

MÉTODOS DE DESCONTAMINAÇÃO DE BALASTRO DAS FERROVIAS CONTAMINADO POR ÓLEOS – PROCESSOS MECÂNICOS VERSUS BIOLÓGICOS

DECONTAMINATION METHODS OF OIL CONTAMINATED RAILWAY BALLAST - MECHANICAL VERSUS BIOLOGICAL PROCESSES.

Afonso, Miguel; *Lisboa, Portugal, miguel.afonso@gmail.com*

Jorge, Celeste; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, cjorge@lnec.pt*

Cardoso, Rafaela; *Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, rafaela@ist.utl.pt*

RESUMO

Pretende-se com este artigo efetuar uma breve descrição dos mecanismos de contaminação ambiental do balastro das ferrovias, apresentar os métodos de descontaminação testados e comparar os resultados obtidos através dos processos mecânico e biológico. O processo mecânico consistirá numa simulação de um processo de lavagem recorrendo a uma betoneira e a um solvente não biodegradável e outro biodegradável a concentrações variáveis e o processo biológico consistirá na aplicação, por aspersão, de soluções que promovem a constituição de culturas de bactérias em provetes de balastro contaminado. O processo biológico será otimizado através da ação conjunta de um solvente biodegradável e de peróxido de hidrogénio (H_2O_2).

ABSTRACT

This paper provides a short description of characteristic processes of environmental contamination of railway ballast, presents some tested decontamination methods and compares the results obtained through the mechanical and biological processes. The mechanical process consists in a simulation of a washing method using a cement-mixer and non-biodegradable and biodegradable solvents in various concentrations. The biological process consists in applying, by spraying, mixtures/solutions that provide nutrients for the growing of bacteria culture in the contaminated ballast. The biological process will be optimized through the simultaneous action of a biodegradable solvent and hydrogen peroxide.

1 - INTRODUÇÃO

Na sua maioria, os transportes ferroviários são considerados meios de deslocação pouco poluentes, a diversos níveis, e, portanto, são designados como “amigos” do ambiente. Todavia, existem diversos aspetos do seu funcionamento que podem constituir um problema ambiental. Entre estes aspetos, há a considerar diferentes tipos de contaminação do balastro e dos solos nas vias e nas instalações técnicas associadas.

Este documento surge no seguimento de Afonso et al. (2010) e Afonso (2011), onde foram descritas as principais formas de contaminação ambiental do balastro das ferrovias que ocorrem com a exploração dos empreendimentos ferroviários.

Assim, após apresentação e consolidação do conhecimento acerca da contaminação do balastro das ferrovias, da forma como esta se desenvolve e como pode ser caracterizada, foram desenvolvidos dois métodos que se julgam eficazes para a resolução deste problema.

Serão descritos no ponto 3 os referidos métodos de descontaminação do balastro que resultam de adaptações a mecanismos convencionais para a descontaminação de solos adaptados à realidade do balastro das ferrovias. Estes métodos assentam na lavagem com recurso a uma betoneira e a processos biológicos através da tentativa de criação de culturas de microrganismos capazes de proceder à descontaminação do balastro das ferrovias, neste caso, com o mínimo de subprodutos e ação mecânica.

No decorrer da aplicação dos métodos de descontaminação, em virtude do trabalho que se desenvolveu paralelamente no campo experimental e em laboratório, foram surgindo algumas questões que levaram ao melhoramento das soluções a aplicar.

No sentido de validar e perceber a eficácia dos mecanismos desenvolvidos, foi efetuada a caracterização das amostras antes e após o processo de descontaminação tendo em consideração os processos utilizados pela Rede Ferroviária Nacional – REFER, EPE.

Após análise, foi efetuada uma comparação entre os resultados obtidos através dos métodos referidos e retiradas as conclusões possíveis.

2 - CONTAMINAÇÃO DO BALASTRO DAS FERROVIAS

Na exploração ferroviária existem diversos problemas ao nível da plataforma que são de índole ambiental. Estas diferentes patologias ambientais apresentam soluções de reabilitação distintas e diferenciadas.

A abordagem da temática do balastro contaminado torna necessária a distinção de diferentes tipos de contaminação (Figura 1).

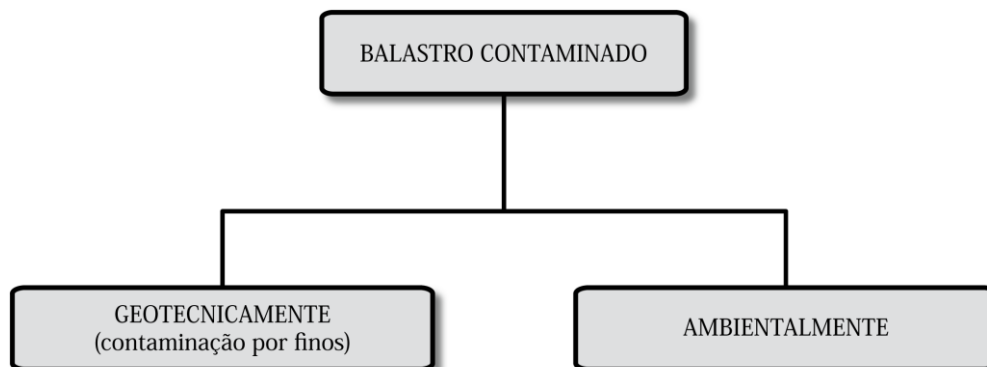


Figura 1 - Contaminação Geotécnica versus Ambiental (Afonso et al. 2010).

A figura anterior apresenta duas abordagens possíveis relativamente à contaminação do balastro: a problemática clássica da contaminação por finos e a problemática ambiental. A abordagem clássica considera a presença de material de granulometria fina, que compromete mecanicamente a função da camada de balastro. A contaminação ambiental do balastro é o objeto de estudo deste documento e, ao invés da contaminação geotécnica, será apresentada ao longo deste trabalho.

Se, nuns casos, a contaminação ambiental ocorre num período de tempo muito reduzido, sendo este o tipo de contaminação condicionante, outros existem onde a contaminação geotécnica é a que condiciona o correto desempenho da camada de balastro. No entanto, se o balastro for submetido a ações regulares de manutenção, poderá desempenhar as suas funções durante dezenas de anos. Apesar de ser um intervalo bastante vasto, estima-se que o tempo de vida útil da camada de balastro está compreendido num intervalo de 10 a 52 anos, dependendo das ações de manutenção (Milford et al., 2010), também estas bastante distintas mediante o tipo de contaminação (geotécnica ou ambiental).

Ao nível da contaminação ambiental, não são conhecidos estudos que visem a relação entre a contaminação ambiental e o desempenho mecânico da camada de balastro. No entanto, apenas será descrito em detalhe a problemática ambiental propriamente dita, com especial focalização na contaminação por hidrocarbonetos presentes nos óleos lubrificantes e combustíveis.

Assume-se que, em diante, quando for referida contaminação e descontaminação do balastro, esta dirá respeito à contaminação e descontaminação ambiental, salvo indicação em contrário.

A contaminação do balastro por hidrocarbonetos é um dos aspetos relevantes que promove a degradação das condições ao nível da plataforma e da área envolvente. Existem variados aspetos que estão relacionados, direta ou indiretamente ao nível dos impactes causados. Perante esta problemática, surge a necessidade de encontrar métodos eficazes de descontaminação do material que permitam a sua reutilização nos diferentes domínios da Engenharia Civil (Anderson et al., 2002).

Anderson et al. (2000), Burkhardt et al. (2008), entre outros, reconhecem esta problemática a nível internacional. Porém, a nível nacional, o grau de informação carece de estudos e de dados mais concisos, que certamente surgirão com o aumento da consciencialização das entidades responsáveis.

É importante referir o impacte provocado pela exploração das pedreiras para a produção de balastro, como também, pela transformação e pelo transporte do material. Assim, facilmente se entende que qualquer forma de os minimizar acarreta aspetos positivos, a saber: o consumo de recurso natural, a proteção da paisagem, a libertação de poeiras, o consumo de energia e libertação de gases, etc. Uma destas formas consiste na tentativa de reutilização do balastro após a sua descontaminação ambiental (se mantiver as características mecânicas para desempenhar as suas funções). Os processos de descontaminação, se possível, deverão ser realizados *in situ*, ou pelo menos *on site*, para evitar alguns dos impactes negativos mencionados atrás.

A contaminação ambiental dos empreendimentos ferroviários consiste essencialmente na presença de hidrocarbonetos e de metais pesados. Os hidrocarbonetos são maioritariamente encontrados nos

combustíveis, nos óleos lubrificantes e no creosoto. Por sua vez, os metais pesados, têm uma origem muito heterogênea, desde o depósito dos produtos de combustão das locomotivas diesel-elétricas ao efeito abrasivo entre o carril e o material circulante (Wiłkomirski et al. 2010, entre outros).

No caso particular dos hidrocarbonetos é usual determinar-se o seu teor total numa amostra recolhida para caracterização ambiental. Por norma, o parâmetro a definir é o HTP – Hidrocarbonetos Totais de Petróleo. Este parâmetro químico corresponde à soma dos compostos aromáticos e alifáticos (Kolesnikovas, 2006).

Encontra-se referido em Afonso (2011) que a contaminação do balastro das ferrovias depende do local onde este se encontra e do contaminante que o atinge, ocorrendo em locais específicos mediante o tipo de contaminante tal como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais Contaminantes e Locais de Incidência (adaptado de: Saunders, 1995).

