, no caso da exploração, a apresentação gráfica dos resultados das simulações com diferentes *cut-offs* não tem interesse, uma vez que se verifica o domínio muito acentuado do consumo de energia eléctrica face a outros aspectos ambientais.

| Aspecto ambiental | Contribuição |
|--------------------------------------|--------------|
| Consumo de electricidade | 97,20% |
| Queima do diesel | 1,19% |
| Substituição de material electrónico | 0,47% |
| Utilização de SF ₆ no GIS | 0,46% |
| Consumo de plásticos | 0,42% |
| Ciclo de vida do diesel até armazém | 0,39% |
| Óleos lubrificantes | 0,29% |
| Policarboxilatos (detergentes) | 0,08% |

Quadro VI.9 – Hierarquização dos aspectos ambientais da fase de exploração

Note-se que os resultados expressos no quadro anterior sustentam e justificam as decisões tomadas na definição de fronteiras, isto é, legitimam o facto de se terem considerado desprezáveis alguns consumos inventariados, cuja expressão, em termos de massa (e, julga-se, em termos de relevância ambiental), não é significativa [Vide 3.3.1].

6.4 Resultados gerais

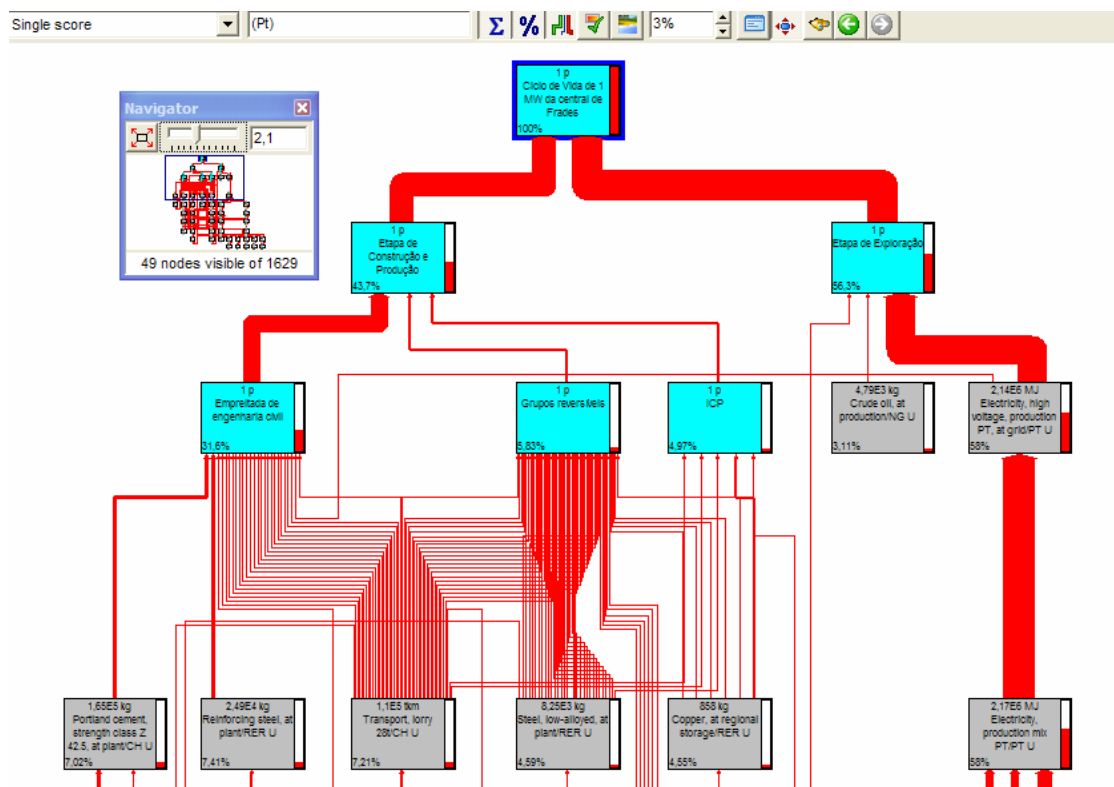


Figura VI.20 – rede de impactes do ciclo de vida criada pelo SimaPro 7.0

Neste capítulo apresentam-se, então, os resultados referentes ao ciclo de vida de 1 MW instalado da central de Frades, ou seja, avaliam-se os impactes da unidade funcional adoptada [Vide 3.2, página 14]. A figura anterior constitui a rede de impactes obtida com o *SimaPro* e permite identificar os principais impactes: cimento, transporte dos materiais de construção, aços vários (utilizados na construção civil e nos equipamentos), cobre e consumo de electricidade na fase de exploração. Estes impactes (visualizados na rede), individualmente, contribuem pelo menos com 3% dos impactes globais, já que esse foi o *cut-off* seleccionado. Utilizando a ferramenta de atribuição de pesos, obtém-se o seguinte gráfico, que evidencia a pontuação, em termos do Eco-indicador, das diferentes categorias ambientais. Nota-se que a categoria dos combustíveis fósseis é a mais severa segundo a atribuição de pesos do *SimaPro*, logo seguida da Respiração de Compostos Inorgânicos, com interferência na saúde humana, devendo por isso constituir motivo de preocupação. As restantes categorias relevantes são as Alterações Climáticas, a Eco-toxicidade, os Minerais, a Acidificação e Eutrofização (ainda que, desta categoria, o aspecto mais relevante deva ser o de acidificação, porque o ciclo de vida da central não envolve a emissão de nutrientes de fertilizantes para o solo) e a Carcinogenia.

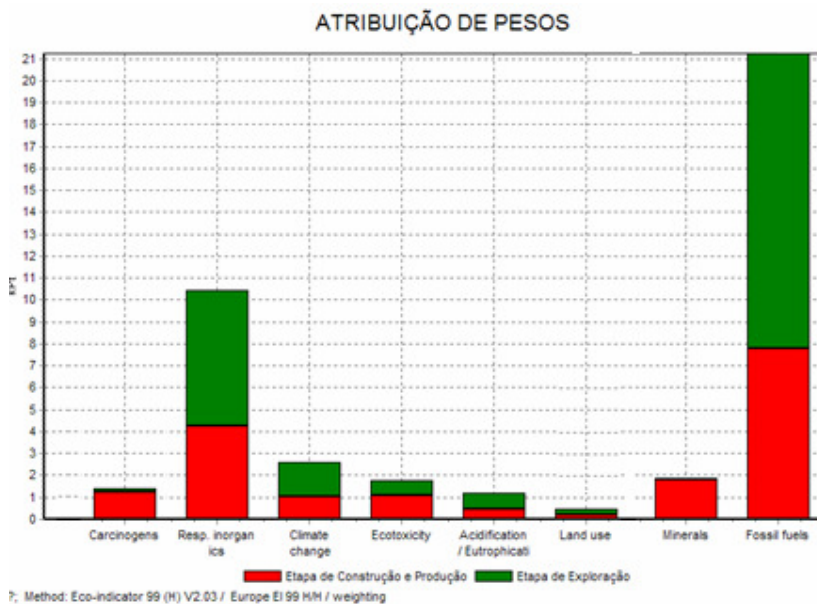


Figura VI.21 – Atribuição de pesos nas categorias de impacte ambiental para as fases de construção e produção e de exploração, output do SimaPro 7.0

Os resultados da figura anterior trazem algumas evidências:

- As categorias de Combustíveis Fósseis e Alterações Climáticas são ligeiramente dominadas pela fase de exploração, uma vez que quase todos os impactes desta (que corresponde a 56,3% dos impactes globais do ciclo de vida) advêm do consumo de energia eléctrica: grande consumidora de combustíveis fósseis;
- A categoria de Minerais é quase exclusivamente pontuada devido à fase de construção e produção, naturalmente porque é a fase em que existe a depleção dos minérios utilizados na produção dos aços, cobre e alumínio;

- A categoria de Carcinogenia é maioritariamente dominada pela fase de construção e produção, uma vez que os vários processos de produção englobam emissão de substâncias carcinogénicas;
- A categoria de acidificação e eutrofização é ligeiramente dominada pela fase de exploração, provavelmente devido às emissões, na produção de energia eléctrica de óxidos de enxofre, SO_x e de azoto, NO_x, responsáveis pela acidificação.

Por fim, apresenta-se o Single Score, que mostra a importância de cada categoria ambiental nas *Assemblies* de Construção e Produção e Exploração. Nota-se a importância superior da fase de Exploração, e, em ambas, a importância do uso dos combustíveis fósseis e da emissão de compostos inorgânicos. É de ter presente que a importância relativa da fase de exploração está muito dependente do tempo de vida assumido para a central, pelo que os resultados decorrentes deste estudo devem ser interpretados com base na consideração feita e na assunção da exploração da central até 2050.

