Silva Lusitana ***14****(2): 181 – 202, 2006*
© EFN, Lisboa. Portugal

Optimização da Localização de Unidades de Remediação de Resíduos de Madeira Tratada

Helena Gomes*, Alexandra B. Ribeiro e Vitor Lobo*****
*Engenheira do Ambiente
**Professora Auxiliar
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, 2829-516 CAPARICA
***Professor Associado
Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação. Universidade Nova de Lisboa, Campus de Campolide, 1070-312 LISBOA

Sumário. O principal objectivo deste trabalho consiste em optimizar a localização de unidades de remediação de resíduos de madeira preservada, de forma a assegurar-lhes uma gestão adequada e a minimizar os custos. Prevêem-se aumentos significativos neste fluxo de resíduos nas próximas décadas, sendo que dezenas de milhares de m^3 gerados anualmente em Portugal terão de ter um destino adequado. A reciclagem destes resíduos apenas deverá ser realizada após a sua remediação, pelo que o planeamento e optimização da localização de unidades de tratamento assumem uma grande importância.

O modelo de localização foi implementado com base em informação georreferenciada, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (ArcGIS 8.2 © ESRI) e informação georreferenciada sobre o uso do solo e os resultados do inquérito enviado às indústrias de preservação de madeira. Foram testados dois métodos diferentes de análise de clusters (*Self-Organizing Maps* e *K-means*), em diferentes condições, para resolver este problema de localização.

As soluções obtidas com os dois métodos fazem sentido e podem ser utilizadas para decidir a localização das unidades de remediação. Enquanto que o *SOM* obteve resultados mais robustos e reprodutíveis, em tempos computacionais mais longos, o *K-means* obteve melhores soluções, apesar da maior variância e dispersão geográfica.
Palavras-chave: resíduos de madeira preservada com CCA; modelos de localização; *Self--Organizing Maps*; *K-means*; optimização

Optimisation Model for the Localization of Treated Wood Waste Remediation Units

Abstract. The objective of this study is to optimise the location of remediation plants for treating CCA-treated wood waste for further recycling, minimizing costs and respecting environmental criteria. In the next decades, the amounts of treated wood that annually needs to be properly disposed of in Portugal will increase considerably. The recycling of this waste, containing chromium, copper and arsenic, should only be made after its remediation, so planning and optimising the units' locations is of major importance.

1º Autor E-mail: helenaig@netcabo.pt

The location model was implemented with geographic information using Geographic Information Systems (ArcGIS 8.2 © ESRI), soil occupation data and the results of a questionnaire sent to wood preservation industries.

Two different clustering methods (Self-Organizing Maps and K-means) were tested in different conditions to solve the location problem.

The solution obtained with either clustering methods are valid and could be used to decide the location of these plants. SOM provided more robust and reproducible results than K-means, with the disadvantage of longer computing times. The main advantage of K-means is the reduced computing time. Additionally it allows us to obtain the best solutions in the majority of cases, in spite of bigger variances and more geographical dispersion.
Key words: CCA-treated wood waste; location models; Self-Organizing Maps; K-means; optimisation

Optimisation de la Localisation des Unités de Remédiation des Résidus de Bois Traités

Résumé. Le principal objectif de cette étude est d'optimiser la localisation des usines de remédiation pour traiter les déchets de bois imprégné avec CCA, en minimisant les coûts et en respectant les critères environnementaux. Dans les prochaines décennies, au Portugal, les quantités de bois traité, devant être annuellement correctement entreposés, augmenteront considérablement. Le recyclage de ces déchets, contenant chrome, cuivre et arsenic, devrait seulement être fait après leur remédiation, donc la planification et l'optimisation des sites des usines sont très importantes.

Le modèle de localisation a été implémenté grâce à l'information géographique en utilisant des systèmes d'information géographiques (ArcGIS 8.2 © ESRI), à l'occupation du sol et aux résultats d'un questionnaire envoyé aux industries d'imprégnation du bois.

Deux méthodes de groupage différentes (*Self-organizing Maps* et *K-means*) ont été examinées dans différentes conditions. Les solutions obtenues avec les deux méthodes sont viables et pourraient être employées pour décider de l'endroit de l'emplacement de ces usines. *SOM* a fourni des résultats plus robustes et reproductibles que *K-means*, avec l'inconvénient de durées de calcul plus longues. Le principal avantage de *K-means*, comparé à *SOM*, est la durée de calcul plus réduite et l'obtention de meilleures solutions dans la plupart des tests, malgré de grandes variations et une dispersion géographique.
Mots clés: déchets de bois traité avec CCA; modèles de localisation; *Self-Organizing Maps*; *K-means*; optimisation

Introdução

Para aumentar o tempo de vida da madeira, protegendo-a de fungos, insectos e outros organismos, são utilizados diversos agentes preservadores (biocidas), nomeadamente alguns compostos com elevado grau de toxicidade, que têm vindo, gradualmente, a ser abandonados. Como exemplos de produtos de madeira tratada podem referir-se os postes das linhas telefónicas, os postes utilizados em vedações (agrícolas e em auto-estradas) e as travessas dos caminhos-de-ferro.

O CCA (*Chromated Copper Arsenate*) é o produto preservador mais utilizado a nível mundial (VILLUMSEN, 2003). Este produto tem vindo a ser progressivamente banido devido aos riscos ambientais associados ao Cr, Cu e As presentes nos lixiviados da madeira preservada, quer durante o seu tempo de vida útil, quer no fim de ciclo de vida, como resíduo. Elevadas concentrações destes metais foram detectadas em amostras de lixiviados, solos, sedimen-

tos, águas fluviais e estuarinas adjacentes a madeira tratada com CCA, bem como nas cinzas resultantes da incineração destes resíduos, contribuindo, directa ou indirectamente, para a potencial exposição humana (BRESLIN e ADLER-IVANBROOK, 1998; FPL, 2000; SOLO-GABRIELE *et al.*, 2000; MAAS *et al.*, 2002; WEIS e WEIS, 2002; CHIRENJEA *et al.*, 2003; TOWNSEND *et al.*, 2003).

A madeira preservada, quando atinge o fim da sua vida útil, constitui um resíduo e, até há pouco tempo, não levantava nenhum problema. No entanto, a legislação classificou estes resíduos como perigosos, verificando-se, assim, a necessidade de encontrar uma solução ambientalmente adequada para a sua gestão.

A hierarquia de gestão de resíduos preconizada pela União Europeia (UE) promove, em primeiro lugar, a prevenção ou redução da produção de resíduos e da sua toxicidade, seguida da reutilização e reciclagem dos resíduos, da valorização energética e, por último, a deposição em aterro. A gestão de resíduos perigosos através das operações de gestão habituais, como a valorização energética e a deposição em aterro, tem-se tornado mais dispendiosa, devido à necessidade de cumprir requisitos legais cada vez mais restritos. Por outro lado, e no caso concreto dos resíduos de madeira preservada, o desenvolvimento de estratégias de gestão alternativas está, ainda, limitado pela grande dispersão dos resíduos, pela ausência de meios apropriados para a sua triagem, bem como pela fraca qualidade do material recolhido (COOPER, 2003). Deste modo, a inexistência de um sistema de recolha, triagem e encaminhamento dos resíduos de madeira preservada continua a ser a principal barreira para um aumento da reciclagem e para evitar que este fluxo de resíduos seja depositado em aterros, tal como definido na Directiva Aterros (Directiva 1999/31/CE). Apesar destes obstáculos, tem-se verificado um crescimento progressivo da reciclagem destes resíduos, bem como o desenvolvimento de técnicas de remediação para os descontaminar, extraindo os preservantes da madeira.