	Plena Via	Estações	Zona de carga e armazém
Fuel-óleo		x	x
Óleos lubrificantes		x	x
PAHs	x	x	x
Creosoto	x		
Herbicidas	x		x
Resíduos férreos	x		
Cinzas	x		x

Em análise ao Quadro 1 é importante referir que este documento terá uma grande incidência na contaminação devida aos óleos lubrificantes. A excessiva extensão e complexidade do estudo desta problemática, como um todo, e a falta de soluções e de estudos precursores, justificam a incidência deste documento apenas nesta temática.

A contaminação devida ao creosoto e aos herbicidas, embora também importante, não será abordada neste documento, pois entende-se que o tipo de contaminação do empreendimento e o grau de toxicidade destes, face aos óleos e combustíveis, é inferior (Wiłkomirski et al. 2010).

Os produtos originários do petróleo podem ser divididos em diversas classes, mediante o número de átomos de carbono que apresentam e consequentemente a maior ou menor extensão das suas cadeias. Aos hidrocarbonetos de maior extensão está associada uma maior viscosidade, um maior ponto de ebulição e, previsivelmente, uma maior persistência no ambiente (Kolesnikovas, 2006; Silva 2008). Tendo em conta os diversos contaminantes e as diferentes formas de contaminação, será natural que haja uma relação de proporcionalidade entre a persistência e a perigosidade dos diversos contaminantes, ou seja, quanto mais persistente for o contaminante mais perigoso este se apresentará para o ambiente.

Por analogia com os estudos de solos contaminados, Berger (2005) refere que apenas é possível concluir algo acerca do risco da contaminação por petróleo e seus derivados quando, para além da quantificação dos HTP, que funciona como indicador, se quantificam igualmente os compostos tóxicos presentes, nomeadamente os compostos aromáticos, os compostos poliaromáticos e as frações respeitantes às diferentes gamas de hidrocarbonetos: C_1-C_4 , C_5-C_{10} , $C_{10}-C_{20}$ e $C_{20}-C_{50}$.

Passando à situação específica portuguesa, apesar do esforço crescente por parte da REFER em reduzir a utilização de combustíveis fósseis, existe ainda cerca de 50% de via não eletrificada (REFER, 2011). Porém, a maioria das linhas não eletrificadas apresentam uma reduzida taxa de circulação, não existindo uma previsão temporal sobre a sua eletrificação. Segundo informações recolhidas junto de responsáveis da REFER, esse facto também é devido à falta de possibilidade de investimento por parte da CP na aquisição ou adaptação de material.

A contaminação devida aos óleos lubrificantes e combustíveis já se encontra identificada e assumida pela REFER, existindo um esforço crescente por parte desta entidade em utilizar óleos lubrificantes com uma elevada taxa de biodegradabilidade. No entanto, a constituição dos óleos e dos combustíveis permanece por caracterizar analiticamente na sua totalidade, sendo conhecido que os hidrocarbonetos presentes nestes produtos apresentam longas cadeias de carbono.

Atendendo às extensas cadeias de carbono que compõem os óleos lubrificantes utilizados nos empreendimentos ferroviários (C_{20} a C_{50}), será de esperar uma grande persistência deste tipo de contaminação. A sua forte aderência ao balastro também contribui para a dificuldade na sua eliminação natural, sendo este tipo de contaminação responsável por uma parte bastante significativa da contaminação por hidrocarbonetos.

O conceito da localização da contaminação referido anteriormente, encontra-se reforçado em REFER (2006) onde é apresentado o grau de risco em função da zona do empreendimento ferroviário, tal como se refere no Quadro 2.

Quadro 2 - Localização e Grau de Risco de Algumas Zonas de um Empreendimento Ferroviário (REFER, 2006).

Localização	Risco
Plena Via	Baixo
Estações e Apeadeiros	Médio/Alto
Locais de Paragem	Médio/Alto
Túneis	Médio/Alto
Lubrificadores de Via	Alto

Como se observa no Quadro 2, é expectável um risco de contaminação baixo ao longo da via, onde apenas ocorre uma normal circulação de composições de mercadorias e de passageiros, não se verificando a mesma situação em zonas de paragem. As fotografias da Figura 2 foram tiradas na estação de Cascais, sendo evidente a contaminação por óleos lubrificantes que é facilitada pela paragem e estacionamento (noturno) do material circulante.

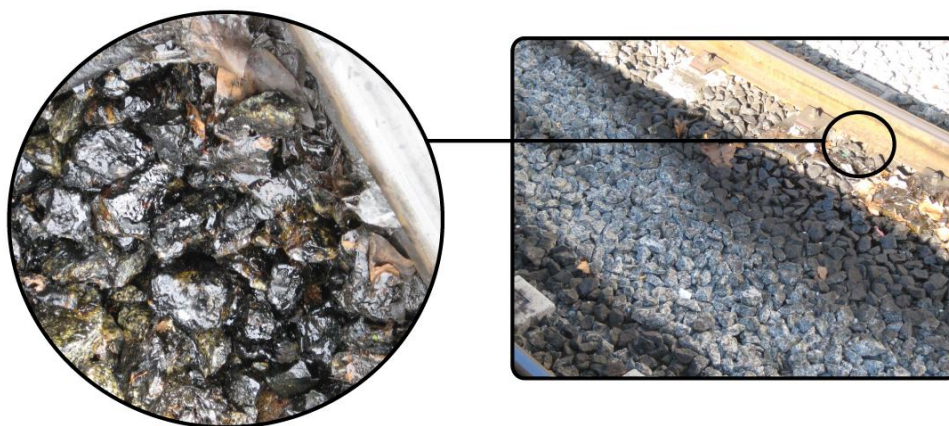


Figura 2 - Exemplo da Contaminação do Balastro por Óleos Lubrificantes na Estação de Cascais (Afonso, 2011).

Porém, existem algumas situações onde apenas a circulação normal por si só apresenta um risco médio/alto; o caso referido é materializado nos túneis, onde há uma tendência para o balastro se encontrar mais contaminado. Esta contaminação pode resultar da acumulação de hidrocarbonetos ou de outros produtos, tais como os resultantes da queima do diesel nas linhas não eletrificadas, não esquecendo que esta situação poderá ser potenciada pela não exposição à precipitação atmosférica. A ação da precipitação atmosférica é preponderante num processo de lavagem do balastro e lixiviação dos contaminantes que sobre ele se depositam, contribuindo para a sua limpeza (descontaminação), mas favorecendo o transporte desses compostos para a envolvente. Será expectável que, nos locais onde esteja impedida a ação da chuva, a contaminação do balastro se apresente mais superficial, não ocorrendo lixiviação dos contaminantes para as camadas inferiores do empreendimento e para a sua envolvente. É importante referir que esta maior concentração dos contaminantes à superfície poderá ter efeitos positivos evitando assim, a contaminação de terrenos contíguos à via-férrea, assim como, se poderá promover com facilidade a remoção do material contaminado, se esse for o caso necessário para solucionar o problema.

É, no entanto, nos lubrificadores de via onde se observa um maior risco de contaminação do balastro. Este dispositivo é ativado com a passagem das composições, libertando uma porção de óleo na zona do carril, que é distribuído pelo próprio rodado (www.refer.pt). Nestes locais o balastro deve estar bastante contaminado.

Para além dos lubrificadores de via, existem outros mecanismos, integrados diretamente no material circulante, que vão libertando as quantidades necessárias de lubrificante mediante a leitura de sensores de velocidade, inclinação, entre outros (Alzoubi et al., 2000).

Outro local onde é quase inevitável existir contaminação do balastro é nas zonas de agulha ou mudança de linha, sendo algumas das considerações efetuadas para os lubrificadores de via, também válidas para este elemento do empreendimento ferroviário. No entanto, a forma e a distribuição da contaminação nas zonas dos lubrificadores de via e nas zonas de agulha é diferente. A diferença entre os dois aparelhos reside no facto de os lubrificadores de via, ao lubrificar o contacto roda/carril, potenciam o alastramento

do lubrificante, ao contrário do sucedido nas agulhas, onde, geralmente, apenas este aparelho é lubrificado provocando uma contaminação muito mais localizada e de inferior mobilidade. De referir, que o tipo de lubrificante utilizado nestes dois elementos é também ele bastante diferente.

Para além da classificação respeitante ao risco associado às diferentes zonas do empreendimento, a REFER (2006), apresenta uma matriz/chave que relaciona visualmente o balastro com o seu grau de contaminação ambiental. Ainda que essa análise seja efetuada apenas visualmente, sem recurso a qualquer equipamento, a mesma pode constituir um elemento de base muito útil e orientador. De referir que esta chave será usada para a classificação das amostras de balastro no ponto 4.

Não obstante as situações descritas anteriormente, se a camada de balastro for classificada como contaminada ambientalmente e se existir, simultaneamente, material de granulometria fina (balastro contaminado geotecnicamente por finos), todo o material no seu conjunto se deverá classificar, numa primeira aproximação, como contaminado.

3 - PROCESSOS DE DESCONTAMINAÇÃO DO BALASTRO DAS FERROVIAS

Abordam-se experimentalmente, neste ponto, duas metodologias de descontaminação do balastro que se creem com grande potencial de sucesso, atendendo ao seu custo e exequibilidade. São também sugeridas algumas alterações aos processos tradicionais, fruto da experimentação inerente a este processo de investigação. Desta forma são propostas novas abordagens para a resolução da problemática do balastro contaminado das ferrovias, baseadas nas metodologias de lavagem e de bioremediação.