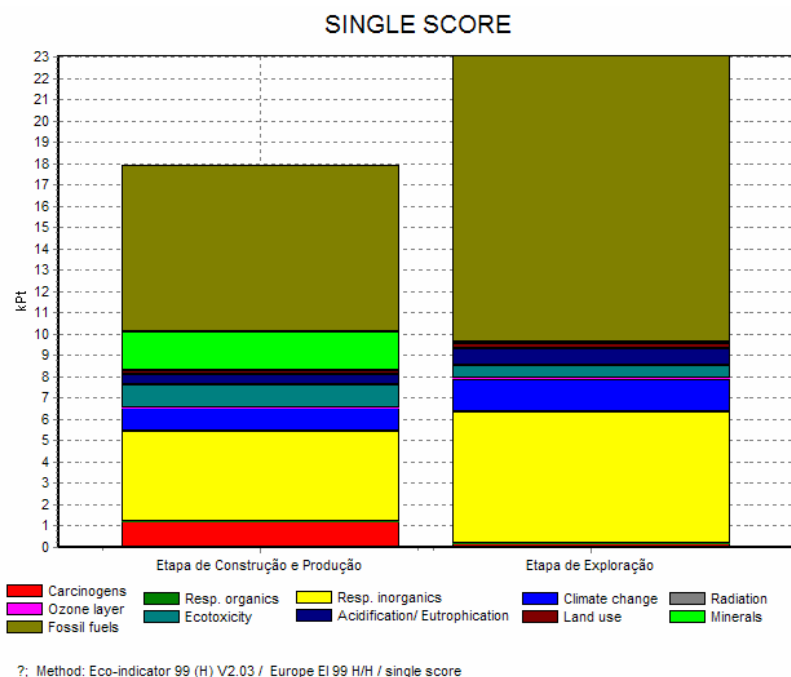


Figura VI.22 – Contributo relativo de cada categoria de impacte ambiental nos impactes nas fase de construção e produção e de exploração. output do SimaPro 7.0

7 Conclusões e perspectivas futuras

A realização deste estudo pressupôs a adequação de muitos meios e recursos. Um trabalho desta envergadura envolve o conhecimento profundo do objecto de estudo e para isso foi necessário estudar detalhadamente os documentos disponíveis relativos ao projecto, sendo que a *Master File* não estava acessível por não ter sido constituída até à data de realização do estudo. Foram efectuadas diversas visitas à central e reuniões com a equipa da HidroRumo responsável pelo projecto, bem como com técnicos da EDP Produção, mais concretamente do Sistema de Exploração do Cávado-Lima. O contributo imprescindível de todos com quem se lidou na EDP é um aspecto claramente positivo e marca o espírito empreendedor e de mudança do paradigma que se sente no Grupo. Apesar disso, é de ressaltar a dificuldade que se sentiu em reunir a documentação necessária e útil, porque alguns documentos, como manuais de manutenção, não tinham ainda sido recebidos da parte dos fornecedores, outros, demoraram muito tempo a ser enviados para Lisboa. Por outro lado, os volumes referentes às propostas de fornecimento são muito extensos, e alguns não propriamente relevantes, pelo que teve que se efectuar uma triagem e seleccionar a informação que se pretendia. Nesse sentido, propõe-se que, futuramente, a EDP exija nas descrições e questionários técnicos dos Cadernos de Encargos as informações necessárias discriminadas de forma a facilitar os futuros estudos de ACV, nomeadamente em relação aos materiais que compõem os fornecimentos e respectivas massas.

Sendo impossível, em 6 meses, dispor de todas as informações relativas ao objecto de estudo, a análise centrou-se no que se assumiu como relevante em termos de massa, e significado ambiental [É de notar que este é um trabalho adequado a uma equipa multidisciplinar, uma vez que envolve questões altamente complexas em diversas áreas de engenharia, alheias à Engenharia do Ambiente, mas em especial Engenharia Civil e Engenharia Electrotécnica]. À medida que os dados foram sendo introduzidos no *SimaPro*, efectuaram-se simulações intercalares, que são incluídas no capítulo de Avaliação de Impactes Ambientais e Resultados [6]. Optou-se por adoptar esta estrutura de forma a visualizar detalhadamente os impactes e a contribuição dos diferentes aspectos em cada fornecimento e fase do ciclo de vida, só depois se apresentando as informações globais. As conclusões e discussões vão por isso sendo apresentadas no encadeamento dos elementos gráficos, pelo que este capítulo se centra nos principais aspectos identificados.

Reunindo os principais resultados: na fase de construção e produção, o fornecimento mais relevante foi o da Empreitada de Engenharia Civil, com forte contribuição dos aços utilizados na construção e do cimento, mas também do transporte dos materiais para a obra. No entanto, o fornecimento dos Grupos Reversíveis e da Instalação Complementar de Produção também foi considerável, devido à utilização de grandes quantidades de aço e cobre, respectivamente, sendo que este último é um minério cuja extracção prejudica a qualidade dos recursos minerais disponíveis (Eco-Indicator 99 – *A Manual for Designers*, 2000). O inventário da ICP foi o mais demorado e difícil, com aliás se depreenderá observando o Anexo I, e, ainda que na fase de exploração este fornecimento se tenha revelado significativo, no panorama

geral do ciclo de vida corresponde apenas a cerca de 5% dos impactes. Assim, futuramente, de acordo com os recursos necessários para o inventário da ICP, será de ponderar a sua consideração.

Relativamente à fase de exploração, a utilização de energia eléctrica é um impacte absolutamente dominante, constituindo cerca de 97% dos impactes globais desta fase. Este inventário considerou igualmente os seguintes aspectos (entre outros, apresentados por ordem decrescente de importância): queima do diesel dos grupos de emergência, substituição do equipamento electrónico, utilização de SF₆ nos GIS (*Gas-insulated Switchgear*), consumo de plásticos, ciclo de vida do diesel até armazém e, por fim, utilização dos detergentes. Note-se que, desta lista, não constam os aspectos ambientais relacionados com a gestão dos resíduos. Com efeito, SETTERWALL (2002) refere que os aspectos relacionados com o manuseio de resíduos e a fase de demolição são importantes, à excepção do que sucede nas centrais hídricas. Efectivamente, é no caso das térmicas que a produção de resíduos, principalmente dos combustíveis (cinzas) tem impactes consideráveis.

Ainda que a importância da energia eléctrica consumida na fase de exploração não mude com o tempo de vida assumido para a central, a importância relativa entre a fase de construção e produção e a fase de exploração varia com esse factor. Num estudo de ACV em que a unidade funcional utilizada seja o kWh, os impactes ambientais determinados diminuem com o aumento do tempo de exploração (efeitos de escala), uma vez que os impactes são divididos por uma maior quantidade de energia produzida. É necessário atentar no facto de este estudo não ter essa particularidade. Efectivamente, a unidade funcional escolhida foi a de potência instalada [Vide 3.2, página 14], pelo que os impactes identificados aumentam com o aumento do tempo de exploração da central. Note-se que, na verdade, a questão pode ser vista de outra forma: no caso de a central entrar em desactivação tem que se construir outra, e haverá novos impactes para disponibilizar aquela potência [*abordagem consequencial*, Vide 2.2]. Por outro lado, poder-se-ia ter utilizado como unidade funcional a grandeza de unidade: MWinstalado·ano. Ainda que esta se pareça com uma unidade de energia, não tem esse significado físico e esta escolha permitiria quantificar os impactes ambientais da potência instalada, por cada ano de operação. Não tendo sido essa a estratégia, é pois de atentar no facto enunciado e, futuramente, no caso de se querer comparar dois projectos diferentes, é conveniente utilizar horizontes temporais idênticos.

Ainda relativamente à energia eléctrica consumida durante o período de exploração, é necessário reflectir sobre a opção tomada de não considerar a energia gasta na bombagem da água para montante, nas horas de excedente. Esta opção resultou do facto de a energia eléctrica ser de excedente, sendo produzida quer seja utilizada ou não (estas questões estão relacionadas com o arranque das centrais a carvão). Por outro lado, parte da energia utilizada na bombagem é energia eólica, não produzindo impactes significativos. Apesar destes factos, existe necessidade de verificar se os impactes resultantes da produção da energia das térmicas, durante a noite são imputados à energia produzida diariamente, mantendo a coerência e evitando que haja impactes que não são atribuídos. Como sugestão, fica a ideia de que se faça, futuramente, um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida de uma central térmica, atentando nesta questão.

Este estudo traz uma perspectiva inovadora para a EDP, contabilizando, pela primeira vez, os impactes da construção de uma central, que se revelaram muito importantes face aos impactes globais, constituindo cerca de 44% dos impactes do ciclo de vida. RIBEIRO (2003) afirma que as maiores contribuições para aspectos ambientais do ciclo de vida de uma central hidroeléctrica estão relacionadas com a sua construção. Neste caso, isso não se verificou, mas existem dois grandes motivos para justificar e credibilizar os resultados obtidos: em primeiro lugar, uma vez que esta central constitui um reforço de potência, a estrutura da barragem já estava erguida, e a uso da Central de Venda Nova. Por conseguinte, considerou-se inadequado afectar ao objecto de estudo os impactes da construção da barragem, que já se fizeram sentir e far-se-iam sentir, existisse ou não a central de Frades. Ora, a consideração pela estrutura da barragem, em betão, provocaria alterações no resultado obtido. Por outro lado, e apresentando também este facto como lacuna do conhecimento, não foram considerados no estudo os impactes advindos das empreitadas secundárias de engenharia civil já que houve dificuldade em obter as informações necessárias para entrar em consideração com a construção dos acessos. Desta forma, e julgando-se também que os seus impactes não são totalmente imputáveis à unidade funcional (a comunidade local serve-se beneficentemente das estradas e da ponte construídas) teve que se aceitar esta dificuldade e limitação e não se consideraram estes impactes, que acresceriam certamente de significado a fase de construção relativamente à fase de exploração. Como segundo aspecto tem-se a referir que esta central tem particularidades ao nível da exploração: a esmagadora maioria dos impactes advindos da fase de exploração são consumos de energia eléctrica, muito significativos devido também aos consumos específicos de uma central escavada e soterrada: iluminação dos túneis, drenagem, restituição e ventilação, constituindo estes cerca de 23% das fontes consumidoras de energia eléctrica durante a fase de exploração [Vide Quadro A3.1, Anexo III].

Infelizmente, devido a questões de disponibilidade de recursos, quase todas as simulações foram feitas recorrendo à base de dados Ecoinvent. Ainda que tudo indique que é uma base de dados fiável, sendo utilizada amplamente na Comunidade Científica e inclusivamente no Instituto Superior Técnico, para a *foreground data* [Vide 3.3.2, página 18] é desejável utilizar informação mais específica. Reconhece-se nas diversas referências bibliográficas indicadas esta afirmação, mas há que notar que este é um produto não convencional, sendo que a introdução, por exemplo, dos ciclos de vida específicos do cimento, aço, ou energia eléctrica consumida constituiria um trabalho paralelo, impossível de projectar num período de 6 meses. Ainda assim, procurou-se verificar a consistência dos resultados obtidos, podendo, como exemplo, referir-se o Mecanismo de Cálculo A2.3 (Anexo II). De qualquer forma, todos os resultados obtidos se revelaram coerentes e consistentes com os demais documentos consultados, nomeadamente o *Workshop* da EPA.

