

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



PADRÕES ESPACIAIS DA NEVE DURANTE O VERÃO NAS ÁREAS LIVRES DE GELO
DAS ILHAS SHETLANDS DO SUL (ANTÁRTIDA)

Inês de Breia Van Zeller Campos e Girão

Prof. Doutor Gonçalo Vieira

Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento

2015

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



PADRÕES ESPACIAIS DA NEVE DURANTE O VERÃO NAS ÁREAS LIVRES DE GELO
DAS ILHAS SHETLANDS DO SUL (ANTÁRTIDA)

Inês de Breia Van Zeller Campos e Girão

Prof. Doutor Gonçalo Vieira

Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento

2015

Aos meus pais, ao Rui e Miguel.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito de uma Bolsa de Investigação do projeto PERMANTAR-3 (Permafrost and Climate Change in the Antarctic Peninsula - PTDC/AAC-GLO/3908/2012) e contou ainda com o apoio do Programa Polar Português (PROPOLAR), TERRANTAR - Rede de estudos avançados em solos e permafrost na Antártica e alta montanha Sul Americana: monitoramento climático, teleconexões e dinâmica de carbono (MCTI/CNPq/FNDCT – Ação Transversal nº 64/2013 Brazil) e Long-Term Ecological Researches on King George Island to Predict Ecosystem Responses to Climate Change, PE14020, Korean Polar Research Institute.

RESUMO

PADRÕES ESPACIAIS DA NEVE DURANTE O VERÃO NAS ÁREAS LIVRES DE GELO DAS ILHAS SHETLANDS DO SUL (ANTÁRTIDA)

Inês Girão

Palavras-chaves: Neveiros; Detecção Remota; Modelação Espacial; Ilhas Shetland do Sul; Áreas livres de gelo

Os neveiros são mantos de neve, com área e espessura variáveis, que ocorrem em áreas não glaciadas e que perduram, habitualmente, durante o verão austral. Estas acumulações de neve resultam da conjugação de diversos fatores topoclimáticos e são uma importante fonte para a compreensão e análise das alterações climáticas e da sua influência na dinâmica geomorfológica (Christiansen, 1997).

O clima no arquipélago das ilhas Shetland do Sul, onde a temperatura média anual ao nível do mar ronda os -2°C e, no verão as médias mensais são positivas e a precipitação é frequente, favorece a fusão estival da neve nas áreas mais baixas. É nas áreas livres de gelo, que se observam de Dezembro a Abril, numerosos neveiros, sendo que alguns se mantêm durante todo o ano. A investigação efetuada na última década na Antártida Marítima demonstrou que os neveiros são fatores importantes para a dinâmica dos ecossistemas terrestres (Bockheim et al. 2013, Guglielmin et al. 2014, Goyanes et al. 2014, Vieira et al. 2014).

O objetivo deste trabalho consiste na identificação, quantificação e análise da influência dos fatores topoclimáticos na ocorrência e distribuição da neve durante o verão. Os procedimentos necessários para a concretização deste objetivo assentaram, numa fase inicial, na análise e classificação de imagens de satélite de alta resolução das penínsulas de Fildes, Barton e Weaver (Ilha King George), Byers e Hurd (ilha Livingston) e da Ilha Deception. A primeira etapa, referente à classificação das imagens de satélite, consistiu na identificação e posterior classificação de neve e na avaliação da precisão dessa mesma classificação, através de testes estatísticos. Numa segunda etapa aplicaram-se técnicas de análise espacial utilizando variáveis modeladas a partir dos modelos digitais de elevação (i.e. altimetria, declive, curvatura, radiação solar e exposição ao vento). A determinação da importância das diferentes variáveis foi assegurada pela aplicação de testes estatísticos. Esta metodologia permitiu construir modelos espaciais, recorrendo à regressão logística e ao valor informativo, com o desiderato de mapear a suscetibilidade à ocorrência de neveiros em cada uma das áreas de pormenor. Os resultados finais consistem nos mapas e modelos de suscetibilidade à de neveiros para cada

local que permitem, com a sua elaboração, a identificação dos fatores que condicionam a sua ocorrência.

A análise dos dados estatísticos e dos resultados dos modelos de suscetibilidade destacaram a altimetria (altitude elevada), declives (moderados a acentuados) e a exposição das vertentes (sul e sudeste) como as variáveis que, independentemente da área pormenor e do método, demonstraram maior influência na manutenção da neve no solo. O peso das restantes varia consoante o método e, sobretudo, a área pormenor.

Os resultados dos métodos estatísticos, obtidos nas taxas de sucesso e predição, revelam-se próximos e bastante satisfatórios para todas as áreas pormenor à exceção da Península Barton, Weaver e ilha Deception.

ABSTRACT

SPATIAL PATTERN OF SNOW DURING MELTING SEASON IN ICE FREE AREAS OF SOUTH SHETLAND ISLANDS (ANTARCTICA)

Keywords: Snowpatches; Remote sensing; spatial modelling; South Shetland Islands; Ice free areas.

Snowpatches are late lying mantles of snow cover occurring outside glacier areas and that are frequently pervasive during the summer season. They normally occur as a result of various topoclimatic factors (e.g. concavities, lee effects, shadow effects, etc.) and their occurrence provides an important source of information regarding climate change and geomorphological processes induced by snow (Christiansen, 1997).

The climate of the South Shetlands archipelago, with mean annual air temperatures of -2°C at sea-level and summers showing mean monthly temperatures above freezing, with frequent rainfalls, favours the development of snow free areas normally at low altitude, where snow patches are frequent from December to April, many of them showing a perennial presence. Research conducted in the previous decade in the Maritime Antarctic has shown that snow patches are very important factors for the natural system dynamics and especially for permafrost (e.g. Bockheim et al. 2013, Guglielmin et al. 2014, Goyanes et al. 2014, Vieira et al. 2014).

Given this framework, the objective is identifying, quantifying and analysing the influence of topoclimatic factors on the occurrence and distribution of snow in the summer season. The research is based on the classification and analysis of high resolution multispectral remote sensing imagery from Fildes and Barton Peninsula (King George Island), Hurd and Byers Peninsula (Livingston Island) and Deception Island. The imagery is classified for snow patch detection and different classification algorithms are tested for accuracy. The second step consists on applying spatial analysis techniques using variables derived from digital elevation models (i.e. altimetry, slope, aspect, curvature, hillshade, global radiation). The influence of the different variables is assessed through exploratory statistical analysis and discussed according to local factors of each ice-free area and snow melt conditions preceding image acquisition. This approach allows the development of spatial modelling (e.g. logistical regression and informative value) aiming at mapping the probability of occurrence of snowpatches.