Neste ponto são descritos e fundamentados os protocolos utilizados. Embora existam processos onde o parâmetro adotado foi fruto de uma iteração – tentativa e erro, apenas serão descritos os processos finais. De referir que estes procedimentos não se encontram ainda otimizados, existindo concentrações de produtos ou intervalos temporais que requerem um estudo mais específico e aprofundado que permita a real otimização das metodologias de descontaminação descritas neste documento.

Recorda-se que os procedimentos que se propõem são resultado de adaptações a abordagens já existentes. O caso do procedimento adotado para a bioremediação, que se considera como mais inovador devido ao seu afastamento dos métodos convencionais, foi o que mereceu maior dedicação.

No Quadro 3 encontram-se compiladas as informações acerca das amostras utilizadas no procedimento experimental deste estudo, assim como a sua descrição e identificação atendendo à sua origem, tipo de caracterização e método de descontaminação.

Quadro 3 - Descrição das Amostras Utilizadas no Processo Experimental (Afonso, 2011).

Origem	Referência	Tipo de Caracterização			Método de Descontaminação	
		Física	Química	Visual	Lavagem	Bioremediação
Cascais	CAS		x	x		
	CAS_REF	x		x		
	CAS_LD	x		x	x	
	CAS_ext			x		x
	CAS_int			x		x
	CAS_BCA_ext			x		x
	CAS_BCA_int			x		x
	CAS_BSA_ext			x		x
	CAS_BSA_int			x		x
	CAS_NT			x		x
Santa Apolónia	SAP_ext			x		x
	SAP_int			x		x
	SAP_BCA_ext			x		x
	SAP_BCA_int			x		x
	SAP_BSA_ext			x		x
	SAP_BSA_int			x		x
	SAP_NT			x		x

CAS – amostra recolhida na estação de Cascais; SAP – amostra recolhida na estação de Santa Apolónia
 ext – amostra sujeita a condições de exterior; int – amostra sujeita a condições de interior
 BCA – utilização de EU 80 com adição de Bio-Stick (bactérias com aderência); BSA – utilização de EU 80 (bactérias)
 NT – nova técnica (apenas em laboratório); REF – referência; LD – Lavagem dinâmica

3.1 - Processo mecânico

A lavagem do balastro ocorreu segundo o protocolo apresentado na Figura 3. Com recurso a uma betoneira, a um solvente e a água, procedeu-se à lavagem da amostra CAS_LD, sendo as variáveis deste processo a concentração, o tipo do solvente e o tempo de lavagem.

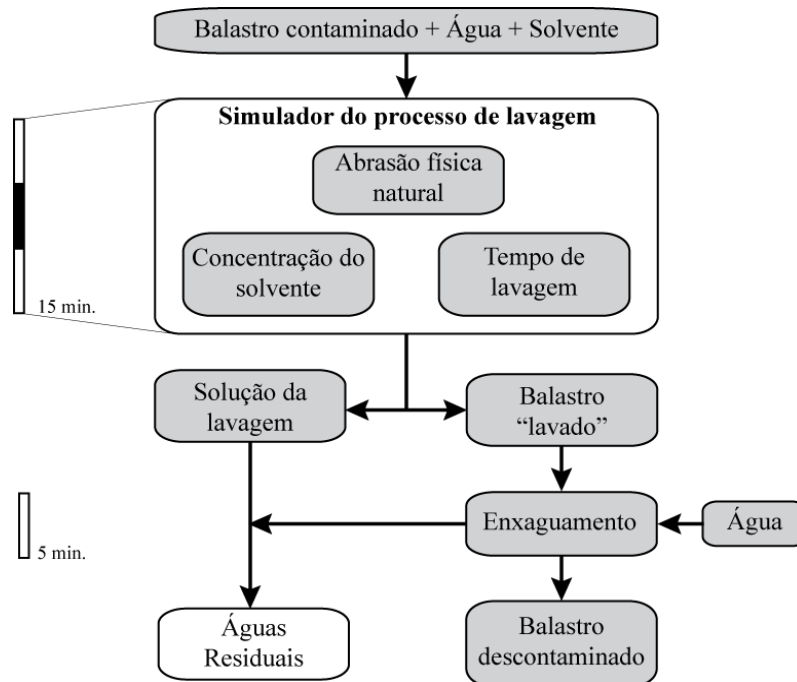


Figura 3 - Protocolo de Lavagem Adotado (Afonso, 2011).

No processo de lavagem do balastro foram utilizados 2 tipos de solvente, ambos fornecidos pela Latecma¹:

- LAT-SOLV.2 – um solvente desengordurante ecológico e biodegradável;
- SOLV-LAT – um solvente especial para fortes oleosidades, ao qual estão associados melhores resultados, em detrimento de um risco ambiental mais elevado devido à sua toxicidade. Este é um produto nocivo, pelo que a sua aplicação requer as precauções devidas.

Foi introduzido o balastro na betoneira juntamente com a água (5 L) e o solvente com a respetiva concentração, para um período de lavagem de 15 minutos. Passado esse período, a água da lavagem foi retirada e procedeu-se ao enxaguamento – 5 minutos apenas com água (10 L). No total, o procedimento perfaz 20 minutos.

Após terminado o processo de lavagem, o balastro foi passado no peneiro n.º 4 (4,76 mm). A razão desta escolha prende-se com o facto de ser através desta dimensão, e consequentemente deste peneiro, que convencionalmente se recorre para separar o material fino do grosseiro (Sousa Coutinho, 1999).

Não sendo objetivo deste estudo a descontaminação das águas residuais, torna-se importante referir que as águas de lavagem e enxaguamento foram recolhidas para posterior tratamento.

No procedimento realizado utilizaram-se 10 kg de balastro, por cada manobra, de forma a garantir a máxima horizontalidade da betoneira, sem haver perdas de água ou de material. O ideal seria a betoneira possuir uma tampa, completamente estanque, que permitisse a realização do ensaio, com o eixo da mesma na horizontal. Isto permitiria aumentar a quantidade de balastro a descontaminar por manobra.

Este método apenas foi testado para as amostras recolhidas em Cascais:

- CAS_LD – esta referência indica que a amostra é proveniente de Cascais e o processo utilizado foi a lavagem dinâmica. Nesta amostra foram testados os dois tipos de solvente, às concentrações indicadas no Quadro 4.

¹ Latecma – Laboratórios Técnicos de Produtos de Manutenção e Segurança, Lda.

- CAS_REF – esta amostra é originária de Cascais e serviu para caracterizar as propriedades físicas do balastro após processo de lavagem. O processo de lavagem desta amostra foi em tudo idêntico a CAS_LD, sendo que neste caso não se utilizou o solvente².

A necessidade da amostra CAS_REF, resultou do facto de se ter de garantir que não existia contaminação dos equipamentos do laboratório no processo de caracterização física, assim como minimizar os gastos de solvente no presente estudo. As propriedades físicas da amostra CAS_REF serão descritas no ponto 4.

A concentração dos solventes a usar foi a indicada pelo fornecedor. Porém, houve tentativas de reduzir a concentração do solvente que resultaram numa natural perda de eficácia do processo. Estes procedimentos e respetivos resultados não serão indicados, ficando apenas expresso no Quadro 4 as concentrações a que foi efetuado o processo.

Quadro 4 – Concentração (VS/VA)* dos Solventes Utilizados na Lavagem do Balastro.

LAT-SOLV.2 (%)	SOLV-LAT (%)
10	4; 5; 10

*VS – volume de solvente; VA – volume de água

3.2 - Processo biológico

Os processos biológicos, como é exemplo a bioremediação, quando mal aplicados são caracterizados, normalmente, por serem pouco eficientes. O intervalo temporal necessário para a obtenção de resultados satisfatórios é, ainda, umas das desvantagens destes processos. No entanto, a utilização de produtos totalmente biodegradáveis, o menor custo e a quase inexistência de subprodutos elevam este processo para um patamar bastante competitivo.

A bioremediação é sugerida por apresentar um custo reduzido, assim como uma facilidade de aplicação que não está ao alcance de outras técnicas correntes, sendo uma das suas grandes vantagens e motivações. Porém, é teoricamente um processo demorado, mas existem meios de o acelerar. É assim apresentada uma possível otimização, recorrendo a produtos exclusivamente biodegradáveis. Esta otimização permite o tratamento do balastro contaminado ambientalmente, com resultados bastante aceitáveis, como se verifica no ponto 4.

A campanha experimental deste estudo passou por fases distintas, onde se contam ensaios laboratoriais e aplicações no exterior que, contrariamente ao habitual, ocorreram por vezes em paralelo. Os conhecimentos adquiridos nas experiências de laboratório e os resultados satisfatórios que se iam detetando, permitiram melhorar a aplicação destes métodos no campo experimental.

Para as aplicações de exterior foi montado um campo experimental (Figura 4) no *campus* do LNEC. Numa primeira abordagem, foi usado um silo semelhante ao utilizado para armazenamento das amostras de balastro. Um dos problemas verificados com a localização do campo experimental foi a temperatura elevada que se fazia sentir nos dias de maior calor, principalmente devido ao elevado tempo de exposição solar a que estava sujeito. Assim, a sua localização foi posteriormente alterada, em cerca de 3 m, aproveitando também uma mudança à abordagem que estava em prática, com alteração dos produtos utilizados neste processo de tratamento. Esta nova localização estava posicionada sobre o solo, protegido com geocompósito bentonítico para avaliação da ocorrência de lixiviação, e perto de plantas arbustivas que produziam sombra durante parte do dia.