Os objectivos deste trabalho consistem em determinar os quantitativos de resíduos de madeira tratada que irão ser produzidos em Portugal e optimizar a localização de unidades de remediação de resíduos de madeira preservada, de forma a assegurar-lhes uma gestão adequada e a minimizar os custos. Assim, depois de uma breve introdução à actividade de preservação de madeira em Portugal, serão apresentadas as estimativas de produção de resíduos a nível nacional. De seguida, serão apresentadas as várias opções de gestão dos resíduos de madeira preservada.–Posteriormente, apresenta-se a formulação do modelo e apresentam-se os principais resultados das simulações efectuadas. Por último, apresentam-se as conclusões e desenvolvimentos futuros do trabalho desenvolvido.

Produção de resíduos de madeira preservada em Portugal

A preservação ou impregnação da madeira visa dotar a matéria-prima com características de maior durabilidade e resistência a fungos e insectos. A preservação de madeira em Portugal iniciou-se no princípio do século XX e, até aos anos 50, foi bastante incipiente (REIMÃO e COCKCROFT, 1985). Nos anos 50 surgiu um grande interesse pelo tratamento por pressão/vácuo e foram

instaladas ou adaptadas várias unidades industriais para este tipo de tratamento. Em 1985, existiam 14 empresas de preservação de madeira com unidades em 17 locais e um total de 26 cilindros instalados (REIMÃO e COCKCROFT, 1985). Em 1998, a preservação de madeira por vácuo/pressão envolvia 22 unidades industriais e um total de 24 cilindros instalados (RIBEIRO, 1998). A descrição pormenorizada dos diferentes métodos de preservação de madeira utilizados pela indústria portuguesa pode encontrar-se em RIBEIRO (1998).

A indústria de preservação de madeira em Portugal Continental localiza-se, essencialmente, a Norte de Lisboa, no litoral (ver Figura 1), que corresponde às áreas mais densamente povoadas e em que existe uma maior procura deste material. Estas localizações sobrepõem-se à área florestal de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) que constitui a matéria-prima das unidades industriais (REIMÃO e COCKCROFT, 1985).

O maior consumidor de madeira preservada em Portugal, nomeadamente de postes para vedações, tutores de árvores e postes para vinhas, é o sector agrícola (ver Quadro 1) (REIMÃO e COCKCROFT, 1985). A vedação de auto-estradas com madeira preservada também absorve parte da produção nacional, sendo que, até 2001, cerca de 2601 km de auto-estradas foram vedados com postes de madeira preservada com CCA (INE, 2002). A madeira preservada é também utilizada em passadiços em praias, zonas húmidas, jardins e campos de golfe.

Uma vez que os dados existentes sobre a produção e utilização da madeira preservada remontam a 1984, para a sua actualização foi realizado um inquérito às indústrias de preservação de madeira. Foram inquiridas todas as empresas localizadas em Portugal Continental e constantes na Base Belém do Instituto Nacional de Estatística (INE), tendo sido obtida uma taxa de resposta de 45%. As empresas que responderam ao inquérito iniciaram a sua laboração entre 1978 e 1995.



Figura 1 – Localização das unidades de preservação de madeira em Portugal Continental (assinaladas com •) [Fonte: Base Belém do Instituto Nacional de Estatística]

Quanto ao produto preservador utilizado em Portugal, de acordo com os resultados do inquérito, predomina o CCA, mais concretamente o CCA tipo 2[1] com 62%, seguido do CCA tipo 1[2]. Os outros produtos preservadores como o CCA tipo C[3], outras formulações de CCA e o CCB (*Chromated Copper Borate*) têm menos significado (ver Figura 2). Nas empresas que responderam ao inquérito são consumidos, em média, um total de 1335 Mg/ano de produtos preservadores.

Quadro 1 – Quantidades de madeira preservada em Portugal, em 1984, discriminada por produtos (REIMÃO e COCKCROFT, 1985)

Produtos	Quantidades Produzidas (m^3)
Travessas de caminho-de-ferro	15000
Postes telefónicos	15000-20000
Postes para agricultura (tutores de árvores, postes para vinha e para vedações)	25000-35000
Madeira serrada	10000

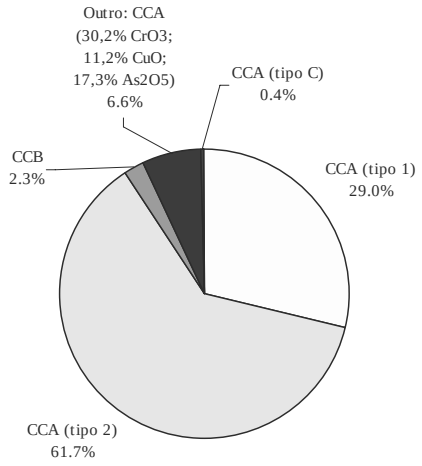


Figura 2 – Produto preservador utilizado nas empresas que responderam ao inquérito

Em 2003, as empresas que responderam ao inquérito produziram 75 282 m^3 de madeira preservada, sendo que a quantidade média anual produzida nessas empresas é ligeiramente superior (78 821 m^3). Relativamente às exportações, estas representam cerca de 9,5% da produção no ano de 2003; sendo que, em média, representam 9% da produção anual dessas empresas.

Os produtos de madeira preservada produzidos nas empresas que responderam ao inquérito distribuem-se de acordo com as percentagens apresentadas na Figura 3. Verifica-se, ainda, o predomínio do uso agrícola (tutores de árvores, postes para vinhas e para vedações), seguido da madeira serrada e dos postes para auto-estradas à semelhança do que acontecia em 1984. Nenhuma das empresas respondentes produz travessas para caminho-de-ferro.

Quanto à percentagem da produção total que corresponde a resíduos de madeira tratada e a postes e varas rejeitados, nas respostas ao inquérito foi obtido um valor médio de 4% da produção. Estes resíduos têm como destino final a incineração em caldeiras de recuperação de calor, a reciclagem (produção de contraplacados) e reaproveitamentos internos.

Com base nas respostas ao inquérito realizado às indústrias e nos dados existentes no INE referentes à produção, exportação e importação de madeira preservada foram feitas estimativas da produção de resíduos de madeira tratada em Portugal. Foi utilizado um balanço de massa que se ilustra na Figura 4 e na Equação 1, e considera-se o tempo de vida para a madeira tratada, de acordo com o tipo de produto (Quadro 2).

O balanço de massa traduz-se pela seguinte equação:

$$\frac{dU}{dt} = P - E + I - D \qquad \text{(Equação 1)}$$

em que U é a massa de madeira preservada que está a ser utilizada no tempo t; dU/dt é a taxa de variação de U (massa/tempo); P é a massa de madeira preservada produzida por unidade de tempo; E é a massa de madeira preservada exportada por unidade de tempo; I é a massa de madeira preservada importada por unidade de tempo e D é a massa de madeira preservada encaminhada para destino final por unidade de tempo. Para converter os volumes de madeira em massa foi utilizada uma massa específica de 640 kg m^{-3} (H=12%), característica da madeira portuguesa de *Pinus pinaster* (CARVALHO, 1997).

