

6º CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL

a floresta
num mundo globalizado

www.spcf.pt



SPCF - Sociedade Portuguesa
de Ciências Florestais

PONTA DELGADA

Royal Garden Hotel, 6-9 Outubro de 2009



Organização:
Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais
Governo Regional dos Açores

Coordenação: Teresa Trê
Foto: Fernando Pires

SPCF

6º CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, Ponta Delgada, Outubro 2009

| | |
|--|-----|
| Estudo de Alternativas à Manutenção Tradicional nas Faixas de Protecção às Linhas da Rede Nacional de Transporte de Electricidade..... | 667 |
| <i>Matos, I.; Gaspar, J.; Páscoa, F.</i> | |
| Forest and Fuel Variables Estimation and Digital Terrain Modelling with Airborne Laser Scanning and High Resolution Multi-Spectral Images..... | 679 |
| <i>Pereira, L.G.; Gonçalves, G.; Soares, P.; Tomé, M.</i> | |
| Vendas de Madeira nos Perímetros Florestais do Barroso-Padrela. Variação dos Preços e Factores Explicativos..... | 684 |
| <i>Duro, M.R.G.; Bento, J.</i> | |

TEMA 5

Orais

| | |
|---|-----|
| Capacidade da Detecção Remota na Criação de Mapas de Ocupação de Solos em Sistemas Florestais Heterogéneos: Estudo de Diferentes Classificadores..... | 696 |
| <i>Gomes, P.M.M.; Lopes, D.M.</i> | |
| Determinação de Áreas Potenciais para Instalação de Culturas Lenhosas com Fins Energéticos no Distrito de Bragança..... | 707 |
| <i>Amaral, A.; Castro, J.P.; Aranha, J.; Azevedo, J.</i> | |
| Simulação de Povoamentos de Eucalipto para Produção de Biomassa..... | 715 |
| <i>Barreiro, S.; Tomé, M.; Soares, P.</i> | |
| Quantificação da Biomassa Florestal Residual em Povoamentos de Pinheiro Manso na Mata Nacional do Escaroupim..... | 719 |
| <i>Soares, P.; Cardoso, S.; Tomé, M.; Carvalho, J.L.; Carrasquinho, I.</i> | |
| Sustentabilidade no Comércio de Biomassa Florestal..... | 725 |
| <i>Silva, T.C.; Carvalho, J.L.</i> | |
| A Biomassa Verde e Lenhosa dos Espaços Urbanos como Fonte Energética para os Edifícios Públicos da Cidade de Viseu..... | 733 |
| <i>Viana, H.; Pinto, N.; Costa, D.T.; Barracosa, P.</i> | |

Posters

| | |
|---|-----|
| Biomassa e Partição de Carbono em <i>Acacia longifolia</i> | 740 |
| <i>Morais, M.C.; Freitas, H.</i> | |
| BIOENERGISA - Um Campo Pedagógico de Plantas Bioenergéticas..... | 746 |
| <i>Gominho, J.; Pereira, H.</i> | |
| Avaliação do Potencial de <i>Pinus palustris</i> para Geração de Energia..... | 750 |
| <i>Silva, D.A.; Andrade, C.; Trianoski, R.; Matos, J.L.M.; Rosot, N.C.</i> | |
| Instalação de um Ensaio de Produção Intensiva de Biomassa Lenhosa para Energia..... | 757 |
| <i>Miranda, C.; Amaral, A.; Fonseca, F.; Ribeiro, A.C.; Pinto, M.A.; Santos, S.; Castro, J.P.; Patrício, M.S.; Nunes, L.; Azevedo, J.C.</i> | |
| Estabelecimento de Modelos Alométricos para Predição da Biomassa Aérea de <i>Eucalyptus globulus</i> | 765 |
| <i>Viana, H.; Cardoso, A.; Correia, R.; Lopes, D.; Aranha, J.</i> | |
| Estabelecimento de Modelos Alométricos para Predição da Biomassa Aérea da <i>Pinus pinaster</i> | 771 |
| <i>Viana, H.; Dias, S.; Marques, C.; Cruz, M.; Lopes, D.; Aranha, J.</i> | |

Instalação de um Ensaio de Produção Intensiva de Biomassa Lenhosa para Energia

Cristina Miranda¹, Alexandra Amaral^{1,2}, Felícia Fonseca^{1,2}, António Castro Ribeiro^{1,2}, Maria Alice Pinto^{1,2}, Sónia Santos^{1,2}, João Paulo Castro^{1,2}, Maria do Sameiro Patrício^{1,2}, Luís Nunes^{1,2} e João C. Azevedo^{1,2}

¹Escola Superior Agrária. Instituto Politécnico de Bragança. Quinta de Sta. Apolónia, 5301-855 BRAGANÇA.

