



1º Projeto - Visualização de Dados Científicos usando o ParaView

Visualização de Dados – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Grupo 3 – Duarte Balata (nº46304), Inês Almeida (nº50921) e Miguel Nunes (nº40790)

1. Contextualização do trabalho

Os dados de input fornecidos para este projeto correspondem a potenciais valores da taxa de regeneração natural de azinheira em terras agrícolas abandonadas, em intervalos de tempo de 30 e 60 anos com e sem alteração das condições climáticas, bem como a sua relação com a orografia do terreno ou a incidência de radiação solar nessa mesma área.

Estes dados científicos foram gerados por simulação, por um grupo de investigação do centro eChanges (Ecology of Environmental Change) da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e estão restritos a uma área coberta retangular de 60 pontos ao longo do eixo dos xx e 50 pontos ao longo do eixo dos yy (Príncipe *et al.* 2014).

Para esta área coberta em particular temos acesso:

1. Às coordenadas cartesianas de cada ponto (no sistema UTM WGS84 zone 29);
2. Ao valor da altitude do terreno para cada ponto;
3. Aos valores da taxa de regeneração natural de azinheira em cada ponto ao fim de um período de 30 e 60 anos sem alteração das condições climáticas;
4. Aos valores da taxa de regeneração natural de azinheira em cada ponto ao fim de 30 e 60 anos com alteração das condições climáticas.

Neste trabalho, é indicado que cada um dos 4 períodos de regeneração estudados (30 e 60 anos sem alterações climáticas, e 30 e 60 anos com alterações climáticas) deve ser representado como um plano individual da grelha ao longo do eixo dos zz , representados segundo uma organização temporal. Assim, a grelha bidimensional de 60 por 50 pontos correspondente à área coberta em estudo, deve ser representada com as mesmas dimensões bidimensionais nos 4 planos segundo o eixo dos zz , cada um destes contendo os valores escalares da taxa de regeneração de um dos 4 períodos de regeneração em análise.

É ainda pedido que se utilizem os mesmos valores da taxa de regeneração nos 4 períodos/cenários temporais para a criação da variável vetorial “Tendência de Regeneração”, que em cada ponto da grelha indique qual a tendência de maior regeneração entre dois destes períodos, a ser comparados, e representados respetivamente nos eixos xx e yy de cada plano. Neste trabalho, serão então comparados três pares de períodos/cenários de regeneração distintos, separados segundo o eixo dos zz :

- Comparação dos valores de regeneração dos períodos de 30 anos (eixo *xx*) e 60 anos (eixo *yy*) sem alteração das condições climáticas.
- Comparação dos valores de regeneração dos períodos de 30 anos (eixo *xx*) e 60 anos (eixo *yy*) com alteração das condições climáticas.
- Comparação dos valores de regeneração dos períodos de 60 anos sem alteração das condições climáticas (eixo *xx*) e 60 anos com alteração das condições climáticas (eixo *yy*).

2. Organização e preparação dos dados no formato VTK

O software que será utilizado neste trabalho é o ParaView v5.4.1 (Ahrens *et al.* 2005), que por ter sido construído com base na biblioteca gráfica VTK (Visualization Toolkit) aceita igualmente dados de input no formato VTK. Um ficheiro de dados com este formato requer uma estrutura e organização específica da informação fornecida. Assim, é necessário explicitar, por ordem:

1. A versão do software utilizado;
2. O título dos dados apresentados;
3. O formato do ficheiro;
4. A estrutura do dataset;
5. Os atributos do dataset.

A versão do software utilizado a especificar varia somente entre 1.0, 2.0 e 3.0, uma vez que a estrutura do ficheiro de dados da versão 3.0 não se altera para as versões posteriores. Desta forma, no nosso ficheiro input de dados seguimos a estrutura equivalente à versão 3.0 (e posteriores), definindo: **#vtk DataFile Version 3.0** no cabeçalho inicial do ficheiro. Para a designação dos nossos dados escolhemos o título “**Taxa de regeneração natural da azinheira**”, e por simplicidade escolhemos para formato do nosso ficheiro o formato “legacy” **ASCII**, uma vez que o formato XML é mais complexo.

Na fase inicial de exploração e organização dos dados, percebemos que estamos perante uma grelha bidimensional estruturada regular. A designação de grelha estruturada deve-se ao facto de a mesma ter uma topologia regular, ou seja, conhecermos o número de dimensões dos nossos dados e ainda o número de pontos/nós da grelha em cada uma das dimensões (60 segundo o eixo dos *xx*, e 50 segundo o eixo dos *yy*). Por outro lado, dizemos que é também uma grelha regular uma vez que o espaçamento dos nossos pontos é constante segundo todos os eixos da mesma. De acordo com o tipo de dados reconhecidos pelo software VTK, poderíamos concluir que este conjunto de dados corresponde a um **DATASET STRUCTURED POINTS**, designação equivalente à de grelha estruturada regular. Porém, apesar de reconhecermos a regularidade geométrica dos nossos dados, as coordenadas de origem dos planos assim como o espaçamento entre os pontos segundo cada eixo não eram conhecidos, pelo que optámos por introduzir de forma explícita as coordenadas de todos os pontos e tratar o conjunto de dados como um **DATASET STRUCTURED GRID**.

Dependendo de cada tipo de dataset, é necessário fornecer informação organizada sob diferentes graus de complexidade no ficheiro de dados do VTK. Para o dataset Structured Grid em particular, é necessário indicar o número de dimensões e o número de pontos de cada dimensão, bem como as coordenadas de todos os pontos. Ou seja, é necessário indicar a localização de cada ponto mas não a forma como estes estão ligados.

Para definir a topologia dos nossos dados foram então especificados as seguintes dimensões e o seu respetivo número de pontos, **DIMENSIONS 60 50 4**, sendo 60 o número de pontos ao longo do eixo dos xx , 50 o número de pontos ao longo do eixo dos yy e 4 o número de planos a ser representados no eixo dos zz .

Uma vez que a topologia dos nossos dados é regular, para definir a geometria de um dataset do tipo Structured Grid necessitamos de fornecer apenas as coordenadas dos pontos da grelha (declarando dados do tipo POINTS) e não as coordenadas das células da mesma (dados do tipo CELLS). No entanto, antes de declarar quaisquer dados no ficheiro VTK é necessário especificar também a nossa quantidade (ou volume) de dados e o seu domínio. Como as coordenadas dos pontos da nossa área coberta vão ser declaradas sob a forma de valores escalares numéricos, referentes a pontos da grelha, num total de 3000 pontos por plano e uma representação de 4 planos, definiu-se **POINTS 12000 Float**. Isto é, temos um total de 12000 pontos (3000 por cada plano) e os dados têm um domínio float, que aceita valores numéricos inteiros e/ou decimais.

De seguida, foram por fim definidas as coordenadas x , y e z de cada ponto, para cada um dos 4 planos. De forma a separar espacialmente os 4 planos, com vista a uma melhor representação gráfica dos mesmos na fase seguinte de utilização do software ParaView, atribuímos um intervalo de 200 unidades entre cada um, ficando:

1. Os pontos do primeiro plano sempre com o valor 0 para a coordenada do eixo z ;
2. Os pontos do segundo plano sempre com o valor 200 para a coordenada do eixo z ;
3. Os pontos do terceiro plano sempre com o valor 400 para a coordenada do eixo z ;
4. Os pontos do quarto plano sempre com o valor 600 para a coordenada do eixo z .

A Figura 1 ilustra a ordem e a organização da informação apresentada num ficheiro VTK, desde a versão do software à estrutura do dataset.

# vtk DataFile Version 3.0	604535	4165023	0	604535	4165023	200	604535	4165023	400
Taxa de regeneração natural da azinheira	604545	4165023	0	604545	4165023	200	604545	4165023	400
ASCII	604555	4165023	0	604555	4165023	200	604555	4165023	400
DATASET STRUCTURED_GRID	604565	4165023	0	604565	4165023	200	604565	4165023	400
DIMENSIONS 60 50 4	604575	4165023	0	604575	4165023	200	604575	4165023	400
POINTS 12000 float	604585	4165023	0	604585	4165023	200	604585	4165023	400
603995 4165513 0	603995	4165513	200	603995	4165513	400	603995	4165513	600
604005 4165513 0	604005	4165513	200	604005	4165513	400	604005	4165513	600
604015 4165513 0	604015	4165513	200	604015	4165513	400	604015	4165513	600
604025 4165513 0	604025	4165513	200	604025	4165513	400	604025	4165513	600
604035 4165513 0	604035	4165513	200	604035	4165513	400	604035	4165513	600
604045 4165513 0	604045	4165513	200	604045	4165513	400	604045	4165513	600
604055 4165513 0	604055	4165513	200	604055	4165513	400	604055	4165513	600
604065 4165513 0	604065	4165513	200	604065	4165513	400	604065	4165513	600
604075 4165513 0	604075	4165513	200	604075	4165513	400	604075	4165513	600
604085 4165513 0	604085	4165513	200	604085	4165513	400	604085	4165513	600
604095 4165513 0	604095	4165513	200	604095	4165513	400	604095	4165513	600
604105 4165513 0	604105	4165513	200	604105	4165513	400	604105	4165513	600
604115 4165513 0	604115	4165513	200	604115	4165513	400	604115	4165513	600
604125 4165513 0	604125	4165513	200	604125	4165513	400	604125	4165513	600
604135 4165513 0	604135	4165513	200	604135	4165513	400	604135	4165513	600
604145 4165513 0	604145	4165513	200	604145	4165513	400	604145	4165513	600
604155 4165513 0	604155	4165513	200	604155	4165513	400	604155	4165513	600
604165 4165513 0	604165	4165513	200	604165	4165513	400	604165	4165513	600
.
.
.