The analysis of statistical data and the results of susceptibility models highlighted the altitude (high altitude), slopes (moderate to high) and exposure of the slopes (south and

southeast) as the variables that regardless of the study area and method, demonstrated greater influence in maintaining snow on the ground. The weight of the remaining variables varies depending on the method and especially on the study area.

The results of statistical methods obtained in the success and prediction rates, are close and satisfactory for all areas, except for Barton Peninsula, Weaver and Deception Island.

ÍNDICE GERAL

	Pág.
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE QUADROS	XVI
AGRADECIMENTOS	XIX
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	2
1.2 A importância da neve para a dinâmica das áreas livres de gelo nas regiões polares	4
1.3 Fatores condicionantes da presença de neve	6
CAPÍTULO 2 - QUADRO FÍSICO DAS ILHAS SHETLANDS DO SUL	9
2.1 Enquadramento geográfico das Ilhas Shetland do Sul	10
2.2 Clima	11
2.3 Enquadramento das áreas de pormenor	13
CAPÍTULO 3 - MÉTODOS E TÉCNICAS	28
3.1 Introdução	29
3.2 Dados	30
3.3 Classificação das Imagens de Satélite	32
3.4 Modelação Espacial dos fatores condicionantes	35
3.5 Análise Exploratória	40
3.6 Métodos Estatísticos para a Modelação da Suscetibilidade	41
3.6.1 Classificação das variáveis utilizadas na modelação	42
3.6.2 Regressão Logística	43
3.6.3 Valor Informativo	44
3.6.4 Validação dos modelos	46
3.6.5 Classificação dos mapas de suscetibilidade	48
CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA NEVE	49
4.1 Introdução	50
4.2 A neve na Península Fildes no dia 21/02/2006	52
4.2.1 A distribuição espacial da neve	52
	IX

4.2.2	Análise Exploratória dos fatores condicionantes	54
4.2.3	Conclusão	56
4.3	A neve nas Penínsulas Barton e Weaver no dia 26/01/2003	59
4.3.1	A distribuição espacial da neve	59
4.3.2	Análise Exploratória dos fatores condicionantes	60
4.3.3	Conclusão	62
4.4	A neve na Península Byers no dia 02/02/2011	64
4.4.1	A distribuição espacial da neve	64
4.4.2	Análise Exploratória dos fatores condicionantes	65
4.4.3	Conclusão	67
4.5	A neve na Península Hurd no dia 03/02/2007	69
4.5.1	A distribuição espacial da neve	69
4.5.2	Análise Exploratória dos fatores condicionantes	70
4.5.3	Conclusão	72
4.6	A neve na Ilha Deception no dia 21/01/2003	74
4.6.1	A distribuição espacial da neve	74
4.6.2	Análise Exploratória dos fatores condicionantes	75
4.6.3	Conclusão	77
4.7	Conclusão	79
CAPÍTULO 5 - MODELAÇÃO ESPACIAL DA NEVE NO VERÃO		81
5.1	Introdução	82
5.2	Suscetibilidade à presença de neve no verão na Península Fildes	82
5.2.1	Análise do grau de associação entre fatores condicionantes	82
5.2.2	Modelos da regressão logística e valor informativo	83
5.2.3	Conclusão	90
5.3	Suscetibilidade à presença de neve no verão nas Penínsulas Barton e Weaver	91
5.3.1	Análise do grau de associação entre fatores condicionantes	91
5.3.2	Modelos da regressão logística e valor informativo	92
5.3.3	Conclusão	98
5.4	Suscetibilidade à presença de neve no verão na Península Byers	100
5.4.1	Análise do grau de associação entre fatores condicionantes	100
5.4.2	Modelos da regressão logística e valor informativo	100
5.4.3	Conclusão	107
5.5	Suscetibilidade à presença de neve no verão na Península Hurd	109

5.5.1 Análise do grau de associação entre fatores condicionantes	109
5.5.2 Modelos da regressão logística e valor informativo	109
5.5.3 Conclusão	116
5.6 Suscetibilidade à presença de neve no verão na Ilha Deception	118
5.6.1 Análise do grau de associação entre fatores condicionantes	118
5.6.2 Modelos da regressão logística e valor informativo	118
5.6.3 Conclusão	124
5.7 Conclusões	126
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO	130
BIBLIOGRAFIA	135

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 - Fluxos de massa e energia entre a neve, a atmosfera e o solo (Pomeroy e Brun, 2001).	5
Figura 1.2 - Fatores condicionantes da distribuição e características da neve.	6
Figura 1.3 – Efeito da altitude na temperatura e pressão atmosférica (elaborado com base em Mountain Meteorology, 2000)	7
Figura 1.4 - Exemplos de acumulação de neve; (1) Sulcos na Ilha Deception; (2) Concauidades na Ilha Deception; (3) Valeiros na Península Byers; e (4) Circo Glaciário na Península Hurd.	8
Figura 2.1 - Localização das áreas de pormenor nas ilhas Shetlands do Sul.	10
Figura 2.2 – Temperaturas médias mensais do ar na Base Antártica Bellingshausen (Ilha King George) (1990-2013, READER)	11
Figura 2.3 – Variação média mensal da velocidade do vento, na Base Antártica Bellingshausen (Ilha King George), para o período entre 1990 e 2013.	12
Figura 2.4 - Frequência mensal da direção do vento, na Base Antártica Bellingshausen (Ilha King George), para o período entre 1990 e 2013	12
Figura 2.5 - Neveiros na península Fildes	13
Figura 2.6 - Topografia da Península Fildes, sobre imagem Quickbird	14
Figura 2.7 – Modelos elaborados para a Península Fildes; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento; (G) Modelo da radiação global anual	15
Figura 2.8 - Neveiros na península Barton	16
Figura 2.9 – Topografia das Península Barton e Weaver, sobre imagem IKONOS-2	17
Figura 2.10 -Modelos elaborados para as Penínsulas Barton e Weaver; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento; (G) Modelo da radiação global anual	18
Figura 2.11 - Neveiros na península Byers (lado superior direito da imagem)	19
Figura 2.12 – Topografia da Península Byers, sobre imagem WorldView	20
Figura 2.13 - Modelos elaborados para a Península Byers; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E)	19

Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento;	
(G) Modelo da radiação global anual	21
Figura 2.14 - Neveiros na Península Hurd, próximos da base búlgara	22
Figura 2.15 – Topografia da Península Hurd, sobre imagem Quickbird	23
Figura 2.16 -Modelos elaborados para a Península Hurd; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento;	
(G) Modelo da radiação global anual	24
Figura 2.17 - Neveiros no setor Crater-Lake, Ilha Deception	25
Figura 2.18 - Topografia da Ilha Deception, sobre imagem Quickbird	26
Figura 2.19 -Modelos elaborados para a Península Hurd; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento;	
(G) Modelo da radiação global anual	27
Figura 3.1 - Etapas desenvolvidas para o estudo da neve nas ilhas Shetlands do Sul.	29
Figura 3.2 - Geometria das distorções causadas pelo relevo na imagem	31
Figura 4.1 - Distribuição espacial da neve a 21/02/2006, na Península Fildes	54
Figura 4.2 - Distribuição espacial da neve a 26/01/2003, nas Penínsulas Barton e Weaver	60
Figura 4.3 - Distribuição espacial da neve a 02/02/2011, na Península Byers	65
Figura 4.4 - Distribuição espacial da neve a 03/02/2007, na Península Hurd	70
Figura 4.5 - Distribuição espacial da neve a 21/01/2003, na Ilha Deception	75
Figura 5.1 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Península Fildes	84
Figura 5.2 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método do valor informativo, para a Península Fildes	85
Figura 5.3 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Península Fildes)	88
Figura 5.4 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Fildes, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo	88
Figura 5.5 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Fildes, elaboradas com base no método da regressão logística e no valor informativo	89

Figura 5.6 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para as Penínsulas Barton e Weaver	93
Figura 5.7 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método do valor informativo, para as Penínsulas Barton e Weaver	94
Figura 5.8 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Penínsulas Barton e Weaver)	97
Figura 5.9 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, nas Península Barton e Weaver, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo	97
Figura 5.10 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, nas Penínsulas Barton e Weaver, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo	98
Figura 5.11 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Península Byers	101
Figura 5.12 - Modelo de suscetibilidade à ocorrência de neve, baseado no método do valor informativo, para a Península Byers	102
Figura 5.13 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Península Byers)	105
Figura 5.14 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Byers, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo	106
Figura 5.15 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Byers, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo	107
Figura 5.16 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Península Hurd	110
Figura 5.17 - Modelo de suscetibilidade à ocorrência de neve, baseado no método do valor informativo, para a Península Hurd	111
Figura 5.18 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Península Hurd)	114
Figura 5.19 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Hurd, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo	115
Figura 5.20 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Hurd, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo	116
Figura 5.21 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Ilha Deception	119

Figura 5.22 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método do valor informativo, para a Ilha Deception	120
Figura 5.23 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Ilha Deception)	123
Figura 5.24 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Ilha Deception, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo	123
Figura 5.25 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Ilha Deception, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo	124

ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
Quadro 3.1 - Características das imagens de satélites de alta resolução usadas para o estudo da neve	30
Quadro 4.1 - Caracterização térmica dos meses antecedentes e do mês da da imagem de satélite	51
Quadro 4.2 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Península Fildes	52
Quadro 4.3 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na Península Fildes	58
Quadro 4.4 - Matriz de confusão da classificação supervisionada das Penínsulas Barton e Weaver	59
Quadro 4.5 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve, nas Penínsulas Barton e Weaver	63
Quadro 4.6 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Península Byers	64
Quadro 4.7 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na Península Byers	68
Quadro 4.8 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Península Hurd	69
Quadro 4.9 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na Península Hurd	73
Quadro 4.10 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Ilha Deception	74
Quadro 4.11 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na ilha Deception	78
Quadro 4.12 – Principais fatores condicionantes da distribuição de neve nas áreas pormenor	80
Quadro 5.1 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Península Fildes	82
Quadro 5.2 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respectivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo na Península Fildes	83
Quadro 5.3 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Fildes (regressão logística)	86
Quadro 5.4 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Fildes (valor informativo)	87
Quadro 5.5 - Comparação das AUC entre os métodos estatísticos na modelação dos neveiros, para a Península Fildes	89
Quadro 5.6 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Península Fildes	91
	XVI

Quadro 5.7 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve nas Penínsulas Barton e Weaver	91
Quadro 5.8 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respectivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo nas Penínsulas Barton e Weaver	92
Quadro 5.9 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve, nas Penínsulas Barton e Weaver (regressão logística)	95
Quadro 5.10 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve nas Penínsulas Barton e Weaver (valor informativo)	96
Quadro 5.11 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para as Penínsulas Barton e Weaver	98
Quadro 5.12 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para as Penínsulas Barton e Weaver	99
Quadro 5.13 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Península Byers	100
Quadro 5.14 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respectivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo na Península Byers	103
Quadro 5.15 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Byers (método da regressão logística)	104
Quadro 5.16 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Byers (valor informativo)	104
Quadro 5.17 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para a Península Byers	106
Quadro 5.18 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Península Byers	108
Quadro 5.19 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Península Hurd	109
Quadro 5.20 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respectivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo na Península Hurd	112
Quadro 5.21 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Hurd (regressão logística)	113

Quadro 5.22 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Hurd (valor informativo)	114
Quadro 5.23 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para a Península Hurd	115
Quadro 5.24 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Península Hurd	117
Quadro 5.25 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Ilha Deception	118
Quadro 5.26 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respetivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo na Ilha Deception	121
Quadro 5.27 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Ilha Deception (regressão logística)	121
Quadro 5.28 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Ilha Deception (valor informativo)	122
Quadro 5.29 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para a Ilha Deception	124
Quadro 5.30 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Ilha Deception	125
Quadro 5.31 - Síntese das características das áreas de pormenor e dos resultados da modelação espacial da neve.	129

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação, não teria sido possível sem o envolvimento de várias pessoas a quem deixo aqui os meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Doutor Gonçalo Vieira, meu orientador, pelo enorme incentivo, apoio, supervisão, esclarecimentos, encorajamento e entusiasmo demonstrado no estudo destas temáticas, realmente motivador e desafiante. Não posso, também, deixar de agradecer a fantástica oportunidade proporcionada, de participar na campanha antártica relativa ao projeto, sobre o qual desenvolvo esta dissertação.

Ao Professor Doutor Jorge Rocha, pela sua permanente disponibilidade no esclarecimento e resolução de problemas metodológicos na área dos Sistemas de Informação Geográfica.

Ao Professor Doutor Eusébio Reis, pelo esclarecimento e orientação prestada em questões formais relacionados com a concretização da dissertação.

Ao Professor Doutor Mário Neves pela transmissão do seu vasto conhecimento sobre estas regiões.

À equipa da Base Antártica Espanhola Grabiél Castilla pela transmissão e partilha de conhecimentos e ensinamentos relevantes.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pela oportunidade de integração neste projeto e pelo apoio prestado a toda a investigação portuguesa que se tem vindo a desenvolver na Antártida.

A Kim Hyun-cheol e Carlos Shaefer pela disponibilização das imagens de satélite, de alta resolução, essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

À equipa do Centro de Estudos Geográficos pela partilha de saberes, apoio e boa convivência.

À minha família pelo apoio incondicional, motivação e encorajamento.