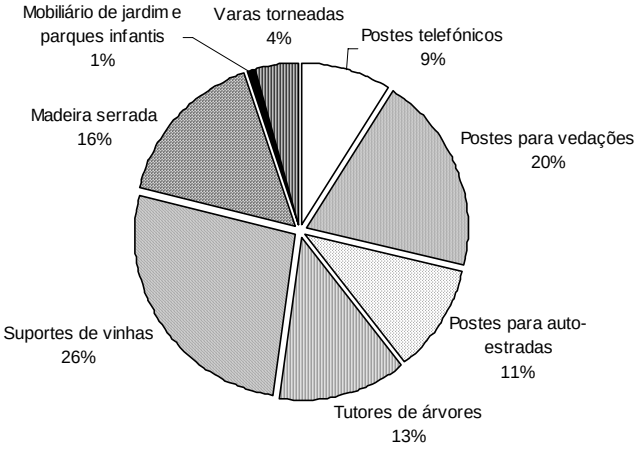


Figura 3 – Principais produtos de madeira preservada produzidos nas empresas que responderam ao inquérito

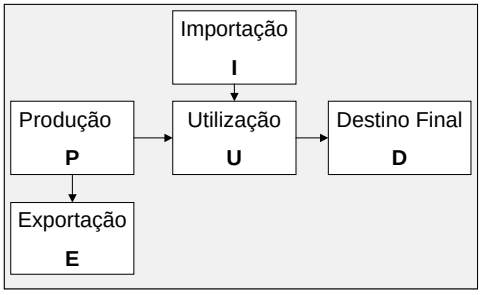


Figura 4 – Balanço de massa para a inventariação de resíduos de madeira preservada com CCA [modificado de SOLO-GABRIELE *et al.* (1998)]

Os dados referentes à produção, exportação e importação da madeira preservada entre 1992 e 2002 apresentam-se na Figura 5. Os dados relativos a 1984 são os publicados por REIMÃO e COCKCROFT (1985) (ver Quadro 1) e os dados entre 1985 e 1991 foram estimados para utilizar no balanço de massa.

Considerou-se que 90% dos quantitativos de madeira preservada tinham sido tratados com CCA, segundo os resultados do inventário e a informação relativa à comercialização de produtos preservadores (SANCHES, 2004).

Para a quantificação dos resíduos de madeira preservada foram também tidas em conta as suas utilizações, dado que o tempo de vida dos produtos de madeira preservada é diferente de acordo com o seu uso (ver Quadro 2). Por exemplo, a madeira serrada e os postes para vedações com uso doméstico têm, de um modo geral, um tempo de vida mais curto (SOLO-GABRIELE *et al.*, 1998), enquanto que produtos como os postes telefónicos e as travessas do caminho-de-ferro têm, normalmente, um tempo de vida superior (40 a 60 anos).

Quadro 2 – Tempo de vida útil de diferentes produtos de madeira preservada

Produto	Percentagem (%)	Tempo de Vida (anos)	Referência
Postes telefónicos	25	35 a 37	SOLO-GABRIELE *et al.* (1998); HUMAR e POHLEVEN (2001)
	50	38 a 42	
	25	43 a 45	
Madeira serrada, postes para vedações	25	20 a 22	MCQUEEN *et al.* (1998)
	50	23 a 27	
	25	28 a 30	
Mobiliário urbano e parques infantis	25	5 a 7	SOLO-GABRIELE *et al.* (1998); HUMAR e POHLEVEN (2001); COOPER (2003)
	50	8 a 12	
	25	13 a 15	

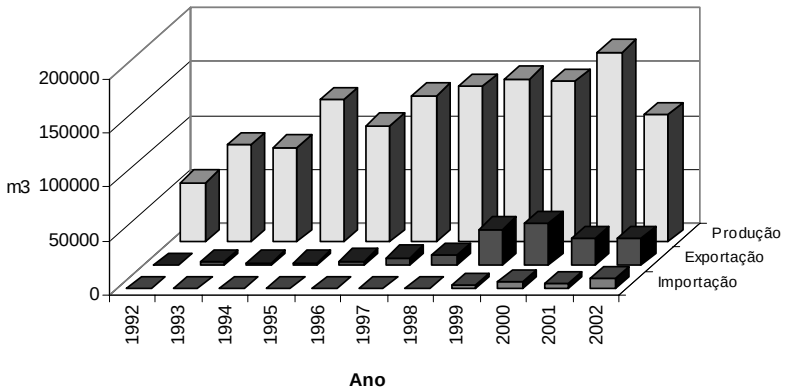


Figura 5 – Produção, exportação e importação de produtos de madeira preservada em Portugal (m^3), de 1992 a 2002 [Fonte: INE]

A evolução da produção dos resíduos de madeira tratada apresentada na Figura 6 foi realizada com base nos pressupostos anteriores e não considera a diminuição do tempo de vida útil por alterações no estilo e gostos dos utilizadores (que determinam a substituição do produto), nem a combustão dos postes em áreas florestais durante os incêndios que ocorrem normalmente no Verão em Portugal (VERÍSSIMO, 2004). De acordo com as estimativas realizadas, a nível nacional, em 2010 serão produzidas cerca de 23 mil toneladas de resíduos de madeira tratada, e, em 2022, essa quantidade atingirá aproximadamente 59 mil toneladas.

Não é possível aferir o erro associado a estas estimativas, uma vez que os únicos quantitativos de resíduos de madeira preservada conhecidos se referem aos resíduos do processo industrial e não aos resíduos de madeira tratada em fim de vida. Assim, no Estudo de Inventariação de Resíduos Industriais (INR, 2003), produzido em 2003 por seis Universidades portuguesas no âmbito do protocolo estabelecido com o Ministério das Cidades, do Ordenamento do Território e do Ambiente, foram determinados os quantitativos de serradura, aparas, fitas de aplainamento, madeira, aglomerados e folheados, contendo substâncias perigosas, que correspondem a 1,14 x 10^{-1} kg m^{-3} de madeira tratada (BORREGO *et al.*, 2003). Se considerarmos a produção de madeira preservada no ano 2002 (117 904 m^3), obtemos a produção de 13,4 Mg de resíduos, apenas com origem industrial.

Por sua vez, o Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI) refere que a quantidade anual de resíduos de madeira produzidas nas indústrias de preservação de madeira é de 1754 m^3 (INETI, 2001), o que corresponde a cerca de 1123 Mg.

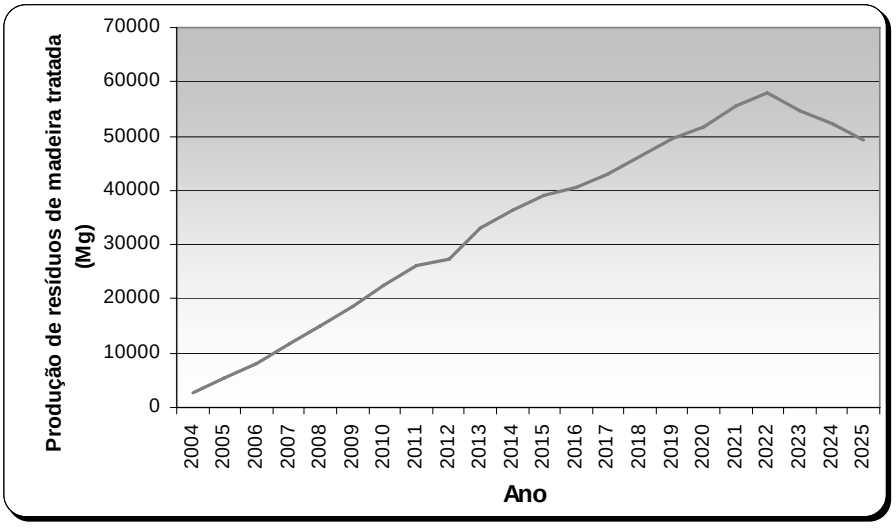


Figura 6 – Estimativas para a produção de resíduos de madeira tratada com base no tempo de vida útil e nas diferentes utilizações dos produtos de madeira preservada

Gestão integrada de resíduos de madeira preservada

Actualmente, existe uma preocupação crescente em implementar métodos eficazes de gestão dos resíduos de madeira preservada, que apostem na sua reciclagem após a respectiva remediação, tanto mais que o quadro legislativo em vigor vai no sentido de proibir as quantidades de resíduos biodegradáveis a depositar em aterro e, sendo resíduos perigosos (ver Quadro 3), apenas podem ser valorizados energeticamente em instalações que possuam meios adequados de tratamento das emissões gasosas e das escórias e cinzas volantes resultantes (centrais de valorização energética para resíduos perigosos).