Figura 1- Descrição da versão do software utilizado, título atribuído aos dados apresentados, formato do ficheiro e estrutura do dataset para a organização dos dados no formato VTK.

A fase seguinte de organização dos nossos dados no ficheiro VTK, requer a especificação dos atributos do dataset, ou seja, os valores das variáveis que vão estar associados a cada ponto da estrutura que definimos. Para este projeto é necessário especificar os atributos de três variáveis distintas:

1. A altitude (valores escalares);
2. A taxa de regeneração para cada um dos períodos de regeneração em estudo (valores escalares);
3. A tendência de regeneração (valores vetoriais).

Para descrever qualquer variável é necessário indicar previamente se os respetivos valores/atributos que vão ser declarados estão diretamente associados aos pontos da nossa grelha (POINT DATA) ou às células da mesma (CELL DATA), bem como a quantidade de valores a ser descritos, o tipo de atributo (escalares, vetores, tensores, etc), o nome do mesmo e o seu domínio. Para valores do tipo escalar é ainda importante invocar a função de transferência que é recorrentemente usada para este tipo de dados, LookUp Table, mantendo as suas definições default, e que servirá para atribuir cores (no software ParaView) aos atributos descritos no ficheiro VTK.

Para os dados relativos à Altitude, sabemos que são valores escalares inteiros e decimais (domínio float), associados aos pontos da nossa grelha (POINT DATA), num total de 3000 pontos por plano, repetidos para os 4 planos que serão representados. Podemos também aplicar a mesma descrição para os dados da taxa de regeneração em cada um dos 4 cenários em estudo (30 e 60 anos com e sem alteração de condições climáticas), com a diferença de que passando de plano para plano, os respetivos 3000 valores desta variável não serão repetidos no plano seguinte (ao contrário

da variável altitude que possui um valor único em cada ponto da grelha, independentemente do plano).

A ordem escolhida para a listagem dos 4 conjuntos de valores escalares da taxa de regeneração (neste trabalho abreviada para TaxaReg) ficará associada à ordem de descrição prévia dos diferentes planos da nossa estrutura de dados (definida na geometria da grelha). Tendo em conta não só uma organização temporal para os diferentes cenários de regeneração mas também o interesse de comparação da presença/ausência de alterações climáticas, a ordem escolhida para a representação gráfica desta variável foi:

1. Valores da taxa de regeneração ao fim de um período de 30 anos sem alteração das condições climáticas.
2. Valores da taxa de regeneração ao fim de um período de 60 anos sem alteração das condições climáticas.
3. Valores da taxa de regeneração ao fim de um período de 30 anos com alteração das condições climáticas.
4. Valores da taxa de regeneração ao fim de um período de 60 anos com alteração das condições climáticas.

A Figura 2 ilustra a descrição dos atributos Altitude e Taxa de Regeneração no nosso ficheiro de dados VTK.

POINT_DATA 12000	POINT_DATA 12000
SCALARS Altitude float	SCALARS TaxaReg float
LOOKUP_TABLE default	LOOKUP_TABLE default
157.445	56
158.255	48
158.769	48
159.023	48
159.149	48
159.229	57
159.301	57
159.386	57
159.491	63
159.618	63
159.75	63
159.803	68
159.841	68
159.891	68
160	68
160.088	68
160.113	68
.	.
.	.
.	.

Figura 2 - Descrição dos atributos Altitude e Taxa de Regeneração no ficheiro VTK.

Estando as variáveis escalares definidas, resta definir a variável vetorial Tendência de Regeneração (aqui abreviada para TendênciaReg) no nosso ficheiro VTK, criada a partir da variável escalar Taxa de Regeneração. A ordem dos 4 planos definidos para esta variável vai, tal como para a variável da taxa de regeneração, ficar associada à ordem com que foram definidos os planos na nossa estrutura de dados. Uma vez que existem 4 planos definidos na estrutura dos nossos dados, mas apenas 3 planos serão representados com esta variável vetorial, um dos planos da nossa estrutura não será incluído nesta fase de Visualização dos dados. O plano não utilizado será o de coordenadas *zz* igual a 200, ou seja, o segundo plano.

Assim, a tendência de regeneração entre os cenários de 30 e 60 anos sem alteração das condições climáticas ficará representado no plano de coordenadas *zz* igual a 0, enquanto a comparação entre os cenários de 30 e 60 anos com alteração das condições climáticas estará no plano de coordenadas *zz* igual a 400, e a comparação dos cenários de 60 anos com e sem alteração das condições climáticas ficará representado no plano de coordenadas *zz* igual a 600.

Os vetores em cada plano terão então 3 coordenadas: o valor da taxa de regeneração do primeiro período/cenário no eixo dos *xx*, o valor da taxa de regeneração do segundo período/cenário no eixo dos *yy*, e o valor 0 no eixo dos *zz*. Ao atribuir o valor 0 à coordenada *z* garante-se que o *glyph* resultante para este vetor estará orientado exclusivamente na horizontal, ou seja, no plano *xy*, e permitirá uma melhor comparação entre os dois cenários que queremos comparar.

Apesar do segundo plano não possuir uma representação gráfica desta variável vetorial, continua a ser necessário atribuir valores à grandeza vetorial de todos os pontos da grelha para este plano (neste caso, valores nulos) de forma a que a ordem definida para os restantes planos seja implementada. A Figura 3 ilustra a descrição da variável Tendência de Regeneração (TendênciaReg), seguindo a ordem acima descrita para os diferentes planos.

Com o conjunto de informação acima descrita o ficheiro VTK fica assim completo com os dados deste trabalho, e está pronto a ser utilizado no software ParaView, onde se procederá ao mapeamento e desenho da geometria aqui definida, bem como à exploração, análise e interpretação dos dados respetivos às diferentes variáveis em estudo.

3. ParaView

3.1 Planos

Ao inserir os dados no software ParaView foi possível observar quatro grelhas de dados distribuídas ao longo do eixo dos zz (Figura 4), conforme os valores atribuídos no ficheiro VTK para esta coordenada em cada conjunto de pontos (0, 200, 400, 600). Estes 4 planos dizem respeito a previsões quanto à mesma zona geográfica sob quatro circunstâncias distintas, sendo as duas primeiras, de baixo para cima, referentes a: passados 30 e 60 anos sem alterações climáticas, e as restantes referentes a passados 30 e 60 anos com alterações climáticas.