Futuramente, seria conveniente entrosar estes estudos com as fases de obra. Inventariaram-se os consumos de combustível e energia eléctrica, mas de forma não discriminatória, ou seja, não se conseguiu atribuir os consumos às actividades ou às máquinas. Foi feito o levantamento das máquinas presentes na obra e das suas funções, tendo-se cruzado essas informações com os programas de actividades e, com base nos turnos de trabalhadores efectuados, tentou prever-se os seus tempos de funcionamento. No entanto, essa abordagem não foi bem sucedida, uma vez que houve grande dificuldade em fazer essa

última estimativa. Por outro lado, as informações de consumos de energia eléctrica e gasóleo provieram de fontes fidedignas, pelo que se alterou as fronteiras do sistema [Carácter iterativo da ACV]. No entanto, esse estudo teria sido interessante e deverá ser viabilizado futuramente.

É também de mencionar um outro aspecto que poderá ser encarado como uma limitação do estudo e, por conseguinte, uma lacuna do conhecimento. Descobriu-se recentemente que a utilização de explosivos provoca a emissão de nanopartículas, com consequências sérias para a saúde humana. Ora, as pesquisas que levaram à obtenção dos factores de emissão decorrentes das explosões com amonites e gelamonites não davam conta deste facto, pelo que este teve que ser desprezado. Em termos de perspectivas futuras, é também interessante a discussão sobre as escavações com explosivos ou perfuradoras [Vide 6.2.2.4].

Para além das limitações do estudo já apresentadas, convém referir a não consideração por situações de avaria ou incidentes, que naturalmente levariam a que os impactes relativos à fase de exploração fossem acrescidos (ainda que não muito). No entanto, e uma vez que não se pretende desenvolver teorias especulativas, assumiu-se que estes incidentes não ocorreriam, tendo-se, por conseguinte, desprezado esses impactes. Por outro lado, seria conveniente conseguir uma melhor estimativa dos consumos de electricidade durante a fase de exploração, já que estes se revelaram tão importantes. Ainda assim, e tendo em conta apenas um ano de exploração passível de utilizar para extrapolação, considera-se que a estimativa feita foi a melhor possível. Para além disso, é complicado prever qual a matriz energética portuguesa durante o horizonte de exploração da central, pelo que é de assinalar a incerteza inerente a qualquer estimativa do género.

Aparte das limitações descritas, existem outras próprias do processo de ACV. Segundo OWENS, J.W. (1997), a técnica é prejudicada devido a falhas decorrentes da passagem da fase de inventário para a fase de avaliação de impactes ambientais. Por outro lado, o autor aponta o facto de se proceder à agregação de diferentes emissões, i.e., efectua-se abusivamente a soma de massas de poluentes emitidos em diferentes regiões do espaço, em períodos diferentes e com diferentes periodicidades. Estas limitações são alheias a esta Dissertação, uma vez que se utilizou um recurso informático para avaliar os impactes, não devendo no entanto ser descuradas.

É de referir, por fim, que este estudo procura abrir uma porta. O trabalho não está todo feito, é necessária continuidade e viabilização de meios para se apoiar a decisão e melhorar os projectos através de um melhor desempenho ambiental. A Engenharia do Ambiente parece uma área da Engenharia promissora, sendo que para tal é necessário disseminar estas ideias e encher todos os intervenientes no espaço e no ambiente desta perspectiva enriquecedora e construtiva. A ACV, é, no meu entender, uma ferramenta útil, identifica impactes reais decorrentes do uso de um produto, permite propor alternativas e integrar o Ambiente nos processos de decisão, tecnocraticamente, mantendo sempre presentes as noções de Economia e Sociedade patentes nas ideias de Sustentabilidade. E, como referi anteriormente, o Ambiente pode constituir uma oportunidade, a começar porque se promove a redução dos consumos de materiais e combustíveis, o que do ponto de vista económico é uma oportunidade já identificada. Muito há a ser feito, muito há a descobrir. Mas já se abriu uma porta.

ANEXOS

ANEXO I – Inventário de materiais da fase de construção e produção

Quadro A1.1 – Inventário de materiais do equipamento hidromecânico

| EQUIPAMENTO HIDROMECAÂNICO – PARTE 1/2 | | | |
|---|--|--|---|
| Elemento | Componente | Massa total (kg) / Observações | Massa discriminada por material (kg) |
| Tomada de água inferior | Grades de protecção | Proposta: 6 x 4300 = 25.800 kg | Ferro fundido: 50% da massa total = 12.899 kg Aço ao carbono: 50% da massa total = 12.899 kg |
| | | Manual: 25.798 kg | |
| | Tabuleiro das comportas ensecadeiras | Proposta: 2 x 3 x 3.760 = 22.560 kg | Aço: 22.820 kg |
| | | Manual: 22.820 kg | |
| | Balancim | Proposta: 1.200 kg | Aço: 1.544 kg |
| | | Manual: 1.544 kg | |
| | Guiamentos e apoios | Manual: 1.670 kg | Aço: 1.670 kg |
| Acessórios: tapamentos, bordaduras, grampos | Proposta: 1.500 kg | Aço: 1.589 kg | |
| | Manual: 1.589 kg | | |
| Conduta de arejamento | Proposta: 2.000 kg | Aço: 2.370 kg | |
| | Manual: 2.370 kg | | |
| Tomada de água superior | Grades de protecção | Proposta: 6 x 5140 = 30.840 kg | Ferro fundido: 50% da massa total = 10.667,5 kg Aço ao carbono: 50% da massa total = 10.667,5 kg |
| | | Manual: 21.335 kg | |
| | Tabuleiro da comporta vagão (segurança) | Proposta: 8.500 kg | Aço: 7.016 kg |
| | | Manual: 7.016 kg | |
| | Peças fixas da comporta vagão | Manual: 6.111 kg | Aço: 6.111 kg |
| | Acessórios da comporta vagão | Manual: 1.666 kg | Aço: 1.666 kg |
| Servomotor | Proposta: 2.710 kg | Aço: 1.697,5 (70% da massa do servomotor propriamente dito) + 1130 (peças fixas) = 2827,5 kg Aço inox: 727,5 (30% da massa do servomotor propriamente dito) + 16 (peças fixas) = 743,5 kg PVC: 90 kg (peças fixas) | |
| | Manual: 1.236 (peças fixas - indicador de posição, base, apoio da base, coluna de contactos, indicador de posição da haset, etc) + 2.425 (servomotor propriamente dito) = 3.661 kg | | |

| EQUIPAMENTO HIDROMECAÂNICO – PARTE 2/2 | | | |
|--|---|--|--|
| Elemento | Componente | Massa total (kg) / Observações | Massa discriminada por material (kg) |
| Tomada de água superior | Tabuleiro da comporta ensecadeira (conjunto, estrutura, peças várias, válvula de equilibragem, corpo superior e inferior) | Proposta: 5.300 kg | Aço: 5.186 kg |
| | | Manual: 5.186 kg | |
| | Accessórios da comporta ensecadeira | Manual: 872 kg | Aço: 872 kg |
| | Diferencial eléctrico | Manual: 1.170 kg | Aço: 1.170 kg |
| | Conduta de arejamento | Proposta: 5400 kg | Aço: 6.313 kg |
| | | Manual: 6.243 (blindagem) + 70 (grelha) = 6.313 kg | |
| | Peças várias | Manual: 1.817 kg | Aço inox: 98% da massa total = 1.781 kg Aço: 2% da massa total = 363,4 kg |
| Posto de manobra | Extrapolação de informações referentes a Alqueva: 800 kg | Aço: 800 kg | |
| TOTAL | | | Aço: 85.884 kg Ferro fundido: 23.567 kg Aço inox: 2.525 kg PVC: 90 kg |

Quadro A1.2 – Inventário de materiais do carro guincho principal da ponte rolante

| CARRO GUINCHO PRINCIPAL DA PONTE ROLANTE – PARTE 1/2 | | | |
|--|---------------------|------------|---------------------------|
| Designação do item | Massa unitária (kg) | Quantidade | Massa total por item (kg) |
| Cabo do tambor | 3160 | 1 | 3160 |
| Caixa de engrenagem do guincho | 1565 | 1 | 1565 |
| Motor do guincho | 360 | 1 | 360 |
| <i>Double shoe brake</i> | 90 | 1 | 90 |
| Flange do motor | 52 | 1 | 52 |
| Bloco superior | 1220 | 1 | 1220 |

| CARRO GUINCHO PRINCIPAL DA PONTE ROLANTE – PARTE 2/2 | | | |
|---|----------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Designação do item | Massa unitária (kg) | Quantidade | Massa total por item (kg) |
| Bloco inferior | 1.176 | 1 | 1.176 |
| Cabo | 636 | 1 | 636 |
| Braço do binário | 15 | 1 | 15 |
| Interruptor limite | 2 | 1 | 2 |
| Guincho auxiliar | 1.390 | 1 | 1.390 |
| Conjunto móvel da roda | 316 | 2 | 632 |
| Conjunto não móvel da roda | 290 | 2 | 580 |
| Caixa de transmissão | 250 | 2 | 500 |
| Motor | 70 | 2 | 140 |
| Tampão | 4 | 4 | 16 |
| Estrutura do guindaste | 3.397 | 1 | 3.397 |
| TOTAL | | | 14.931 |