A todos, MUITO OBRIGADA!

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A importância dos estudos relacionados com a distribuição da neve, sobretudo daquela que permanece no solo durante o verão justifica-se pela sua forte influência na dinâmica geomorfológica, hidrológica e biológica (Christiansen, 1997; Revuelto *et al.*, 2014; Sepällä, 2007; Keller, 2000). A influência da neve depende de dois aspetos fundamentais: as suas propriedades físicas e o tempo de permanência na superfície. As propriedades físicas da neve determinam a troca de energia entre a superfície e a atmosfera (albedo, difusividade térmica, calor latente, rugosidade, emissividade e as características dielétricas). O tempo de permanência de neve à superfície influencia o fluxo e o armazenamento de água na criosfera, que, por sua vez, terá implicações no regime térmico do solo e na dinâmica dos processos geomorfológicos.

A presente dissertação visa o estudo de cinco áreas não-glaciadas do arquipélago das Shetland do Sul (Antártida Marítima): as penínsulas de Barton e Weaver (analisadas em conjunto), de Byers, de Fildes, de Hurd e a Ilha Deception. O arquipélago caracteriza-se pela sua elevada sensibilidade ambiental associada ao aumento das temperaturas atmosféricas (Turner *et al.*, 2005) e suas implicações na alteração das dinâmicas geomorfológica, hidrológica e biológica. O interesse nas áreas livres de gelo da Antártida tem vindo a aumentar como resultado da preocupação acerca dos impactes das alterações climáticas no *permafrost* e na evolução da paisagem e resposta dos ecossistemas (Vieira *et al.*, 2014).

Considerando o papel significativo da neve no entendimento dos processos que ocorrem à superfície, é de especial interesse a compreensão dos seus padrões de distribuição. Foi com base nesta premissa que se motivou esta dissertação que visa um conhecimento mais aprofundado das características topoclimáticas da área em estudo para uma melhor compreensão da influência das mesmas na distribuição da neve estival. Para a concretização deste objetivo o trabalho apoia-se na aplicação de metodologias de análise associadas à Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica.

A aplicação de técnicas de modelação espacial permitiu a elaboração de modelos da distribuição dos fatores condicionantes da distribuição da neve. Elaborou-se, inicialmente, o modelo digital do terreno que traduz a variação altitudinal de cada área, sendo derivados a partir deste os restantes fatores: declive, exposição das vertentes, curvatura da superfície,

índice de posicionamento topográfico, índice de exposição ao vento e radiação potencial global anual.

A distribuição espacial da neve de verão foi cartografada através de imagens de satélite de alta resolução estavais. Foram testadas várias técnicas de classificação supervisionada, tendo sido selecionado o método da máxima verossimilhança que se traduz no cálculo do valor de probabilidade que determinada célula tem de pertencer as classes pré-determinadas, permitindo a extração de informação quantitativa dos elementos da paisagem. A classificação gerada foi validada através de matrizes de confusão.

O cruzamento entre as áreas com neve e os fatores condicionantes permitiu uma análise exploratória inicial, com o objetivo de avaliar quais os fatores topoclimáticos que exercem maior influência na presença de neve em cada uma das áreas de estudo.

O estudo da distribuição da neve foi completado através da elaboração de modelos de suscetibilidade através de dois métodos estatísticos: a regressão logística (multivariado) e o valor informativo (bivariado). A qualidade dos modelos foi avaliada através de curvas de sucesso e de predição, sendo o nível de performance e predição dos modelos quantificado através do cálculo das Áreas Abaixo da Curva. Por último, procedeu-se à comparação entre os resultados obtidos com os dois métodos.

As conclusões do trabalho focam-se na identificação dos fatores condicionantes que melhor determinam a suscetibilidade à ocorrência de neve em cada área de pormenor, na comparação entre a qualidade dos métodos utilizados e numa análise acerca das principais diferenças entre as áreas de estudo. Tratando-se do primeiro trabalho realizado na região para o estudo da neve a uma escala de pormenor, e tendo apenas o âmbito de uma dissertação de mestrado, por motivos de tempo, não foi possível aprofundar alguns temas como gostaríamos. Apresentamos, por isso, várias propostas de caminhos a seguir, que certamente permitirão melhor aproveitar o potencial deste trabalho inicial.

1.2 A IMPORTÂNCIA DA NEVE PARA A DINÂMICA DAS ÁREAS LIVRES DE GELO NAS REGIÕES POLARES

A criosfera, um subsistema terrestre caracterizado pela presença de neve, gelo e permafrost detém um papel chave nas mudanças ambientais globais (Oreskes, 2004; Slaymaker, 2007; Anderegg et al., 2010). As regiões polares têm vindo a assumir importância significativa do ponto de vista ecológico, económico e geopolítico, pela sua particular vulnerabilidade aos efeitos das alterações climáticas e à influência que detém no sistema climático global.

O aquecimento global tem resultado em impactos mais significativos nas regiões polares, que evidenciam taxas de aquecimento mais rápidas do que outras regiões do planeta (Slaymaker, 2007; National Research Council, 2011). A Península Antártica revelou um aumento da temperatura média anual do ar na ordem dos 2,5°C nos últimos 50 anos (Turner *et al.*, 2009), cujos efeitos se traduzem no retrocesso de glaciares, em alterações no permafrost e nos biótopos, na redução de gelo marinho e na desintegração de plataformas de gelo (Bockheim *et al.*, 2013). A subida da temperatura promoveu, também, maior número de eventos de precipitação, sobretudo durante o Verão (Turner *et al.*, 2005).

O caso particular da Antártida assume importância científica inequívoca e o conhecimento das suas características e fenómenos naturais, permite esclarecer questões de relevância global, já que é um dos principais reguladores do sistema climático. Nesta região onde a neve é um elemento comum da paisagem, a sua importância no armazenamento de água, como reguladora de trocas energéticas e como agente erosivo é de especial relevância (Singh, 2011).

No que diz respeito à neve, como reguladora das trocas de calor, é possível definir três propriedades: armazenamento, proteção e isolamento (Slaymaker e Kelly, 2007). A neve armazena e liberta energia, uma vez que conserva a que resulta de processos de sublimação e fusão. Funciona também como camada protetora à radiação solar por refletir grande parte da radiação de onda curta e absorver radiação de onda longa. À medida que a neve começa a fundir a sua capacidade de reflexão vai diminuindo, devido à mudança das suas propriedades físicas. A radiação de onda curta não refletida é absorvida até 30 cm de profundidade nos neveiros. Desta forma, o comportamento da neve assemelha-se ao de um corpo negro sendo que a radiação de onda longa é absorvida e transformada em energia térmica que é posteriormente libertada num comprimento de onda, que depende da temperatura à

superfície do neveiro. Por fim, a neve funciona como isolante térmico, propriedade que pode originar fortes gradientes de temperatura no manto nival, com implicações na sua estrutura interna. A condutividade térmica da neve depende da sua densidade (associada ao tipo de cristais e volume de ar intersticial) e da quantidade de água, sendo considerada baixa comparativamente com a do solo (Slaymaker e Kelly, 2007). A figura 1.1 ilustra os fluxos de massa e energia inerentes à cobertura por neve e a sua relação com atmosfera e o solo. O gelo e a neve são reservatórios de água que influenciam profundamente o sistema hidrológico de um local.