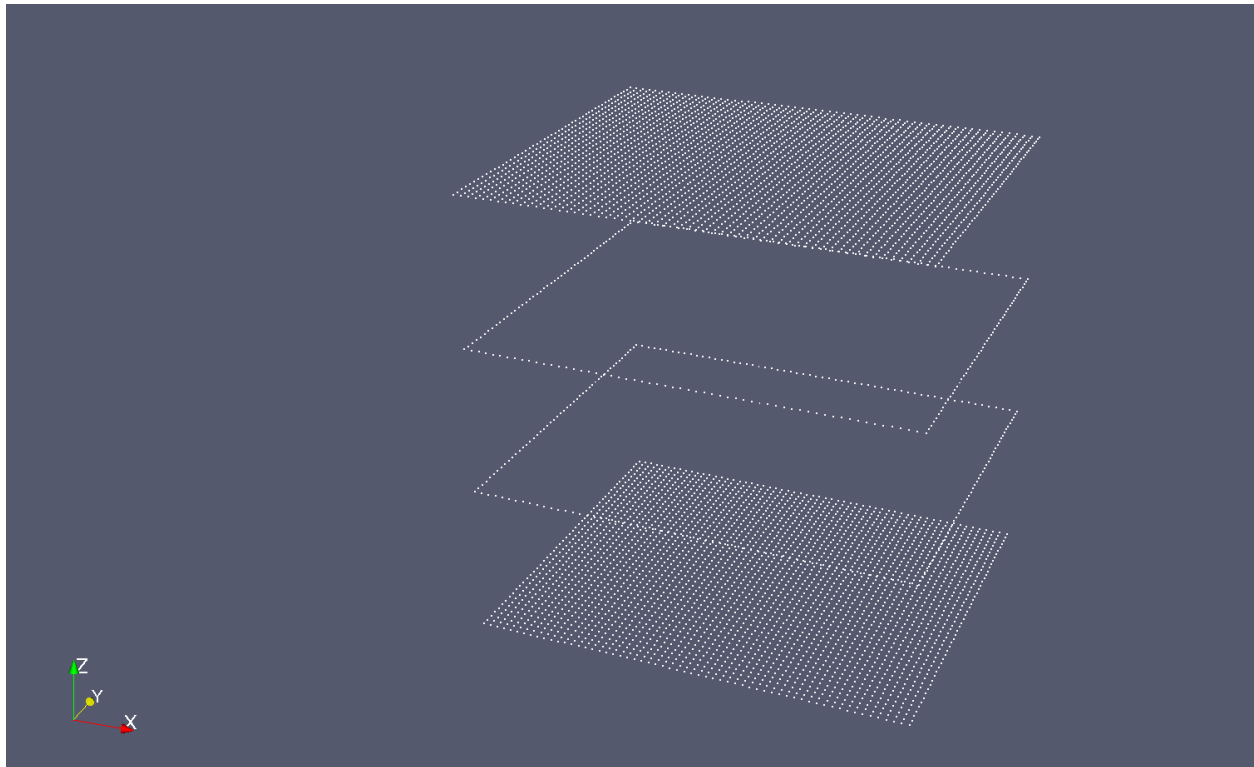


Figura 4 - Visualização no ParaView das quatro grelhas geradas, de baixo para cima, segundo os valores 0, 200, 400 e 600 para as coordenadas do eixo dos zz

Tendo importado os dados para o ParaView, o passo seguinte consistiu na elaboração de planos de corte ao nível das 4 grelhas de pontos distribuídas ao longo do plano Z , de forma a poder visualizar plano a plano as grandezas escalares e vetoriais associadas a cada um dos pontos no dataset. Isto conseguiu-se utilizando a ferramenta ‘Slice’ e alterando os valores de Z nos ‘Plane

Parameters’ para os utilizados na criação do ficheiro VTK (Figura 5). Os planos traçados foram representados sob a forma de superfícies.

Plane Parameters			
<input checked="" type="checkbox"/> Show Plane			
Origin	604290	4165268	600
Normal	0	0	1

Figura 5 - Alteração dos valores Z nos Plane Parameters da ferramenta Slice.

Com os planos de corte definidos foi possível começar a explorar individualmente cada uma das camadas de dados. Inicialmente foi realizado um mapeamento de cor, de modo a visualizar a variável escalar “Altitude” em cada um dos pontos, conforme a cor que lhes é atribuída (Figura 6). Neste caso a cor azul corresponde ao valor mais baixo de 140 m, as regiões com cores próximas do branco correspondem aos valores intermédios de altitude e a cor vermelha representa de forma intuitiva as altitudes mais altas, até aos 170 m. Uma vez que todos os planos dizem respeito à mesma região geográfica, os valores desta variável escalar são comuns entre os 4 planos. A escala de cores utilizada, designada por escala de valores divergentes, obteve-se pela junção de duas escalas monocromáticas num ponto comum (branco), e foi escolhida por ser particularmente eficaz na representação de valores altos, intermédios e baixos com grande clareza.

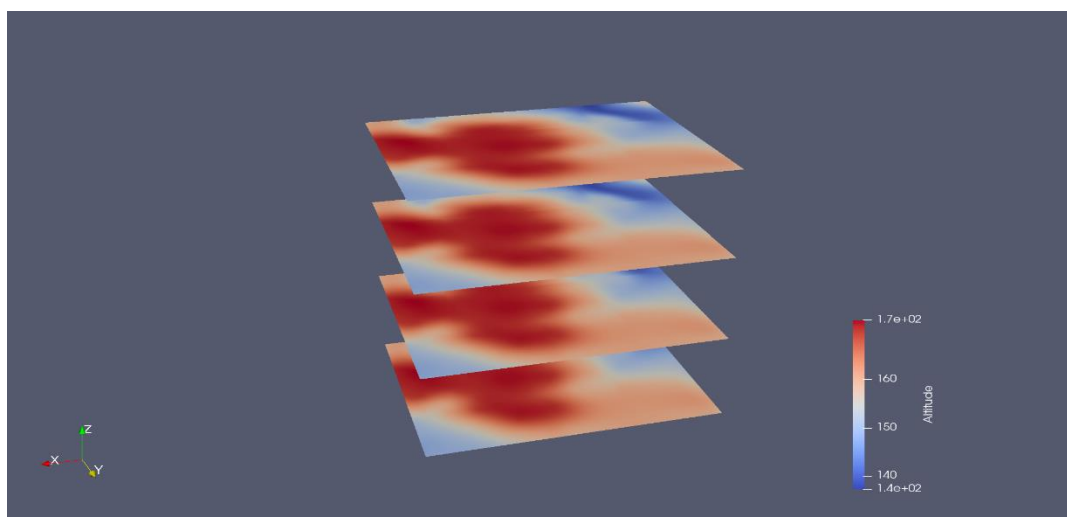


Figura 6 - Visualização da variável escalar Altitude nos diferentes planos através da técnica de mapeamento de cor. A cor azul corresponde ao valor mais baixo (140 m) e a cor vermelha ao valor mais elevado (170 m).

3.2 Evolução da Taxa de Regeneração

De seguida, foi realizado um novo mapeamento de cor, desta vez para a visualização da variável escalar “Taxa de Regeneração” (Figura 7). Desta vez foi utilizada uma escala de cores de azul a verde, com valores de matiz e luminosidade variáveis. Esta escala foi escolhida de forma a representar as zonas geográficas mais neutras (leia-se com uma taxa de regeneração próxima do valor central) com a cor azul e destacar as zonas de maior regeneração com o verde, cor que é facilmente associada à elevada regeneração vegetal. Dentro das cores azul e verde, o aumento da luminosidade é utilizado em simultâneo para representar valores mais elevados de taxa de regeneração.

Nesta representação já foi possível verificar diferenças entre cada um dos planos de corte uma vez que a taxa de regeneração varia com o tempo decorrido e com a presença ou ausência de alterações climáticas. De uma forma bastante geral é possível verificar que ao fim de 60 anos a taxa de regeneração será geralmente mais alta (planos 2 e 4) e também que a presença de alterações climáticas (planos 3 e 4) faz com que se verifique um ligeiro aumento nas taxas de regeneração comparativamente aos cenários sem alterações (planos 1 e 2).

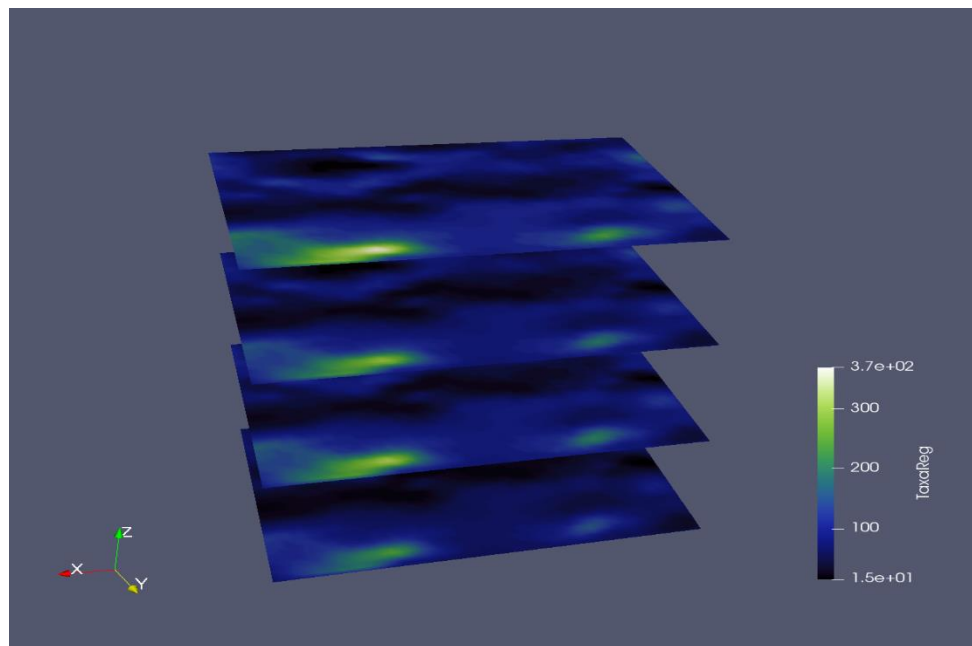


Figura 7 - Visualização da variável escalar Taxa de Regeneração nos diferentes planos através da técnica de mapeamento de cor. A cor azul corresponde aos valores com menor taxa de regeneração e a cor verde aos valores de maior regeneração.