Quadro A1.3 – Inventário de materiais dos grupos reversíveis

| GRUPOS REVERSÍVEIS – PARTE 1/3 | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|
| Equipamento | Elemento | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) |
| Turbinas-bombas | Espiral e antedistribuidor | 76.370 kg | Aço ao carbono laminado: 76.370 kg |
| | Blindagem do poço | 6.340 kg | Aço ao carbono laminado: 6.340 kg |
| | Distribuidor | 132.740 kg | Aço ao carbono laminado: 102.200 kg |
| | | | Aço vazado: 11.120 kg |
| | | | Aço inox: 16.000 kg |
| | | | Produtos diversos: 3.420 kg |
| | Válvula esférica | 68.790 kg | Aço ao carbono laminado: 56.470 kg |
| | | | Aço forjado: 6.120 kg |
| | | | Aço inox: 1.520 kg |
| | | | Produtos diversos: 4.680 kg |
| Veio | 40.040 kg | Aço ao carbono laminado: 540 kg | |
| | | Aço forjado: 39.500 kg | |

| GRUPOS REVERSÍVEIS – PARTE 2/3 | | | |
|--|--|------------------------------------|---|
| Equipamento | Elemento | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) |
| Turbinas-bombas | Roda | | Aço inox: 24.330 kg |
| | Chumaceira-guia e junta de vedação do veio | 6.120 kg | Aço ao carbono laminado: 4.970 kg |
| | | | Aço forjado: 200 kg |
| | | | Aço inox: 40 kg |
| | | | Produtos diversos: 910 kg |
| | Tubagens | 14.660 kg | Aço ao carbono laminado: 8.340 kg |
| | | | Aço inox: 6.320 kg |
| | Tapamentos e ancoragens | 20.270 kg | Aço ao carbono laminado: 19.100 kg |
| | | | Aço inox: 300 kg |
| | | | Produtos diversos: 870 kg |
| | Blindagem da conduta em pressão | 324.000 kg | Aço ao carbono laminado: 324.000 kg |
| | Comportas do tubo de aspiração | 52.000 kg | Aço ao carbono laminado: 48.000 kg |
| Produtos diversos: 4.000 kg | | | |
| Portas estanques | 93.500 kg | Aço ao carbono laminado: 93.500 kg | |
| Ferramentas | 2.420 kg | Aço ao carbono laminado: 1.000 kg | |
| | | Produtos diversos: 1.420 kg | |
| Equipamento de desafoamento da roda | Acumuladores de ar | 3.920 kg | Aço: 2 x 1960 = 3.920 kg |
| | Compressores de ar comprimido | 4 x 420 = 1.680 kg | Aço: 1.176 kg (70% da massa total) |
| | | | Cobre: 336 kg (20% da massa total) |
| | | | PVC: 168 kg (10% da massa total) |
| Instalação geral de refrigeração | Electrobombas dos transformadores | 2 x 735 = 1.470 kg | Ferro: 1.176 kg (80% da massa total) |
| | | | Cobre: 294 kg (20% da massa total) |
| | Electrobombas dos grupos | 4 x 735 = 2.940 kg | Ferro: 2.352 kg (80% da massa total) |
| | | | Cobre: 588 kg (20% da massa total) |
| Filtros | 2 x 545 = 1.090 kg | Ferro: 1.090 kg | |

| GRUPOS REVERSÍVEIS – PARTE 3/3 | | | |
|---|----------------------------|---|--|
| Equipamento | Elemento | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) |
| Sistema de regulação de velocidade | Electrobombas | 2 x 146 = 292 kg | Ferro: 234 kg (80% da massa total) |
| | | | Cobre: 58 kg (20% da massa total) |
| | Compressores | 2 x 345 = 690 kg | Aço: 483 kg (70% da massa total) |
| | | | Cobre: 138 kg (20% da massa total) |
| | | | PVC: 69 kg (10% da massa total) |
| | Tanque de óleo de 2600 L | 1.450 kg | Ferro: 1.450 kg |
| Acumulador ar/óleo | 690 kg | Aço: 690 kg | |
| Alternadores-motores | Estator | 87.100 kg | Aço: 87.100 kg |
| | Rotor | 100.250 kg | Aço: 100.250 kg |
| | Veio | 31.460 kg | Aço: 31.460 kg |
| | Chumaceira-combinada | 800 (permutador) + 1.450 (reservatório) = 2250 kg | Aço: 800 kg |
| | | | Ferro: 1.450 kg |
| | Chumaceira-guia inferior | 2 x 11.307 (cubas) + 2 x 5990 (chumaceiras) = 34.594 kg | Aço: 34.594 kg |
| Cruzetas | 66850 + 116050 = 182900 kg | Aço: 182900 kg | |
| TOTAIS | | | Aço: 1.184.203 kg Aço inox: 48.510 kg Aço vazado: 11.120 kg Aço forjado: 45.820 kg Cobre: 1.414 kg Ferro: 7.752 kg PVC: 237 kg Produtos diversos: 15.300 kg |

Quadro A1.4 – Inventário de materiais dos transformadores de grupo

| TRANSFORMADORES DE GRUPO | | | |
|--|---------------------------|----------------------------|---|
| Equipamento | Elemento | Massa unitária (kg) | Massa unitária discriminada por material (kg) |
| Transformador | Circuitos | 51.000 kg | Chapa magnética: 51.000 kg |
| | Enrolamentos | 16.500 kg | Cobre: 16.500 kg |
| | Isolante dos enrolamentos | 2.800 kg | Papel: 1.960 kg (70% em massa do isolante) |
| | | | Madeira: 840 kg (30% em massa do isolante) |
| | Cuba | 14.000 kg | Aço laminado: 14.000 kg |
| | Outros componentes | 8.200 kg | Porcelana: 1.700 kg |
| | | | Cobre: 400 kg |
| | | | Papel: 70 kg |
| Madeira: 30 kg | | | |
| Aço: 6.000 kg | | | |
| Óleo | 25.000 kg | Óleo: 25.000 kg | |
| Sistema de arrefecimento | 1.500 kg | Aço: 1.500 kg | |
| TOTAIS (para os dois transformadores) | | | Chapa magnética: 102 t Cobre: 33,8 t Papel: 4,06 t Madeira: 1,74 t Aço: 43 t Porcelana: 3,4 t Óleo: 50 kL |

Quadro A1.5 – Inventário de materiais da Instalação Complementar de Produção

| INSTALAÇÃO COMPLEMENTAR DE PRODUÇÃO – PARTE 1/5 | | | |
|--|---------------------------------|--|---|
| Elemento | Nº unidades / quantidade | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) |
| Computadores equivalentes da rede de dados | 33 | 33 x 5 = 165 kg | Material electrónico: 165 kg |
| | 7 | 7 x 100 kg (60 kg de estrutura + 40 kg de material electrónico) | Aço: 7 x 60 = 420 kg Material Electrónico: 7 x 40 = 280 kg |
| | 19 | 19 x 100 kg (60 kg de estrutura + 40 kg de material electrónico) | Aço: 19 x 60 = 1.140 kg Material electrónico: 19 x 40 = 760 kg |

| INSTALAÇÃO COMPLEMENTAR DE PRODUÇÃO – PARTE 2/5 | | | |
|---|--|--|--|
| Elemento | Nº unidades / quantidade | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) |
| Computadores equivalentes da rede de dados | 8 | 8 x 100 kg (60 kg de estrutura + 40 kg de material electrónico) | Aço: 8 x 60 = 480 kg Material electrónico: 8 x 40 = 3.240 kg |
| | 13 + 4 + 2 + 2 = 21 | 21 x 100 kg (60 kg de estrutura + 40 kg de material electrónico) | Aço: 21 x 60 = 1.260 kg Material electrónico: 21 x 40 = 840 kg |
| Quadros eléctricos de comando e controlo | 13 | 13 x 250 kg (60 kg de estrutura + 190 kg de material eléctrico) | Aço: 13 x 60 = 780 kg Cobre: 13 x 0,2 x 190 = 494 kg Ferro: 13 x 0,6 x 190 = 1.482 kg PVC: 13 x 0,2 x 190 = 494 kg |
| | 7 | 7 x 100 kg (60 kg de estrutura + 40 kg de material eléctrico) | Aço: 7 x 60 = 420 kg Cobre: 7 x 0,2 x 40 = 56 kg Ferro: 7 x 0,6 x 40 = 168 kg PVC: 7 x 0,2 x 40 = 56 kg |
| | 7 + 18 + 11 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 2 = 58 | 58 x 100 kg (60 kg de estrutura + 40 kg de material eléctrico) | Aço: 58 x 60 = 3.480 kg Cobre: 58 x 0,2 x 40 = 464 kg Ferro: 58 x 0,6 x 40 = 1.392 kg PVC: 58 x 0,2 x 40 = 464 kg |
| | 8 | 60 kg (estrutura) | Aço: 8 x 60 = 480 kg |
| | 17 | 17 x 150 kg (60 kg de estrutura + 90 kg de material eléctrico) | Aço: 17 x 60 = 1.020 kg Cobre: 17 x 0,2 x 40 = 306 kg Ferro: 58 x 0,6 x 40 = 918 kg PVC: 58 x 0,2 x 40 = 136 kg |
| Normablocos | 14 | 14 x 100 kg (60 kg de estrutura + 40 kg de material eléctrico) | Aço: 14 x 60 = 840 kg Cobre: 14 x 0,2 x 40 = 168 kg Ferro: 14 x 0,6 x 40 = 336 kg PVC: 14 x 0,2 x 40 = 112 kg |
| Grupos diesel | 1 | 8270 kg (80% de ferro + 20% de cobre) | Ferro: 8270 x 0,8 = 6.616 kg Cobre: 8270 x 0,2 = 1.654 kg |
| | 1 | 1065 kg (80% de ferro + 20% de cobre) | Ferro: 1065 x 0,8 = 852 kg Cobre: 1065 x 0,2 = 213 kg |
| Baterias | 174 + 82 = 256 | 256 x 1,75 = 448 kg + 1,5 L de electrólito/bateria | Chumbo: 0,9 x 448 = 403,2 kg PVC: 0,1 x 448 = 44,8 kg Electrólito alcalino: 256 x 0,3 x 1,5 L = 115,2 L = 115 kg Água: 256 x 0,7 x 1,5 L = 269 kg |
| | 4 | 4 x 7 = 28 kg | Chumbo: 0,9 x 28 = 25,2 kg PVC: 0,1 x 28 = 2,8 kg Electrólito ácido: 4 x 0,3 x 6 L = 7,2 kg Água: 4 x 0,7 x 6 L = 16,8 kg |