²Instituto Politécnico de Bragança. CIMO - Centro de Investigação de Montanha, 5301-855 BRAGANÇA

Resumo. No âmbito de um projecto de investigação tendo como propósito o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção de biomassa lenhosa para energia, foi instalado em Bragança, em 2008, um ensaio de produção intensiva de biomassa lenhosa com base em culturas de curta rotação. Este ensaio tem como objectivos específicos a avaliação dos efeitos de factores como material vegetal, densidade de plantação, rega e fertilização no crescimento e produção de biomassa lenhosa.

Nesta comunicação descrevemos a instalação do ensaio relativamente ao desenho experimental seguido, estrutura interna das parcelas de estudo, material vegetal utilizado, operações de preparação do solo e de plantação e ainda gestão da cultura com respeito a fertilização, rega e protecção. Avaliamos também a sobrevivência das plantas no final da primeira estação de crescimento, bem como apresentamos os custos gerais associados à instalação.

A apresentação deste trabalho permite partilhar com a comunidade científica e técnica nacional a experiência da instalação deste tipo de culturas, muito recentes no nosso país, e dessa forma contribuir para a definição de processos ajustados e eficientes de instalação e gestão de culturas lenhosas para produção de biomassa para energia em Portugal.

Palavras Chave: Culturas lenhosas de curta rotação, biomassa, culturas energéticas.

Introdução

A dependência energética nacional e internacional está na base das grandes preocupações políticas, económicas, ambientais e sociais da actualidade. A União Europeia comprometeu-se a cumprir o Protocolo de Quioto e a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa de origem antropogénica. Neste cenário, vários países tomaram medidas em relação às suas fontes de energia de modo a diminuir as emissões de gases com efeito de estufa, considerados por vários investigadores como a causa principal das *alterações climáticas* e do *aquecimento global*. Os sistemas florestais têm um papel fundamental no armazenamento destes gases, nomeadamente do dióxido de carbono, porque têm a capacidade de o retirar da atmosfera através da fotossíntese e correspondente fixação na biomassa dos ecossistemas (IPCC, 2007; DECKMYN *et al.*, 2004)

Desde meados dos anos de 1960, com a crise do petróleo e o embargo pela OPEP em 1973, a América do Norte e a Europa desenvolveram ensaios para investigar vários aspectos das

culturas lenhosas de curta rotação (CLCR), nomeadamente as espécies e variedades, os espaçamentos entre plantas, os métodos de propagação, a preparação do terreno, o controlo da vegetação herbácea, a fertilização, o crescimento e produção deste tipo de sistemas para produção de energia. Contudo, pouco se sabe do seu potencial produtivo, sustentabilidade dos rendimentos, impactes ambientais e sociais, apesar de ser considerada uma importante fonte de criação de emprego nos meios rurais e de aproveitamento de terras abandonadas ou marginais (GRUENEWALD *et al.*, 2007).

As espécies folhosas de rápido crescimento são as mais utilizadas para este tipo de culturas em talhadia de rotações curtas e com elevadas densidades (5000 a 30000 plantas ha⁻¹). As rotações podem ir de 1 a 5 anos durante 30 anos, sempre com a mesma touca sendo, no entanto, frequentes rotações de 3-4 anos. Em estudos desenvolvidos por todo o mundo, principalmente em climas temperados, tem-se utilizado clones de espécies de *Salix* spp. (salgueiro) e *Populus* spp (choupo) como o principal material vegetal de plantação devido ao seu crescimento rápido, à facilidade de propagação por estacas e à grande diversidade genética facilmente explorada pela engenharia biotecnologia (DECKMYN *et al.*, 2004; DICKMANN, 2006; TUSKAN, 1998; VOLK *et al.*, 2004).

