Silva Lusitana, nº especial: 65 - 78, 2010
© UISPF, L-INIA, Oeiras. Portugal

Tendências Passadas do Clima em Trás-os-Montes na Predição de Impactos Futuros na Fixação de Carbono de Povoamentos Mistos de *Quercus pyrenaica* e *Pinus pinaster*

[1]Mónica Alexandra Rodrigues*, [2]Domingos Manuel Lopes e [3,4]Solange Mendonça Leite*****

*Professora de Física e Química
[1]ESSJE – Escola Secundária de S. João do Estoril. Rua Brito Camacho, 2769-501 ESTORIL.
**Professor Auxiliar
[2]Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Quinta de Prados, Apartado 1013, 5001-801 VILA REAL.
***Professora Associada com Agregação
[3]Escola de Ciências e Tecnologias e [4]Centro de Investigação e Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, Apartado 1013, 5001-801 VILA REAL.

Sumário. A produtividade primária líquida (PPL) é uma variável importante que permite a monitorização da fixação de carbono atmosférico pelos ecossistemas florestais. Esta monitorização reveste-se de crescente importância face aos pressupostos estipulados pelo Protocolo de Quioto. Uma das formas possíveis para estimar uma variável consiste em recorrer a modelos ecofisiológicos tais como o Forest-BGC, modelo a que se recorreu neste estudo. Numa primeira fase, é feita a análise climática da região de Trás-os-Montes durante as últimas décadas. Numa segunda fase, estas tendências foram usadas para avaliar cenários de impacto da mudança do clima na produtividade primária líquida dos ecossistemas florestais na área em estudo. Para a parametrização e validação do modelo Forest-BGC, este estudo baseou-se na selecção de algumas parcelas, cada uma delas com 500 m². Estas parcelas estão integradas no Inventário Florestal Nacional de 2006, localizadas em vários Concelhos do distrito de Vila Real: Montalegre, Chaves, Valpaços, Boticas, Vila Pouca de Aguiar, Murça, Mondim de Basto, Alijó, Sabrosa e Vila Real. Para as avaliações de biomassa, utilizámos, 46 parcelas de amostragem (19 de *Pinus pinaster*, 17 de *Quercus pyrenaica* e 10 de *Quercus pyrenaica* com *Pinus pinaster*). Estas conclusões verificaram-se para ambas as espécies em análise (*Pinus pinaster* e *Quercus pyrenaica*). Esta análise das espécies seleccionadas permitiu constatar que, enquanto para a PPL da copa e da raiz, e em termos quase genéricos, não se verificam diferenças significativas, o mesmo não se passa para o tronco. Assim, no caso da PPL do tronco, um aumento da temperatura conduz a um aumento na capacidade de fixação do povoamento. Das espécies em estudo, a *Pinus pinaster*, é a que apresenta maiores valores de PPL e portanto, é a espécie que fixa maior quantidade de carbono.
Palavras-chave: PPL; mudanças de clima; carbono; Forest-BGC; *Pinus pinaster*; *Quercus pyrenaica*

1º Autor E-mail: monica.a.rodrigues@hotmail.com

Past Climate Trends in Trás-os-Montes in the Prediction of Future Impacts in Carbon Fixation of Mixed Stands of *Quercus pyrenaica* and *Pinus pinaster*

Abstract. Net primary production (NPP) is an important variable that allows forestry ecosystems fixation of atmospheric Carbon. The importance of monitoring the sequestered carbon is related to the binding commitments established by the Kyoto Protocol. There are ecophysiologic models, as Forest-BGC that allow for estimating NPP. In a first stage, this study aims to analyze the climate evolution at the Vila Real administrative district during the last decades. In a next stage these tendencies will be used to infer the impact of these change scenarios on the net primary production of the forest ecosystems from this study area. For a parameterization and validation of the Forest-BGC, this study was carried on based on 500m² sampling plots from the National Forest Inventory 2006, and are located in several municipalities of the district of Vila Real (Montalegre, Chaves, Valpaços, Boticas, Vila Pouca de Aguiar, Murça, Mondim de Basto, Alijó, Sabrosa and Vila Real). In order to quantify biomass dynamics, we have selected 46 sampling plots (19 from *Pinus pinaster* stands, 17 from *Quercus pyrenaica* and 10 from mixed *Quercus pyrenaica* with *Pinus pinaster*). This analysis of selected species found that, while for the crown and root NPP showed in general no significant differences, the same is not true for the trunk. Thus, in case of the trunk's NPP, a temperature increase leads to an increase in the binding capacity of the stand. From the studied species, *Pinus pinaster* shows higher values of NPP, therefore being the species laying larger amount of carbon.