| INSTALAÇÃO COMPLEMENTAR DE PRODUÇÃO – PARTE 3/5 | | | |
|---|--------------------------|--|--|
| Elemento | Nº unidades / quantidade | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) |
| Disjuntores | 1 | 8.500 kg (260 kg SF6) | Ferro: $(8500-260) \times 0,5 = 4.120$ kg |
| | | | Cobre: $(8500-260) \times 0,5 = 4.120$ kg |
| | 1 | 3.900 kg (110 kg SF6) | Ferro: $(3900-110) \times 0,5 = 144,5$ kg |
| | | | Cobre: $(3900-110) \times 0,5 = 144,5$ kg |
| | 1 | 4.800 kg (109 kg SF6) | Ferro: $(3900-110) \times 0,5 = 2.345,5$ kg |
| | | | Cobre: $(3900-110) \times 0,5 = 2.345,5$ kg |
| | 2 | $2 \times 198 = 496$ kg | Ferro: $496 \times 0,5 = 248$ kg |
| | | | Cobre: $496 \times 0,5 = 248$ kg |
| | 2 | $2 \times 1.700 = 3.400$ kg | Ferro: $3.400 \times 0,5 = 1.700$ kg |
| | | | Cobre: $3.400 \times 0,5 = 1.700$ kg |
| Transformadores com óleo | 2 | 2 x 630 kg (características unitárias: 360 kg de descobagem, com 80% de cobre e 20% de isolante (70% papel e 30% madeira), 130 kg de óleo, e o restante ferro) | Cobre: $2 \times 0,8 \times 360 = 576$ kg |
| | | | Papel: $2 \times 0,7 \times 0,2 \times 360 = 100,8$ kg |
| | | | Madeira: $2 \times 0,3 \times 0,2 \times 360 = 43,2$ kg |
| | | | Óleo: 130 kg |
| | | | Ferro: $2 \times 140 = 280$ kg |
| | 2 | 2 x 2.710 kg (características unitárias: 1630 kg de descobagem, 560 kg de óleo e o restante ferro) | Cobre: $2 \times 0,8 \times 1.630 = 2.608$ kg |
| | | | Papel: $2 \times 0,7 \times 0,2 \times 1.630 = 456,4$ kg |
| | | | Madeira: $2 \times 0,3 \times 0,2 \times 1.630 = 195,6$ kg |
| | | | Óleo: 560 kg |
| | | | Ferro: $2 \times 2.710 - (1.630 + 560) = 1.040$ kg |
| Transformadores secos | 2 | 2×8.500 kg (40% de ferro e 60% de cobre) | Cobre: $2 \times 0,6 \times 8.500 = 10.200$ kg |
| | | | Ferro: $2 \times 0,4 \times 8.500 = 6.800$ kg |
| | 2 | $2 \times 6000 = 12.000$ kg | Cobre: $2 \times 0,6 \times 6.000 = 7.200$ kg |
| | | | Ferro: $2 \times 0,4 \times 6.000 = 4.800$ kg |
| | 1 | 3.600 kg | Cobre: $0,6 \times 3.600 = 2.160$ kg |
| | | | Ferro: $0,4 \times 3.600 = 1.440$ kg |
| | 1 | 1.200 kg | Cobre: $0,6 \times 1.200 = 720$ kg |
| | | | Ferro: $0,4 \times 1.200 = 480$ kg |
| Seccionadores | $2 + 2 + 2 + 2 + 2 = 10$ | $10 \times 70 = 700$ kg | Ferro: $0,6 \times 700 = 420$ kg |
| | | | Cobre: $0,2 \times 700 = 140$ kg |
| | | | Porcelana: $0,2 \times 700 = 140$ kg |
| Reactâncias | 2 | $2 \times 447 = 894$ kg | Cobre: $2 \times 0,9 \times 447 = 804,6$ kg |
| | | | Ferro: $2 \times 0,1 \times 447 = 89,4$ kg |
| Ventiladores | 4 | $4 \times 74 = 296$ kg | Ferro: $4 \times 0,9 \times 74 = 266,4$ kg |
| | | | Cobre: $4 \times 0,1 \times 74 = 29,6$ kg |
| | 2 | $2 \times 160 = 320$ kg | Ferro: $2 \times 0,9 \times 160 = 288$ kg |
| | | | Cobre: $2 \times 0,1 \times 160 = 32$ kg |
| | 2 | $2 \times 34 = 68$ kg | Ferro: $2 \times 0,9 \times 34 = 61,2$ kg |
| | | | Cobre: $2 \times 0,1 \times 34 = 6,8$ kg |

| INSTALAÇÃO COMPLEMENTAR DE PRODUÇÃO – PARTE 4/5 | | | | |
|---|------------------------------------|--|---|--------------------|
| Elemento | Nº unidades / quantidade | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) | |
| Tubagens da instalação de ventilação | 570 m de condutas | 7.087 kg (densidade do ferro igual a 7900 kg/m ³ e volume de ferro por metro de conduta, com diâmetro interior de 0,5 m e 2 mm de espessura, igual a 0,00157 m ³ /m) | Ferro: 7.900 x 0,00157 = 7087 kg | |
| Electrobombas | 2 | 2 x 1.000 = 2.000 kg | Ferro: 2 x 0,8 x 1.000 = 1.600 kg Cobre: 2 x 0,2 x 1.000 = 400 kg | |
| | 1 | 1 x 1.200 kg | Ferro: 0,8 x 1.200 = 960 kg Cobre: 0,2 x 1.200 = 240 kg | |
| | 2 | 2 x 735 = 1.470 kg | Ferro: 2 x 0,8 x 735 = 588 kg Cobre: 2 x 0,2 x 735 = 294 kg | |
| | 4 | 4 x 735 = 2.940 kg | Ferro: 4 x 0,8 x 735 = 2352 Cobre: 4 x 0,2 x 735 = 588 kg | |
| | Tubagens da Instalação de bombagem | 2 x 185 m | 2 x 185 m x 26,90 kg/m (para tubagens de inox, com DN 250 e 4 cm de espessura) x 1,2 (massa dos suportes) | Aço inox: 9.953 kg |
| | | | | Aço: 1.991 kg |
| | | 1 x 185 m | 1 x 185 m x 20,2 kg/m (para tubagens de inox, com DN 250 e 3 cm de espessura) x 1,2 (massa dos suportes) | Aço inox: 3.737 kg |
| | | | | Aço: 747 kg |
| 1 x 500 m | | 1 x 500 m x 26,30 kg/m (para tubagens de inox, com DN 350 e 3 cm de espessura) x 1,2 (massa dos suportes) | Aço inox: 13.150 kg | |
| | | | Aço: 2.630 kg | |
| 1 x 170 m | | 1 x 170 m x 1,21 kg/m (para tubagens de inox, com DN 32, e 1,5 mm de espessura) x 1,2 (massa dos suportes) | Aço inox: 206 kg | |
| | | | Aço: 41 kg | |
| Cabos eléctricos | 10.800 m | - | Alumínio: 13.759 kg | |
| | 176.400 m | | Cobre: 16.827 kg | |
| | | | PVC: 43.254 kg | |
| | | | Cobre: 74.007 kg | |
| | | | PVC: 53.208 kg | |
| Barramentos | 2 Barramentos de 49 m por grupo | 2 x 49 m x 3 fases x 21,417 kg/m | Liga de alumínio 6101 BT6: 6.297 kg | |
| | 2 Barramentos de 8 m por grupo | 2 x 8 m x 3 fases x 4,9 kg/m | Liga de alumínio 6060 T5: 235 kg | |
| | 2 Barramentos de 11 m por grupo | 2 x 11 m x 3 fases x 2,16 kg/m | Liga de alumínio 6060 T5: 143 kg | |

| INSTALAÇÃO COMPLEMENTAR DE PRODUÇÃO – PARTE 5/5 | | | |
|---|--------------------------|--------------------------------|---|
| Elemento | Nº unidades / quantidade | Massa (kg) | Massa discriminada por material (kg) |
| Barramentos | 1 | 1 x 50 m x 3 fases x 4,32 kg/m | Liga de alumínio 6060 T5: 648 kg |
| Armaduras do sistema de iluminação | 683 | 683 x 2,5 = 1.707,5 kg | Ferro: 683 x 0,6 x 2,5 = 1.025 kg Cobre: 683 x 0,3 x 2,5 = 512 kg PVC: 683 x 0,1 x 2,5 = 171 kg |
| | 12 | 208 x 8,5 = 1.768 kg | Ferro: 208 x 8,5 x 0,6 = 1.061 kg |
| | 97 | | Cobre: 208 x 8,5 x 0,2 = 354kg |
| | 55 | | PVC: 208 x 8,5 x 0,2 = 354 kg |
| | 4 | | |
| | 28 | | |
| | 12 | | |

ANEXO II – Mecanismos de cálculo

Mecanismo de cálculo A2.1 – Determinação da massa de ferro nas condutas da instalação de ventilação

| Dados | Mecanismo de cálculo |
|---|--|
| <p>- Diâmetro exterior da conduta = 0,502 m;</p> <p>- Diâmetro interior da conduta = 0,500 m;</p> <p>- Massa volúmica do ferro = 7900 kg/m³ (Tabela Periódica);</p> <p>- Comprimento das condutas = 570 m;</p> | $V_{ext \text{ por m de conduta}} = \pi \cdot \left(\frac{\phi_{ext}}{2}\right)^2 \cdot 1 = \pi \cdot \left(\frac{0,502}{2}\right)^2 \cdot 1$ $V_{int \text{ por m de conduta}} = \pi \cdot \left(\frac{\phi_{int}}{2}\right)^2 \cdot 1 = \pi \cdot \left(\frac{0,500}{2}\right)^2 \cdot 1$ $V_{ferro \text{ por m de conduta}} = V_{ext \text{ por m de conduta}} - V_{int \text{ por m de conduta}} \approx 0,00157 \text{ m}^3 / \text{m}$ $\rho_{ferro} = 7900 \text{ kg / m}^3 \wedge L_{condutas} = 570 \text{ m} \Rightarrow m_{ferro} = 7087 \text{ kg}$ |
| | <p>LEGENDA</p> <p>ϕ_{ext} - Diâmetro exterior da conduta;</p> <p>$V_{ext \text{ por m de conduta}}$ - Volume exterior de conduta por unidade de comprimento;</p> <p>$V_{int \text{ por m de conduta}}$ - Volume interior de conduta por unidade de comprimento;</p> <p>$V_{ferro \text{ por m de conduta}}$ - Volume de ferro por unidade de comprimento de conduta;</p> <p>ρ_{ferro} - Massa volúmica do ferro;</p> <p>$L_{condutas}$ - Comprimento de condutas;</p> <p>m_{ferro} - Massa de ferro.</p> |