A biomassa é uma fonte de energia renovável potencialmente muito importante para Portugal dada a área disponível e a dependência energética do país. Com o presente trabalho pretende-se descrever a implementação dum ensaio experimental de produção intensiva de biomassa lenhosa para energia. Pretende-se ainda estimar os custos da instalação e gestão da cultura durante o primeiro ano de vida da cultura.

Material e Métodos

Localização do ensaio

O campo experimental foi instalado na cidade de Bragança (coordenadas geográfica 41° 49'N 6°44'O) num terreno agrícola em pousio com 4ha de área. A altitude da área varia entre os 602 e os 617 metros. O campo de ensaio insere-se na zona climática Terra Fria de planalto, com temperatura média anual de 11,6°C. A temperatura média mensal mais elevada ocorre no mês de Julho (20,2°C), enquanto a temperatura média mensal mais baixa se verifica durante o mês de Janeiro (3,5°C). A precipitação média anual varia entre 800mm e 1000mm. (INSTITUTO DO AMBIENTE, 2009). A instalação decorreu entre meados de Novembro de 2007 e fins de Março de 2008 e o acompanhamento foi feito até Novembro de 2008.

Preparação do terreno

O ensaio foi instalado num solo agrícola em pousio, coberto com vegetação herbácea à altura do início das operações. A mobilização consistiu numa lavoura contínua a uma profundidade de 30 cm com um tractor de 74 HP, seguido uma gradagem para eliminação de torrões e uniformização da superfície do solo. As operações decorreram em Novembro de 2007, em solo seco o suficiente para permitir os trabalhos, de forma a evitar a compactação do solo.

Material vegetal

Os *taxa* em estudo foram (i) salgueiro (*Salix alba* x *Salix fragilis*), de grande distribuição em Portugal utilizada tradicionalmente na produção de varas para cestaria e o clone de salgueiro "Terra Nova" desenvolvido por Kevin Lindegaard propriedade de Svalöf Weibul AB, Rothamsted Research Co. Ltd e Murray Cáster; (ii) choupo (*Populus nigra* L.) espécie autóctone de grande distribuição geográfica, e outra espécie de choupo, um clone (*Populus euroamericana* - I214); (iii) freixo (*Fraxinus angustifolia*), a sua folhagem utilizada tradicionalmente em algumas regiões de Portugal como alimento para o gado, explorados em talhadia alta (BINGRE *et al.*, 2007). No ensaio preparamos o material vegetal para plantação da seguinte forma:

- Para as espécies de salgueiros e choupos: (i) estacas com 25cm de comprimento e 1 a 1,2cm de diâmetro no topo; (ii) estacas obtidas de plantas com 1 ano de idade, cortadas em período de repouso vegetativo; (iii) estacas em molhos de 30 unidades; (iv) nas estacas do choupo, os gomos localizados a 1cm do topo; e (v) proveniência das espécies nativas do Interior Norte (distrito de Bragança).
- Para o freixo: (i) Plantas em contentor com 1 ano de idade; (ii) proveniência do Interior Norte da Península Ibérica.

As estacas foram preparadas durante os meses de Janeiro e Fevereiro, guardadas em câmaras frigoríficas dentro de caixas cobertas com plásticos pretos, para manter a humidade e os gomos não germinarem até serem plantadas.

Desenho experimental e plantação

O ensaio foi estabelecido de acordo com um desenho experimental baseado em 15 blocos contendo cada bloco 8 parcelas rectangulares de 333m² de área (18m x 18,5m) (Figura 1). O ensaio engloba 4 tratamentos (espécie, densidade, rega e fertilização). Pretende-se testar 5 tipos de material vegetal: choupo clone e choupo autóctone, salgueiro clone e salgueiro autóctone e freixo autóctone. Cada espécie repete-se três vezes no ensaio de forma aleatória. No desenho experimental os clones estão representadas pelo número 1 e os autóctones pelo número 2, ao qual segue um outro número que se refere à repetição (1,2 ou 3).

As parcelas são constituídas por 8 linhas duplas de plantação paralelas, que se distanciam entre si 0,75m. Entre as linhas duplas a distância é de 1,5m (Figura 2).