Tentou-se aproximar as condições do ensaio às existentes no empreendimento ferroviário, ou seja, zonas sujeitas às condições climáticas de exterior e, zonas interiores (túneis e estações cobertas). Assim, a representação destas duas condições foi uma exigência para a montagem do campo experimental, que contempla 2 zonas distintas, na tentativa de reproduzir uma zona onde os provetes se encontram sujeitos às condições climáticas na sua globalidade (exteriores) e outra onde se encontram cobertos com um plástico, protegidos das chuvas e da exposição solar direta (interiores).

² Dada a quantidade limitada de solvente disponível, houve a necessidade de gerir as aplicações realizadas.



Figura 4 - Campo Experimental - Primeira e Segunda Localização.

Numa primeira abordagem foram utilizadas bactérias liofilizadas, fornecidas pela EcoBactérias, representante em Portugal da empresa Bio Systems Europe®. Estas bactérias, designadas por EU 80, são um produto biológico, solúvel em água que promove a degradação de hidrocarbonetos.

De acordo com a ficha técnica fornecida pelo fabricante, o EU 80 contém microrganismos não patogénicos e uma grande quantidade de nutrientes que decompõem rapidamente os contaminantes. É também referido pelo fabricante que para a obtenção de melhores resultados, deverão ser mantidas condições aeróbias, ou seja, será importante garantir a presença de oxigénio para que a cultura destas bactérias se desenvolva nas melhores condições e de forma eficiente. Assim, a elevada permeabilidade da camada de balastro torna-o um meio bastante propício à oxigenação para o desenvolvimento de culturas de microrganismos deste género, sendo, contudo, um meio extremamente inóspito onde escasseiam os nutrientes necessários à formação dessa mesma cultura.

Após realização de alguns testes preliminares surgiu a dúvida se, caso este processo fosse aplicado em condições atmosféricas normais, poderia ocorrer a lixiviação da solução nos períodos de maior pluviosidade. Depois de questionado sobre esta condicionante, o fabricante sugeriu a utilização de um novo produto, o Bio-Stick³. Este, funciona como um aditivo que fornece aos microrganismos a capacidade de aderirem ao balastro, impedindo assim o seu arraste.

Nas simulações realizadas para a descontaminação por bioremediação, as concentrações foram escolhidas após realização de algumas combinações e experimentações preliminares. O próprio fabricante sugeriu algumas variantes, tendo sido adotadas as que são apresentadas no Quadro 5. Contudo, convém salvaguardar a existência de uma combinação adequada e eficiente para cada situação de contaminação real, não sendo a sua determinação objeto deste estudo.

Para o caso específico do balastro contaminado por óleos lubrificantes, a dosagem de EU 80 a utilizar é função do volume de balastro que se pretende tratar, sendo aconselhado um volume de água máximo. O fabricante refere que para 1 m³ de balastro bastante contaminado, se deverão adotar 150 g de EU 80 dissolvidos em 30 L de água. Por sua vez, a quantidade de Bio-Stick depende do volume de água a usar, sendo aconselhado que deverá ser 0,2% daquele volume.

Quadro 5 - Dosagens de EU 80 e Bio-Stick Sugeridas pelo Fabricante e Adotadas.

Balastro a tratar (m ³)	EU 80 (g)	Volume de H ₂ O (L)	Bio-Stick (mL)
1,0	150,0*	30,0	60,0
1,0	225,0	45,0	90,0

*quantidade sugerida pelo fabricante

A aplicação das soluções descritas fez-se através da utilização de um aspersor manual. Após a sua aplicação manteve-se o ambiente húmido para promover a multiplicação e a sobrevivência dos microrganismos. Optou-se por testar, também, a eficácia de EU 80 sem recurso ao Bio-Stick.

As amostras foram identificadas de acordo com o local onde foram recolhidas, o produto utilizado e as condições de exposição, sendo para isso utilizado um sistema de iniciais conforme consta no Quadro 3 e se indica de seguida:

- CAS – amostra da estação de Cascais;
- SAP – amostra da estação de Santa Apolónia;

À qual se junta a designação do tipo de produto:

³ Bio-Stick – aderência para cultura de bactérias. Produto que se encontra em fase experimental.

- BSA – utilização de EU 80 (Bactérias);
- BCA – utilização de EU 80 com adição do Bio-Stick (Bactérias com Aderência);

E ainda as condições de exposição:

- ext – amostra sujeita a condições de exterior;
- int – amostra sujeita a condições de interior (túneis, estações cobertas, etc.).

De acordo com o fabricante haveria necessidade de aplicar o EU 80 apenas uma única vez, mantendo a humidade da amostra. No entanto, para garantir a manutenção e o crescimento da cultura de bactérias, as soluções foram aplicadas uma vez por semana sendo previamente produzidas em laboratório, cerca de 24 horas antes da aplicação. Nos restantes dias foi aplicada água para manutenção da humidade. Para garantir um meio com boas características nutricionais para as bactérias, adicionaram-se umas gotas de forma controlada de um composto fosfo-azotado e nutrientes para potenciar o crescimento da cultura de microrganismos.

Tal como referido, este processo ocorreu em duas fases distintas tendo-se desenvolvido a primeira abordagem nos primeiros 40 dias com a aplicação da solução descrita. Após esse período, procedeu-se à alteração da localização do campo experimental e da solução a aplicar tendo-se iniciado a segunda fase deste processo que decorreu nos 22 dias seguintes.

Esta segunda abordagem surgiu após alguns testes em laboratório que permitiram melhorar as soluções a aplicar. Assim, atendendo à especificidade deste problema e à forma de atuação dos microrganismos foi estipulado um método de otimização deste processo de acordo com a Figura 5.

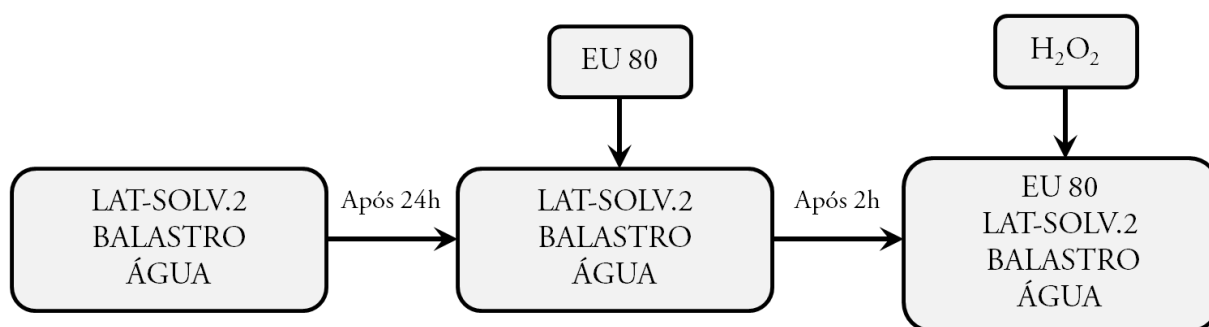


Figura 5 - Aplicação das Soluções na Segunda Abordagem do Processo de Bioremediação.

A aplicação do LAT-SOLV.2 promove a destruição das cadeias de carbono mais longas facilitando a ação do EU 80 com e sem Bio-Stick, no entanto, é o peróxido de hidrogénio (H₂O₂) o grande catalisador deste processo, ao fornecer oxigénio aos microrganismos, acelerando a sua ação.

Como já referido, procedeu-se à alteração da localização do campo experimental, que coincidiu com a mudança nas soluções a aplicar, mantendo-se a sua forma de aplicação, ou seja, através de um pulverizador manual. Foi também prevista a aplicação de Bio-Stick nos provetes correspondentes. No Quadro 6 são apresentadas as quantidades aplicadas por conjunto de 4 provetes.

Quadro 6 – Doseamento dos Produtos de Descontaminação e Respetivos Provetes.

Provetes	H ₂ O ₂ (mL)	LAT-SOLV.2 (mL)	EU 80 (mL)
CAS_BSA ext			
CAS_BSA int	500,0	500,0	500,0
SAP_BSA ext			
SAP_BSA int			
CAS_BCA ext			
CAS_BCA int	500,0	500,0	500,0*
SAP_BCA ext			
SAP_BCA int			

*esta quantidade já inclui o Bio-Stick à concentração utilizada na Abordagem 1.

A aplicação desta nova solução decorreu durante 15 dias, no caso do sistema laboratorial, e 22 dias no caso do campo experimental. Os produtos foram aplicados uma vez por semana, sendo aplicada água nos restantes dias para manter os provetes húmidos e potenciar a manutenção e crescimento da cultura de microrganismos, tal como verificado na primeira fase deste processo.

4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como referido no ponto anterior, foram testados dois processos distintos de descontaminação do balastro: um processo mecânico (lavagem) e um processo biológico (bioremediação). Ambos os métodos apresentam as suas valências e desvantagens sendo os resultados obtidos descritos neste ponto.

Os resultados das metodologias abordadas são analisados visualmente, de acordo com o que se encontra estipulado em REFER (2006).

É importante referir que as amostras recolhidas apresentavam sinais de forte contaminação ambiental.

A amostra de CAS foi recolhida na estação de Cascais junto ao carril, e apresentava-se bastante contaminada. Nas zonas circundantes e central da via, o balastro não apresentava sinais de contaminação tendo sido indicado pelos técnicos que executaram o levantamento da amostra que este se encontrava em utilização há aproximadamente 3 anos. Foi também recolhida uma amostra de referência (CAS_REF), que deverá apresentar características mecânicas muito próximas das do CAS, estando este com um aspeto limpo possibilitando a sua caracterização mecânica sem o risco de contaminação do equipamento presente no laboratório.