A única informação disponível sobre a gestão dos resíduos de madeira tratada em Portugal é a que se apresenta no Quadro 4, sistematizada no Workshop *Environmental Exposure Assessment to Wood Preservatives* promovido pela OCDE (OECD, 2000). Segundo esta fonte, em Portugal, os resíduos de madeira tratada são depositados em aterro, incinerados ou reutilizados, não se dispondo de informação sobre a importância relativa destas opções de gestão. Por outro lado, em Portugal não existem condições adequadas à incineração de resíduos perigosos (existem apenas três centrais de valorização energética de resíduos sólidos urbanos).

Relativamente aos postes telefónicos, de acordo com a PT Comunicações, todos os postes telefónicos de madeira preservada que atingem o final da sua vida útil são removidos e vendidos a empreiteiros para reutilização na construção civil (VERÍSSIMO, 2004). Assim, uma fracção significativa da produção de resíduos de madeira preservada é reutilizada.

Uma opção para a gestão dos resíduos de madeira preservada em Portugal seria a criação de uma sociedade gestora para este fluxo de resíduos, à semelhança das que foram criadas para as embalagens (Sociedade Ponto Verde - SPV), embalagens e medicamentos fora de uso (VALORMED), pneus usados (VALORPNEU), pilhas e acumuladores (ECOPILHAS), veículos em fim de vida (VALORCAR) e, num futuro próximo, óleos usados (SOGILUB) e resíduos de equipamento eléctrico e electrónico (AMB3E e ERP Portugal), responsabilizando os produtores pelo destino final adequado dos resíduos gerados pelos seus produtos em fim de vida.

Quadro 3 – Classificação dos resíduos de madeira preservada de acordo com a legislação nacional e comunitária (Lista Europeia de Resíduos – LER – publicada na Portaria Nº 209/2004, de 3 de Março)

Código	Descrição
03 01 04*	Serradura, aparas, fitas de aplainamento, madeira, aglomerados e folheados, contendo substâncias perigosas
15 01 10*	Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas
17 02 04*	Madeira contendo ou contaminada com substâncias perigosas em resíduos de construção e demolição
20 01 37*	Madeira contendo substâncias perigosas nos resíduos sólidos urbanos incluindo fracções recolhidas separadamente

* resíduos perigosos

Quadro 4 – Destino final dos resíduos de madeira preservada em diferentes países (OECD, 2000)

País	Destino Final dos Resíduos de Madeira Tratada
Austrália	- Aterro - Recuperação e reutilização
Canadá	- Aterro - Incineração - Reutilização
França	- Valorização energética - Aterro
Alemanha	- Reutilização regulamentada para madeira tratada - Triagem e incineração dedicada - Valorização energética - Aterro
Japão	- Incineração regulamentada
Holanda	- Depende do fluxo de resíduos - Aterro - Valorização energética (incluindo exportação) - Reutilização
Portugal	- Aterro - Incineração - Reutilização
Suíça	- Incineração regulamentada
Suécia	- Valorização energética - Incineração - Aterro
EUA	- Aterro - Incineração como resíduo perigoso

Em 2000, na Finlândia foi criada a DemoliteOy, cujo maior accionista é a Associação Finlandesa de Indústria da Preservação, responsável pela gestão dos resíduos de madeira tratada e que procede à sua recolha selectiva e valorização energética (TÃHKÃLÃ, 2002).

É, ainda, importante salientar que, apesar da fileira Madeira, através da EMBAR, estar abrangida pelo Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens (SIGRE), a madeira preservada não é habitualmente utilizada em embalagens (o que se verificou no inquérito produzido) e por isso, não deveria ser gerida através deste sistema, uma vez que os seus produtores não pagam Valor Ponto Verde. Assim, seria muito relevante caracterizar os lotes de madeira retomados pela SPV e determinar a percentagem de produtos de madeira preservada que são encaminhados para reciclagem pelos retomadores acreditados por esta entidade.

Relativamente à reciclagem, o processo electrodialítico tem mostrado ser uma técnica de remediação promissora no caso dos resíduos de

madeira tratada com CCA, quer à escala laboratorial, quer em piloto de demonstração. Este processo baseia-se na aplicação de uma corrente directa de baixa intensidade, o que se traduz na remoção dos contaminantes, por acção combinada do movimento electrocinético (por electromigração, electroosmose e electroforese), com o princípio da electrodiálise.

A matriz a ser descontaminada (p. ex. madeira contaminada humedecida) é colocada numa célula com dois eléctrodos, sendo submetida à acção do campo eléctrico. Os contaminantes são mobilizados na forma de espécies químicas carregadas, e migram para um dos dois eléctrodos de onde poderão, posteriormente, ser removidos. À escala laboratorial foram removidos 93% do Cu, 95% de Cr e 99% de As do serrim de madeira tratada com CCA (RIBEIRO *et al.*, 2000), enquanto que, na experiência piloto, a melhor eficiência foi conseguida com 100 kg de estilha de madeira, durante 21 dias e com uma distância entre eléctrodos de 60 cm, tendo sido removido 88% de Cu, 82% de Cr e 96% de As (VILLUMSEN, 2003).

Após a recuperação do produto preservador, a madeira poderá constituir matéria-prima no fabrico de compósitos de madeira (painéis de fibras de madeira, contraplacados e lamelados). O produto preservador poderá, também, ser reutilizado na indústria de preservação da madeira numa forma diluída (VILLUMSEN, 2003).

Na Figura 7 apresentam-se os principais processos envolvidos na reciclagem dos resíduos de madeira preservada e quais as tecnologias utilizadas.

Todavia, persiste uma questão relevante: que concentração residual de preservante na madeira após remediação pode viabilizar a sua posterior reciclagem em produtos derivados de madeira?

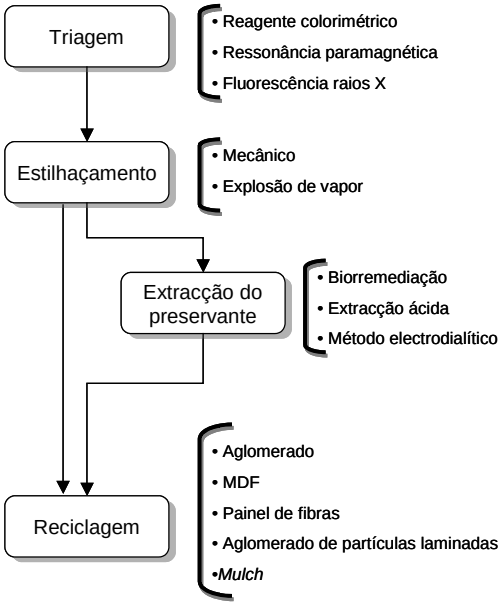


Figura 7 – Processos e tecnologias na reciclagem de resíduos de madeira preservada

Na União Europeia, apenas a Alemanha publicou legislação (*Altholzverordnung*)[4] referente a este assunto (ver Quadro 5). Também foram definidos critérios pela *European Panel Federation* (EPF)[5], sendo que os limites estabelecidos são significativamente superiores aos da legislação alemã.

Desenvolvimento do modelo de mocalização

O modelo de localização dos resíduos de madeira preservada foi implementado com base em informação georreferenciada (ver metadados no Quadro 6), utilizando Sistemas de Informação Geográfica (ArcGIS 8.2 © ESRI). Foram tidas em conta as utilizações dos diferentes produtos de madeira preservada, utilizando informação sobre o uso do solo e os resultados do inquérito às indústrias de preservação de madeira. Foi, ainda, considerada a proximidade às indústrias de preservação de madeira, também geradoras de resíduos.