Neste ensaio pretendemos estudar duas densidades para cada espécie ou clone. Em cada bloco, 4 parcelas têm densidade 1 (D1) e 4 parcelas têm densidade 2 (D2) (Figura 1):

- a) Freixos e choupos: D1=10000 plantas/ha; D2=15000 plantas/ha.
- b) Salgueiros: D1=15000 plantas/ha; D2=20000 plantas/ha.

Começamos por marcar as linhas de plantação, com fitas métricas marcadas com os respectivos espaçamentos entre as plantas, em cada duas parcelas seguidas de densidades e espécies iguais. Os espaçamentos entre plantas corresponderam às densidades previstas para cada parcela: 0,89m, 0,59m e 0,44m para as densidades de 10 000, 15 000 e 20 000 plantas por hectare, respectivamente. De seguida colocaram-se manualmente as estacas no solo. No caso das estacas de choupo deixaram-se 2 a 3 gomos acima da superfície do solo. Quando o solo se encontrava mais compacto, abriram-se pequenas covas com a ajuda de um pico. Para

os freixos, abriram-se covas em tamanho suficiente para colocar as plantas de 1 ano que vinham preparadas em contentores, seguindo-se a colocação da planta na cova e a cobertura com terra. Estes trabalhos de instalação do campo experimental realizaram-se durante os meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2008.

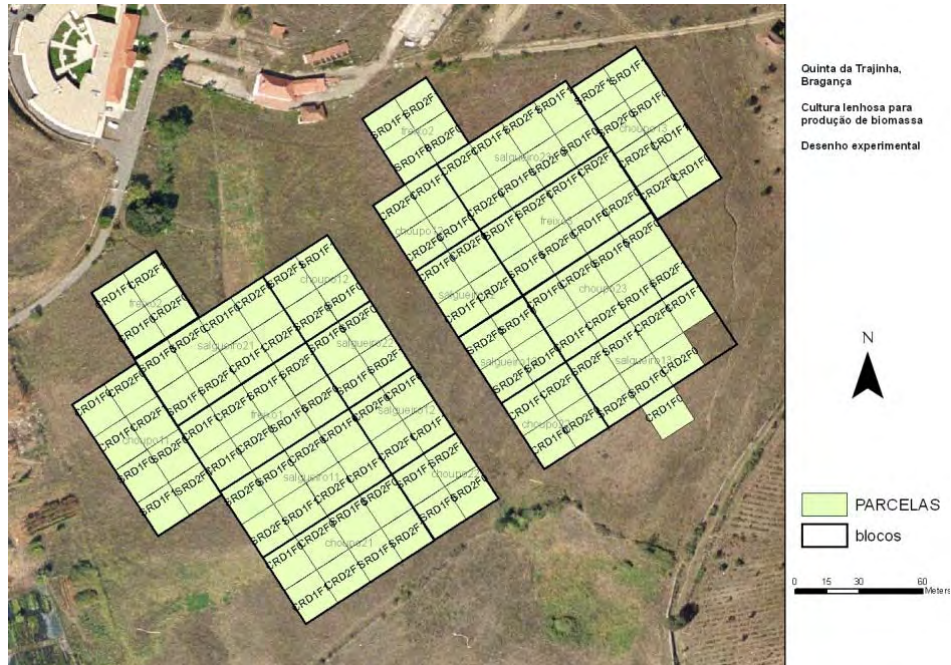


Figura 1 - Esquema representativo do desenho experimental do ensaio

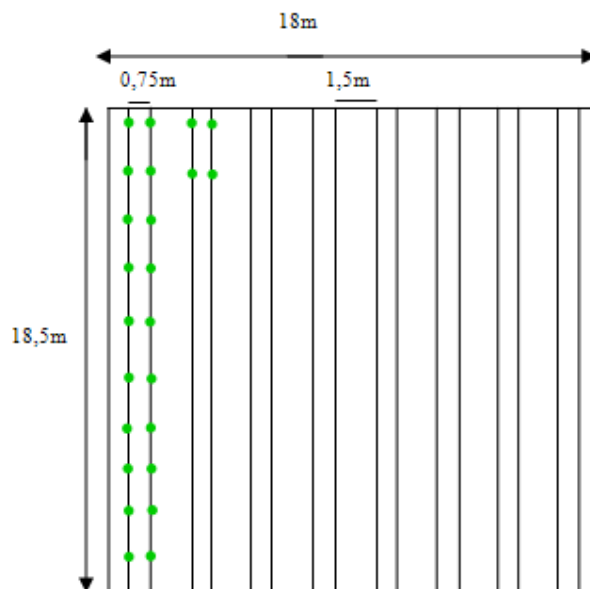


Figura 2 - Esquema representativo de uma parcela com as linhas de plantação. Cada parcela tem 16 linhas de plantação com densidades altas de plantação