A amostra de SAP foi recolhida na estação de Santa Apolónia e embora se trate de um caso de material contaminado ambientalmente, o tipo de contaminação é visivelmente distinta da amostra de CAS. Não sendo possível estimar o tempo que este balastro se encontra em utilização, foi referido pelos técnicos da REFER que este se encontra no local há mais de 30 anos. De referir ainda que na Estação de Santa Apolónia, ao contrário da estação de Cascais onde apenas circulam locomotivas elétricas, circulam locomotivas a diesel.

A classificação apresentada por REFER (2006), refere que o balastro pode ser classificado como inerte, resíduo não perigoso e balastro ambientalmente contaminado, sendo este último considerado como resíduo perigoso e previsto na Lista Europeia de Resíduos (LER) com o código 17 05 07 (*). Se os casos extremos são fáceis de identificar, o mesmo não se pode afirmar dos intermédios, onde a análise visual não permite uma tomada de decisão imediata, sendo, para tal necessária uma análise, mais detalhada, com recurso a medição das propriedades químicas dos contaminantes presentes no balastro.

A classificação de CAS (Figura 6) é evidente de acordo com a descrição referida em REFER (2006). *"O aspeto dos fragmentos revela sujidade e evidencia disseminação de massas lubrificantes e hidrocarbonetos no estado pastoso ou líquido."* Este balastro, classificado como contaminado ambientalmente, deverá ser removido e caso não se pretenda efetuar a sua descontaminação, deverá ser depositado num aterro para resíduos perigosos.

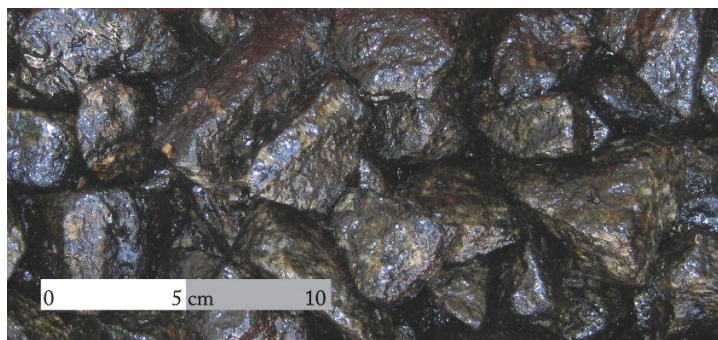


Figura 6 - Amostra de CAS e CAS_LD – Balastro Contaminado Ambientalmente.

Se a descrição da REFER se adapta à descrição da amostra contaminada de Cascais, o mesmo não acontece para a amostra contaminada de SAP. A amostra de SAP embora apresente um grau de contaminação elevado não é classificada de forma tão expedita. Com algumas reservas, poder-se-á considerar a amostra SAP (Figura 7) como balastro não perigoso. No entanto, segundo REFER (2006), se não estiver previsto o seu tratamento, este balastro não poderá ser reutilizado, devendo ser encaminhado para um aterro de resíduos não perigosos, havendo ainda a possibilidade de, após removido, ser armazenado pelo período máximo de 6 meses sobre um geotêxtil.



Figura 7 - Amostra de SAP - Balastro Não Perigoso.

Na Figura 8 é apresentada a amostra de CAS_REF classificada como balastro inerte que, segundo REFER (2006), poderá ser reutilizada sem reservas, sempre que possível para a sua função original. Em alternativa poderá ser depositado em aterro autorizado para resíduos inertes.



Figura 8 - Amostra de CAS_REF - Balastro Inerte.

Em suma, embora esta análise visual seja uma boa base e um método expedito e orientador, poderá, em certos casos, ser enganadora e inconclusiva.

A amostra de CAS, classificada inicialmente como balastro contaminado ambientalmente, apresentava-se como o grande desafio deste estudo. Assim, numa tentativa de a melhor caracterizar foi requerida ao ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, uma análise aos níveis de HTP e respetiva quantificação por classes de hidrocarbonetos, no sentido de perceber a extensão das cadeias dos hidrocarbonetos presentes numa amostra de balastro contaminado. No entanto, o laboratório responsável pela determinação analítica revelou que teve problemas na preparação da amostra, devido ao excesso de concentração de hidrocarbonetos. Foi então realizada uma homogeneização da amostra com recurso a azoto líquido, e efetuada a sua análise, cujo resultado final apenas diz respeito ao total de hidrocarbonetos e que foi no valor de 28200 mg/kg.

Este valor apenas pode ser comparado com a única referência existente para o valor limite para os óleos minerais (classes C10 a C40), presente na Decisão 2003/33/CE, de 19 de dezembro de 2002. Esta Decisão que regula a admissibilidade dos materiais para aterro e assume o valor de 500 mg/kg, apenas para os materiais que possam ser classificados como inertes.

Embora esta análise seja feita com base em aproximações à legislação existente, parece óbvia a confirmação da classificação da amostra de CAS como balastro ambientalmente contaminado. Antes de serem apresentados os resultados obtidos, é importante referir que se assumiu como principal objetivo deste estudo a descontaminação desta amostra, ambicionando a sua classificação como balastro inerte de forma a possibilitar a sua reutilização sem reservas. No entanto, caso não fossem atingidos os patamares esperados, já se considera que é um resultado satisfatório a classificação da amostra como balastro não perigoso.

4.1 - Processo mecânico

Como referido, foi utilizada para a verificação desta metodologia apenas a amostra CAS_LD, recolhida em Cascais. O procedimento seguiu o protocolo descrito em 3.1, sendo variável neste processo o tipo de solvente e as concentrações utilizadas. A utilização de LAT-SOLV.2 foi apenas testada com a concentração recomendada pelo fabricante de 10%. Para o SOLV-LAT, é apenas apresentado o resultado para as concentrações de 10%, ficando descrito que a redução da concentração de SOLV-LAT produz resultados inferiores

Entende-se que o processo de lavagem é bastante agressivo para o balastro, promovendo alterações nas suas propriedades físicas e mecânicas. Assim, será apresentado um pequeno resumo dos resultados da caracterização física da amostra após processo de lavagem.

4.1.1 - LAT-SOLV.2

Apesar de se suspeitar da dificuldade em obter resultados satisfatórios recorrendo a um solvente biodegradável, tentou-se, desta forma, testar a sua aplicabilidade. A vantagem na sua utilização reside na minimização de subprodutos resultantes do método de lavagem. Porém, os resultados obtidos, embora mostrem melhorias relativas ao estado de contaminação ambiental inicial do balastro das ferrovias, não se podem considerar como satisfatórias, tal como se observa na Figura 9.



Figura 9 - Comparação Entre o Balastro Antes e Depois do Processo de Lavagem com LAT-SOLV.2 a 10%.

Como se verifica na figura anterior, o processo mostrou-se eficaz apenas nas arestas do balastro. No entanto, é provável que a remoção do contaminante tenha resultado mais devido à ação mecânica não tendo sido a ação do solvente suficiente, para este caso.

De acordo com REFER (2006) esta amostra continuará a ser classificada como balastro contaminado ambientalmente.

4.1.2 - SOLV-LAT

A utilização do SOLV-LAT à concentração sugerida pelo fabricante (10%) apresentou resultados bastante satisfatórios, como se observa na Figura 10. Ao fim de 20 minutos do processo de lavagem, verificou-se que a amostra se apresentava notoriamente mais limpa. De referir que após a colocação do solvente sobre a amostra ocorreu uma reação imediata, como se observa na Figura 11, que demonstra a capacidade deste solvente para destruir as cadeias mais longas dos hidrocarbonetos.



Figura 10 - Comparação Entre o Balastro Antes e Depois do Processo de Lavagem com SOLV-LAT a 10%.

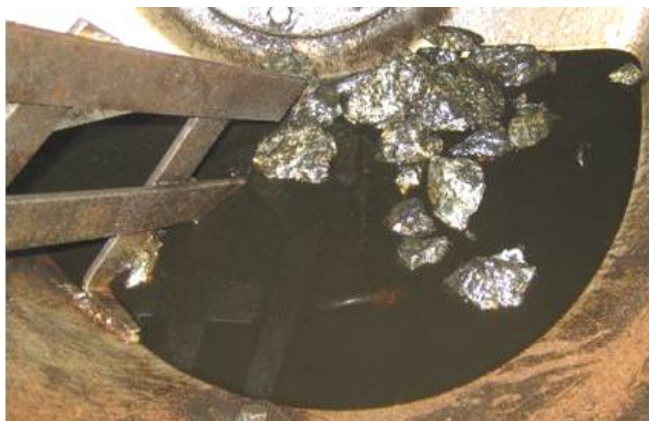


Figura 11 – Pormenor da Reação Imediata que Ocorre Após a Colocação do SOLV-LAT a 10% Sobre a Amostra.

Embora este processo não tenha removido a totalidade do óleo que envolvia a amostra, a parte remanescente era muito reduzida e apresentava um aspeto degradado, podendo esta amostra considerar-se como balastro inerte de acordo com REFER (2006).

Tal como referido anteriormente, é expectável a alteração das características mecânicas do balastro após ter sido sujeito ao processo de lavagem. Atendendo a que o fornecimento de balastro se encontra regulamentado pela Norma Portuguesa *NP EN 13450 – Agregados para balastro de via-férrea*, e pela Instrução Técnica *IT.GEO.001 – Fornecimento de Balastro e Gravilha*, os resultados serão apresentados com base nos valores e processos abrangidos pelos referidos regulamentos.