Mecanismo de cálculo A2.2 – Determinação da massa de madeira a imputar na simulação dos transformadores de grupo

| Dados | Mecanismo de cálculo |
|---|--|
| <p>- Humidade da madeira imputada da base de dados = 40%;</p> <p>- Densidade da madeira seca = 188,6 kg/m³;</p> <p>- Densidade da água = 1000 kg/m³;</p> <p>- Massa de madeira seca = 4,6 kg;</p> | $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg / m}^3 \quad m_{\text{madeira seca}} = 4,6 \text{ kg}$ $\rho_{\text{madeira seca}} = 188,6 \text{ kg / m}^3 \quad V_{\text{madeira seca}} = 0,0244 \text{ m}^3$ <p>para $u = 40\%$</p> $m_{\text{madeira com humidade}} = m_{\text{madeira seca}} + m_{\text{madeira seca}} \cdot 1,4$ $= 4,6 + 4,6 \cdot 1,4 = 11,4 \text{ kg}$ $m_{\text{madeira com humidade}} = \rho_{\text{madeira seca}} \cdot V_{\text{madeira seca}} + \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O}$ $\Rightarrow V_{H_2O} = 0,0068 \text{ m}^3$ $V_{\text{input}} = V_{\text{madeira seca}} + V_{H_2O}$ $= 0,0244 + 0,0068 = 0,0312 \text{ m}^3$ |
| | <p style="text-align: center;"><u>LEGENDA</u></p> <p>ρ_{H_2O} - Massa volúmica da água;</p> <p>$V_{\text{madeira seca}}$ - Volume de madeira seca;</p> <p>$\rho_{\text{madeira seca}}$ - Massa volúmica de madeira seca;</p> <p>$m_{\text{madeira seca}}$ - Massa de madeira seca;</p> <p>$m_{\text{madeira com humidade}}$ - Massa de madeira com humidade;</p> <p>V_{H_2O} - Volume de água;</p> <p>V_{input} - Volume de madeira a imputar na simulação.</p> |

Mecanismo de cálculo A2.3 – Verificação da consistência dos resultados da fase de exploração em relação ao consumo de energia eléctrica

| Dados | Mecanismo de cálculo |
|---|--|
| <p>- Input de electricidade na Empreitada de Engenharia Civil = $1,21 \times 10^5$ MJ [Vide figura VI.1];</p> <p>- Contributo do consumo de electricidade na Empreitada de Engenharia Civil = 10,4% [Vide figura VI.1];</p> <p>- Contributo da empreitada de Engenharia Civil na fase de construção e produção = 72,4% [Vide figura VI.15];</p> <p>- Contributo da fase de construção e produção no ciclo de vida da potência instalada = 43,7% [Vide figura VI.20];</p> <p>- Input de electricidade na fase de exploração = $2,02 \times 10^6$ MJ [Vide figura VI.19];</p> <p>- Contributo da electricidade na fase de exploração = 97,2% MJ [Vide figura VI.19];</p> <p>- Contributo da fase exploração no ciclo de vida da potência instalada = 56,3% [Vide figura VI.20].</p> | <p><i>Contributo do consumo de electricidade da fase de construção e produção no ciclo de vida</i> = $10,4 \times 0,724 \times 0,437 = 3,3\%$</p> <p><i>Contributo do consumo de electricidade da fase de exploração no ciclo de vida</i> = $97,2 \times 0,563 = 54,7\%$</p> <p><i>Contributo do consumo de electricidade da fase de exploração no ciclo de vida</i></p> <p>$\frac{\text{Contributo do consumo de electricidade da fase de exploração no ciclo de vida}}{\text{Contributo do consumo de electricidade da fase de construção e produção no ciclo de vida}} = 16,6$</p> <p>$\frac{\text{Input de electricidade na fase de exploração}}{\text{Input de electricidade na fase de construção e produção}} = 16,7$</p> |

ANEXO III – Inventário de consumos da fase de exploração

Quadro A3.1 – Inventário dos consumos de energia eléctrica no período de exploração

| ENERGIA ELÉCTRICA | | | | |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Equipament o | Instalação | Nº de horas de funcionamento | Energia consumida (kVA.h) | Energia consumida (kW.h) |
| Grupo reversível 1 | Ventilação | 3.791 | 309.918 | 278.926 |
| | Aquecimento | 4.969 | 37.870 | 34.083 |
| | Bombas de regulação | 3.791 | 26.264 | 23.638 |
| | Bombas de circulação | 3.791 | 38.083 | 34.275 |
| | Bomba de injeção | 3.791 | 55.155 | 49.640 |
| | Bomba de circulação do transformador | 3.791 | 38.083 | 34.275 |
| | Bomba de injeção | 60 | 437 | 393 |
| | Rectificadores 24 V | 8.760 | 15.780 | 14.202 |
| | Sistemas de exaustão vapores óleo | 3.791 | 2.233 | 2.009 |
| | Lubrificação chumaceira | 3.791 | 28.891 | 2.6002 |
| | Bombas refrigeração | 3.791 | 236.378 | 212.741 |
| | Bomba refrigeração transformador abaixador | 4.969 | 34.427 | 30.984 |
| | Rega labirintos | 90 | 811 | 730 |
| Grupo reversível 2 | Ventilação | 4.122 | 337.006 | 303.306 |
| | Aquecimento | 4.638 | 35.344 | 31.810 |
| | Bombas regulação | 4.122 | 28.560 | 25.704 |
| | Bombas circulação | 4.122 | 59.976 | 53.978 |
| | Bomba circulação transformador | 4.122 | 41.412 | 37.271 |
| | Bomba injeção | 70 | 509 | 458 |
| | Rectificadores 24 V | 8.760 | 15.780 | 14.202 |
| | Sistemas exaustão vapores óleo | 4.122 | 2.428 | 2.185 |
| | Lubrificação chumaceira | 4122 | 31.416 | 28.274 |
| | Bombas refrigeração | 4.122 | 257.039 | 231.335 |
| Rega labirintos | 108 | 973 | 875 | |
| Central serviços essenciais | Bombas restituição | 2787 | 19.309 | 17.378 |
| | Bombas drenagem | 1944 | 181.824 | 163.641 |
| | Rectificadores 110 V | 8760 | 64.939 | 58.445 |
| | Iluminação | | 148.919 | 134.027 |
| Central serviços não essenciais | Ascensor | 365 | 2.023 | 1.821 |
| | Ventilação | 4380 | 227.592 | 204.832 |
| Edifício de apoio | Bomba fossa séptica | 4380 | 5.311 | 4.779 |
| | Serv. Aux. Grupo diesel | 8760 | 51.587 | 46.429 |
| | Rectificadores 110 V | 8760 | 30.346 | 27.311 |
| | Ventilação | 4380 | 15.173 | 13.656 |
| | Abastecimento de água | 1095 | 2.655 | 2.390 |
| | Aquecimento | - | 52.673 | 47.406 |
| | Outros | | 97.302 | 87.572 |
| TOTAL ano 2006 | | | 2.528.470 | 2.275.623 |
| TOTAL tempo de vida da central (2004 – 2050) | | | - | 102.403.035 |

Quadro A3.2 – Inventário dos consumos variáveis no período de exploração

| CONSUMOS VARIÁVEIS | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Consumível | Utilização | Consumo em 2006 | Estimativa do consumo no ciclo de vida |
| Água potável | Consumo humano | 50 Garrações de água Nestlé Celda, de 18,9 L, por ano | 42.525 L água potável |
| Água não potável | Abastecimento nas casas de banho | Consumo não contabilizado, ausência de contador – água de nascente | - |
| Copos de plástico | Ingestão de líquidos | 50.000 Copos (com 10 cm de altura e 20 g) /ano | 45.000 kg PET |
| Papel de escritório | Impressora registadora | 6 Caixas de 20 kg/ano | 5.400 kg |
| | Impressora | 1 Resma de 500 folhas/ano (papel 210 x 297, 75 g/m ²) | 105 kg |
| Detergente Sutter | Lavagens e limpezas várias | 4 Embalagens de 5 L/mês | 10.800 L |
| Detergente Sutter Plural Plus | | 4 Embalagens de 1 L/mês | 2.160 L |
| Detergente Avimul | | 4 Embalagens de 5 L/mês | 10.800 L |
| Panos de limpeza | | 80 Panos de 150 g/ano | 540 kg |
| Esfregonas | | 48 Unidades/ano | - |
| Papel de mãos | Casas de banho | 1 Embalagem de 6 kg/mês | 3.240 kg |
| Papel higiénico | | 10 kg/mês | 5.400 kg |