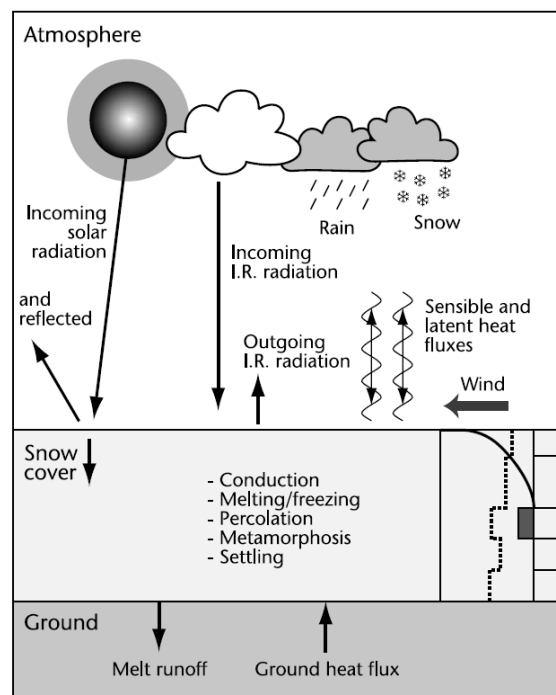


Figura 1.1 - Fluxos de massa e energia entre a neve, a atmosfera e o solo (Pomeroy e Brun, 2001).

A água resultante da fusão dos neveiros é um importante agente de transporte de sedimentos, dependendo a sua ação das características do solo subjacente. Os movimentos do manto nival que influenciam a erosão do solo dividem-se em deslizamentos (movimento lento da neve em superfícies suaves e húmidas) e avalanches (movimento acelerado da neve). Assim, a fusão e a movimentação da neve são fatores de importância na erosão (Konz *et al.*, 2009). Acresce ainda que a redistribuição da neve pelo vento promove a erosão através da corrasão causada pelos cristais de neve sobre as superfícies expostas (Hiemstra e Liston, 2011).

Considerando a interação da neve com a atmosfera verifica-se que esta é especialmente sensível a flutuações na temperatura e na precipitação (Slaymaker e Kelly, 2007). Schlosser *et al.* (2010) demonstraram que o aumento da temperatura promove os eventos de precipitação

na Antártida. Hamlet *et al.* observou que o aumento da temperatura, sobretudo no inverno, provoca a fusão de gelo e neve antecipada no oeste dos Estados Unidos. Estas alterações têm implicações a nível hidrológico, ecológico e geomorfológico. A fusão de neve e gelo resulta na diminuição do albedo, aumentando, por sua vez, a energia absorvida pelo solo que conseqüentemente promove mais fusão da neve e do solo gelado. Assim, a água de fusão promove a erosão e transporte de sedimentos e a gênese de modelado periglaciário associado.

1.3 FATORES CONDICIONANTES DA PRESENÇA DE NEVE

A distribuição da neve tem sido analisada por vários autores em regiões com características muito distintas. Gray (1978), Elder (1991), Pomeroy et al (1995), Keller et al (2000), Groffman *et al.* (2001), Plattner (2004), Revuelto *et al.* (2014), entre outros, abordam a importância do estudo da distribuição da neve. Estes salientam a importância de fatores condicionantes como a altitude, o declive, a exposição, as formas de relevo, o vento e a radiação solar (Figura 1.2).

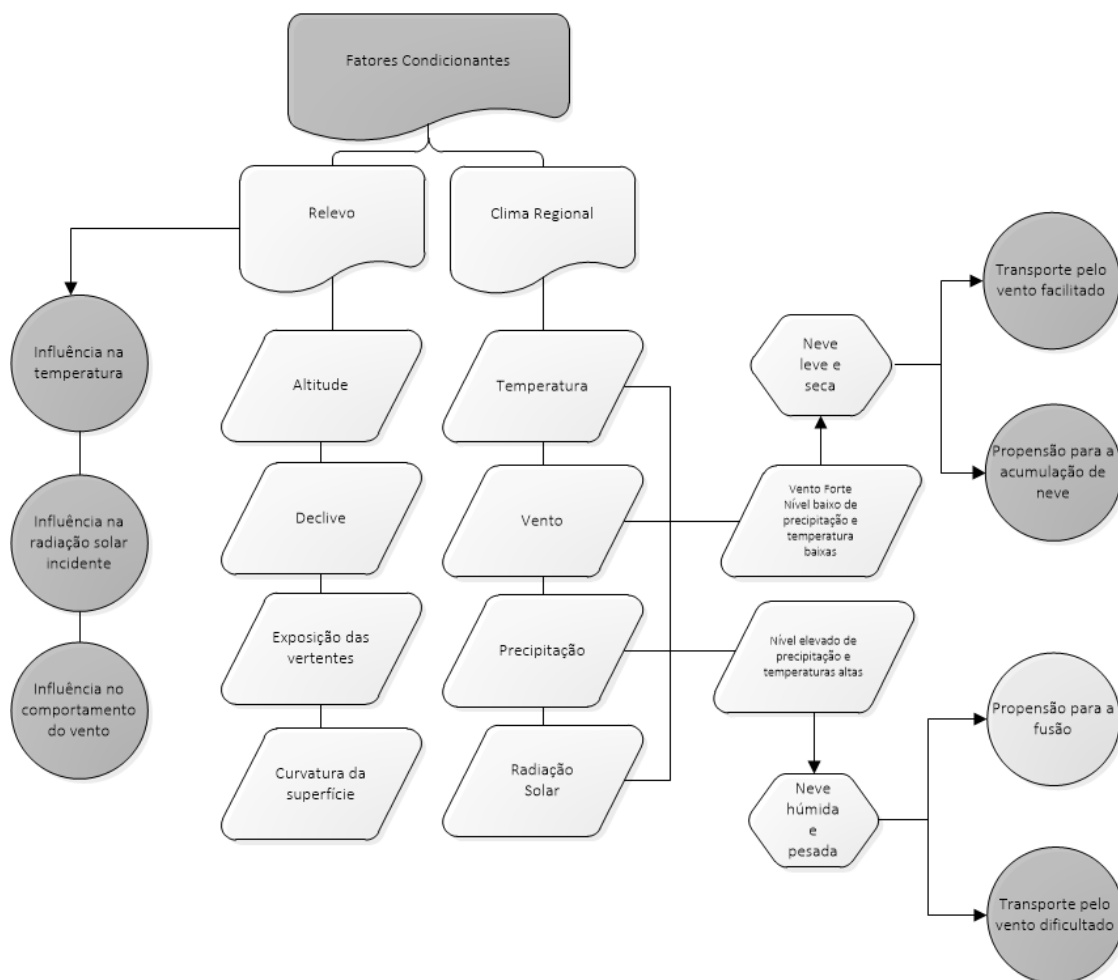


Figura 1.2 - Fatores condicionantes da distribuição e características da neve.