Key words: NPP; climate change; Carbon; Forest-BGC; *Pinus pinaster*; *Quercus pyrenaica*

L'Évolution Historique du Climat à Trás-os-Montes dans la Prédiction de l'Impact Futur sur la Séquestration du Carbone Dans les Peuplements Mixtes de *Quercus pyrenaica* et *Pinus pinaster*

Résumé. La production primaire nette (PPN) est une variable importante qui permet de contrôler la séquestration du carbone atmosphérique par les écosystèmes forestiers. Cette surveillance est d'une importance croissante en ce qui concerne les hypothèses fixées par le Protocole de Kyoto. L'une des façons qui nous permet d'estimer une variable consiste à utiliser des modèles écophysiologiques tels que le FOREST-BGC, modèle utilisé dans cette étude. Initialement, on analyse le climat de la région de Trás-os-Montes au cours des dernières décennies. Dans un deuxième temps, ces tendances sont utilisées pour évaluer les scénarios de l'impact des changements climatiques sur la productivité primaire nette des écosystèmes forestiers dans la zone d'étude. Pour la paramétrisation et la validation du modèle de FOREST-BGC, cette étude s'est basée sur la sélection de certaines parcelles, chacune d'elles avec 500 m². Ces parcelles sont intégrées dans l'Inventaire Forestier National 2006, situées dans plusieurs municipalités du district de Vila Real: (Montalegre, Chaves, Valpaços, Boticas, Vila Pouca de Aguiar, Murça, Mondim de Basto, Alijó, Sabrosa et Vila Real). Pour les évaluations de la biomasse, on a utilisé 46 plaquettes d'échantillonnage (19 *Pinus pinaster*, 17 *Quercus pyrenaica* e 10 mixtes *Quercus pyrenaica* et *Pinus pinaster*). Cette analyse des espèces a permis de constater que, tandis que pour la PPN de la couronne et de la racine, génériquement, il n'y a pas de différences significatives, ce n'est pas le cas pour le tronc. Ainsi, en ce qui concerne la PPN du tronc, une augmentation de la température conduit à une augmentation de la capacité de fixation du support. Parmi les espèces étudiées, *Pinus pinaster*, montre des valeurs plus élevées de PPN et par conséquent, c'est l'espèce fixant la plus grande quantité de carbone.

Mots clés: PPN; le changement climatique; Carbone; Forest-BGC; *Pinus pinaster*; *Quercus pyrenaica*

Introdução

O presente trabalho enquadra-se na recente preocupação e crescente discussão existente na Comunidade Cientifica Internacional sobre as mudanças do clima, bem como o papel das florestas na mitigação destas mudanças. A discussão internacional sobre as mudanças climáticas, começou com a Convenção das Nações Unidas. No final deste encontro foi elaborado um Protocolo pelos Países intervenientes. O Protocolo de Quioto iniciou-se a 14 de Dezembro de 1997, na cidade de Quioto, Japão. Este Protocolo foi elaborado na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. Um dos principais papéis desempenhados pela floresta, com grande relevância face aos pressupostos estipulados pelo Protocolo de Quioto, é a fixação de carbono. À escala global, as florestas poderão constituir um reservatório de carbono atmosférico importante, pois a vegetação através da fotossíntese, tem a capacidade de fixar dióxido de carbono (CO_2) (EMMANUEL e KILLOUGH, 1984) e constituir uma importante variável no balanço global de carbono. Em ambientes com concentrações elevadas de CO_2, a intensidade das trocas gasosas ao nível das folhas varia substancialmente, com um aumento significativo da taxa fotossintética. No entanto, não há certezas acerca da magnitude das mudanças, especialmente em árvores adultas, nem se sabe se com estas mudanças as plantas virão a tolerar aumentos de CO_2, e tornar-se plantas aclimatadas, nem em que medida os aumentos podem ser apoiados pela disponibilidade de nutrientes (AGREN *et al*., 1991). Os maiores reservatórios de carbono no planeta são os oceanos e as florestas. As florestas têm uma enorme capacidade no armazenamento de carbono atmosférico e armazenam o carbono, não só nas árvores que compõem o povoamento florestal, como no solo e na vegetação arbustiva e herbácea que compõe o povoamento. O clima (em particular a temperatura e a precipitação), determina o crescimento e sobrevivência das plantas, assim como a sua distribuição geográfica. A variação sazonal destas variáveis é de especial importância em climas de influência mediterrânica como é, em parte, o de Portugal Continental. Durante o período das chuvas – Inverno e início da Primavera – a baixa temperatura constitui uma forte limitação à produtividade vegetal; em contrapartida, quando a temperatura é mais elevada, a baixa precipitação induz um período de secura que limita a produtividade. A tolerância das espécies florestais a condições climáticas adversas depende do seu potencial genético de adaptação, variando de espécie para espécie (SANTOS, 2006). A influência do clima na floresta não pode ser reduzida ao efeito da variação da temperatura média ou da precipitação; também se pode fazer sentir pela ocorrência de fenómenos extremos, como tempestades, vagas de frio ou de calor. As mudanças climáticas irão também ter impacto na ocupação florestal em Portugal, dado que o aumento de temperatura e as alterações na distribuição da precipitação ao longo do ano são mais desfavoráveis para as folhosas do que para o pinhal e montados (GAVILÁN e FERNANDEZ, *in* GONZÁLEZ, 1997). O aumento da temperatura provoca um incremento na respiração das plantas e do solo e o