Quadro A3.3 – Inventário dos consumos dos equipamentos poluentes

| CONSUMO DE EQUIPAMENTOS POLUENTES – PARTE 1/2 | | | | | |
|---|---|--|----------------------|--|--------------------------|
| Localização | Equipamento | Consumível | Quantidade | Taxa de substituição | Consumo no ciclo de vida |
| Tomada de água em turbinamento | Armário Hidráulico de comando da comporta | Óleo de esforços Hyspin AWS 46 | 1.200 L | Substituído duas vezes durante o ciclo de vida | 3 x 1.200 = 3.600 L |
| | Baterias 24 V cc | Água destilada | - | Desprezável | - |
| Edifício de apoio | Painel do grupo 1 | Gás isolante eléctrico, SF ₆ | 110 kg | Em caso de perdas | (Discutido em 5.3.3.1) |
| | Painel do grupo 2 | Gás isolante eléctrico, SF ₆ | 110 kg | | |
| | Painel da linha 150 kV | Gás isolante eléctrico, SF ₆ | 170 kg | | |
| | Transformador T1A 15/0,4 kV | Óleo isolante eléctrico | 130 kg | Só em caso de pequenas perdas - desprezável | 130 kg |
| | Transformador T2A 15/0,4 kV | Óleo isolante eléctrico | 130 kg | | 130 kg |
| | Transformador T3A 15/12 kV | Óleo isolante eléctrico | 560 kg | | 560 kg |
| | Transformador T4A 15/0,4 kV | Óleo isolante eléctrico | 430 kg | | 430 kg |
| Edifício de apoio | Baterias 110 V cc | Electrólito alcalino tipo R | 287 L (174 baterias) | Desprezável | - |
| | Ar condicionado | Gás refrigerante | 4,47 kg | Uma substituição durante o tempo de vida | 9 kg |
| Caverna dos transformadores | Transformador grupo 1 | Óleo isolante eléctrico, NYNAS NYTRO 11 EN | 25.000 kg | Só em caso de pequenas perdas | 25.000 kg |
| | Transformador grupo 2 | Óleo isolante eléctrico, NYNAS NYTRO 11 EN | 25.000 kg | | 25.000 kg |

| CONSUMO DE EQUIPAMENTOS POLUENTES – PARTE 2/2 | | | | | |
|---|--|---|------------|--|---------------------------|
| Localização | Equipamento | Consumível | Quantidade | Taxa de substituição | Consumo no ciclo de vida |
| | Barramento blindado 150 kV Grupo 1 | Gás isolante eléctrico, SF ₆ | 155 kg | Pequenas perdas | (Discutido mais à frente) |
| | Barramento blindado 150 kV Grupo 2 | Gás isolante eléctrico, SF ₆ | 155 kg | | |
| Caverna da central | Protecção de incêndio dos alternadores | Gás extintor, CO ₂ | 900 kg | Em caso de utilização | 900 kg |
| | Disjuntor de alternador grupo 1 | Gás isolante eléctrico, SF ₆ | 6 kg | Pequenas perdas | (Discutido mais à frente) |
| | Disjuntor de alternador grupo 2 | Gás isolante eléctrico, SF ₆ | 6 kg | | |
| | Chumaceira combinada do alternador grupo 1 | Óleo lubrificante TERESSTIC 46 ESSO | 2.500 L | Só em caso de pequenas perdas ou incidentes | 2.500 L |
| | Chumaceira combinada do alternador grupo 2 | Óleo lubrificante TERESSTIC 46 ESSO | 2.500 L | | 2.500 L |
| | Chumaceira guia inferior do alternador Grupo 1 | Óleo lubrificante TERESSTIC 46 ESSO | 750 L | | 750 L |
| | Chumaceira guia inferior do alternador Grupo 2 | Óleo lubrificante TERESSTIC 46 ESSO | 750 L | | 750 L |
| | Chumaceira guia da turbina Grupo 1 | Óleo lubrificante TERESSTIC 46 ESSO | 750 L | | 750 L |
| | Chumaceira guia da turbina Grupo 2 | Óleo lubrificante TERESSTIC 46 ESSO | 750 L | | 750 L |
| | | | | | |
| Caverna da central | Regulação da velocidade / válvula esférica Grupo 1 | Óleo de esforços, NUTO H 68, ESSO | 2.600 L | Substituído duas vezes durante o ciclo de vida | 3 x 2.600 = 7.800 L |
| | Regulação da velocidade / válvula esférica Grupo 2 | Óleo de esforços, NUTO H 68, ESSO | 2.600 L | | 3 x 2.600 = 7.800 L |
| | Ensecadeira da turbina Grupo 1 | Óleo de esforços, IDRAULIC HLP 22 | 170 L | | 3 x 170 = 510 L |
| | Ensecadeira da turbina Grupo 2 | Óleo de esforços, IDRAULIC HLP 22 | 170 L | | 3 x 170 = 510 L |
| | Baterias 110 V cc | Electrólito alcalino tipo R | 313 L | Desprezável, (grande parte é água destilada) | - |
| | Baterias 24 V cc Grupo 1 | Electrólito alcalino | 82 L | | |
| | Baterias 24 V cc Grupo 2 | Electrólito alcalino | 82 L | | |

ANEXO IV – Entrada de dados do transporte

Quadro A4.1 – Entrada de dados do transporte do fornecimento da empreitada de engenharia civil

| FORNECIMENTO DA EMPREITADA DE ENGENHARIA CIVIL | | | | | | |
|--|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------|--|
| Equipamento / Material | Meio de transporte usado | Origem-destino | Distância percorrida (km) | Carga transport. (t) | Factor carga-distância (t.km) | Factor carga-distância – Simulações (t.km) |
| Cimento | Camião de 25 teladas | Souselas - Frades | 220 | 9000 | 1.980.000 | 10.851 |
| | Navio transoceânico | Turquia - porto de Aveiro | 2300 | 21.000 | 48.300.000 | 264.692 |
| | Camião de 25 teladas | Aveiro - Frades | 170 | 21.000 | 35.700.00 | 19.564 |
| Cinzas | Camião de 25 teladas | X - Frades | 200 | 9.230 | 1.846.000 | 10.116 |
| Superplastificante | Camião cisterna de 25 teladas | Vila Nova de Gaia - Frades | 105 | 442,5 | 46.463 | 255 |
| Sílica de fumo | Camião de 25 teladas | Vila Nova de Gaia - Frades | 105 | 995 | 104.475 | 573 |
| Aços | Camião de 25 teladas | Maia - Torres Vedras | 290 | 2.250 | 652.500 | 3.576 |
| | | Torres Vedras - Frades | 370 | 2.250 | 832.500 | 4.562 |
| | | Fátima - Frades | 300 | 2.250 | 675.000 | 3.699 |
| Madeira | Camião de 25 teladas | X - Frades | 50 | 530 | 26.500 | 145 |
| Explosivos | Camião de 25 teladas | Campos - Frades | 5 | 950 | 4.750 | 26 |
| Gasóleo | Cisterna de 25 teladas | Leça da Palmeira - Frades | 110 | 467.500 | 60.500.000 | 331.550 |

Quadro A4.2 – Entrada de dados do transporte do fornecimento do equipamento hidromecânico

| EQUIPAMENTO HIDROMECAÂNICO | | | | | | |
|---|------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|
| | | | | | SIMULAÇÃO | |
| Equipamento | Meio de transporte usado | Origem-destino | Distância percorrida (km) | Carga transportada (t) | Meio de transporte | Distância (km) |
| Comporta vagão da tomada de água superior | Camião de 25 teladas | Porto - Frades | 75 | 17 | Camião 28 teladas cheio | 0,37 |
| Comporta ensecadeira da tomada de água superior | Camião de 25 teladas | Porto - Frades | 75 | 15 | | 0,37 |
| Equipamento da tomada de água inferior | Camião - transporte especial | Porto - Frades | 75 | 63 | Camião 40 teladas cheio | 0,75 |

Quadro A4.3 – Entrada de dados do transporte do fornecimento da ponte rolante

| PONTE ROLANTE | | | | | | |
|--|--|-------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|--|
| Equipamento | Meio de transporte usado | Origem-destino | Distância percorrida (km) | Carga transportada (t) | Factor carga-distância (t.km) | Factor carga distância de simulação (t.km) |
| Equipamentos para ensaios de recepção | Camião de 25 teladas | Gaia - Frades | 100 km | 170 t | 34.000 | 186 |
| Equipamento produzido em Gaia (excepto maior peça) + Equipamento DEMAG | Camião de 25 teladas | Gaia - Frades | 100 km | 26,2 t | 2.620 | 14 |
| Maior peça a transportar (viga da estrutura da ponte) | Camião extensível a 21 m, em transporte especial de 25 t | Gaia - Frades | 100 km | 23 t | 2.300 | 13 |
| Equipamento DEMAG | Camião | Wetter, Alemanha - Gaia | ~ 2.300 km | 360 + 140 = 500 kg = 0,5 t | 1.150 | 6 |

Quadro A4.4 – Entrada de dados do transporte do fornecimento dos grupos reversíveis

| GRUPOS REVERSÍVEIS | | | | | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| Equipamento | Meio de transporte usado | Origem-destino | Distância percorrida (km) | Carga transportada (t) | Factor carga.distância (t.km) | Factor carga.distância Simulação (t.km) |
| Comporta ensecadeira da turbina | Camião 25 t | Milão, Itália – Frades | 1.950 km | 50 t = 2 x 25 t | 97500 | 534,32 |
| Tubo de aspiração | Camião 16 t | Milão, Itália – Frades | 1.950 km | 15 t | 29250 | 160,29 |
| Conduta forçada | Camião 25 t | Milão, Itália – Frades | 1.950 km | 250 t | 487.500 | 2671,58 |
| Porta estanque de montante | Camião 25 t | Milão, Itália – Frades | 1.950 km | 70 t | 136.500 | 748,04 |
| Porta estanque de jusante | Camião 25 t | Milão, Itália – Frades | 1.950 km | 20 t | 39.000 | 204,60 |
| Rodas, distribuidores, aros de saída, e antedistribuidores | Navio | Porto de Santos – Porto de Leixões | 8.350 km | 170 t | 1.419.500 | 7779,10 |
| | Camião 25 t | Porto de Leixões – Frades | 85 km | | 14.450 | 79,19 |
| Veios | Camião 25 t | Reinosa – Frades | 500 km | 40 t | 20.000 | 109,60 |
| Espirais | Camião 25 t | Milão, Itália – Frades | 1.950 km | 50 t | 97.500 | 534,32 |
| Instalação de refrigeração | Camião 25 t | Heidenheim, Alemanha – Frades | 2.300 km | 6 t | 13.800 | 75,63 |
| Chumaceira | Camião 25 t | Heidenheim, Alemanha – Frades | 2.300 km | 6 t | 13.800 | 75,63 |
| Válvulas esféricas | Navio | Porto de Santos – Porto de Leixões | 4.500 km | 70 t | 315.000 | 1726,25 |
| | Camião 25 t | Porto de Leixões – Frades | 85 km | | 5.950 | 32,61 |
| Alternadores | Navio | Porto de Santos – Porto de Leixões | 8.350 km | 540 t | 4.509.000 | 27.410,07 |
| | Camião 100 t | Porto de Leixões – Frades | 85 km | | 45.900 | 251,54 |
| CEF | Camião 25 t | Heidenheim, Alemanha – Frades | 2.300 km | 20 | 46.000 | 207,47 |