No Quadro 7 são apresentados os fusos granulométricos das amostras de CAS_REF e CAS_LD e enquadrados com os limites da *IT.GEO.001*.

Quadro 7 - Fuso Granulométrico da Amostra CAS_REF e CAS_LD e Respetivos Limites de Referência.

Abertura do Peneiro (mm)	% de passados, em massa		CAS_REF (%)	CAS_LD (%)
	Aceitação s/ restrições (%)	Rejeição (%)		
80	100	100	100	100
63	100	100	100	100
50	70 – 99	< 65	76	65
40	30 – 65	< 25 > 70	33	23
31,5	1 – 25	> 30	7	4
22,4	0 – 3	> 8	0	0
31,5 a 50	≥ 50	< 45	69	62
	(valores de referência)		(resultados)	

A análise do quadro anterior permite verificar que o balastro após ser sujeito ao processo de lavagem apresenta algumas alterações que levam à sua rejeição. Este resultado permite concluir que o processo de lavagem afeta as características do material. Essa alteração é aqui notada ao nível da granulometria da amostra que foi efetuada, desprezando todo o material passado no peneiro nº4 (4,76 mm), tal como previsto no protocolo de lavagem.

Estes resultados mostram também que a reutilização do material como balastro, após lavagem, é inviável. O facto de se ter realizado esta caracterização recorrendo apenas a uma amostra, leva a não assumir perentoriamente a rejeição deste material, sendo demasiado conservativo o retirar de conclusões tão imediatas. Assim, estes valores assumem principal destaque numa ótica de referência e de base para estudos futuros.

Os restantes ensaios de caracterização das amostras CAS_LD e CAS_REF foram igualmente realizados, sendo os resultados apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Ensaio de Caracterização Física de CAS_LD e de CAS_REF e Respetivos Limites de Referência.

Ensaio		Aceitação s/ restrições	Rejeição	CAS_REF	CAS_LD
Limpeza	Partículas Finas (0 - 0,5 mm)	< 0,6%	> 1,2%	0,3%	0,0%
	Finos (0 - 0,063 mm)	< 0,5%	> 1%	0,2%	0,1%
Índice de Achatamento, <i>FI</i>		≤ 15%	> 30%	5%	8%
Índice de Forma, <i>SI</i>		≤ 10%	> 20 %	8%	8%
Comprimento > 100 mm		≤ 4%	> 8 %	6%	9%
Coeficiente <i>Los Angeles</i> , <i>LA_{RB}</i>	Tipo I	≤ 16	> 19	13	13
	Tipo II	≤ 20	> 23		
<i>Micro-Deval</i> , <i>M_{DERB}</i>	Tipo I	≤ 7	> 8	7	4
	Tipo II	≤ 11	> 13		
Elementos prejudiciais		< 3%	> 6%	0,07%	0,00%
		(valores de referência)		(resultados)	

Como afirmado anteriormente, o processo de lavagem assume-se como sendo um mecanismo destrutivo e responsável por alterar algumas das condições do balastro. Porém, alguns dos valores representados no quadro anterior não sustentam essa afirmação. Se o processo de lavagem justifica de alguma forma o aumento do índice de achatamento devido ao fracionamento que provoca nas partículas, o mesmo não acontece para o comprimento e coeficiente de *micro-Deval*.

O valor elevado do comprimento poderá ser explicado por alguma situação indevida, ocorrida durante o processo de amostragem que tenha originado a recolha de quantidades superiores de balastro destas dimensões.

O baixo valor do coeficiente de *micro-Deval*, indicativo de grande resistência ao desgaste da amostra CAS_LD, contraria um pouco o esperado, havendo para este valor apenas justificações baseadas em suposições, sendo que apenas com a repetição deste processo se poderia almejar uma tomada de decisão consciente e assertiva. No entanto, a explicação para o sucedido poder-se-á dever à proximidade que o processo de lavagem tem com o ensaio de *micro-Deval*, provocando o primeiro, o desgaste das angulosidades no decorrer do processo e conseqüentemente um menor desgaste aquando do ensaio de *micro-Deval*.

4.1.3 - Conclusões

As conclusões dos processos atrás descritos são por demais evidentes, todavia, será importante efetuar uma breve análise comparativa entre os resultados descritos, reafirmando que os melhores resultados foram obtidos através da aplicação do solvente SOLV-LAT à concentração de 10%.

Como seria de esperar, a eficácia do LAT-SOLV.2 fica, para este caso, ainda bastante aquém do pretendido. No entanto, em situações onde a contaminação se apresente menos complexa será interessante experimentar a eficácia deste produto.

É importante perceber que existem bastantes variáveis neste processo, sendo o tipo de solvente e a sua concentração uma ínfima parte desta metodologia. Por exemplo, a utilização de água quente poderia alterar a eficácia deste processo, no entanto, essa mudança iria aumentar a complexidade da sua aplicação em ambiente de obra e criava mais um parâmetro a otimizar – a temperatura da água. A utilização de uma concentração superior de solvente, o recurso a mais ciclos de lavagem ou o aumento do tempo, são outras variáveis que poderiam ser otimizadas. Não obstante, para o protocolo definido, os resultados apresentados foram os obtidos e entendem-se como satisfatórios.

4.2 - Processo Biológico

O processo com recurso à bioremediação foi descrito na sessão anterior e contempla o tratamento das amostras recolhidas em Santa Apolónia e em Cascais. Esta técnica foi testada tanto ao nível de laboratório como no campo experimental, onde se tentou efetuar uma aproximação às condições de origem.

Por outro lado, assume-se que o processo de bioremediação não altera as propriedades físicas e mecânicas do balastro, não se julgando existir na metodologia de bioremediação adotada, processos que promovam alterações significativas ao material.

Tal como apresentado em 3.2, o processo de bioremediação, devido às técnicas utilizadas, foi dividido em 2 abordagens distintas de acordo com os produtos que se aplicaram. Numa primeira fase, apenas, foi realizada a abordagem de exterior, enquanto a segunda fase foi iniciada pela abordagem laboratorial, fazendo-se a aplicação dos ensinamentos adquiridos para o campo experimental.

De referir que os resultados apresentados, salvo exceção, não correspondem ao fim do processo de bioremediação, sendo característica inerente a esta metodologia o seu longo percurso temporal. Assim, e apesar de se terem conseguido acelerar alguns processos, dando-se como concluídos no decorrer deste estudo, outros houve que não se consideram como finais, mas que lhes é reconhecido o mérito de serem soluções que permitem a resolução da problemática a médio e longo prazo.

É importante salvaguardar, tal como referido para o método de lavagem, que a situação que se pretende solucionar é bastante complexa. Principalmente, quando se pretende a adoção de um método onde a aplicação consiste na simples aspersão de alguns produtos e água. Acresce a dificuldade de que esses produtos contêm bactérias, que apesar de não serem patogénicas, o seu uso pode levantar alguma controvérsia junto da opinião pública menos informada.

4.2.1 - Campo experimental

O campo experimental foi constituído por diversos provetes tal como referido na abordagem ao Quadro 3. Estes provetes foram analisados individualmente e comparados através de um registo fotográfico, para verificação da sua evolução diária. A apresentação destes resultados é efetuada através da apresentação da condição inicial ($t=0$) e final ($t=62$) dos provetes. Recorda-se que na abordagem em campo experimental decorreram 62 dias entre o início e fim do tratamento, sendo esse o intervalo referido nas ilustrações seguintes.

Os resultados são apresentados em conjuntos de 3 provetes, organizados da seguinte forma:

- Bloco 1 – CAS_ext; CAS BSA_ext; CAS BCA_ext (Figura 12);
- Bloco 2 – SAP_ext; SAP BSA_ext; SAP BCA_ext (Figura 14);
- Bloco 3 – CAS_int; CAS BSA_int; CAS BCA_int (Figura 16) ;
- Bloco 4 – SAP_int; SAP BSA_int; SAP BCA_int (Figura 17).

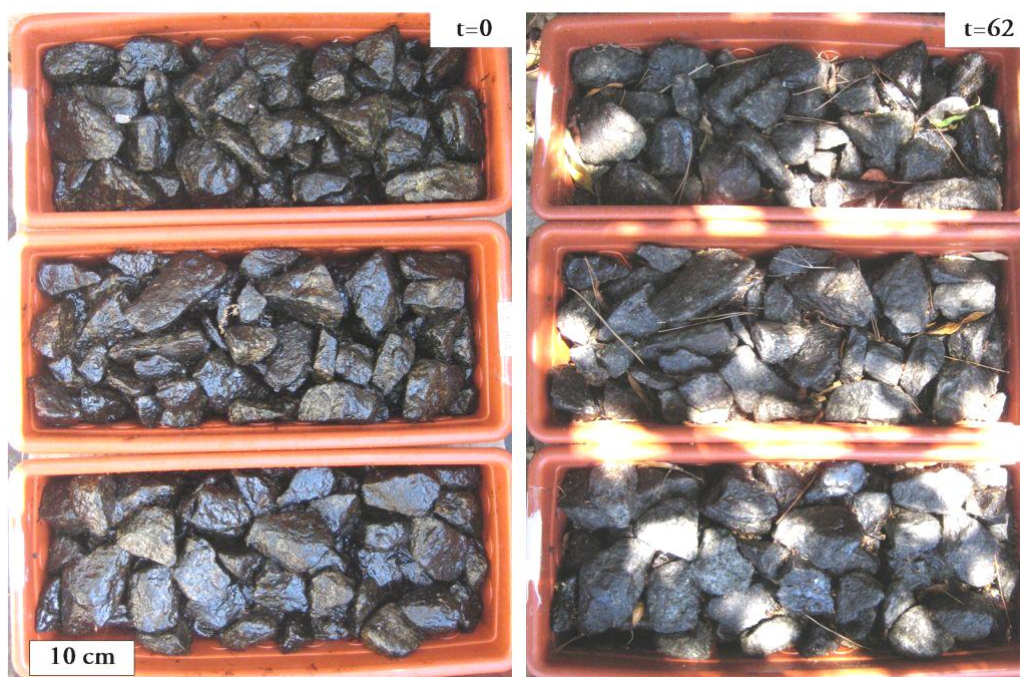


Figura 12 - Bloco 1: Provetes de CAS em Condições de Exterior. De Cima Para Baixo: CAS; CAS_BSA; CAS_BCA.