Quadro 5 – Valores limite para utilização de madeira no fabrico de produtos derivados

Parâmetro	Concentração* (mg kg^{-1} massa seca)	Valor Limite** (mg kg^{-1})
Arsénio	**2**	**25**
Chumbo	30	90
Cádmio	2	50
Crómio	**30**	**25**
Cobre	**20**	**40**
Mercúrio	0,4	25
Cloreto	600	1000
Fluoreto	100	100
PCP	3	5
PCB	5	-
Benzo(a)pireno	-	0.5

* Valores limite da legislação alemã que entrou em vigor em Março de 2003
** *European Panel Federation* (DEROUBAIX & CORNILLIER, 2004)

Quadro 6 – Metadados da informação georreferenciada utilizada no modelo SIG

Dados	Fonte	Modelo de Dados
População	Dados dos Censos 2001 do Instituto Nacional de Estatística	Tabela
Indústrias de preservação de madeira	Base de Dados Belém do Instituto Nacional de Estatística	Tabela
Uso do solo	Corine Land Cover disponibilizado pelo Instituto Geográfico Português	Vectorial
Auto-estradas	Plano Rodoviário 2000 do Instituto das Estradas de Portugal	Vectorial
Divisões administrativas	Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) do Instituto Geográfico Português	Vectorial

Por outro lado, como uma primeira aproximação ao problema, foram, também, utilizados os dados referentes à população por freguesia dos Censos 2001 do INE, uma vez que os resíduos de madeira de uso doméstico constituem uma fracção muito significativa da produção total [cerca de 82% do total estimado para 2010, de acordo com COOPER (2003)].

Com base no modelo SIG foram determinados os nós de procura, caracterizados pelas coordenadas X e Y e pela quantidade de resíduos produzida, que irão ser utilizados no modelo de localização.

Dada a complexidade dos modelos de localização, é frequente recorrer a métodos heurísticos, que permitem obter soluções sub-óptimas. Neste caso concreto, na resolução do problema de optimização, foram utilizados dois métodos diferentes: *Self-Organizing Maps* (*SOM*) (KOHONEN, 1990) e *K-means*. O *SOM* é uma rede neuronal para aprendizagem não supervisionada, com capacidade para organizar conjuntos de dados. O *K-means* é um método clássico de análise de clusters, em que os clusters são constituídos de forma a optimizar um determinado critério (função de semelhança). Assim, este método recebe como *input* o parâmetro *k* e procede à partição de *n* objectos em *k* grupos, de forma a garantir elevada semelhança intra-cluster e uma elevada dissemelhança inter-cluster.

O problema foi formulado considerando as seguintes restrições: i) a procura está concentrada em localizações discretas – nós de procura – que têm procuras fixas; ii) cada nó de procura deverá ser alocado à unidade de remediação mais próxima; iii) não existe interacção entre as unidades de remediação; iv) não foram consideradas restrições espaciais (barreiras, áreas proibidas) à localização das unidades de remediação, que se poderão situar em qualquer ponto do espaço (problema de localização contínuo).

Foram também assumidos os seguintes pressupostos:

- Apesar das unidades de remediação serem locais de tratamento de resíduos perigosos, não foram consideradas como indesejáveis, como outras na bibliografia [ver por exemplo GIANNIKOS (1998); NEMA e GUPTA (1999); LAHDELMA *et al.* (2002); LLURDES *et al.* (2003)].
- Assumiu-se que todas as unidades de remediação são idênticas e usam o processo electrodialítico, que provou já a sua eficácia num projecto-piloto (VILLUMSEN, 2003). Após a remediação, os resíduos podem ser reciclados;
- Não foram considerados os custos fixos, tendo-se assumido que seriam iguais para todas as unidades de remediação;
- Os custos de transporte entre os nós de procura e as unidades de remediação são proporcionais à distância euclideana;
- Não foi considerada a capacidade das unidades de remediação, assumindo-se que poderiam absorver toda a procura que lhes fosse associada.

O problema em causa é conhecido como problema de localização-alocação (*multisource Weber problem*) e consiste em seleccionar as localizações de um número de instalações (unidades de remediação), e determinar a alocação dos pontos de procura às unidades. O problema pode ser formulado através da seguinte função objectivo:

$$\min_{x_i, y_i, z_{ijj}} \sum_{i=1}^{p} \sum_{j=1}^{n} z_{ij} \cdot w_j \cdot d_j(x_i, y_i) \quad \text{(Equação 2)}$$

sujeito às seguintes restrições

$$\sum_{i=1}^{p} z_{ij} = 1 \ , \quad j = 1, \ 2, \ \ldots, n$$

$z_{ij} \in [0,1]$
i = 1, 2, …, p
j = 1, 2, …n

em que *p* unidades devem ser localizadas para satisfazer a procura de *n* nós de procura, x_i ,y_i representam as coordenadas da unidade *i*, d_j é a distância euclideana entre (x_i, y_i) e o nó de procura *j*, w_j é a procura do nó *j* e z_{ij} é a fracção da procura é que satisfeita pela unidade *i*. Existe sempre uma solução óptima para todo o $z_{ij} \in \{0, 1\}$, i.e., cada nó de procura é satisfeito com uma única unidade de remediação.

A função objectivo deste problema não é convexa nem côncava e pode apresentar um grande número de óptimos locais (DREZNER *et al.*, 2002).

Resultados e discussão

O software utilizado foi o SOMToolbox para MATLAB desenvolvido na Universidade Técnica de Helsínquia. Foram realizadas simulações para três anos diferentes: 2010, 2015 e 2020, uma vez que as quantidades de resíduos produzidos serão diferentes. Foram consideradas as possibilidades de instalar 5, 10 ou 15 unidades de remediação a nível nacional.

Foram testadas 3 grelhas diferentes (no Teste 1 usaram-se grelhas bi e tridimensionais, enquanto que no Teste 2 apenas se usaram grelhas unidimensionais). Em ambos os testes foram utilizadas a topologia rectangular e a vizinhança do tipo "*bubble*". A inicialização do método foi aleatória e foram usadas duas fases de aprendizagem. Os dois testes diferiram, ainda, no número de épocas de treino, tendo-se optado por um nº menor de épocas de treino no Teste 2. As condições experimentais utilizadas nos dois testes apresentam-se no Quadro 7. No caso do *K-means*, foi utilizado um algoritmo *batch* para localizar 5, 10 e 15 unidades de remediação e um nº de épocas de treino idêntico ao utilizado com o *SOM*.

No Quadro 8 apresentam-se os resultados do Teste 1, mais concretamente a distância média ponderada a uma unidade de remediação, em cada uma das simulações efectuadas. Estes resultados permitiram, também, concluir que o aumento do número de épocas de treino não melhora significativamente os resultados, pelo que no Teste 2 se optou por utilizar um número reduzido de épocas de treino, que permitiu efectuar mais simulações.