Gestão e manutenção das culturas

Durante o período de plantação ocorreu alguma precipitação encontrando-se o solo húmido, o que facilitou os trabalhos de plantação. Também por esse motivo, no final da plantação não foi necessário fazer rega à plantação, a chuva foi suficiente para as plantas se instalarem e iniciarem o seu período vegetativo de crescimento.

Depois de serem feitas análises ao solo, foi necessário aplicar uma adubação de cobertura, realizada em Maio, com superfosfato de cálcio concentrado (18% P₂O₅) em todas as parcelas de choupo e salgueiro (275 kg/ha). No freixo não foi realizada adubação.

Ainda durante o mês de Maio, verificou-se um grande desenvolvimento de vegetação herbácea infestante. Desse modo, realizamos algumas operações de limpeza para eliminar ou pelo menos reduzir as ervas que se desenvolviam juntamente com as plantas. Iniciamos as operações de limpeza da vegetação infestante, primeiro com motocultivador com fresa, na linha de 1,5m entre as linhas duplas em algumas parcelas. Escolhemos esta técnica de limpeza porque provoca menos danos nas plantas (alturas das plantas observada entre 30 a 70 cm aproximadamente) e também por ser de baixo custo. Esta operação não resultou, porque as infestantes dificultavam a operação. Em alternativa, foi decidido realizar uma limpeza manualmente com recurso a motorroçadores nas linhas de 1,5m, e com sachos nas linhas de 0,75m e em redor da planta. Esta operação resultou bem e foi realizada em 4 parcelas dos blocos de choupo 12 e salgueiro 22. Esta operação é cara e muito demorada, já se observava grande desenvolvimento das plantas infestantes. A solução encontrada foi mobilizar o solo com uma aiveca acoplada a um tractor nas linhas de 1,5m de modo a revolver a terra no sentido do centro da linha para a planta. No centro das linhas de plantação, nos 0,75m e junto às plantas, utilizaram-se motorroçadores de fio de nylon. As plantas que ficaram por vezes cobertas com terra devido à passagem do tractor foram retiradas manualmente com a ajuda de sachos. Estes trabalhos realizaram-se em finais de Maio até meados de Junho.

Rega

As primeiras regas iniciaram-se no mês de Julho, primeiro com uma mangueira ligada a um reboque cisterna de 4000L de água (tradicional "Joper"), acoplado a um tractor. Também se regou parte do ensaio com tractor acoplado reboque cisterna com uma saída de água em espelho.

Em meados do mês de Julho instalou-se um sistema de rega por aspersão. Não sendo a água suficiente para regar toda a área, regaram-se apenas as parcelas mais próximas da ravina que divide o ensaio (do lado direito e do esquerdo), onde foi possível montar a rede de tubagens.

O sistema de rega gota-a-gota com controlo automático foi instalado em Agosto e entrou em funcionamento em meados desse mês, mas só numa parte do ensaio. Possui as seguintes características:

- 96 rampas de 148 metros de comprimento e 32 rampas de 74 metros de comprimento;
- Intervalos entre gotejadores de 1 metro;
- Caudal previsto de 4 a 8 litros por hora;
- A água é retirada de um reservatório localizado à superfície (uma mina existente no local do ensaio);

- Máximo de intervalo de tempo entre regas é de 3 dias.
- Este sistema de rega está dividido e programado por sectores, a rega é distribuída por diferentes tempos e sectores.

Análise de sobrevivência

Em Outubro, no final do primeiro período vegetativo e após o período estival, avaliou-se a sobrevivência no ensaio contando a proporção de árvores sobreviventes em cada unidade experimental. Foram verificadas todas as plantas das parcelas.

Resultados e discussão

Análise de sobrevivência

Do ensaio experimental resultaram os seguintes valores médios de sobrevivência (em percentagem) para a mesma espécie nas três repetições (Figura 3): choupo 1 = $35,9 \pm 26,1$; choupo 2 = $18,4 \pm 11,1$; freixo = $87,5 \pm 4,6$; salgueiro 1 = $16,0 \pm 11,8$; salgueiro 2 = $19,8 \pm 5,1$.