A Figura 12 não apresenta um resultado visual muito perceptível devido ao contraste provocado pela incidência da luz solar no momento do registo fotográfico. Assim, é apresentado na Figura 13 o pormenor do provete CAS BSA_ext. No entanto, ainda sobre a Figura 12, acrescenta-se que o provete de CAS, apesar de não ter sido sujeito a tratamento, apresenta melhorias. Isto deve-se à degradação do óleo presente na amostra e ao facto de ausência de *inputs* de contaminantes. Este fenómeno é descrito como atenuação natural e explica-se pela exposição dos contaminantes às ações atmosféricas.



Figura 13 - Provete CAS BSA_ext em t=0 e t=62.

É importante recordar a complexidade da situação encontrada e a persistência dos contaminantes. Assim se pode entender a importância deste resultado. Embora a classificação deste balastro se mantenha, após descontaminação, pois continua a tratar-se de um resíduo perigoso, o estado de contaminação é bastante inferior ao inicial.

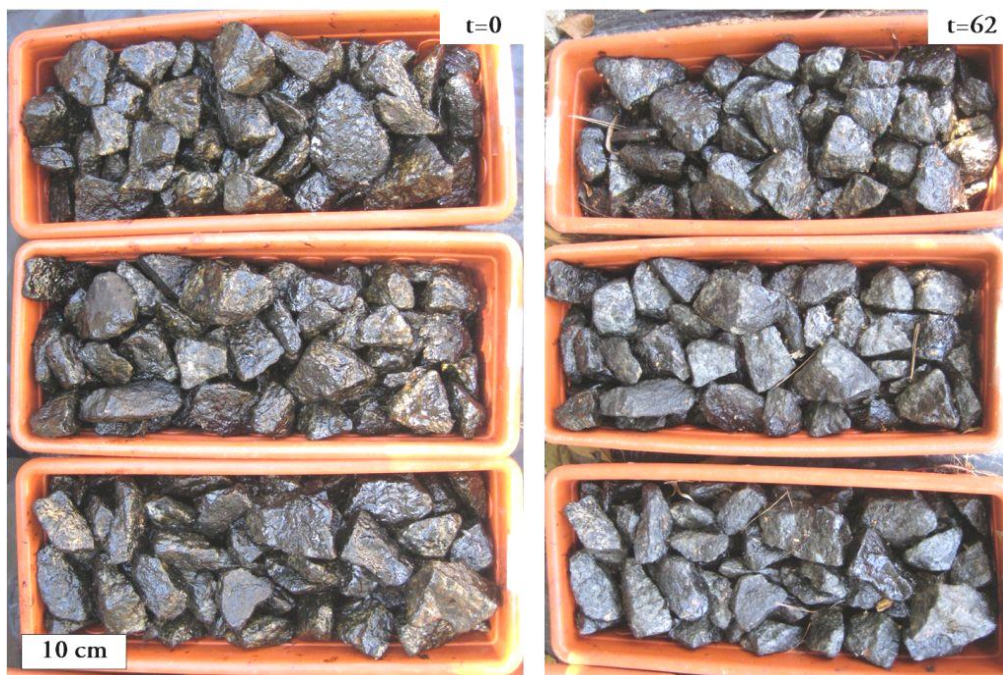


Figura 14 - Bloco 2: Provetes de CAS em Condições de Interior. De Cima Para Baixo: CAS; CAS_BSA; CAS_BCA.

Na observação da Figura 14, não havendo exposição direta às condições atmosféricas, por comparação com a Figura 12, em que esta exposição existiu, observa-se uma ligeira diminuição da eficácia do tratamento. Esta conclusão é bastante relevante na medida em que permite afirmar que a exposição solar e a ação da chuva, potencia a degradação, sendo responsável por uma parcela importante da perda de contaminante, como se verifica pelas ilustrações anteriores. Importa referir que as grandes melhorias nestes provetes foram sentidas quando se iniciou a segunda fase.

A Figura 15 mostra a efervescência provocada pela aplicação do H_2O_2 .



Figura 15 - Fenómenos de Efervescência Verificados nas Amostras de SAP em Campo.



Figura 16 - Bloco 3: Provetes de SAP em Condições de Exterior. De Cima para Baixo: SAP; SAP_BSA; SAP_BCA.

Pela observação da Figura 16, os provetes de SAP, submetidos a tratamento mediante as condições de exterior apresentam, também, algumas melhorias. A análise efetuada ao bloco 1 (Figura 12), é em tudo semelhante à análise que se poderá efetuar para este grupo de provetes, confirmando que a exposição solar e a sujeição à precipitação, são responsáveis pela degradação de uma parcela importante dos contaminantes.

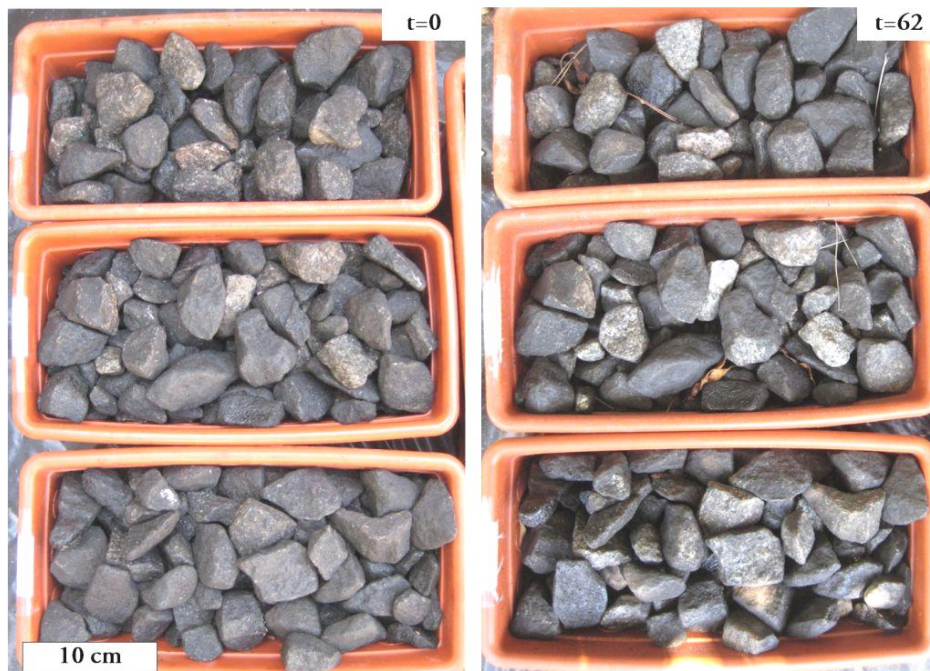


Figura 17 - Bloco 4: Provetes de SAP em Condições de Interior. De Cima para Baixo: SAP; SAP_BSA; SAP_BCA.

Tal como ocorreu no Bloco 3, de acordo com a Figura 17, as melhorias verificadas nos provetes de interior são significativas, sendo notórias nos provetes SAP_BSA e SAP_BCA.

A comparação destes resultados permite avaliar o efeito conjunto das duas abordagens, ao fim dos 62 dias de tratamento, sendo visíveis as melhorias significativas do estado de contaminação das amostras.

As figuras apresentadas permitem concluir que, apesar das melhorias significativas e de se poderem classificar, com reservas, algumas partículas de SAP como balastro inerte (Figura 16 e Figura 17) e algumas partículas de CAS como balastro não perigoso, (Figura 13) num cômputo geral a classificação segundo REFER (2006) não deverá apresentar alterações. Assim, as amostras de CAS classificam-se como balastro contaminado ambientalmente e a amostra de SAP como balastro não perigoso.

Como referido anteriormente, os provetes de exterior foram colocados sobre um geocompósito bentonítico para avaliar a ocorrência de lixiviação dos contaminantes. Assim, após finalização deste processo, verificou-se que o geocompósito bentonítico não apresentava sinais que indicassem a presença dos contaminantes. Isto significa que não houve lixiviação dos contaminantes, mas antes degradação, que era esperado sendo essa a ação das bactérias.

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que o Bio-Stick, não é mais eficaz em todas as situações, no entanto, o registo fotográfico completo permite afirmar que, na Abordagem 1, foi mais eficaz nos provetes que estavam mais contaminados (CAS). Nos provetes menos contaminados, assim como na segunda abordagem não se encontra grande vantagem na aplicação deste produto. Este aspeto deverá ser analisado com mais pormenor no futuro, para ver se é devido à composição da mistura ou devido à natureza dos contaminantes.