aumento de concentração de CO_2 na atmosfera favorece a fotossíntese. Apesar deste último efeito, prevê-se (SANTOS, 2001) que a Produtividade Primária Líquida em Portugal continental até 2100 irá ter um pequeno aumento ou um decréscimo em algumas regiões do sul e do interior. A PPL representa a quantidade líquida de carbono fixado por plantas durante a fotossíntese em cada ano (MELILLO *et al.*, 1993). A PPL é uma variável chave para monitorizar os impactos da mudança de clima em ecossistemas naturais, e o impacto de actividade humana em ecossistemas de vegetação: local, regional e global (MELILLO *et al.*, 1993). Em termos práticos, a PPL quantifica os crescimentos no ecossistema e reflecte o impacto gerado pelos factores bióticos e abióticos. Assim, esta variável é um indicador do metabolismo do ecossistema e um importante componente das trocas líquidas do ecossistema e da produtividade líquida do ecossistema (GOWER *et al.*, 1997. Para qualquer intervalo de tempo Δt definimos PPL como:

$$PPL = GPP - R \quad (1)$$

em que GPP é a produção primária bruta e R inclui o crescimento de um grupo de árvores e respiração de manutenção. A dificuldade em utilizar a equação 1 como a base para estimar a PPL no campo, reside nas incertezas associadas à estimativa da respiração. Devemos ter em conta a respiração de crescimento e manutenção e as variações associadas com a respiração de diferentes tecidos (folhas, o tecido vivo dos troncos, raízes estruturais e finas) com teor de azoto nos tecidos e com a temperatura. Nos seus estudos a larga escala MELILLO *et al.* (1993) apresentou algumas estimativas globais de PPL. As suas estimativas de PPL anual para a Europa variam entre 300 e 750 g C m^{-2} ano^{-1}. De acordo com estes autores mais de metade da PPL global anual ocorre nos trópicos, entre as latitudes de 22,5ºS e 22,5ºN, maioritariamente ocupados por florestas tropicais perenes. Os tipos de vegetações menos produtivas incluem o deserto polar, a tundra, e o deserto que colectivamente resulta em 3,0% da PPL terrestre e cobre 16,7% da massa terrestre. Uma forma de determinar a PPL é através da utilização de modelos, que são versões simplificadas da realidade. No entanto, as simulações permitidas pelos modelos constituem um instrumento essencial para avaliar processos do ecossistema a escalas nos domínios do espaço e do tempo para além dos limites das medições directas (RUNNING, 1994), e são ferramentas práticas que podem servir de apoio à decisão no caso dos povoamentos florestais e na previsão de possíveis efeitos, nomeadamente os resultados das acções de gestão (GOWER *et al.*, 1997). Este tipo de ferramentas são importantes para a compreensão tanto do funcionamento dos ecossistemas como para prever respostas relativas às alterações climáticas. Podem ainda resumir os resultados de muitas experiências, integrando hipóteses e conclusões num quadro quantitativo (RYAN *et al.*, 1996). Os modelos numéricos acoplados (atmosfera – biosfera), constituem actualmente a melhor forma, e possivelmente a única cientificamente credível, de simular cenários da produtividade dos ecossistemas para determinadas condições atmosféricas. A confiança nos modelos tem vindo a crescer gradualmente, aumentando igualmente a confiança na representatividade dos cenários produzidos por estes modelos.

O modelo FOREST-BGC (BGC – Ciclos Biogeoquímicos) é um modelo desenvolvido por RUNNING e NEMANI (1988) na Universidade de Montana, que calcula processos chave envolvidos nos ecossistemas florestais, resultantes dos ciclos do carbono, água e azoto. O modelo apresenta diferentes variáveis: intercepção e evaporação no coberto, fotossíntese, transpiração, crescimento e respiração de manutenção, a fixação do carbono no solo e no subsolo, a quantificação de resíduos, a decomposição e mineralização do azoto, mas de um modo geral, incorporando informação mínima específica de uma espécie. Este modelo envolve mais de 70 variáveis, cobrindo os três grupos principais que controlam a fotossíntese (planta, solo, clima). Cerca de 60% das variáveis estão relacionadas com as características das plantas com um forte componente fisiológico, 30% com o clima, e apenas 10% com as propriedades do solo. O modelo FOREST-BGC, utiliza o índice de área foliar (IAF) como a principal variável independente para quantificar estruturas da floresta para produção de energia. Segundo RUNNING e NEMANI (1988), o modelo FOREST-BGC foi desenvolvido de modo a ser particularmente sensível ao IAF e desta forma, esta variável é utilizada para calcular a intercepção de coberto, transpiração, respiração, fotossíntese e fixação de carbono. O IAF é a variável chave não só para estimar a PPL (GOWER *et al*., 1999) mas também a evapotranspiração (RUNNING e NEMANI, 1988); medição da estrutura da vegetação; simulação de carbono e em importantes estudos como alterações climáticas e ciclos globais de carbono. Utilizam-se métodos directos e indirectos para estimar o IAF. Medições directas incluem o abate de árvores, o desenvolvimento de equações alométricas ou aplicação de equações já ajustadas para os dados de diâmetro do povoamento, e aplicação dessas equações para todas as árvores do povoamento (GOWER *et al*., 1999). Medições indirectas para estimativas do IAF têm sido feitas com recurso a inúmeros instrumentos ópticos, como sendo o ceptómetro (FASSNACHT *et al*., 1997; CHEN *et al*., 1997). Estas medições supõem a estimativa do IAF através da penetração da luz através da copa. Segundo GOWER *et al.* (1999), a aplicação do método directo é mais apropriada para parcelas de estudo do que aplicado à floresta, uma vez que esta abordagem é muito demorada e trabalhosa quando aplicada a uma área que permita caracterizar adequadamente a heterogeneidade espacial. Alternativamente, a área foliar pode ser estimada por relações alométricas aplicadas a cada árvore encontrada aleatoriamente em parcelas localizadas no povoamento. A variável dependente (IAF) é estimada indirectamente dada a dificuldade da sua medição. A abordagem do FOREST-BGC, indica que o IAF é obtido em função do carbono da folha (CF):