Comparando os valores apresentados entre as cinco espécies e entre as repetições dos ensaios da mesma espécie, observa-se uma baixa taxa de sobrevivência e grandes desvios nos valores, com a exceção do freixo. Os baixos valores de sobrevivência no final do período de crescimento observados em todas as espécies com exceção do freixo poderão ser justificados pela influência de variáveis ou factores ambientais do local de instalação e também pela influência dos factores associados à aplicação das práticas de gestão e manutenção das culturas. No entanto, o insucesso deveu-se principalmente à escassez de água durante os meses de Junho e Julho por falta de um sistema de rega que fornecesse a água em défice a toda a área do ensaio. O problema das infestantes veio apenas agravar este problema de escassez de água. No caso do freixo este problema não se fez sentir pelo facto de as plantas serem plantadas em contentores. O controlo de infestantes é uma acção prioritária da gestão e protecção das culturas nos próximos anos e em novas culturas lenhosas de curtas rotações para produção de biomassa para energia.

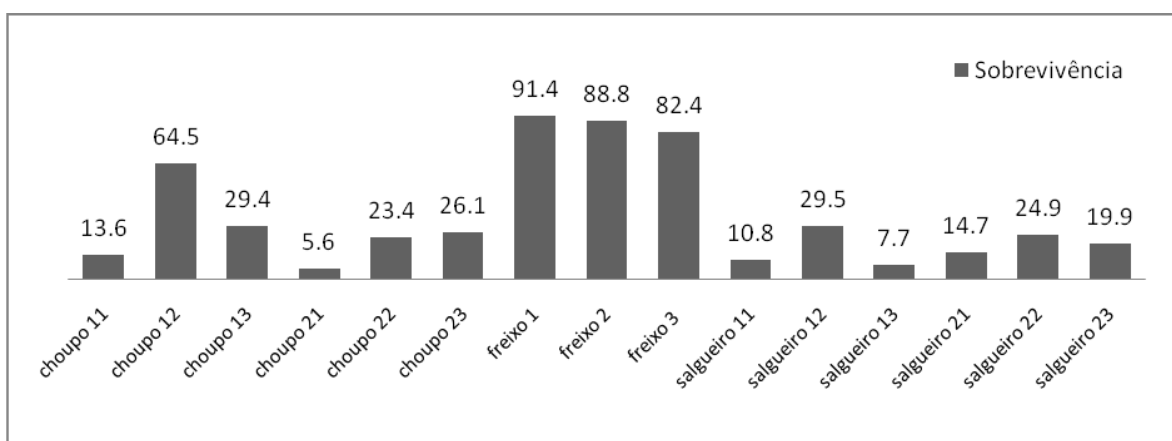


Figura 3 - Taxa de sobrevivência em percentagem por espécie, após o primeiro período de crescimento vegetativo seguido da estação estival (1.º ano)

No início da época estival verificamos por observação directa das parcelas, que o desenvolvimento e crescimento das plantas foram de grande sucesso (a sobrevivência era muito próxima do total de plantas esperadas). Com o aumento do défice hídrico e com a competição, verificou-se assim um decréscimo na sobrevivência.

Custos de instalação

O ensaio apresenta custos com valores totais de 10 447,84 euros por hectare e 41 791,36 euros contabilizados para a área total do ensaio, os 4 hectares de plantação (Tabela 1).

Tabela 1 - Custos de instalação de culturas lenhosa para biomassa para produção de energia