A altitude é uma variável que controla diretamente a temperatura do ar, a intensidade da radiação solar e a pressão atmosférica. Assim, com o aumento da altitude é promovida: a queda de precipitação em forma de neve, uma vez que a temperatura diminui; a diminuição da pressão atmosférica que influencia os processos de sublimação da neve, uma vez que a temperatura do ponto de ebulição diminui (Figura 1.3).

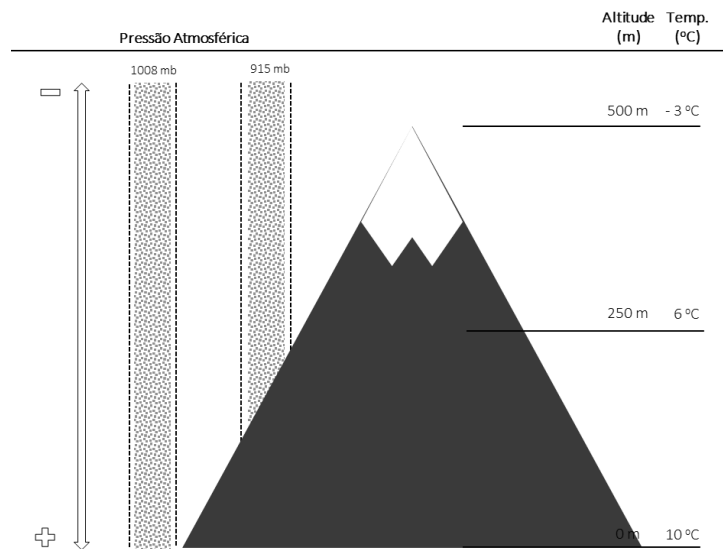


Figura 1.3 – Efeito da altitude na temperatura e pressão atmosférica (elaborado com base em Mountain Meteorology, 2000)

A variabilidade espacial da radiação recebida por uma superfície é controlada por três principais fatores (Böhner e Antonic, 2009): orientação da terra relativamente ao sol (latitude), condições atmosféricas e topografia. A orientação da terra define as estações do ano e o gradiente latitudinal de energia recebida. O segundo fator está associado à meteorologia local e ao clima. O terceiro, compreende a variação na altitude, declive, orientação e sombras, que promove diferenças na intensidade da radiação solar local, recebida por uma superfície.

Como referido, a exposição das vertentes desempenha um papel significativo na radiação potencial recebida pela superfície. No entanto, a energia recebida por uma superfície não depende, unicamente, da orientação da vertente, sendo a combinação desta e da sua inclinação que melhor determina os valores de radiação solar (Black, 1996). Desta forma, no hemisfério sul, as vertentes a altitude elevada com exposição entre noroeste e nordeste, com maior inclinação, são as que demonstram maior exposição à radiação solar.

Winstral *et al.* (2002), Thordarson (2002), Seppälä (2004) determinaram também que a deposição de neve é fortemente influenciada pelo vento, sendo que a sua redistribuição

através deste fator é típica das regiões polares e de montanha. Existem três tipos de transporte de neve: a) o transporte dos cristais em contacto com a superfície da neve (*creep*); b) a ascensão de partículas de neve e sua posterior queda com uma diminuta progressão no espaço (saltação); e c) o transporte em suspensão associado a ventos fortes (*turbulent diffusion*) (Haehnel *et al.*, 1993).

A deposição de neve pode ocorrer a sotavento de cristas que não apresentam qualquer depressão e em bacias abrigadas que constituem armadilhas. Quanto maiores forem as concavidades numa superfície, maior será a quantidade de neve possível de acumular. A neve pode-se também acumular em fraturas nas rochas, falhas e noutras depressões topográficas (Figura 1.3) (Seppälä, 2004).

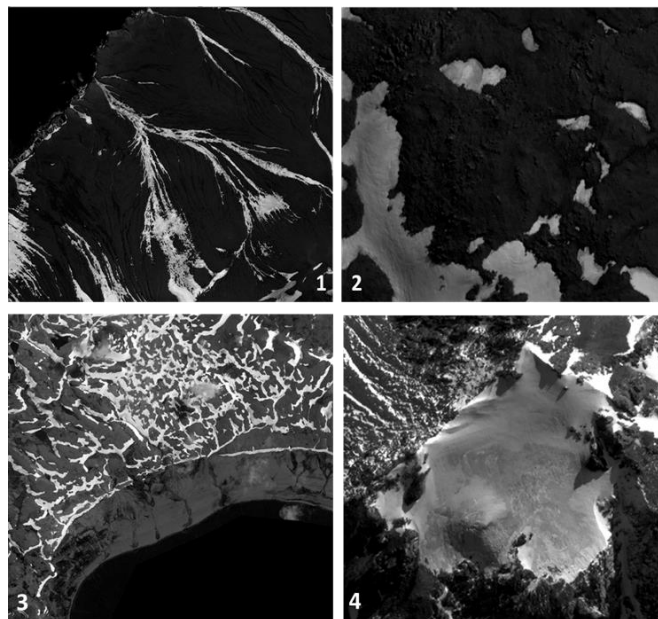


Figura 1.4 - Exemplos de acumulação de neve; (1) Sulcos na Ilha Deception; (2) Concavidades na Ilha Deception; (3) Valeiros na Península Byers; e (4) Circo Glaciário na Península Hurd.

As características topográficas de uma superfície podem ou não promover a deposição e permanência da neve. O estudo de fatores condicionantes que traduzam as formas de relevo e a curvatura das superfícies possibilita, assim, a compreensão da contribuição que estas detêm na presença e permanência de neve. A permanência desta em concavidades está associada à proteção do vento e à radiação solar, sobretudo se se demonstram declivosas e com alguma profundidade, dificultando, assim, o transporte.