CF = (IAF x Área Superficial)/ (Área Foliar Específica) (2)

Em que,

IAF = (Área Foliar Específica x CF)/ (Área Superficial) (3)

Dados e área de estudo

A região de Trás-os-Montes apresenta dois domínios climáticos algo distintos: a Terra Quente e a Terra Fria. Sob o ponto

de vista térmico assume-se que a delimitação está entre os 12,0ºC e os 13,0ºC de média anual para a Terra Fria e 14,0ºC a 15,0ºC para a Terra Quente, apresentando a Zona de Transição valores médios anuais na ordem dos 13,0ºC a 14,0ºC. A diversidade da distribuição da temperatura numa região relativamente pequena, deve-se a uma orografia complicada e ao facto de estar na zona de transição entre a influência Atlântica e o clima Continental característico do interior da Península Ibérica. As parcelas seleccionadas para o nosso trabalho, situam-se todas na região de Trás-os-Montes, cada uma delas tem uma área de 500m² (Figura 1).

Estas parcelas estão integradas no Inventário Florestal Nacional de 2006, localizadas em vários concelhos do distrito de Vila Real: Montalegre, Chaves, Valpaços, Boticas, Vila Pouca de Aguiar, Murça, Mondim de Basto, Alijó, Sabrosa e Vila Real. Para as avaliações de biomassa, utilizámos 46 parcelas de amostragem (19 de *Pinus pinaster*, 17 de *Quercus pyrenaica* e 10 de mistos de *Pinus* com *Quercus*). Os povoamentos englobam árvores com diferentes idades e níveis de ocupação, de forma a considerar uma ampla gama de dimensões de árvores. Procedeu-se à análise climatológica e estatística das séries cronológicas da temperatura e precipitação diárias das seguintes estações meteorológicas: a estação de Vila Real, de Bragança e de Mirandela.

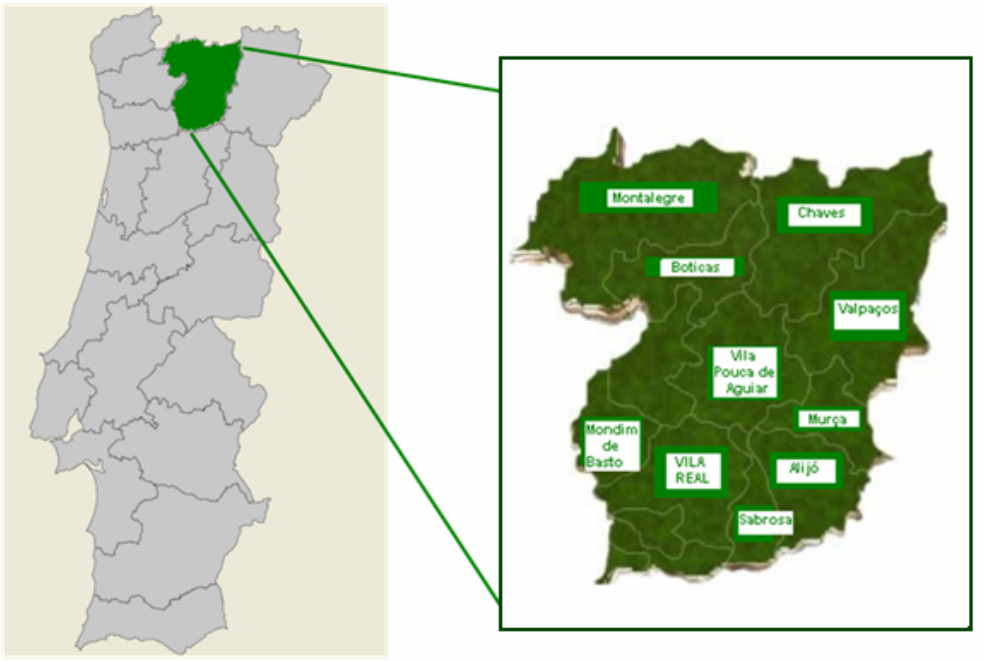


Figura 1 - Localização da área de estudo e abrangência das parcelas de amostragem (RODRIGUES, 2009)