Quadro A4.5 – Entrada de dados do transporte do fornecimento dos transformadores de grupo

| TRANSFORMADORES DE GRUPO | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|
| | | | | | | SIMULAÇÃO | |
| Equipamento | Origem-destino | Meio de transporte usado | Distância percorrida (km) | Carga transportada (t) | Factor carga-distância (t.km) | Meio de transporte | Inputs |
| Transformadores de grupo | Matosinhos-Frades | Camião em transporte especial - 100 t | 2 x 90 km | 2 x 94 t | - | Camião 40 t | 2 x 1,00 km |
| Acessórios dos transformadores | Matosinhos-Frades | Camião 25 t | ~ 90 km | 50 t | 4.500 t.km | Camião 28 t | 24,66 t.km |

Quadro A4.6 – Entrada de dados do transporte do fornecimento da Instalação Complementar de Produção

| INSTALAÇÃO COMPLEMENTAR DE PRODUÇÃO | | | | | | |
|-------------------------------------|---|--------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|------------------|
| Equipamento | Origem-destino | Meio de transporte | Distância percorrida (km) | Distância equivalente (km) | Carga transportada (t) | Input simulação. |
| Cabos instalação 150 kV | Munique, Alemanha – Frades | Camião 25 t | 2230 | - | 55 | 672,14 t.km |
| GIS do edifício de apoio | Munique – Frades | Camião 25 t | 2230 | 2054 | 18 | 11,26 km |
| GIS da caverna | Munique – Frades | Camião 16 t | 2230 | 1979 | 6 | 10,85 km |
| Transformadores e celas de MT | Porto – Frades | Camião 25 t | 90 | 84 | 20 | 0,46 km |
| Reactâncias, disj. de alternador | Gemenos, França - Frades | Camião 16 t | 1470 | 1374 | 10 | 7,53 km |
| Barramentos | Porto - Frades | Camião 16 t | 90 | 82 | 8 | 0,45 km |
| Armários de BT | Lisboa – Frades | Camião 25 t | 415 | - | 40 | 90,97 t.km |
| Grupos Diesel | Porto de Aberdeen, Reino Unido – Porto de Leixões | Navio | 2246 | - | 12 | 147,73 t.km |
| | Porto de Leixões - Frades | Camião 16 t | 85 | 81 | 12 | 4,44 km |
| Ventiladores | Gemenos, França – Frades | Camião 16 t | 1470 | 1391 | 11 | 76,23 km |
| Acumulador de 25.000 L | Sever do Vouga – Frades | Camião 16 t | 175 | 151 | 4 | 8,28 km |

Referências bibliográficas

Literatura

- ABB ALSTOM POWER, *Empreendimento de Venda Nova II, Fornecimento do Equipamento Hidromecânico, 2000*;
- ALTHAUS, Hans-Jörg, DOKA, Gabor, DONES, Roberto, HECK, Thomas, HELLWEG, Stefanie, HISCHIER, Roland, NEMECEK, Thomas, REBITZER, Gerald, SPIELMANN Michael, *Ecoinvent, Overview and Methodology, 2004*;
- AMBIENTE ALMADA 21, ELAC, *Estratégia Local para as Alterações Climáticas, Sector Transportes, 2005*;
- C. R. Newhouser, Introduction To Explosives, National Bomb Data Center, International Association Of Chiefs Of Police, Gaithersburg, MD (undated);
- CAMPBELL, C.J.; *A Guide to Determining the World's Endowment and Depletion of Oil*, March 31, 1998, Petroland Consultants;
- CARTER, Roy V., "Emissions From The Open Burning Or Detonation Of Explosives", Presented at the 71st Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Houston, TX, June 1978;
- CHAIKEN, R. F., et. al., Toxic Fumes From Explosives: Ammonium Nitrate Fuel Oil Mixtures, Bureau Of Mines Report Of Investigations 7867, U. S. Department Of Interior, Washington DC, 1974;
- COOK, Melvin A., *The Science Of High Explosives*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1958;
- COSTA, António Freitas, OLIVEIRA, Manuel, RESENDE, Maria Eugénia, RIBEIRO, Vítor, ESTEVES, Carlos, *Venda Nova II, Energia Renovável, Flexível e Não Poluente*, Revista Engenharia e Vida, Abril de 2004;
- CURRAN, M.A, Input to the EPA *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories, 2002*;
- EDP, *Centros Produtores, 2006*;
- EDP, *Relatório e Contas 2006 – Caderno de Sustentabilidade, 2006*;
- EDP, *Energias de Portugal, Resultados 2006*, Lisboa, Março 2007;
- EDP, *Estratégia da EDP, Compromisso de Criação de Valor: Risco controlado, Eficiência Superior e Crescimento Orientado*, Londres, Julho de 2006;
- EFACEC ENERGIA, *Empreendimento de Venda Nova II, Concurso Público para o Fornecimento dos Transformadores de Grupo, 2001*;
- EFACEC, SIEMENS, *Fornecimento da Instalação Complementar de Produção (ICP) do Empreendimento de Venda Nova II*;
- ENVIRONMENT AUSTRALIA, NPI, *Emission Estimatin Technique Manual for Explosives for Detonation and Firing Ranges, 1999*;

- EPA, *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, 2006;
- EPA, *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories*, 2002;

- FERRÃO, Paulo Cadete, *Introdução à Gestão Ambiental – A avaliação do ciclo de vida de produtos*, IST Press, 1998;
- FRISCHKNETCH, Input to the EPA *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories*, 2002;

- GALPENERGIA, *Tabela de Equivalências*, 2001;
- GOEDKOOP, Mark, DE SCHRYDER, An e OELE, Michiel, *Introduction to LCA with SimaPro 7*, Pre-Consultants, 2006;
- GOEDKOOP, Mark, *Short Introduction to SimaPro 7*, Pre-Consultants, 2006;
- GOEDKOOP, Mark, EFFTING, Suzanne and COLLIGNON, Marcel, *The Eco-Indicator 99 – a damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Manual for Designers*, Pre-Consultants, 2nd Edition, 2000;
- GUINÉE, Jeroen, *Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISSO Standards*, 2002;

- HIDRORUMO – Projecto e Gestão, S.A., *Empreendimento de Venda Nova II, Reforço de Potência do Aproveitamento Hidroeléctrico de Venda Nova, Estudo de Impacte Ambiental*, 1998;

- IEA/OECD, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Paris, 1996;
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 14040, *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework*, 2nd Edition, 2006;

- JUHASZ, A. A., "A Reduction Of Airborne Lead In Indoor Firing Ranges By Using Modified Ammunition", Special Publication 480-26, Bureau Of Standards, U. S. Department Of Commerce, Washington, DC, November 1977;

- KREWITT, Input to the EPA *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories*, 2002;

- MEIER, Paul J., *Life Cycle Assessment of Electricity Generation Systems and Applications for Climate Change Policy Analysis*, 2002;

- NERO, Gaspar, *A Madeira como material de Construção*, Revista Arquitectura e Vida, Maio de 2001;

- OECD, *Expert Workshop on Life Cycle Analysis of Energy Systems*, 1992;
- OLIVIER, Jos, BAKKER, Joost , WOUDA, Jan Willem, BITSCH, Rainer and MAISS, Manfred, *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories Global Emission, Global emission sources of greenhouse gas emissions from industrial processes: SF₆*;
- RIBEIRO, Flávio Miranda, *Inventário de Ciclo de Vida da geração hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: primeira aproximação*, 2003;
- ROGERS, Sheridan J., *Analysis Of Noncoal Mine Atmospheres: Toxic Fumes From Explosives*, Bureau Of Mines, U. S. Department Of Interior, Washington, DC, May 1976.
- SETTERWALL, C., Input to the EPA *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories*, 2002;
- SIEMENS, *Empreendimento de Venda Nova II, Fornecimento dos Grupos Reversíveis*;
- SIKA, Ficha Técnica Sika ViscoCrete 3000, Julho de 2003;
- SOMAGUE, MSF, MOTA & COMPANHIA, *Empreendimento de Venda Nova II, Empreitada Principal de Engenharia Civil*;
- TEGOPI, *Empreendimento de Venda Nova II, Ponte Rolante*;
- VIRTANEN, LUBKERT, Input to the EPA *Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories*, 2002;

Websites consultados

- iate.europa.eu, consultas várias desde Maio a Setembro de 2007;
- www.edp.pt, consultas em Maio de 2007;
- <http://europa.eu.int/comm/environment/newprg/>, visita em Maio de 2007;
- <http://www.unep.org>, visita em Maio de 2007;
- <http://www.johannesburgsummit.org/>, visita em Maio de 2007;
- www.world-register.com, consultas várias desde Julho a Setembro de 2007;
- www.viamichelin.com, consultas várias desde Julho a Setembro de 2007;
- www.cimpor.pt, consulta em Julho de 2007;
- www.efacec.pt, consultas várias desde Julho a Setembro de 2007;
- www.sika.pt, consulta em Agosto de 2007;

Consulta e pareceres técnicos

- Engenheiro Américo Simões, EDP;
- Engenheiro Armando Ferreira da Silva, EDP;
- Engenheiro Azevedo Costa, EDP;
- Engenheiro Figueiredo Soares, EDP;
- Engenheiro Filipe Vasconcelos, EDP;
- Engenheiro António Freitas da Costa, EDP;
- Engenheiro João Oliveira, Instituto Superior Técnico;
- Engenheiro Joaquim Azevedo Costa, EDP;
- Engenheiro Joaquim Magalhães, EDP;
- Engenheira Mariana Lebre, EDP;
- Engenheiro Neves de Carvalho, EDP;
- Engenheiro Pedro Paes, EDP;
- Engenheira Sara Fernandes, EDP;
- Engenheiro Simão Fougo, EDP;
- Doutora Gilda Caetano, EDP;
- Senhor Moisés Teixeira, EDP.