CAPÍTULO 2

QUADRO FÍSICO DAS ILHAS SHETLANDS DO SUL

2.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DAS ILHAS SHETLAND DO SUL

O Arquipélago das ilhas Shetland do Sul integra treze ilhas que constituem o sector mais meridional do arco de Scotia e encontram-se separadas da Península Antártica pelo estreito de Bransfield. A estrutura meridional do arco de Scotia é demarcada por um limite de falhas transformantes, que se prolonga em direção a noroeste, sob a forma de uma crista submarina designada zona de fratura de Shackleton, na placa Drake. Esta é o resultado da subducção da placa oceânica em relação à Península Antártica, que deu origem a um rift (Estreito de Bransfield), ao longo do qual se alinham um conjunto de fossas. O arquipélago das ilhas Shetlands do Sul constitui uma plataforma topográfica que corresponde a um arco vulcânico relacionado com o processo de subducção (Sàbat *et al.*, 1992; Serrano, 2008; Martí, 2013).

Com uma extensão de 4700 km², o arquipélago localiza-se entre 61° 59' a 63°20' Sul e 57° 40' a 62° 45' Oeste, ao longo de 510 km. As ilhas de maior extensão são King George, onde se localiza a Península Fildes, a segunda maior área livre de gelo do arquipélago (60 km²) e Livingston, onde se localiza a maior área livre de gelo, a Península Byers (66 km²). Para além das penínsulas referidas, Barton (15 km²), Weaver (4 km²) e Hurd (27 km²) são também exemplos de áreas livres de gelo, tal como partes da ilha Deception (47 km²). Estas áreas são o objeto da análise dos padrões de distribuição da neve e fatores condicionantes neste trabalho.

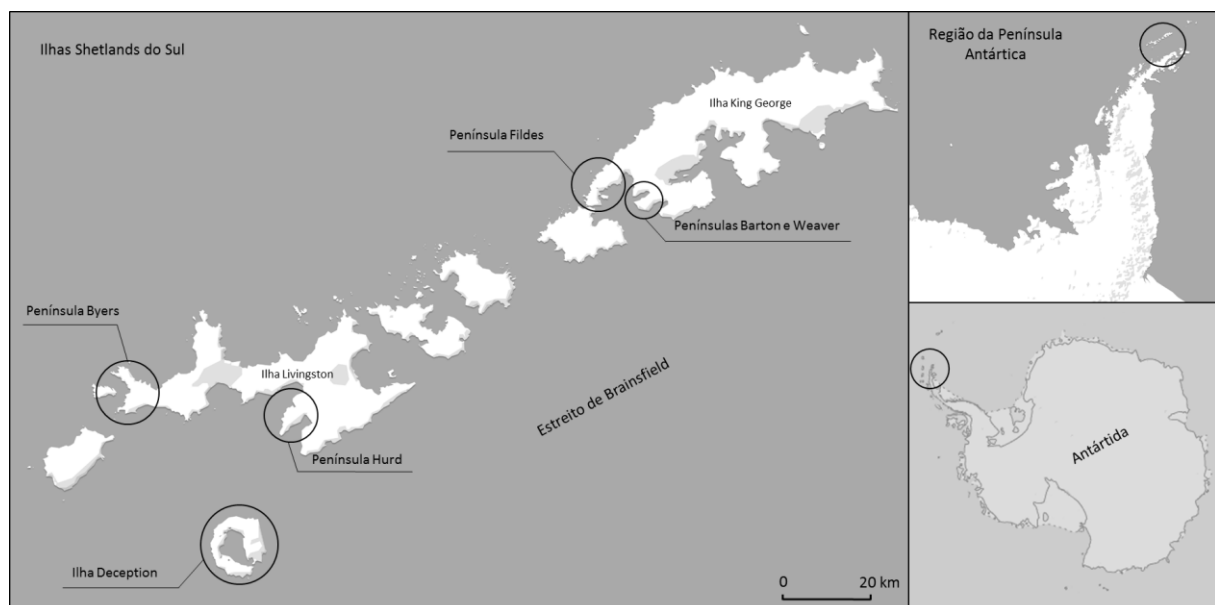


Figura 2.1 - Localização das áreas de pormenor nas ilhas Shetlands do Sul.

2.2 CLIMA

As ilhas Shetland do Sul situam-se na Antártida Marítima, conferindo-lhes um clima frio, húmido e oceânico. Neste arquipélago, as temperaturas médias anuais do ar ao nível do mar, rondam os -2°C e os -3°C e a amplitude térmica anual é moderada, variando entre 8 e 10°C . No Verão (Dezembro a Março) a temperatura média ultrapassa 0°C resultando na fusão da neve, em ciclos de descongelação e congelação e na existência de uma camada ativa (Serrano e López-Martínez, 2000). Segundo Serrano (2008) a precipitação anual varia entre 470 mm e 700 mm, sendo que no verão o valor médio ronda os 100 mm. A humidade relativa é elevada com valores típicos de 80 a 90 % no Verão. O mesmo autor considera que a região é caracterizada por um sistema morfoclimático frio e húmido, de natureza crionival, com relativa disponibilidade de água no verão (solo e atmosfera) e com frequentes ciclos de fusão e congelação, favorecendo a ocorrência de processos periglaciários (Serrano, 2000).

Os dados do projeto READER (Reference Antarctic Data for Environmental Research), para a Base Antártica de Bellingshausen situada na Península de Fildes (ilha de King George, $62^{\circ} 12' \text{ S}$, $58^{\circ} 56' \text{ W}$), que é aquela que na área de estudo apresenta um período mais longo de dados (1990-2013), permitem identificar as condições gerais do arquipélago.

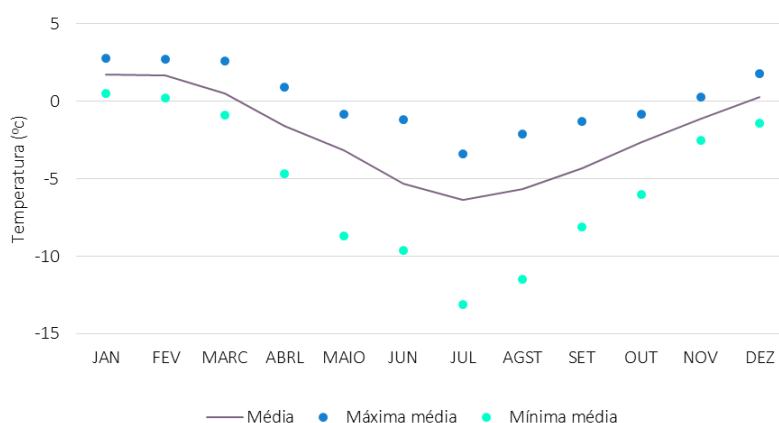


Figura 2.2 – Temperaturas médias mensais do ar na Base Antártica Bellingshausen (Ilha King George) (1990-2013, READER)

Segundo a série estudo as temperaturas médias anuais em Bellingshausen variam entre -3 e -1°C . Durante o período estival (Dezembro a Março) as temperaturas médias mensais oscilam entre $0,3$ e $1,7^{\circ}\text{C}$, sendo $2,8^{\circ}\text{C}$ o valor máximo absoluto registado (Janeiro de 1997), e $-1,4^{\circ}\text{C}$ o valor mínimo absoluto (Dezembro de 2003). Durante o Inverno a temperatura média

mensal variou entre -6,4 e -1,1 °C. O valor máximo absoluto registado durante este período, foi 0,9 °C em Abril de 1998 e o valor mínimo absoluto, -13 °C em Julho de 1995 (Figura 2.2).