Análise dos dados meteorológicos

O estado da atmosfera pode ser descrito a partir de um conjunto de medidas dos elementos climáticos mais importantes para a sua caracterização. Segundo PEIXOTO e OORT (1992), os elementos climáticos mais importantes para a caracterização do clima de uma determinada região são a precipitação e a temperatura. Para o presente estudo seleccionamos três estações meteorológicas: Bragança, Vila Real e Mirandela, por definirem o clima de três sub-regiões diferentes: Terra Fria, Terra de Transição e a Terra Quente. E destas análises, concluímos que em Bragança, a temperatura média anual tem uma tendência crescente de quase 0,2ºC/10 anos, que se deve a um aumento de 0,3ºC/10 anos na temperatura máxima e a um aumento de 0,1ºC/10 anos na temperatura mínima. Observa-se uma tendência crescente de 44,9 mm/década na série de precipitação anual acumulada em Bragança, provavelmente provocada pelas oscilações de grande amplitude. Em Mirandela, com a ressalva de a série ser cerca de 50 anos mais curta, a temperatura média decresce 0,3ºC/10 anos, para o que contribui fortemente o decréscimo de 0,4ºC/10 anos da temperatura mínima. A temperatura máxima apresenta um acréscimo de menos do que 0,1ºC/10 anos, o que é, de longe, insuficiente para contrabalançar, em termos de médias anuais, a tendência crescente da temperatura máxima. Uma característica importante do clima de Mirandela é a frequência de densos nevoeiros de radiação que cobrem toda a depressão orográfica onde se situa a cidade e o vale do Tua, originados pelas brutais variações térmicas diárias, podendo chegar por vezes a 9 dias de ocorrência consecutiva. Segundo RODRIGUES (2009), em Vila Real, a tendência decrescente da temperatura média anual é praticamente insignificante, quatro centésimos de grau em 10 anos, que fica a dever-se a um decréscimo de quase 0,2ºC/10 anos na temperatura máxima. A tendência crescente da temperatura mínima é inferior a uma décima de grau, portanto insuficiente para contrariar a tendência decrescente da temperatura máxima. Quanto às séries de precipitação o registo da precipitação anual acumulada apresenta uma ligeira tendência decrescente de 24,6 mm/década.

Metodologia de tratamento dos dados para o cálculo da PPL

Foi medido o detrito superficial usando um crivo de resíduos de 40x60 cm colocado aleatoriamente no interior de cada parcela, de acordo com a metodologia proposta por GOWER *et al*. (1997). Os crivos foram posicionados em Janeiro de 2006 e os resíduos foram recolhidos em Maio, Julho, Setembro e Dezembro de 2006. Foi utilizado um rectângulo com estacas de madeira de 40x60 cm no campo de trabalho, mas o local onde a informação foi recolhida foi marcado por pequenos conjuntos de paus de madeira pintados de cor amarela para facilitar futuras identificações (Figura 2).

Em povoamentos de *Pinus pinaster* e de *Quercus pyrenaica*, os detritos compunham-se quase exclusivamente de ramos, folhas e algumas folhagens mortas. As amostras dos detritos foram secas à temperatura de 70ºC durante 3 ou 4 dias. Quando o processo de secagem estava concluído, o material era novamente pesado para determinar a

biomassa seca. Tendo estabelecido a relação entre biomassa verde/seca a partir do peso dos detritos colhidos numa parcela de amostra de 40x60 cm, foi então possível calcular a quantidade de material seco por hectare. A biomassa superficial de arbustivas recolhidas nas diferentes parcelas, foi medida de acordo com a metodologia proposta por GOWER *et al*. (1997). Assim, foram colocadas parcelares de 1x1 m dentro de cada parcela, em Junho de 2006. Foi removido todo o tecido de vegetação superficial, armazenado num saco plástico e conservado num local fresco (Figura 3).

A vegetação foi separada por espécies principais (Urze, Tojo, regeneração de *Pinus pinaster*, regeneração de *Quercus pyrenaica*, Gramíneas e Musgo) o mais rapidamente possível e pesada. Amostras de cada uma destas espécies foram secas a 70ºC durante 3 ou 4 dias, e quando completamente seco, o material foi pesado de modo a determinar o peso seco da vegetação de biomassa seca por hectare.

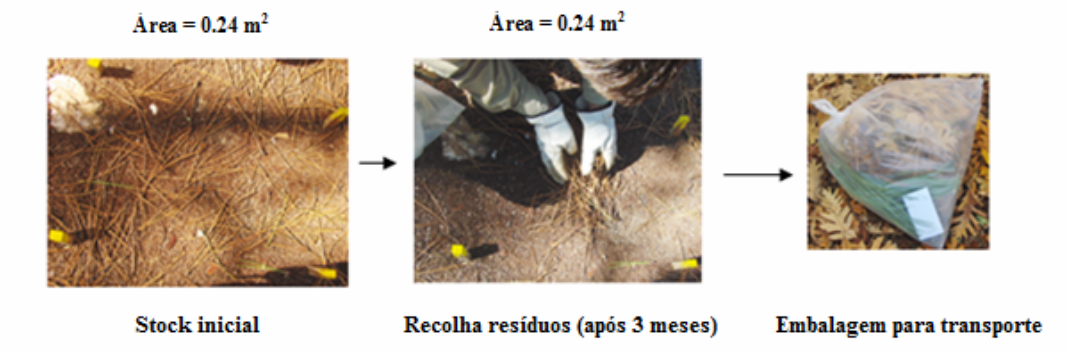


Figura 2 - Amostra e recolha de detritos superficiais (RODRIGUES, 2009)