De modo a facilitar a visualização da evolução da taxa de regeneração ao longo do tempo, gerou-se uma animação que representa essa evolução entre os 30 e 60 anos sem alterações climáticas e os 30 e 60 anos com alterações climáticas (Figura 8). Para isso, utilizou-se a ferramenta Animation View para o slice 4 com o parâmetro de ‘ramp interpolation’ entre os valores $z=0$ e $z=200$ de forma a criar a animação ao longo do tempo da taxa de regeneração sem alterações climáticas. De seguida foi usado o parâmetro de ‘step interpolation’ para realizar a transição entre os diferentes cenários, ou seja, os planos de coordenadas $z=200$ e $z=400$. Finalmente, foi utilizada novamente a ‘ramp interpolation’ para mostrar a progressão da taxa de regeneração ao longo do tempo entre os valores $z=400$ e $z=600$ que correspondem aos planos com alterações climáticas.

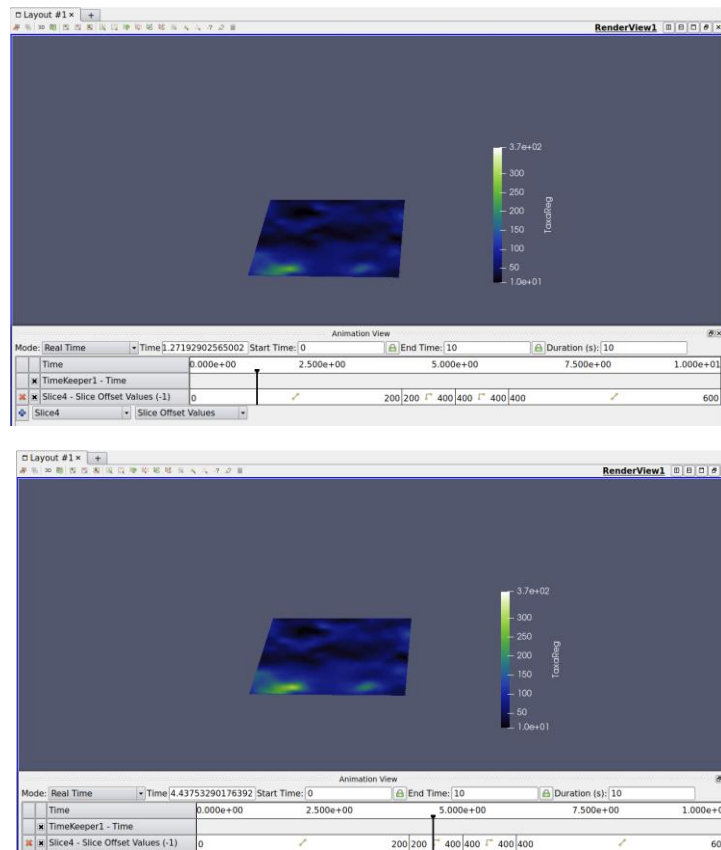


Figura 8 -- Representação do painel de animação utilizado para representação da progressão dos valores da variável escalar Taxa de Regeneração ao longo do tempo.

No entanto, ao se utilizar uma escala de cores contínua para representar os valores da taxa de regeneração observados nos diferentes planos, torna-se difícil de compreender com precisão que pontos das grelhas apresentam valores exatamente iguais para esta variável. Deste modo, de forma a obter uma representação mais clara e de fácil comparação visual entre as taxas de

regeneração exibidas em cada um dos cenários, foram traçadas isolinhas sobre cada um dos planos, correspondentes ao valor central da taxa de regeneração dos 4 planos em estudo.

Para alcançar esta visualização foi utilizada a ferramenta ‘contour’ em cada um dos planos de corte, na qual foi explicitado que fossem traçadas isolinhas cujos valores correspondem à divisão em 3 *steps* do seu *range* de valores (Figura 9).

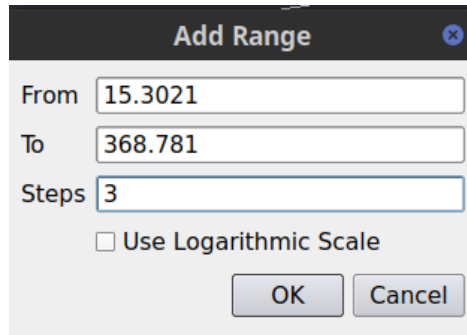


Figura 9 - Interface do ParaView para a introdução de isolinhas regularmente espaçadas ao longo dos valores do conjunto de dados.

Isto fez com que fossem traçadas isolinhas nos valores mínimo e máximo de cada plano, assim como no seu valor central. Porém, como os valores mínimo e máximo não tinham interesse para o propósito desta visualização, estes foram removidos e o valor central obtido em cada um dos planos foi copiado e inserido nos planos restantes. Desta forma, cada plano passou a apresentar 4 isolinhas com valores correspondentes ao valor central da taxa de regeneração de cada um dos 4 planos. Nesta visualização, os cortes previamente definidos sobre os planos foram representados sob a forma de outlines, para que fosse possível observar as isolinhas dos 4 planos em simultâneo e compará-las (Figura 10).

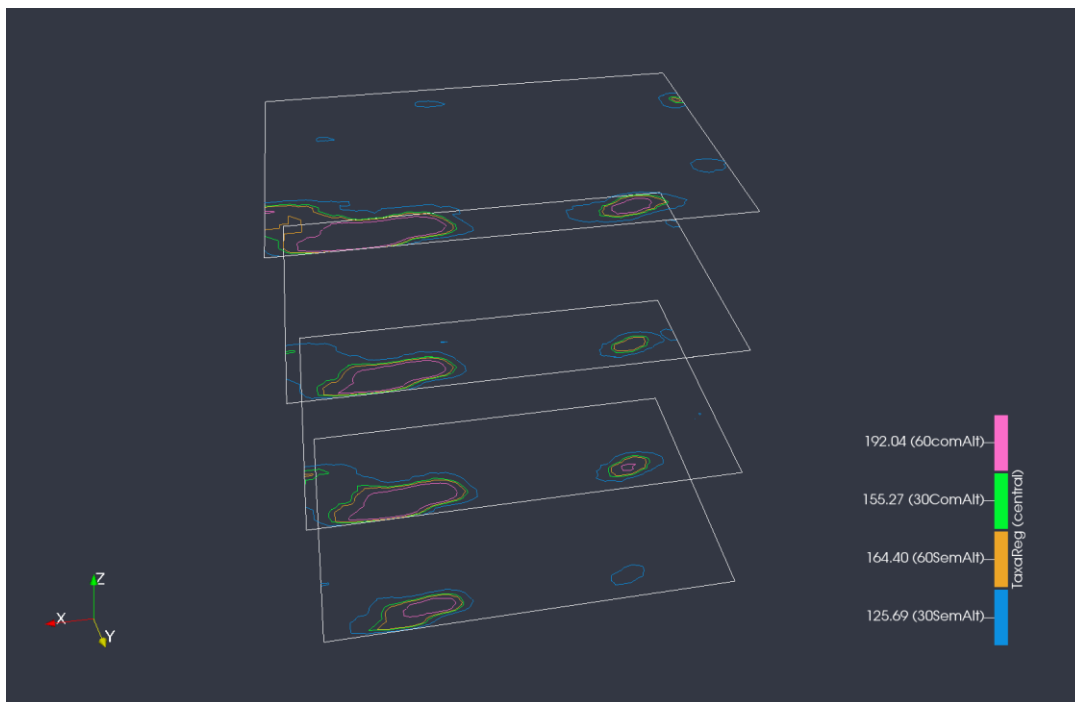


Figura 10 - Representação das isolinhas correspondentes ao valor central da Taxa de Regeneração dos quatro planos através da técnica de contouring.

O mapeamento de cores foi discretizado, para que o observador pudesse determinar de forma inequívoca que isolinha corresponde ao valor central de cada um dos planos (Figura 11).

Color Discretization		
<input checked="" type="checkbox"/> Discretize		
Number Of Table Values		4
Annotations		
	Value	Annotation
●	192.04155	192.04 (60comAlt)
●	155.2737	155.27 (30ComAlt)
●	164.405	164.40 (60SemAlt)
●	125.69475	125.69 (30SemAlt)

Figura 11 - Parametro de discretização das cores das isolinhas correspondentes ao valor central da taxa de regeneração dos diferentes planos.

Os valores da taxa de regeneração centrais e as suas proveniências foram também inseridos de forma explícita na legenda da Figura, para permitir a sua interpretação. É possível então verificar, por exemplo, que a linha azul corresponde ao valor de taxa de regeneração de 125.69, que é o valor de regeneração mediano do plano 1, correspondente ao período de 30 anos sem alterações globais.

Ao analisar esta representação torna-se bastante fácil de realizar uma análise comparativa entre os valores de regeneração de cada um dos cenários em estudo. Observando por exemplo a linha cor de rosa, que diz respeito ao valor central de regeneração ao fim de um período de 60 anos com os efeitos das alterações climáticas, é possível verificar que a isolinha correspondente a este valor ocupa uma área consideravelmente mais abrangente no plano superior quando comparado com os restantes, principalmente o primeiro plano (30 anos sem alterações) no qual esta linha se encontra circunscrita a uma área muito reduzida. É possível realizar o mesmo tipo de inferências com as restantes isolinhas, o que nos permite chegar à conclusão de que a passagem do tempo e a ocorrência de fenómenos de alterações climáticas podem estar associados a valores de taxa de regeneração de coberto vegetal mais altos ao longo da área em estudo.