Quadro 7 – Síntese das condições experimentais nos dois testes

Teste	Fases de Aprendizagem	Raio Inicial	Taxa de Aprendizagem (α)	Nº de Épocas de Treino
1	1ª	3	0,3	3; 30; 300
	2ª	2	0,05	6; 60; 600
2	1ª	3	0,3	5
	2ª	2	0,05	10

Quadro 8 – Distância média ponderada (em km) a uma unidade de remediação. Resultados do Teste 1

Simulação	Nº de Épocas de Treino	Grelha	Distância Média Ponderada (km)
P1	3; 6	5 x 1	36,08
P2	30; 60		35,98
P3	300; 600		36,04
P4	3; 6	5 x 2	24,41
P5	30; 60		24,05
P6	300; 600		24,07
P7	3; 6	5 x 3	19,92
P8	30; 60		20,06
P9	300; 600		20,06
CA1	3; 6	5 x 1	43,89
CA2	30; 60		43,91
CA3	300; 600		43,90
CA4	3; 6	5 x 2	25,03
CA5	30; 60		24,98
CA6	300; 600		25,11
CA7	3; 6	5 x 3	18,84
CA8	30; 60		18,47
CA9	300; 600		18,50
CB1	3; 6	5 x 1	43,84
CB2	30; 60		43,89
CB3	300; 600		43,84
CB4	3; 6	5 x 2	24,90
CB5	30; 60		24,55
CB6	300; 600		24,95
CB7	3; 6	5 x 3	18,77
CB8	30; 60		18,42
CB9	300; 600		18,41
CC1	3; 6	5 x 1	44,08
CC2	30; 60		44,10
CC3	300; 600		44,09
CC4	3; 6	5 x 2	24,96
CC5	30; 60		24,95
CC6	300; 600		24,90
CC7	3; 6	5 x 3	18,98
CC8	30; 60		18,42
CC9	300; 600		19,96

Nas Figuras 8 a 10 apresentam-se as localizações das unidades de remediação obtidas nas simulações do Teste 1, para 5, 10 e 15 unidades, respectivamente. Verifica-se que, à medida que o número de unidades de remediação aumenta, aumenta também a dispersão geográfica das soluções e a semelhança entre os resultados obtidos com os dados da população (P1 a P9) e com os dados referentes à produção de resíduos de madeira preservada (CA1 a CA9; CB1 a CB9 e CC1 a CC9).

Inicialmente, esperava-se que as localizações se alterassem em função das diferentes quantidades de resíduos

produzidos nos anos considerados (2010, 2015 e 2020). No entanto, tal não se verificou a uma escala significativa, o que poderá dever-se ao facto de os nós de procura terem a mesma localização, alterando-se apenas a sua ponderação em função das quantidades de resíduos produzidas.

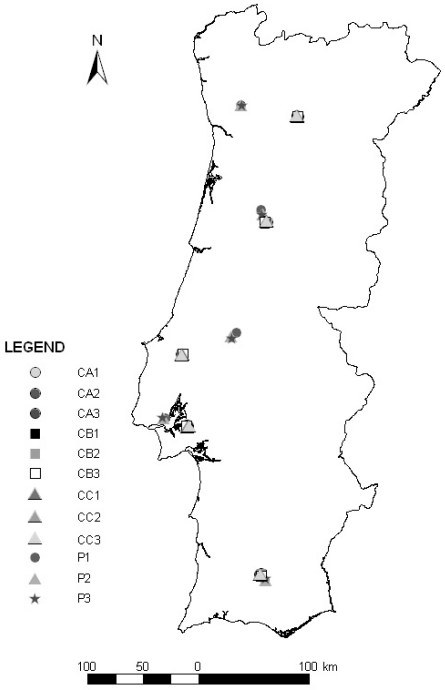


Figura 8 – Resultados do Teste 1 para 5 unidades de remediação

No Quadro 9 apresentam-se os resultados do Teste 2, comparando os resultados obtidos com o *SOM* e o *K-means*, relativamente à média aritmética da distância média ponderada e ao mínimo da distância média ponderada (melhor solução). Um exemplo dos diferentes resultados obtidos com os dois métodos testados, para o caso das 10 unidades, apresenta-se nas Figuras 11 a 12.

Relativamente ao Teste 2, a análise comparativa dos dois métodos testados permite-nos concluir que ambos têm vantagens e desvantagens. Uma das principais desvantagens do *K-means* é a sua sensibilidade aos mínimos locais. Existem várias formas de lidar com este problema, sendo que a mais comum é reinicializar o método várias vezes e escolher a melhor solução.

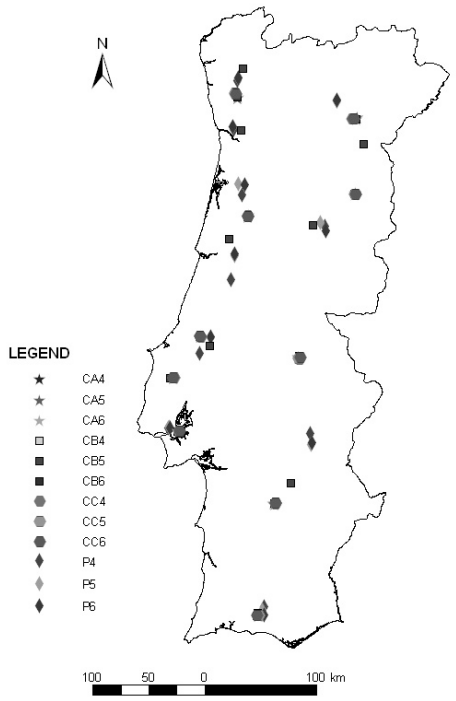


Figura 9 – Resultados do Teste 1 para 10 unidades de remediação

A maior vantagem do *K-means* em relação ao *SOM* é o reduzido tempo computacional, aliado ao facto de que permite obter as melhores soluções na maior parte dos casos. Por outro lado, os resultados obtidos com o *SOM* são mais robustos e reprodutíveis, com a desvantagem de apresentarem tempos computacionais muito maiores.

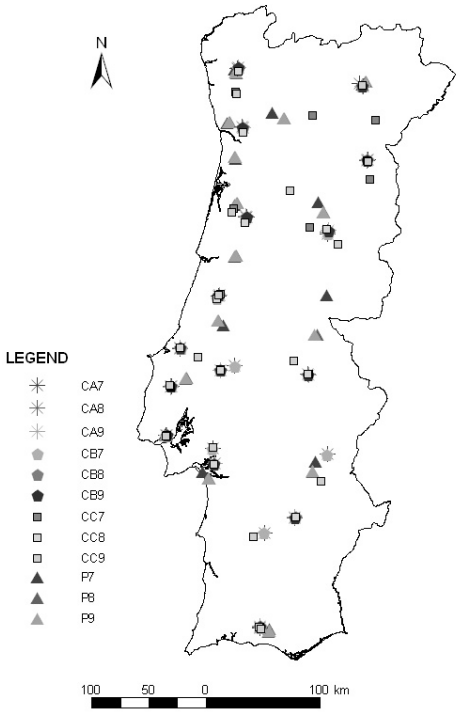


Figura 10 – Resultados do Teste 1 para 15 unidades de remediação

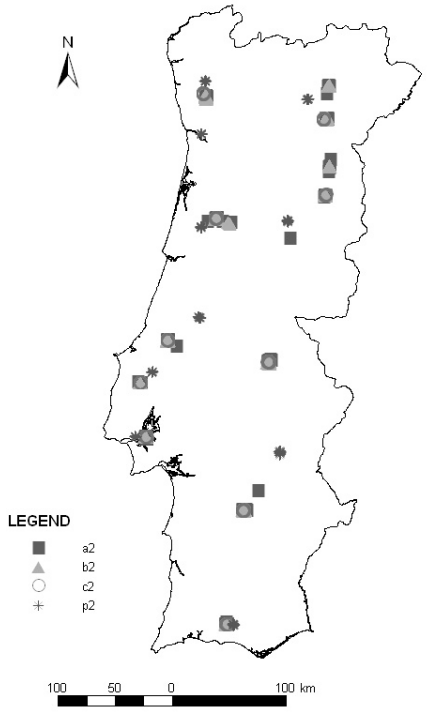


Figura 11 – Resultados do Teste 2 para 10 unidades de remediação utilizando *SOM*

Quadro 9 – Distância média ponderada (em km) à unidade de remediação mais próxima e melhor solução obtida em cada simulação. Resultados do Teste 2