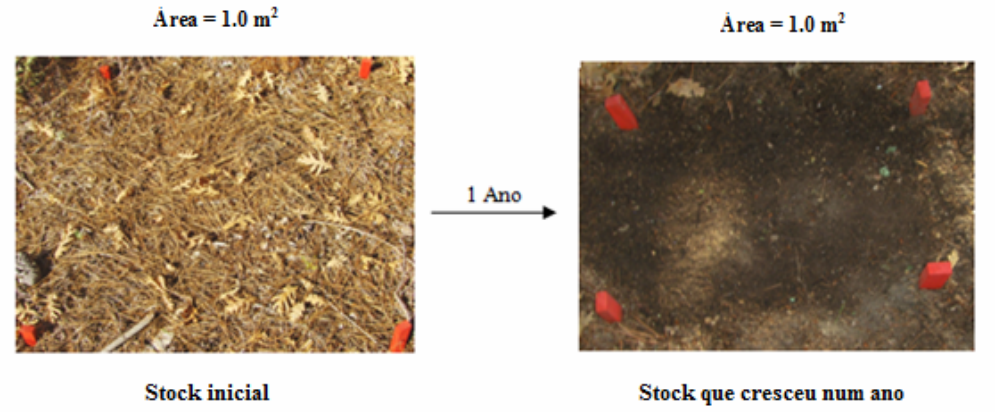


Figura 3 - Biomassa recolhida ao final de um ano (RODRIGUES, 2009)

Estimativa do índice de área foliar

O índice de área foliar foi obtido a partir de dados de campo e era já conhecido para o *Pinus pinaster* a partir de LOPES (2005). No caso da espécie *Quercus pyrenaica* determinou-se este valor, através da colheita aleatória de 30 folhas em diferentes partes de todas as árvores da espécie, de uma parcela de amostragem escolhida aleatoriamente. De seguida, numeraram-se cada uma das folhas (de 1 a 30) e decalcou-se cada uma das folhas em folhas de acetato (Figura 4).

Utilizou-se o software ArcMap, para determinar a área projectada pelas folhas. De seguida as folhas foram desidratadas em estufa e posteriormente determinado o seu peso anidro. Foi assim possível determinar o índice de área específica (SLA) que relaciona qual a biomassa a que se reporta a área de cada folha. A partir dos valores estimados de área foliar para a face 1 e 2, determinámos o SLA para a espécie *Quercus pyrenaica* cujo valor é 33,14 m^2/kg. Para a espécie *Pinus pinaster*, de acordo com LOPES (2005) o valor de SLA é de 5,25 m^2/kg. Posteriormente ao conhecimento de SLA de cada uma das espécies em análise procedeu-se à determinação da biomassa foliar para cada parcela de amostragem. Para isso, conhecendo todos os dap de cada parcela foi possível determinar a biomassa dos ramos de cada árvore. Como LOPES (2005) refere que 44% de biomassa das copas são folhas, determinou-se assim qual a biomassa foliar de cada árvore.



Figura 4 - Metodologia utilizada para a determinação do IAF (RODRIGUES, 2009)

Do seu somatório estimou-se a biomassa foliar de cada parcela. Conhecendo a biomassa foliar por parcela bem como o SLA (que relaciona a biomassa com a área que ocupa), foi possível determinar o IAF por uma simples relação de proporcionalidade, de acordo com a metodologia seguida normalmente sempre que se recorre a equações alométricas.

Resultados

Quando se contabilizaram todas as componentes do crescimento dos ecossistemas, chegou-se aos valores máximos, médios e mínimos de PPL, que se encontram sumariados no quadro 1.

Podemos verificar que o pinheiro-bravo é a espécie que apresenta valores de PPL mais elevados do período em estudo. Como referimos atrás, traduzindo a PPL a quantidade de carbono fixado, então também a mesma espécie fixa maior quantidade de carbono comparativamente às Quercíneas. Contudo, esta é uma análise demasiado simplista já que desconhecemos neste momento, entre outros aspectos, a idade média dos povoamentos em causa, bem como a biodiversidade dos ecossistemas em análise. Com base nos valores de PPL, e assumindo que 50% da biomassa fixada é carbono como é frequentemente assumido neste tipo de estudo, foi então possível apresentar os valores máximos, médios e mínimos de carbono da folha, sumariados no quadro 2.

Da análise do quadro 2 é possível observar que, em média, um povoamento puro de Pinheiro bravo consegue fixar cerca de 7 ton ha^{-1} ano^{-1} de carbono, enquanto um povoamento puro de Quercíneas fixa cerca de 5 ton ha^{-1} ano^{-1} e um misto de ambas as espécies fixa 9 ton ha^{-1} ano^{-1}.