De modo a facilitar ainda mais a comparação dos valores centrais das taxas de regeneração entre os diversos planos, é possível utilizar a função ‘contour’ no dataset completo, ao invés dos cortes individuais, e gerar isosuperfícies que conectam os pontos de valores semelhantes entre os vários planos do espaço tridimensional (Figura 12).

Assim, ao observar a variação da espessura das colunas formadas ao longo dos vários planos, podemos apreender facilmente várias informações quanto à variação das taxas de regeneração entre os mesmos. Por exemplo, as colunas representadas a azul, que correspondem ao valor de regeneração 125.69, podem ser vistas a diminuir consideravelmente de espessura entre o plano 4 (60 anos com alterações) e o plano 3 (30 anos com alterações), voltando a aumentar no plano 2 (60 anos sem alterações) e por vezes desaparecendo por completo no plano 1 (30 anos sem alterações), destacando assim o papel que um maior intervalo de tempo pode exercer sobre esta variável.

Tendo realizado a análise comparativa entre a taxa regeneração nos diversos planos, tentou-se de seguida realizar uma representação que permitisse verificar se as zonas de diferentes taxas de regeneração em cada plano estão a ser influenciadas por outras variáveis, tal como é o caso da altitude.

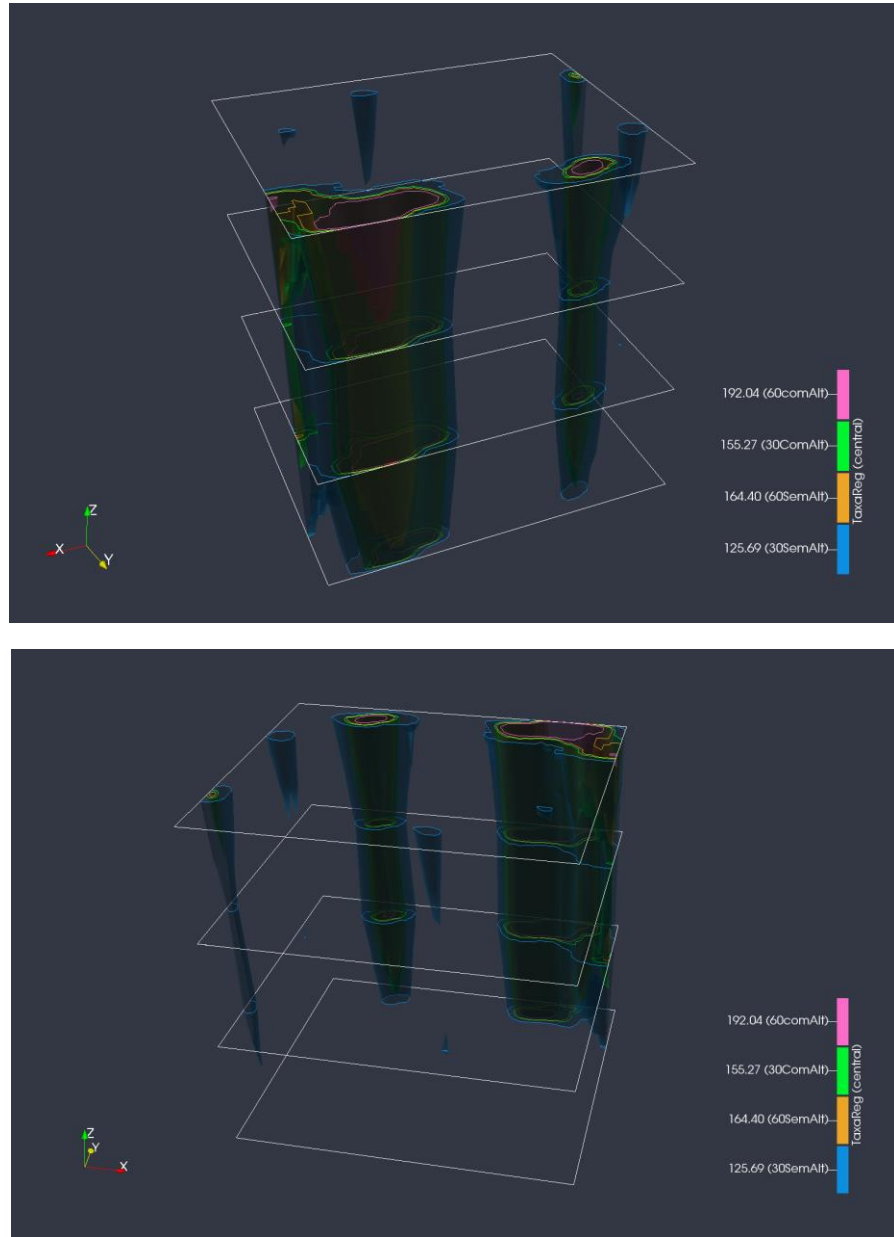


Figura 12 - Representação das isosuperfícies correspondentes ao valor central da taxa de regeneração dos quatro planos através da técnica de contouring.

3.3 Regeneração vs Altitude

De modo a representar a variável escalar altitude de uma forma intuitiva e que possa ser conciliada com a representação da variável Taxa de Regeneração, foi utilizada a função 'warp' para gerar um *carpet plot* em cada plano, no qual o plano é distorcido no sentido da sua normal em função do valor da variável escalar Altitude em cada ponto (Figura 13). Esta visualização é considerada das mais intuitivas, uma vez que os dados passam a apresentar uma conformação semelhante à que se verifica na realidade.



Figura 13 - Representação sob a forma de 'carpet plot' dos valores de altitude.

Porém, como as variações de altitude nesta região geográfica não são muito acentuadas, foi necessário aplicar um fator de escala de 1.5 sobre a distorção da superfície para que esta pudesse ser visualizada mais facilmente.

A representação dos *carpet plots* foi posteriormente combinada com o mapeamento de cor conforme a variável Taxa de Regeneração, de modo a se poder observar as duas variáveis em simultâneo (Figura 14). O esquema de cores utilizado para representar esta variável é semelhante ao anteriormente descrito na análise dos planos não distorcidos.

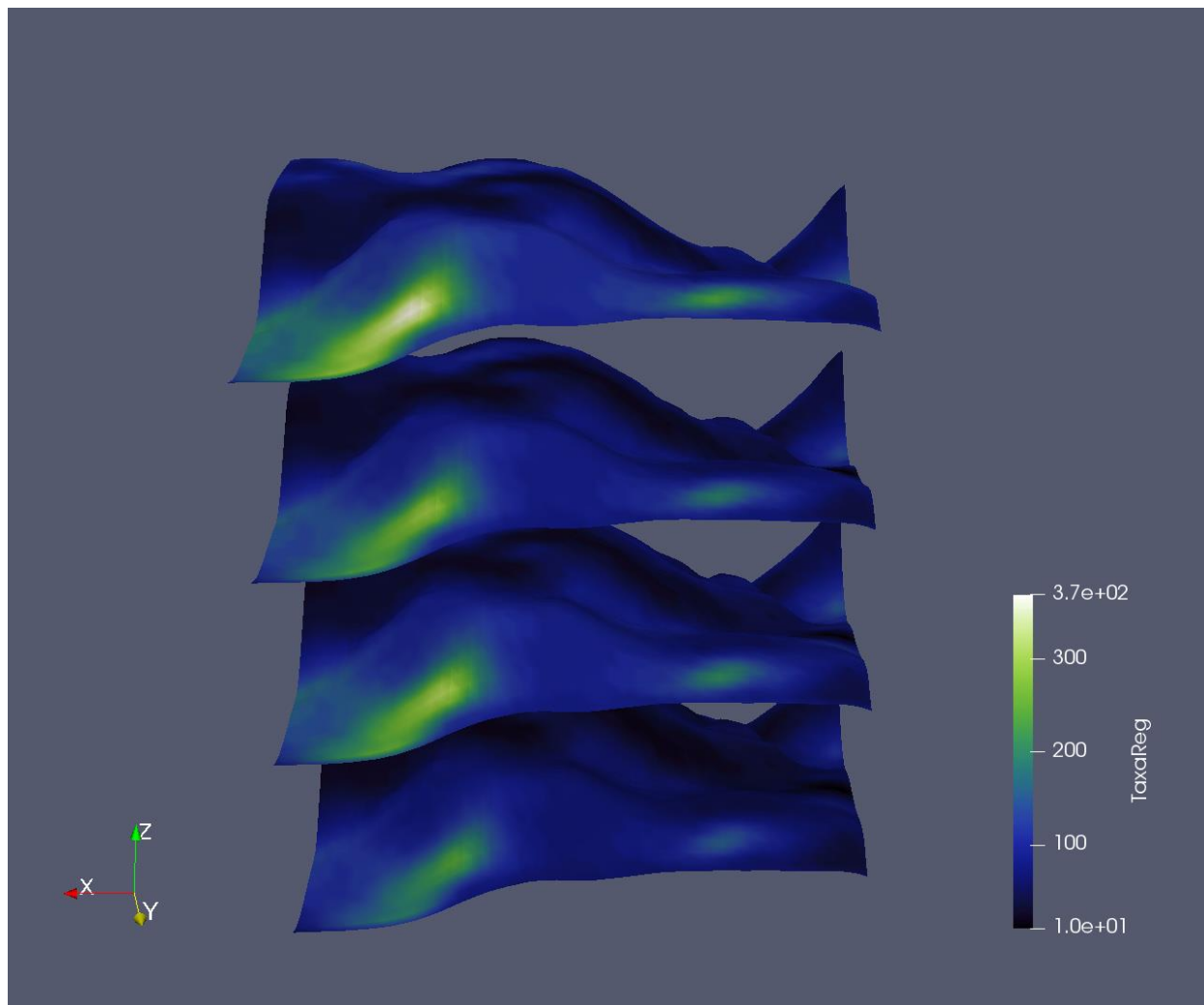


Figura 14 - Representação sob a forma de 'carpet plot' dos valores de altitude. Mapeamento de cor sob os planos distorcidos: azul escuro - taxa de regeneração mais baixa; verde claro - taxa de regeneração mais alta.