Ano	*SOM*				*K-means*			
	Simulação	**Distância Média Ponderada (km)**	**Melhor Solução (km)**	**σ**	**Simulação**	**Distância Média Ponderada (km)**	**Melhor Solução (km)**	**σ**
2010	a1	43,907	43,784	0,021	k1	**41,490**	**38,521**	2,788
	a2	**25,075**	24,890	0,091	k4	26,348	**24,476**	1,333
	a3	19,300	18,725	0,164	k7	**19,107**	**18,632**	0,381
2015	b1	43,829	43,769	0,040	k2	**43,637**	**38,852**	3,535
	b2	24,943	24,908	0,022	k5	**24,837**	**24,257**	0,101
	b3	**19,184**	18,533	0,220	k8	19,647	**18,368**	0,879
2020	c1	44,095	43,990	0,041	k3	**40,332**	**38,783**	1,953
	c2	**24,924**	24,885	0,050	k6	26,042	**24,454**	1,025
	c3	**18,983**	18,737	0,347	k9	20,462	**18,350**	1,201

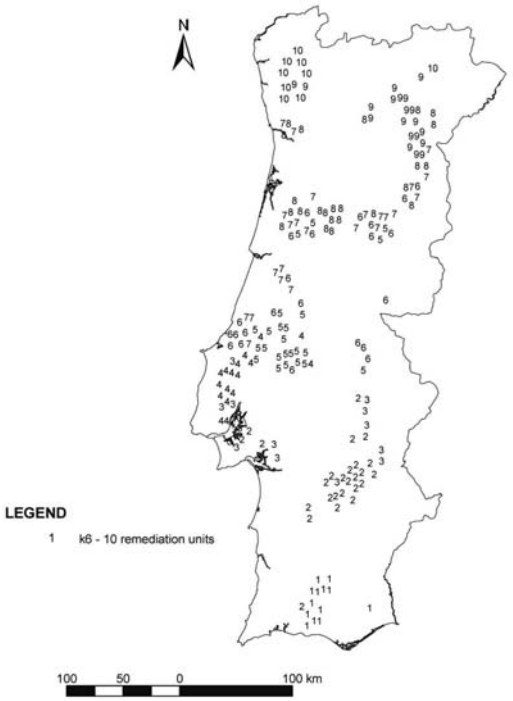


Figura 12 – Resultados do Teste 2 para 10 unidades de remediação utilizando *K-means*

Os resultados dos dois testes evidenciaram a robustez do *SOM* na resolução deste problema e, consequentemente, a sua aplicabilidade.

Comparando as grelhas utilizadas nos dois testes, para as 10 e 15 unidades de remediação, ou seja as grelhas 5 x 2 vs. 10 x 1 e 5 x 3 vs. 15 x 1, respectivamente, verifica-se que os resultados obtidos são muito semelhantes, particularmente no caso das 10 unidades de remediação.

Nas Figuras 13 a 15 apresentam-se os mapas finais com os resultados dos Testes 1 e 2 para as 5, 10 e 15 unidades de remediação. A sobreposição dos resultados permitiu a delimitação de potenciais "zonas óptimas" para a implementação das unidades de remediação de resíduos de madeira preservada, de modo a minimizar a distância e, consequentemente, os custos. Quando se considera apenas cinco unidades de remediação, esta delimitação é relativamente óbvia, tornando-se mais difícil para as 10 e 15 unidades de remediação, dada a maior dispersão geográfica da população. Por sua vez, no Quadro 10 apresentam-se os concelhos abrangidos por esta delimitação.

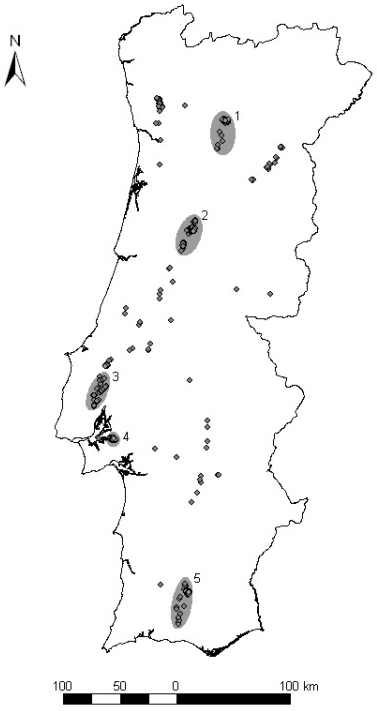


Figura 13 – Delimitação de áreas para implementação de 5 unidades de remediação

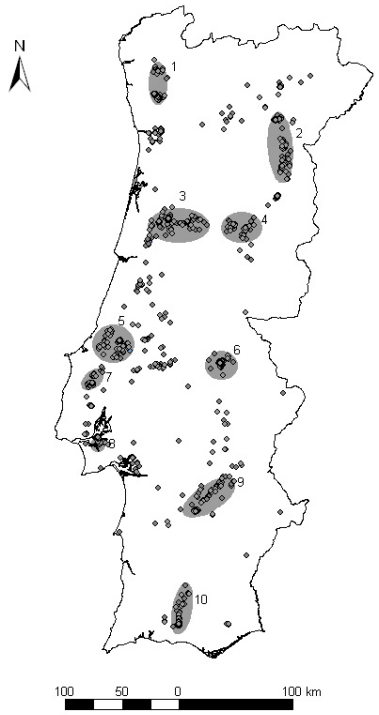


Figura 14 – Delimitação de áreas para implementação de 10 unidades de remediação



F**igura 15** – Delimitação de áreas para implementação de 15 unidades de remediação

Quadro 10 – Concelhos abrangidos pelas áreas potenciais para instalação das unidades de remediação de resíduos de madeira preservada com CCA

Número de Unidades de Remediação	Concelhos Abrangidos
5	Lousada, Baião, Lamego, Mortágua, Tondela, Tábua, Alenquer, Mafra, Bombarral, Moita, Alcochete, Almodôvar, Lagoa
10	Braga, Vizela, Meda, Pinhel, Mira, Anadia, Mealhada, Seia, Covilhã, Fundão, Leiria, Pombal, Alcanena, Cadaval, Crato, Gavião, Alvito, Cuba, Portel, Lagoa
15	Braga, Vizela, Murça, Ribeira de Pena, Lousada, Baião, Lamego, Meda, Torre de Moncorvo, Seia, Covilhã, Fundão, Mira, Mealhada, Pombal, Leiria, Alcanena, Óbidos, Cadaval, Gavião, Crato, Arraiolos, Évora, Cartaxo, Alenquer, Setúbal, Moita, Seixal, Aljustrel, Ferreira do Alentejo, Lagoa

Conclusões e desenvolvimentos futuros

Este trabalho constitui uma primeira abordagem à problemática da gestão dos resíduos de madeira tratada em Portugal. No entanto, considera-se necessária uma análise mais aprofundada para a caracterização deste fluxo de resíduos no âmbito da sua gestão integrada, nomeadamente a validação das estimativas de produção realizadas através do balanço de massas.

Os resultados obtidos evidenciam o potencial do modelo utilizado, que pode ser facilmente adaptado a uma formulação mais complexa (e realista) do problema, bem como a outros problemas de localização, quer para outros tipos de resíduos, quer para outras tipologias de instalações.

Comparando os dois métodos utilizados, o *SOM* apresentou resultados mais robustos e reprodutíveis do que o *K-means*, apresentando a desvantagem de ter tempos computacionais muito longos. As vantagens do *K-means* relativamente ao *SOM* consistem em ser um método mais rápido e de permitir obter as melhores soluções (distância mínima a uma unidade de remediação) na maioria dos casos. Contudo, este método apresenta maiores variâncias e uma dispersão geográfica significativa, sendo muito sensível aos mínimos locais.

Outra conclusão relevante é o facto dos dados da população poderem ser uma boa aproximação a este tipo de problemas de localização, em que a procura está relacionada com o consumo e com a produção de resíduos. Em ambos os testes, as soluções obtidas com os dados da população são próximas às obtidas com os dados referentes à produção dos resíduos de madeira preservada com CCA, particularmente quando o número de unidades de remediação a instalar é maior. Assim, em problemas deste tipo em que não existe informação que permita caracterizar os nós de procura, o nº de habitantes poderá ser uma boa aproximação, com a vantagem de serem dados de fácil acesso.