Quadro 1 - Produção Primária Líquida no período em estudo ($kg^{-1}ha^{-1}ano^{-1}$)

PPL	Qp	Pb	QpxPb
Máximo	4780,4	60715,7	2928,2
Médio	2077,4	25766,6	1594,8
Mínimo	770,8	435,0	445,9
Desvio Padrão	1293,9	25105,9	799,6

Quadro 2 - Carbono da folha baseada no diâmetro à altura do peito médio do povoamento no período em estudo ($kg^{-1}ha^{-1}ano^{-1}$)

CF	Qp	Pb	QpxPb
Máximo	11737,4	13485,7	18603,8
Médio	4480,7	7085,7	9416,5
Mínimo	277,9	777,6	1357,5
Desvio Padrão	3568,8	4028,6	6322,8

Discussão dos resultados obtidos pelo modelo Forest-BGC na estimativa da PPL

Como já foi referido, efectuou-se o cálculo da PPL para as 46 parcelas seleccionadas para o estudo, recorrendo ao modelo FOREST-BGC para o mesmo período associado às medições de campo. Para parametrizarmos o modelo, utilizámos os dados meteorológicos de Vila Real, nomeadamente, os valores de temperatura máxima e mínima, o valor da temperatura do ponto de orvalho e de precipitação ao longo de um ano. Os valores estimados pelo modelo, determinam que o valor de PPL apresenta maior valor na espécie de *Pinus pinaster*, tal como tínhamos concluído pelos dados de campo, analisados anteriormente. Assim, e de acordo com as exigências e susceptibilidades do pinheiro-bravo, é factível a boa adaptabilidade da espécie à maior parte da região. Muito por causa da sua grande plasticidade e resistência, sendo inclusive uma das espécies pioneiras na sucessão ecológica. O carvalho negral, tal como foi dito anteriormente, é uma espécie que tem uma boa adaptação aos climas quentes e secos, as temperaturas médias requeridas pela espécie estão compreendidas entre -5ºC e 7ºC, no Inverno, e 12ºC e 22ºC no Verão, podendo ir até aos 25ºC. Daqui se conclui que nesta etapa do trabalho o modelo ainda não está parametrizado de forma eficiente, de tal maneira que conduza a estimativas seguras da PPL sem haver necessidade de recorrer a avaliações de campo, muito mais dispendiosas e morosas. Isto significa então que se deve ter um esforço acrescido na parametrização do Forest-BGC em etapas posteriores da Investigação. Significa ainda que as conclusões subsequentes, com base neste modelo ecofisiológico se encontram obviamente abertas. Assim, na etapa subsequente do estudo o FOREST-BGC foi corrido com base nos cenários de tendência evolutiva do clima para o distrito de Vila Real, baseada nas séries

climáticas disponíveis. Numa primeira etapa procedeu-se apenas à variação da temperatura, numa segunda etapa apenas a precipitação e finalmente de ambos os parâmetros climáticos. De seguida, alterámos todas as temperaturas e precipitação com base na tendência obtida. Com esta alteração de temperatura, podemos ver que o povoamento de *Pinus pinaster* apresenta maiores valores de PPL, seguido do povoamento *Quercus pyrenaica* e misto. A mesma situação verifica-se com a alteração da precipitação ou com as duas variáveis alteradas simultaneamente.

Conclusões

A quantificação da Produtividade Primária Líquida dos ecossistemas florestais reveste-se de grande importância, tanto à escala local como à escala global. A PPL é uma variável chave para a percepção de dinâmicas de fixação de carbono em Portugal. Ao longo do nosso trabalho descrevemos pormenorizadamente os factores que afectam a PPL e destacámos o clima de uma dada região. Como referimos anteriormente, nas análises que fizemos às séries climáticas das estações de observação seleccionadas para o presente trabalho, demos importância principalmente a três estações meteorológicas: Bragança, Vila Real e Mirandela, por definirem o clima de três regiões diferentes: Terra Fria, Terra de Transição e a Terra Quente. E desta análise concluímos que a região de Trás-os-Montes apresenta um clima heterogéneo. A diversidade da distribuição da temperatura numa região relativamente pequena, deve-se a uma orografia complicada e ao facto de estar na zona de transição entre a influência Atlântica e o clima Continental característico do interior da Península Ibérica. Estas informações são extremamente válidas para toda a comunidade científica já que remete para a região estudos de relevância na actualidade. Quando estudos de diferentes áreas necessitam de recorrer a cenários de alterações climáticas encontravam-se, até aqui, condicionados pelos estudos de evolução do padrão do clima à escala nacional. Para a parametrização do FOREST-BGC, utilizámos os dados meteorológicos da estação meteorológica de Vila Real, como referimos anteriormente, Terra de Transição e desta parametrização concluímos que o valor de PPL apresenta diferentes valores para cenários de alteração de temperatura e de precipitação ou dos dois parâmetros em conjunto. Isto também significa que uma alteração na temperatura máxima na ordem dos -0,0164ºC por ano provoca um decréscimo ligeiro no valor de PPL na ordem dos 14,0%. O mesmo se verifica para a precipitação, que apresenta uma tendência de decréscimo de -2,46 mm por ano, aqui com o decréscimo da PPL a resultar um decréscimo na ordem dos 8%. A alteração conjunta dos dois parâmetros climáticos conduz a uma diminuição da ordem de 22,0% na PPL final. Desta forma conclui-se que a temperatura condiciona mais a PPL, logo a fixação de carbono, do que a precipitação. Estas conclusões verificaram-se para ambas as espécies em análise (*Pinus pinaster* e *Quercus pyrenaica*). Contudo, uma análise mais cuidada permite constatar que, enquanto para a PPL da copa, da raiz, e em termos quase genéricos, não se verificam diferenças significativas, o mesmo não se passa para o tronco. Assim, no caso da

PPL do tronco, um aumento da temperatura conduz a um aumento na capacidade de fixação do povoamento. Concluímos que das espécies em estudo, a *Pinus pinaster*, é a que apresenta maiores valores de PPL e portanto, é a espécie que fixa maior quantidade de carbono.