Por fim, uma vez que a observação desta visualização não permite saber com que valores de altitude se está a trabalhar, foram adicionadas isolinhas que unem os pontos de altitudes semelhantes de 50 em 50 metros (Figura 15).

Estas linhas para além de darem informação sobre os valores absolutos de altitude com os quais se está a trabalhar, permitem também ao observador perceber imediatamente quais os pontos do plano de distorção que se encontram à mesma altitude.

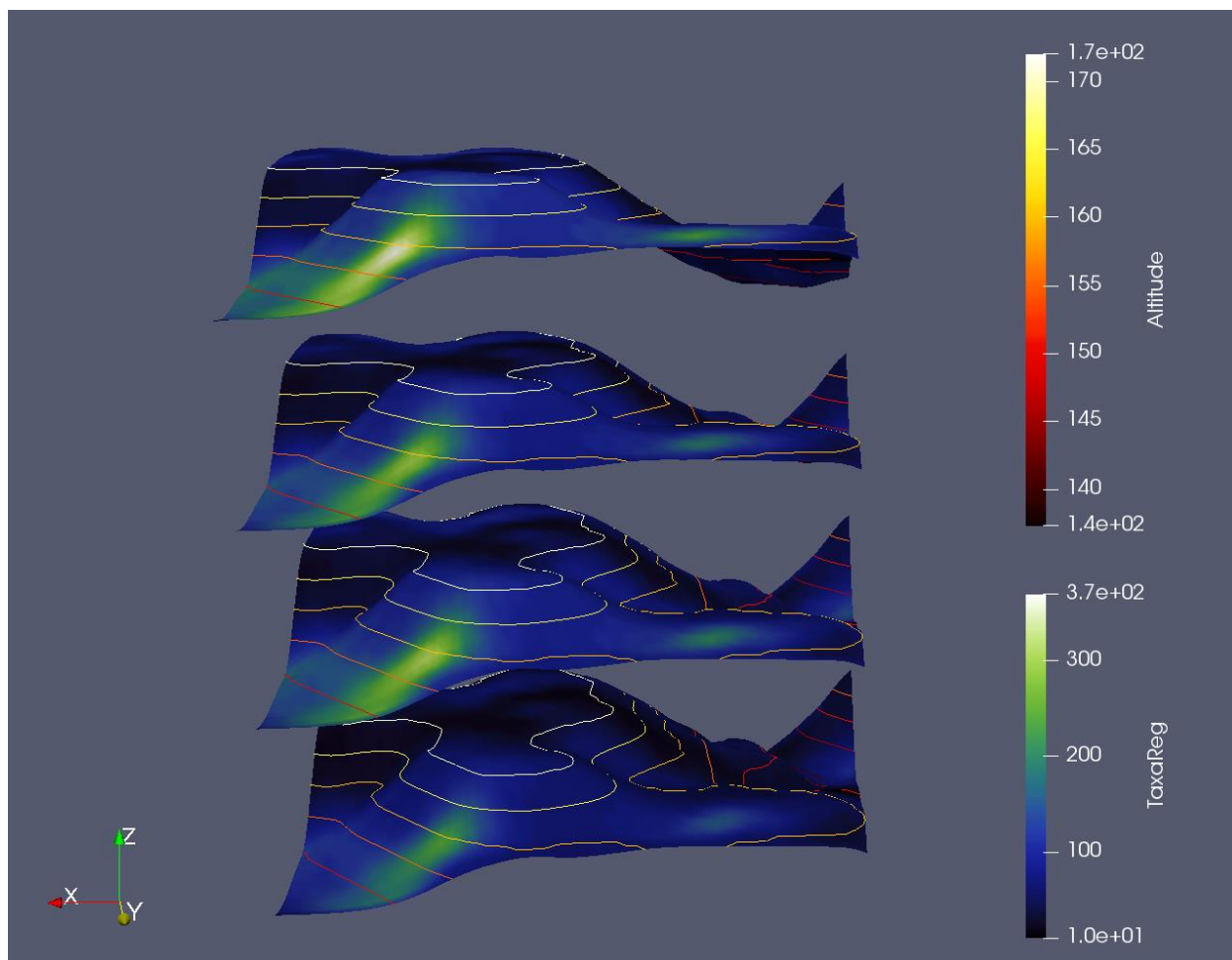


Figura 15 - Representação sob a forma de 'carpet plot' dos valores de altitude, com representação de isolinhas desta variável, de 50 em 50 metros. Mapeamento de cor redundante sobre as isolinhas: vermelho - altitude mais baixa; amarelo claro - altitudes mais elevadas. Mapeamento de cor sob os planos distorcidos: azul escuro - taxa de regeneração mais baixa; verde claro - taxa de regeneração mais alta.

Ao analisar esta representação, é possível compreender que as ligeiras diferenças de altitude verificadas ao longo da zona de estudo têm provavelmente pouca influência sobre as taxas de regeneração observadas, uma vez que as zonas de regeneração mais elevada (verdes) não se encontram distribuídas de forma uniforme entre isolinhas correspondentes a valores de altitude semelhantes (neste caso entre os 140 e os 160 metros). Por outro lado, é possível perceber que as zonas de regeneração elevada se encontram apenas na encosta com valores de xy mais elevados. Tendo em conta os dados cartográficos, apercebemo-nos de que esta encosta do relevo se encontra direccionada para nordeste, fazendo com que o seu tempo de exposição solar seja superior ao dos outros pontos da zona de estudo cujo relevo do terreno deixa encobertos pela sombra durante grande parte do dia. Assim, conclui-se que o tempo de exposição solar possa ter um peso superior ao da variação de altitude sobre a taxa de regeneração vegetal neste cenário.

3.4 Comparação de diferentes cenários

De modo a comparar de forma direta os vários cenários de regeneração previstos, foram utilizadas grandezas vetoriais, definidas no ficheiro VTK, cujos valores nos eixos dos xx e yy variam conforme os cenários das taxas de regeneração em comparação, enquanto que o eixo dos zz se mantém no valor 0.

Para visualizar as relações entre cenários, foram gerados *glyphs* em forma de seta sobre os pontos de cada plano. As direções dos *glyphs* no plano de coordenadas cartesianas indica-nos qual dos dois cenários em comparação apresenta os valores de taxa de regeneração mais elevados. Deste modo, sendo que a direção dos *glyphs* varia apenas conforme os eixos dos xx e yy , ao comparar o seu declive com uma reta de 45° de inclinação traçada sobre o plano xy , é possível analisar de forma intuitiva qual dos eixos apresenta um maior peso relativo, ou seja, uma maior tendência de regeneração.

A reta de 45° graus de inclinação utilizada foi gerada recorrendo a uma visualização do tipo *stream tracer*. As coordenadas de origem e destino da reta foram alteradas de modo a que a sua trajetória fosse equivalente à da diagonal de um quadrado (45°), ao invés da de um retângulo definido pela grelha de dados em estudo. Nestas representações foi usado um ‘color mapping’ para visualizar a magnitude do vetor representado por cada um dos *glyphs*, uma vez que se considerou este tipo de visualização como sendo mais preciso (por apresentar uma escala) e legível do que o típico método de representação usado nestas visualizações, que consiste na variação da dimensão dos *glyphs* conforme a sua magnitude.

A primeira imagem é relativa ao primeiro plano, cujos *glyphs* representados apresentam, segundo o eixo dos xx , os valores de taxa de regeneração ao fim de um período de 30 anos sem alterações climáticas e ao longo do eixo dos yy , a taxa de regeneração ao fim de 60 anos também sem alterações climáticas. Ao longo do eixo dos yy , a taxa de regeneração ao fim de 60 anos também sem alterações climáticas (Figura 16).