| Operação | Unid. | Valor físico | | Custos (€) | | |
|---------------------------------|---------------------|--------------|--------|------------|----------|-----------------|
| | | Por ha | Total | Por unid. | Por ha | Total |
| Preparação do terreno | | | | | | |
| 1. Lavoura contínua | hora | 5,25 | 21,00 | 40,00 | 210,00 | 840,00 |
| 2. Gradagem | hora | 3,13 | 12,30 | 40,00 | 125,00 | 492,00 |
| Sub-total | | | | | 335,00 | 1332,00 |
| Material vegetal | | | | | | |
| salgueiro: | | | | | | |
| 1. <i>Autóctone</i> | n.º estacas | 17500 | 13992 | 0,37 | 6475,00 | 5177,04 |
| 2. Clone "Terra Nova" | n.º estacas | 17500 | 13992 | 0,25 | 4375,00 | 3498,00 |
| choupo: | | | | | | |
| 1. <i>Autóctone</i> | n.º estacas | 12500 | 9996 | 0,37 | 4625,00 | 3698,52 |
| 2. I 214 | n.º estacas | 12500 | 9996 | 0,45 | 5625,00 | 4498,20 |
| freixo: | | | | | | |
| 1. <i>Fraxinus angustifolia</i> | planta em contentor | 12500 | 9996 | 0,35 | 4375,00 | 3498,60 |
| Sub-total | | | | | 25475,00 | 20370,36 |
| Plantação | | | | | | |
| Sub-total | jorna | 31,84 | 127,37 | 50 | 1592,11 | 6368,43 |
| Fertilização | | | | | | |
| Sub-total | | | | | 155,13 | 470,60 |
| Limpeza de infestantes | | | | | | |
| Sub-total | | | | | 450,00 | 1850,00 |
| Sistema de rega | | | | | | |
| Sub-total | | | | | 2850,00 | 11399,98 |
| Total | | | | | | 41791,36 |

Arborização: 4ha; área arborizada por espécie (ha): 0,7992

Conclusões

As taxas de sobrevivência por bloco e por espécie foram muito variáveis: os choupos clones apresentaram valores de sobrevivência inferiores a 65% e os choupos autóctones apresentam valores inferiores a 26%. As plantas de salgueiros clone apresentaram valores inferiores a 29,5% e os salgueiros autóctones com valores inferiores a 25%. Nos freixos os valores das

taxas de sobrevivência foram significativamente mais elevadas que as espécies anteriores verificando-se valores entre 80% e 90% de sobrevivência. Os maus resultados do ensaio são atribuídos sobretudo à falta de água no início da estação de crescimento agravado por um problema de infestantes.

No nosso trabalho de instalação do ensaio as operações foram baseadas principalmente em operações manuais (a plantação, a adubação e parte da limpeza de infestantes), com custos totais calculados de 41 791,366 euros.

Agradecimentos

O ensaio experimental é suportado pelo projecto de investigação PTDC/AGR-CFL/64500/2006. Agradecemos ao Centro Hospitalar do Nordeste a colaboração neste projecto pela cedência de terreno para a instalação do ensaio.

Referências Bibliográficas

- BINGRE, P., AGUIAR, C., ESPÍRITO-SANTO, D., ARSÉNIO, P., MONTEIRO-HENRIQUES, T., [Coord.ª Cient.]. 2007. *Guia de Campo - As árvores e os arbustos de Portugal continental*. 462 pp. in vol.IX dea Sande Silva J [Coord. Ed.] (2007): *Colecção Árvores e Florestas de Portugal*. Jornal Público/ Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Liga para a Protecção da Natureza. Lisboa. 9 vols.
- DECKMYN, G., MUYS, B., QUIJANO, J.G., CEULEMANS, R., 2004. "Carbon sequestration following afforestation of agricultural soils: comparing oak/beechn forest to short-rotation poplar coppice combining a process and a carbon accounting model." *Global Change Biology* **10**(9): 1482-1491.
- DICKMANN, D.I., 2006. "Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: Then and now." *Biomass & Bioenergy* **30**(8-9): 696-705.
- INSTITUTO DO AMBIENTE, 2009. *Cartas do Atlas do Ambiente Digital*. Acedido em Julhode 2009 em <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. "Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: PACHAURI, R.K. y REISINGER, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- GRUENEWALD, H., BRANDT, B.K.V., SCHNEIDER, B.U., BENS, O., KENDZIA, G., HUTTL, R.F., 2007. "Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes." *Ecological Engineering* **29**(4): 319-328.
- TUSKAN, G., 1998. "Short-rotation woody crop supply systems in the United States: What do we know and what do we need to know?" *Biomass & Bioenergy* **14**: 307-315.
- VOLK, T.A., VERWIJST, T., THARAKAN, P.J., ABRAHAMSON, L.P., WHITE, E.H., 2004. "Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops." *Frontiers in Ecology and the Environment* **2**(8): 411-418.