Os resultados obtidos permitiram, ainda, concluir que o aumento do número de épocas de treino, quer no *SOM*, quer no *K-means*, não melhora os resultados, originando, apenas, um aumento do tempo computacional.

Como desenvolvimentos futuros pode referir-se a inclusão de mais informação e condicionantes à localização das unidades de remediação no modelo, o que permitirá uma tomada de decisão mais sustentada. Alguns exemplos de informação adicional são: a utilização de distâncias reais (em vez de distâncias euclideanas); a utilização da capacidade das unidades de remediação e a localização das indústrias de reciclagem de madeira que irão valorizar esses resíduos descontaminados.

É importante salientar que o modelo desenvolvido deve ser encarado como uma ferramenta de apoio à decisão e não como uma "caixa negra" que obtém a solução óptima. O modelo oferece apenas um número de soluções que podem ser consideradas satisfatórias, mas a decisão final (e a responsabilidade) é única e exclusivamente do decisor. Além disso, existem muitos outros factores que também deverão ser tomados em conta aquando da tomada de decisão e que não é possível incluir num modelo, que é apenas uma representação simplificada do mundo real.

Bibliografia

BORREGO, C. *et al.*, 2003. *Inventário de Resíduos Sólidos Industriais*. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

BRESLIN, V.T., L. ADLER-IVANBROOK, 1998. Release of copper, chromium and arsenic from CCA-C treated lumber in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **46** : 111–125.

CARVALHO, A., 1997. *Madeiras Portuguesas: Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações*. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa.

CHIRENJEA, T., MAA, L.Q., CLARKB, C., REEVESA, M., 2003. Cu, Cr and As distribution in soils adjacent to pressure-treated decks, fences and poles. *Environmental Pollution* **124** : 407–417.

COOPER, P.A., 2003. A review of issues and technical options for managing spent CCA treated wood. *AWPA Annual Meeting*, AWPA.

DEROUBAIX, G., CORNILLIER, C., 2004. Treated wood waste in Europe. Proposal for a management concept. *Final Conference COST Action E22 "Environmental Optimisation of Wood Protection"*, Lisboa, Portugal, 22nd-23rd March.

DREZNER, Z. *et al.* 2002. The Weber Problem. *Facility Location: Applications and Theory*. Z. Dezner & H.W. Hamacher (Eds), Springer-Verlag. pp. 1-36.

FPL, 2000. *Environmental impact of preservative-treated wood in a wetland boardwalk*. FPL–RP–582, Forest Service, Forest Products Laboratory Forest Service, Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture, Madison, W.I., U.S.A..

GIANNIKOS, I., 1998. A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes. *European Journal of Operational Research* **104** : 333-342.

INE, 2002. *Infra-estruturas Rodoviárias 2001*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

INETI, 2001. *Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais*. Volume II, Tomo I, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisboa.

INR, 2003. *Estudo de Inventariação de Resíduos Industriais*. Relatório Síntese. Instituto dos Resíduos, Lisboa, 28 pp.

KOHONEN, T., 1990. The self-organizing map. *Proceedings of the IEEE* **78**(9) : 1464-1480.

LAHDELMA, R. *et al.*, 2002. Locating a waste treatment facility by using stochastic multicriteria acceptability analysis with ordinal criteria. *European Journal of Operational Research* **142** : 345–356.

LLURDES, J.C. *et al.*, 2003. Ten years wasted: the failure of siting waste facilities in central Catalonia, Spain. *Land Use Policy* **20**: 335-342.

MAAS, R.P., PATCH, S.C., STORK, A.M., BERKOWITZ, J.F., STORK, G.A., 2002. *Release of total chromium, chromium VI and total arsenic from new and aged pressure treated lumber*. Report 02-093, Environmental Quality Institute, University of North Carolina-Asheville, Asheville, U.S.A..

MCQUEEN, J. *et al.*, 1998. Recycling of CCA Treated Wood in the US. *4th International Symposium on Wood Preservation*, Cannes - Mandelieu, France, 2-3 February 1998.

MEGIDDO, N., SUPOWIT, K., 1984. On the complexity of some common geometric location problems. *SIAM Journal on Computing* **18**: 182-196.

NEMA, A. K., GUPTA S.K., 1999. Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation. *Waste Management* **19**: 441-451.

OECD, 2000. *Report of the OECD Workshop on Environmental Exposure Assessment to Wood Preservatives*. OECD. Belgirate, Italy: pp 74.

REIMÃO, D., COCKCROFT, R., 1985. *Wood Preservation in Portugal*. Swedish National Board for Technical Development.

RIBEIRO, A.B., 1998. *Use of Electrodialytic Remediation Technique for Removal of Selected Heavy Metals and Metalloids from Soils*. Department of Geology and Geotechnical Engineering, Technical University of Denmark. Denmark: pp 314.

RIBEIRO, A.B. *et al.*, 2000. Electrodialytic removal of Cu, Cr and As from chromated copper arsenate-treated timber waste. *Environmental Science & Technology* **34**(5) : 784-788.

SANCHES, R., 2004. *Comunicação pessoal*.

SOLO-GABRIELE, H. *et al.*, 1998. *Generation, Use, Disposal, and Management Options for CCA-Treated Wood*. Report #98-1, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management. Gainesville: pp. 54.

SOLO-GABRIELE, H., KORMIENKO, M., GARY, K., TOWNSEND, T., STOOK, K., TOLAYMAT, T., 2000. *Alternative chemicals and improved disposal-end management practices for CCA-treated wood*. Report #00-03, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Gainesville, U.S.A.. HUMAR, M. & F. POHLEVEN (2001). Recycling of CCA or CCB treated waste wood. *Commodity science in global quality perspective: products – technology, quality and environment: proceedings of the 13th IGWT Symposium*, Maribor, Slovenia, 2th - 8th September 2001.

TÃHKÃLÃ, T., 2002. Waste and recycling. *Workshop 4 - COST E22*, Tuusula, Finland, 03 June 2002.

TOWNSEND, T., STOOK, K., WARD, M., SOLO-GABRIELE, H., 2003. *Leaching and toxicity of CCA-treated and alternative-treated wood products*. Report #02-4, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Gainesville, U.S.A..

VERÍSSIMO, P., 2004. *Comunicação pessoal*.

VILLUMSEN, A., 2003. *Elektrodialytisk Rensning af CCA Impraegneret Affaldstrae*. LIFE Project Number LIFE ENV/000/369. Lyngby, Denmark.

WEIS, J.S., WEIS, P., 2002. Contamination of saltmarsh sediments and biota by CCA treated wood walkways. *Marine Pollution Bulletin* **44** : 504–510.

Entregue para publicação em Março de 2005
Aceite para publicação em Abril de 2005

[1] 35.0% m/m $CuSO_4.5H_2O$; 45.0% m/m $K_2Cr_2O_7$ ou $Na_2Cr_2O_7.2H_2O$ e 20.0% m/m $As_2O_5.2H_2O$

[2] 32.6% m/m $CuSO_4.5H_2O$; 41.0% m/m $K_2Cr_2O_7$ ou $Na_2Cr_2O_7.2H_2O$ e 26.4% m/m $As_2O_5.2H_2O$

[3] 47.5% m/m CrO_3; 18.5% m/m CuO e 34% m/m $As_2O_5.2H_2O$

[4] A legislação alemã sobre gestão de resíduos de madeira está disponível em www.bmu.de/files/wastewood_ordinance.pdf.

[5] "*The use of recycled wood for wood-based panels*", no Anexo 2 do documento "*Industry Standard WPIF/UKFPA/1-2000 – Code of practice for the application of wood chain of custody criteria to product environmental labelling in the saw-milling and wood panel-board sectors*" (November 1999).