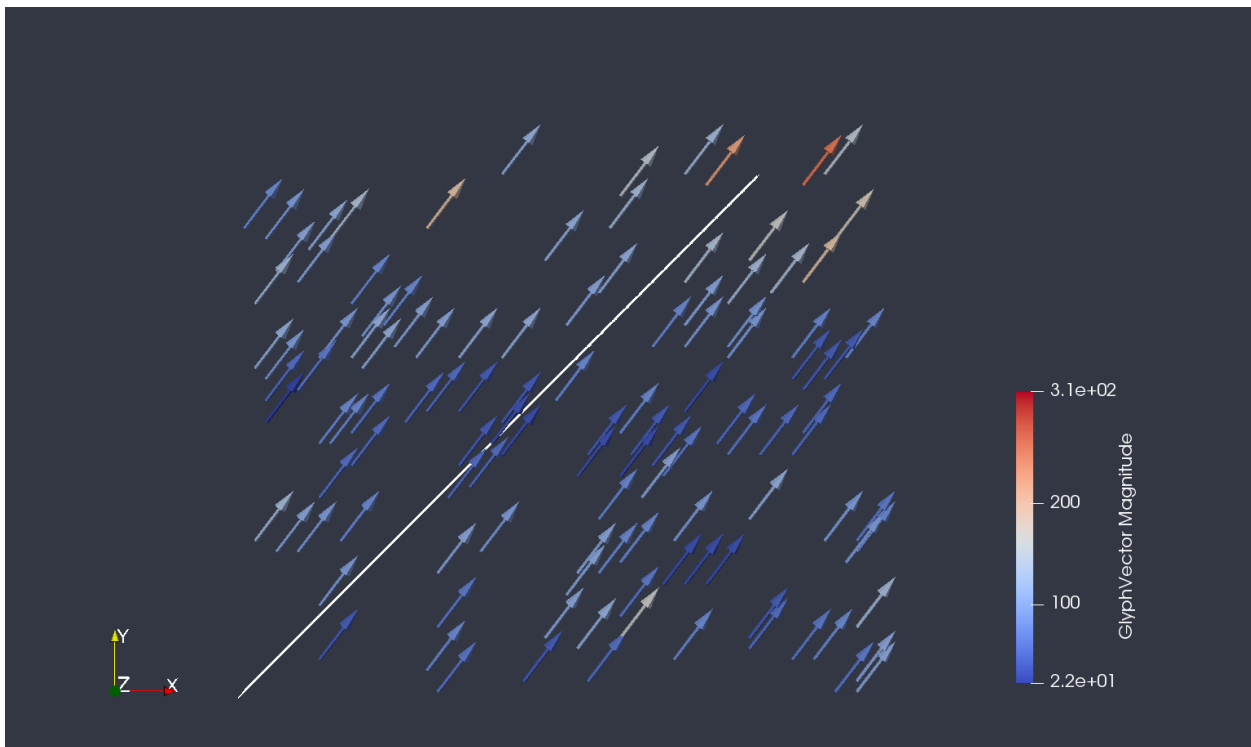


Figura 16 - Representação da variável vetorial Tendência de Regeneração sob a forma de glyphs direcionados com componentes vetoriais x,y correspondentes aos cenários de 30 anos sem alterações climáticas e 60 anos sem alterações climáticas.

Ao analisar esta representação, é possível verificar que a direção dos *glyphs* apresenta uma tendência no sentido do eixo dos yy. Apesar de ligeira, esta tendência é particularmente notória nos *glyphs* que se encontram junto à reta de declive de 45°. Esta tendência geral no sentido do eixo dos yy, indica-nos que os valores de taxa de regeneração ao fim de um período de 60 anos sem alterações climáticas são de um modo geral superiores aos valores de taxa de regeneração ao fim de um período de 30 anos sob as mesmas condições, o que seria expectável.

Já na segunda imagem, representada no terceiro plano, os *glyphs* representados apresentam segundo o eixo dos xx os valores de taxa de regeneração ao fim de um período de 30 anos com alterações climáticas e segundo o eixo dos yy, os valores de taxa de regeneração ao fim de um período de 60 anos com alterações climáticas (Figura 17).

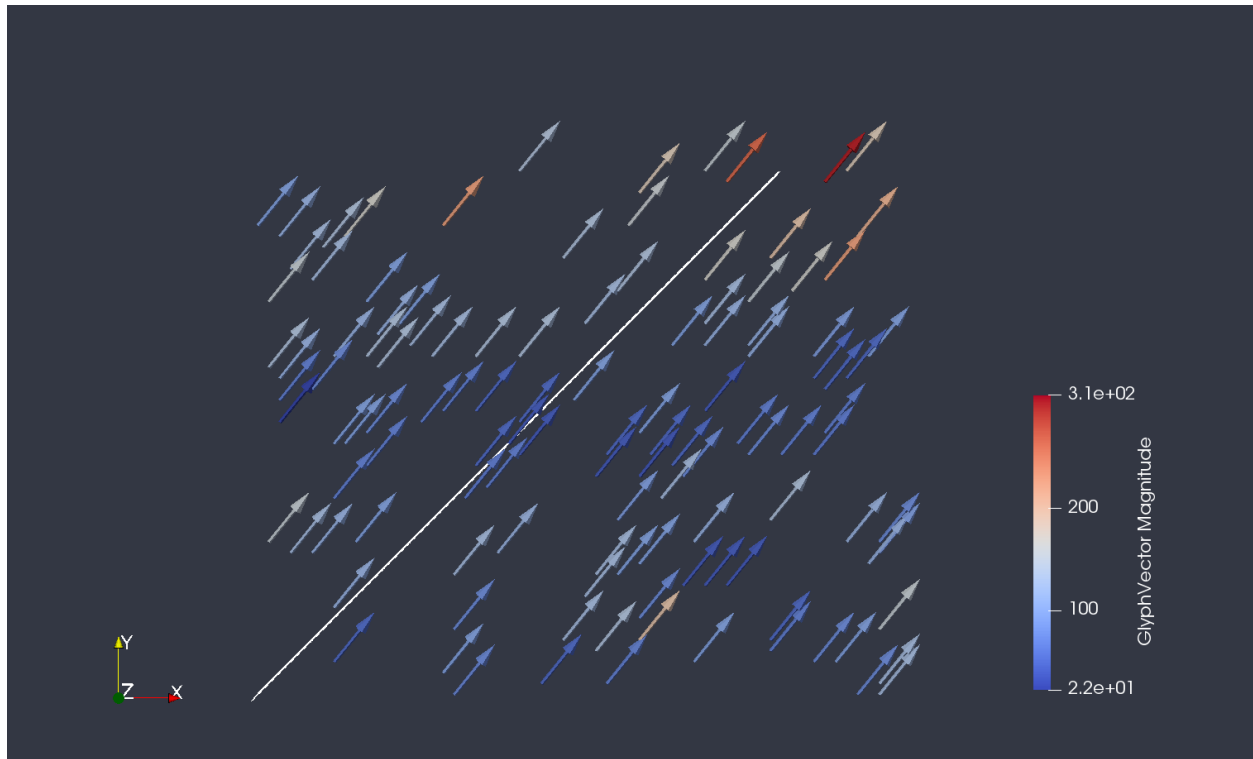


Figura 17- Representação da variável vetorial *Tendência de Regeneração* sob a forma de *glyphs* direcionados com componentes vetoriais *x,y* correspondentes aos cenários de 30 anos com alterações climáticas e 60 anos com alterações climáticas.

À semelhança da visualização anterior, verifica-se novamente uma tendência na direção dos *glyphs* no sentido do eixo dos *yy*, o que nos indica que na presença de alterações climáticas, a tendência do aumento da taxa de regeneração vegetal ao longo do tempo mantém-se.

Por fim, foi efetuada, sobre o quarto plano, uma visualização na qual se comparam taxas de regeneração ao fim de um período de tempo semelhante (60 anos), mas neste caso sob diferentes cenários. Os valores do eixo dos *xx* correspondem às taxas de regeneração sem alterações climáticas, enquanto que os valores no eixo dos *yy* correspondem ao cenário com alterações climáticas (Figura 18).

Esta visualização, é muito semelhante às anteriores, o que nos permite concluir novamente uma maior influência dos valores no eixo dos *yy*, o que indica que ao fim de períodos de tempo

semelhantes a taxa de regeneração será mais alta na presença de fenómenos de alterações climáticas.