O presente estudo permitiu desenvolver metodologias que tornam mais exacta a determinação da PPL, ou através de dados de campo, ou a partir do modelo de simulação da produção, o FOREST-BGC. Ainda que os resultados obtidos sejam interessantes, estudos posteriores são necessários, porque quanto maior o período temporal, mais fiáveis são as conclusões neste tipo de estudos.

Agradecimentos

Estudo realizado no âmbito do projecto PTDC/CFL-AGR/68186/2006. Agradecemos aos Técnicos Carlos Brito e Carlos Fernandes do Departamento Florestal pela disponibilidade que tiveram na recolha dos dados de campo. Por último, o nosso agradecimento a Vítor Manuel Tabuada, Coordenador do Instituto de Meteorologia de Vila Real, pela sua valiosa contribuição na investigação sobre o clima de Trás-os-Montes.

Bibliografia

AGREN, G.I., MCMURTRIE, R.E., PARTON, W.J., PASTOR, J., SHUGART, H.H., 1991. State-of--the-art of models of production--decomposition linkages in conifer and grassland ecosystems. *Ecological Applications* **2**: 118-138.

CHEN, J.M., RICH, P.M., GOWER, S.T., NORMAN, J.M., PLUMMER, S., 1997. Leaf area index of boreal forests: Theory, Techniques, and Measurements. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, pp. 429-29, 443.

EMMANUEL, W.R., KILLOUGH, G.G., 1984. Modelling terrestrial ecosystems in the global carbon cycle with shifts in carbon storage capacity by land-use change. *Ecology* **65**: 970-983.

FASSNACHT, K.S., GOWER, S.T., MACKENZIE, M.D., NORDHEIM, E.V. AND LILLESAND, T.M. 1997. Estimating the leaf area index of north central Wisconsin forests using the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 61, pp. 229-245.

GAVILÁN R., FERNANDEZ, E. – GONÇALEZ, 1997. Climatic discrimination of Mediterranean broad-leaved sclerophyllous and deciduous forests in central Spain. *Journal of Vegetation Science* **8**: 377.

GOWER, S.T., KUCHARIK, C.J., NORMAN, J.M., 1999. *Direct and indirect estimation of leaf area index and net primary production of terrestrial ecosystems. Remote Sensing of Environment*, Vol. 70, pp. 29-51.

GOWER, S.T., VOGEL, J.G., NORMAN, J.M., KUCHARIK, C.J., STEELE, S.J., STOW, T.K., 1997. Carbon distribution and above-ground net primary production in aspen, jack pine and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Journal of Geophysical Research* **102**(D24): 29029-29041.

LOPES, D., 2005. *Estimating net primary production in Eucalyptus globulus and Pinus pinaster ecosystems in Portugal*. PhD Thesis. Kingston University, pp. 259.

MELILLO, J.M, MCGUIRE, A.D., KICKLIGHTER, D.W., MOORE III, B., VOROSMARTY, C.J., SCHLOSS, A.L. 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* **363**(May): 234-240.

PEIXOTO, J.P., OORT, A.H., 1992. *Physics of Climate*. American Institute of Physics, New York.

RODRIGUES, M.A., 2009. *Contribuição para o impacto das alterações do clima na taxa de fixação de carbono nos ecossistemas florestais do Distrito de Vila Real*. Master Thesis. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, pp. 98.

RUNNING, S.W., NEMANI, R.R. 1988. Relating seasonal patterns of the AVHRR vegetation index to simulated photosynthesis and transpiration of forests in different climates. *Remote Sensing of Environment* **24**: 347-367.

RUNNING, S.W., 1994. Testing Forest-BGC ecosystem process simulation across a climate gradient in Oregon. *Ecological Applications* **4**(2): 238-247.

RYAN, M.G., HUNT Jr, E.R., MCMURTRIE, R.E., AGREN, G.I., ABER, J.D., FRIEND, A.D., RASTETTER, E.B., PULLIAM, W.M., RAISON, R J., LINDER, S., 1996. Comparing models of ecosystem function for temperate conifer forest. I. Model description and validation. In Global Change: Effects on Forests and Grasslands, A. Breymeyer, D.O. Hall, J.M., Melillo and G.I. Ågren (Eds.) (J.Wiley), pp. 313-362.

SANTOS, F.D., 2006. Problemática das Alterações Climáticas no Início do Século XXI, in *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação.* Projecto SIAM II, F.D. Santos e P. Miranda, Gradiva, Lisboa.

SANTOS, F.D., FORBES, MOITE R., 2001. Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM. Editorial Gradiva.