É importante concluir que as condições climáticas têm, numa primeira instância muita influência neste processo. Tal foi observado no provete CAS durante a primeira fase, no entanto, passando para a segunda abordagem esse fator perde força, em virtude da eficácia superior dos produtos e da técnica utilizada.

Importa ainda referir que nestes processos apenas foram utilizados produtos exclusivamente biodegradáveis e de aplicação simples, tendo-se promovido o desenvolvimento de um método de aplicabilidade *in situ*.

4.2.2 - Abordagem em laboratório

As razões principais para o aparecimento desta abordagem prendem-se com a pesquisa de mecanismos capazes de acelerar o processo biológico descrito anteriormente, através da mistura de produtos biodegradáveis potenciadores da ação dos diversos intervenientes. O facto de se querer atingir resultados mais satisfatórios, foi uma motivação no sentido da melhoria dos procedimentos de bioremediação tradicionais.

Conforme referido anteriormente, a segunda abordagem iniciou-se com uma fase de experimentação laboratorial, onde foram testadas algumas soluções. No entanto é aqui apresentada aquela que produziu os melhores resultados e que permitiu iniciar uma nova abordagem no campo experimental.

O resultado observado nas Figuras 18 e 19 é fruto da imersão de uma partícula de balastro numa solução composta por água, LAT-SOLV.2, EU 80 e peróxido de hidrogénio (H_2O_2) nas proporções pré-definidas, durante 15 dias. Enquadrando esta amostra segundo REFER (2006), é com alguma segurança que se afirma que a amostra classificada inicialmente de ambientalmente contaminada, após tratamento poderá ser classificada como inerte ou não perigosa.

Em relação à perigosidade, esta afirmação só poderá ser confirmada após a realização de análises mais específicas. Porém, de acordo com a escala visual que se definiu, será essa a sua classificação.

O resultado apresentado compreende o estado inicial ($t=0$) e final ($t=15$) das amostras testadas.



Figura 18 - Amostra de SAP_NT Antes e Após Tratamento.

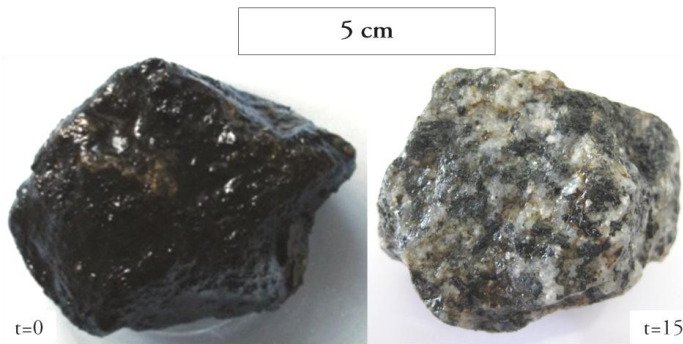


Figura 19 - Amostra de CAS_NT Antes e Após Tratamento.

Como facilmente se conclui, os resultados obtidos em laboratório são bastante elucidativos, demonstrando que a submersão do balastro na solução produzida é muito mais eficaz e eficiente do que a aplicação da solução por aspersão. Em obra, a solução por aspersão é naturalmente preferível, pelo que o tempo de atuação terá que ser maior se esta técnica for utilizada.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A possibilidade de reutilização do balastro há muito que se encontra identificada (Oshima, 1978). No entanto, é devido às crescentes preocupações com os fatores ambientais e com o desenvolvimento sustentável, que se observa uma maior procura de métodos de descontaminação que permitam a reutilização deste material sem condicionantes.

Assim, a reutilização deste material apenas poderá ocorrer após a aplicação de métodos eficazes de descontaminação, que promovam a quase totalidade da sua descontaminação, situação verificada, neste estudo, apenas através de técnicas com aplicação *ex situ*: lavagem com solventes e submersão em solução específica.

Como se verificou, as técnicas de lavagem apresentam-se algo danosas para o balastro, alterando as suas propriedades, ficando a sua reutilização no empreendimento ferroviário algo limitada. No entanto, é reconhecido o alto potencial deste material noutros domínios, havendo informações de empresas do setor rodoviário que vão no sentido de uma política de valorização deste agregado, divulgando uma taxa de reutilização de balastro em obras rodoviárias que ronda as 50000 t/ano (Hanson Aggregates, 2004).

Ocorrendo grande parte da reutilização do balastro no setor rodoviário, o seu aproveitamento como material de enchimento e de utilização como agregado para betão começa a ser uma realidade (Anderson *et al.*, 2003). Deste modo, dando-se início à utilização do balastro, também na produção de betões, está aberta a oportunidade para toda uma série de aplicações diversificadas, sendo consequência direta dessas aplicações a redução da extração de pedra natural. No entanto, a evolução das técnicas de descontaminação do balastro terá de ser uma realidade de forma a permitir a resolução das situações mais complexas, permitindo o tratamento e posterior reutilização dos casos onde o balastro se encontra classificado como contaminado ambientalmente.

AGRADECIMENTOS

À Rede Ferroviária Nacional – REFER, EPE, nas pessoas do Eng.º João Morais Sarmiento e do Eng.º António Normando Ramos, por todas as informações disponibilizadas, assim como pelo fornecimento de balastro.

Ao Sr. Charles Cutler, da EcoBactérias, representante em Portugal da Bio-Systems Europe®, pelo fornecimento dos produtos EU 80 e Bio-Stick.

À LATECMA – Laboratórios Técnicos de Produtos de Manutenção e Segurança, Lda. pelo fornecimento dos solventes LAT-SOLV.2 e SOLV-LAT.

REFERÊNCIAS

- Afonso, M. (2011). *Balastro contaminado das ferrovias – Suas repercussões, soluções de reabilitação e destino final*. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 146 p.
- Afonso, M.; Jorge, C. (2010). *Balastro contaminado das ferrovias – Suas repercussões, soluções de reabilitação e destino final*. 12º Congresso Nacional de Geotecnia, 1577-1586 pp.
- Alzoubi, M.; Fenske, G.; Erck, R.; Boparai, A. (2000). *USDOE Top-of-rail lubricant project*. Final Report to U.S. Department of Energy, Office of Transportation Technology, Office of Heavy Vehicles Technologies, Argonne National Laboratory.
- Anderson, P.; Cunningham, C.J. e Barry, D.A. (2000). Gravimetric analysis of organic contamination in railway ballast. *Land Contamination & Reclamation*, Vol. 8 (2), pp. 71-74.
- Anderson, P.; Cunningham, C.J. e Barry, D.A. (2002). Efficiency and potential environmental impacts of different cleaning agents used on contaminated railway ballast. *Land Contamination & Reclamation*, Vol.10 (2), pp. 71-77.
- Anderson, P.; Cunningham, C.J.; Hearnden, R.A.; Barry, D.A. e Philip, J.C. (2003). Optimisation and assessment of different railway ballast cleaning systems. *Land Contamination & Reclamation*, Vol. 11 (4), pp. 397-403.
- Berger, T. M. (2005). *Biorremediação de solos contaminados com Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - Enfoque na aplicação do processo Terraferm®*. Tese de Doutoramento em Ecologia, Instituto Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 86p.
- Burkhardt, M.; Rossi, L. e Boller, M. (2008). Diffuse release of environmental hazards by railways. *Desalination*, Vol. 226, N.º 1-3, pp. 106-113.
- Decisão do Conselho 2003/33/CE de 19 de dezembro de 2002 – Estabelece os critérios e processos de admissão de resíduos em aterro.
- Hanson Aggregates (2004). Rail Ballast Rethink. *Modern Asphalts*, N.º 14, pp. 4-5.
- IT.GEO.001 – *Fornecimento de Balastro e Graviilha*. Versão 3, Documento Interno, REFER 2009.
- Kolesnikovas, C. (2006). *Avaliação de risco toxicológico para hidrocarbonetos totais de petróleo em forma fracionada aplicada à gestão e monitoramento de água subterrânea em um complexo industrial*. Tese de Doutoramento. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 250 p.
- Milford, R.L. e Allwood, J.M. (2010). Assessing the CO₂ impact of current and future rail track in the UK. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 15 (2), pp. 61-72.
- NP EN 13450 (2005), *Agregados para balastro de via-férrea*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- Oshima, H. (1978). The Possibility of Reusing Used Ballast. *Quarterly Reports*, Vol. 19, N.º1, Tokyo, pp.36.
- REFER (2006). *Ficha 1 – Designação do Material/Resíduo – Balastros*, Ref. AM/FT 003.01.01. Rede Ferroviária Nacional – REFER EPE.
- REFER (2011). *2010 Relatório de Gestão. Demonstrações Financeiras. Governo da Sociedade. Sustentabilidade*. Rede Ferroviária Nacional – REFER EPE.
- Saunders, B.; Gore, C.; Gilbert, A.; Griffin-Smith, D. e Barry, D. L. (1995). *Railway Land*. DOE Industry Profile, 20 p.
- Silva, M. (2008). *Avaliação e Remediação de Zona Contaminada por Hidrocarbonetos. Caso de estudo: Contaminação num armazém de lubrificantes*. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente do perfil de Gestão e Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 152 p.
- Sousa Coutinho, J. 1999, *Agregados para argamassas e betões*. Edições DEC, FEUP, Porto, 135 p.
- Wiłkomirski, B.; Sudnik-Wójcikowska, B.; Galera, H.; Wierzbicka, M.; Malawska, M. (2010). Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water, Air, and Soil Pollution*, October 2010, pp. 1-13.
- <http://www.refer.pt/MenuPrincipal/TransporteFerroviario/Lexico.aspx?Letter=L>, maio 2011.