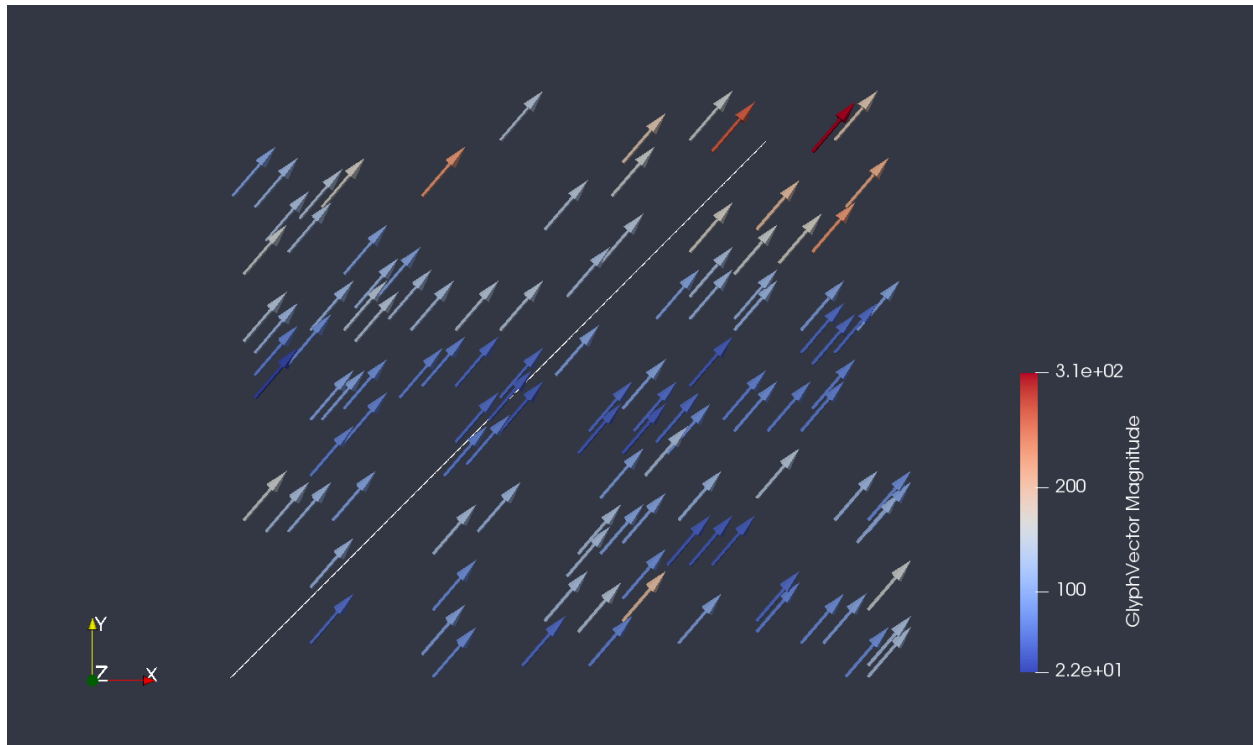


Figura 18 - Representação da variável vetorial Tendência de Regeneração sob a forma de glyphs direcionados com componentes vetoriais x,y correspondentes aos cenários de 60 anos sem alterações climáticas e 60 anos com alterações climáticas.

Para além das conclusões diretas retiradas a partir da direção dos *glyphs* representados em cada visualização, é também possível observar através da comparação da Figura 16 com a Figura 17, que a taxa de regeneração aumenta de forma mais significativa, no mesmo período temporal, quando na ausência de alterações climáticas. Isto depreende-se do facto da inclinação dos *glyphs* representados na Figura 16 ser ligeiramente mais acentuada do que os da Figura 17. No entanto, tanto a Figura 16 como a 17, apresentam *glyphs* de inclinação bastante superior aos verificados no cenário da Figura 18, indicando que o fator temporal tem um efeito sobre a taxa de regeneração consideravelmente superior ao da presença ou ausência de alterações climáticas.

3.5 Representação alternativa

Por fim, foi proposto um método de visualização alternativo para visualizar em simultâneo as variáveis escalares Altitude e Taxa de Regeneração e a forma como estas se relacionam. Este método de visualização consistiu na criação de *glyphs* esféricos distribuídos de forma uniforme em 15000 sample points. Para cada um destes *glyphs* foram feitos variar 2 parâmetros: cor e dimensão. O mapeamento de cor foi realizado com base na altitude do ponto sobre o qual é representado o *glyph* e consiste numa escala redundante de vermelho e amarelo com luminosidade variável, na qual os valores de altitude mais elevados se encontram associados às cores mais escuras. Já a dimensão de cada uma das esferas varia com a taxa de regeneração verificada no ponto correspondente, sob o efeito de um fator de escala de 0.2, de modo a tornar a visualização mais legível (Figura 19).

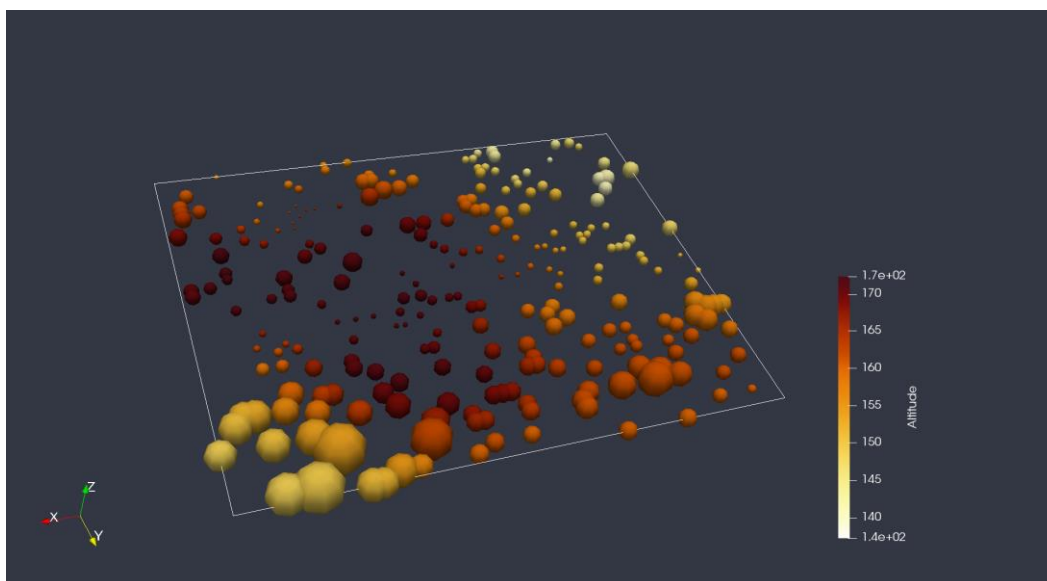


Figura 19 - Representação conjunta, sob a forma de *glyphs* esféricos, das variáveis escalares Taxa de Regeneração e Altitude de um plano. A dimensão das esferas aumenta com o aumento da taxa de regeneração, enquanto que a cor das mesmas varia com a altitude do pon

Esta visualização é bastante útil para inferir uma relação, ou neste caso falta dela, entre as variáveis altitude e taxa de regeneração, uma vez que é possível observar facilmente a existência de padrões nos dados. Ao analisar a Figura, verifica-se que os *glyphs* de maiores dimensões (maior taxa de regeneração) se encontram coloridos com cores mais claras (baixa altitude). No entanto, quando observadas as outras esferas que se encontram na mesma gama de cores mas no extremo oposto do plano de amostragem, verifica-se que estas apresentam dimensões reduzidas, comparáveis às das esferas centrais de luminosidade mais baixa. Esta visualização permite constatar facilmente que não existe nenhuma relação clara entre as duas variáveis e que as diferentes taxas de regeneração nos diferentes pontos da grelha devem estar dependentes de um terceiro fator, que poderá ser a exposição solar, como discutido anteriormente.

4. Conclusão

A utilização do *software* ParaView revelou-se bastante útil, permitindo a visualização e análise de um conjunto de dados científicos, distribuídos ao longo de uma grelha de pontos estruturada irregular, com dados para variações climáticas e temporais, armazenados sob a forma de grandezas escalares e vetoriais. As múltiplas funções de visualização disponíveis neste software permitiram realizar, sobre dados de natureza intrinsecamente complexa, diversas representações com qualidade de publicação, através das quais é possível realizar análises e tirar conclusões acerca do comportamento das variáveis em estudo. Através das diferentes técnicas de visualização utilizadas, foi possível verificar que os terrenos em que houve modificação das condições climáticas de acordo com o modelo usado pelo grupo de investigação do eChanges apresentaram maior taxa de regeneração comparativamente aos terrenos em que as condições climáticas se mantiveram iguais. Pudemos também visualizar, por exemplo com a utilização da ferramenta Animation View, a existência de uma tendência de crescimento da taxa de regeneração ao longo do tempo em ambas as situações (terrenos com alterações climáticas e sem alterações climáticas) e através da utilização de *carpet plots* e do *contouring* deduzir que os valores de regeneração associados a cada ponto dos planos não estão diretamente relacionados com a orografia dos terrenos mas sim com o período de exposição solar a que estão sujeitos.

5. Referências

Ahrens, J., Geveci, B., Law, C. 2005. ParaView: An End-User Tool for Large Data Visualization, Visualization Handbook, Elsevier, ISBN-13: 978-0123875822.

Príncipe, A., Nunes, A., Pinho, P., Rosário, L., Correa, O., Branquinho, C. 2014. Modeling the long-term natural regeneration potential of woodlands in semi-arid regions to guide restoration efforts. European Journal of Forest Research, Volume 133, Issue 4, pp 757–767.