No que concerne às médias mensais de velocidade do vento, os valores variaram entre 12,6 e 16,2 m/s, sendo nos meses do período de Primavera onde se verificam os valores mais elevados (Fig. 2.3). O valor médio máximo observado foi de 21,2 m/s em Outubro de 2001 e o mínimo, 9,6 m/s, em Dezembro de 1997.

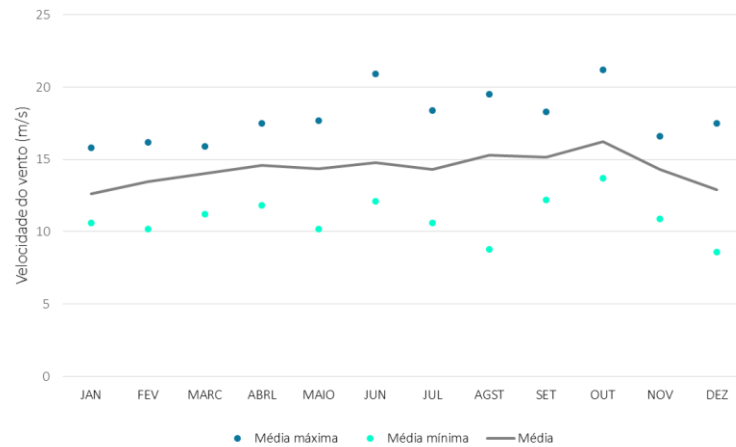


Figura 2.3 – Variação média mensal da velocidade do vento, na Base Antártica Bellingshausen (Ilha King George), para o período entre 1990 e 2013.

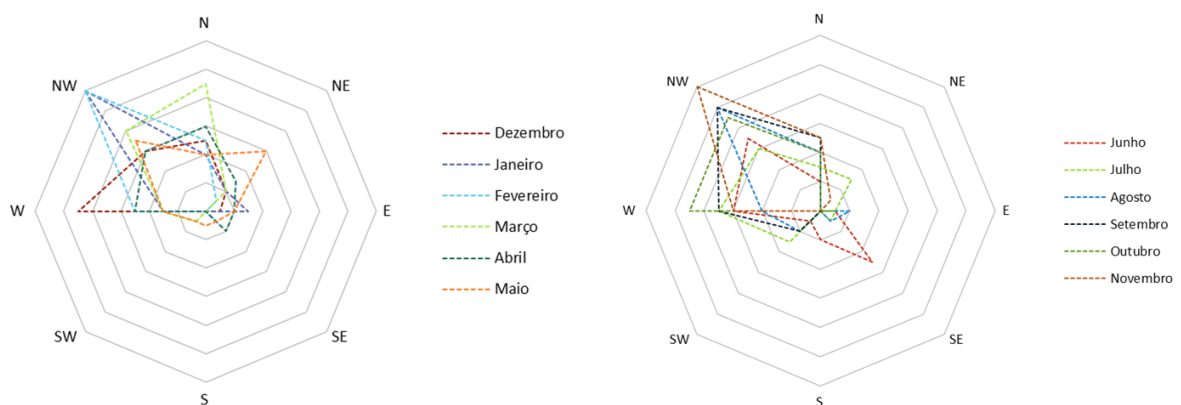


Figura 2.4 - Frequência mensal da direção do vento, na Base Antártica Bellingshausen (Ilha King George), para o período entre 1990 e 2013

No diz respeito à frequência mensal da direção do vento, no verão austral verifica-se maior frequência do quadrante noroeste, sobretudo em Janeiro e Fevereiro. Em Março observa-se uma tendência para maior predominância de ventos provenientes de Norte, sendo que em Dezembro esta é de Oeste. Abril e Maio apresentam um regime mais homogêneo, com maior frequência de ventos de Noroeste e Nordeste em Maio, e entre Norte e Noroeste em

Abril. Nos meses de inverno predomina o setor Noroeste. Em Junho, verifica-se maior frequência de ventos de noroeste, contudo constata-se um aumento da frequência de ventos provenientes de sudeste. Em Julho observa-se a prevalência de ventos provenientes de oeste. Em Agosto, Setembro, Outubro e Novembro verifica-se que setor Noroeste apresenta maior frequência, sendo que em Outubro o vento de Oeste apresenta, também, a mesma frequência.

2.3 ENQUADRAMENTO DAS ÁREAS DE PORMENOR

A. Península Fildes

A Península Fildes, localizada no sector sudoeste da ilha King George, é a maior área livre de gelo nesta ilha, ocupando aproximadamente 29 km² (Figuras 2.5 e 2.6). A sudeste da península encontra-se a ilha Ardley (1,2 km²). A península tem cerca de 8 km de comprimento e 3 km de largura e apresenta um relevo caracterizado por superfícies aplanadas (47% da área total) a altitudes inferiores a 50 m, que rodeiam duas elevadas plataformas vulcânicas: a Meseta norte (155 m) e a Meseta sul (167m). A Meseta norte é caracterizada por uma ligeira depressão no seu centro entre os 100 e 120 metros de altitude, sendo rodeada por vertentes escarpadas (Vieira, 2014; Michel, 2014). Na Meseta sul o relevo não é tão uniforme, na medida em que se observa a uma maior alternância de declives suaves e acentuados (Figura 2.7-B).



Fonte: Gonçalo Vieira

Figura 2.5 - Neveiros na península Fildes

Na Península Fildes, 70% da área total encontra-se abaixo dos 50 m de altitude e apresenta declives inferiores a 10°. Constata-se, através do modelo de declives (Figura 2.7-B) que os locais correspondentes a declives mais acentuados concentram-se em redor das Mesetas e na *Flat Top Peninsula*. Em Fildes verifica-se uma predominância de vertentes com uma exposição ao quadrante norte (38%) justificando o facto de 58% da área total integrar um índice de exposição ao vento elevado (IEV>1). Grande parte da península apresenta valores de radiação global elevados acima dos 2,02 GJ/m², sendo que os valores mais baixos se verificam em áreas de elevada declividade e de exposição ao quadrante sul.



Fonte: Digital Globe

Figura 2.6 - Topografia da Península Fildes, sobre imagem Quickbird

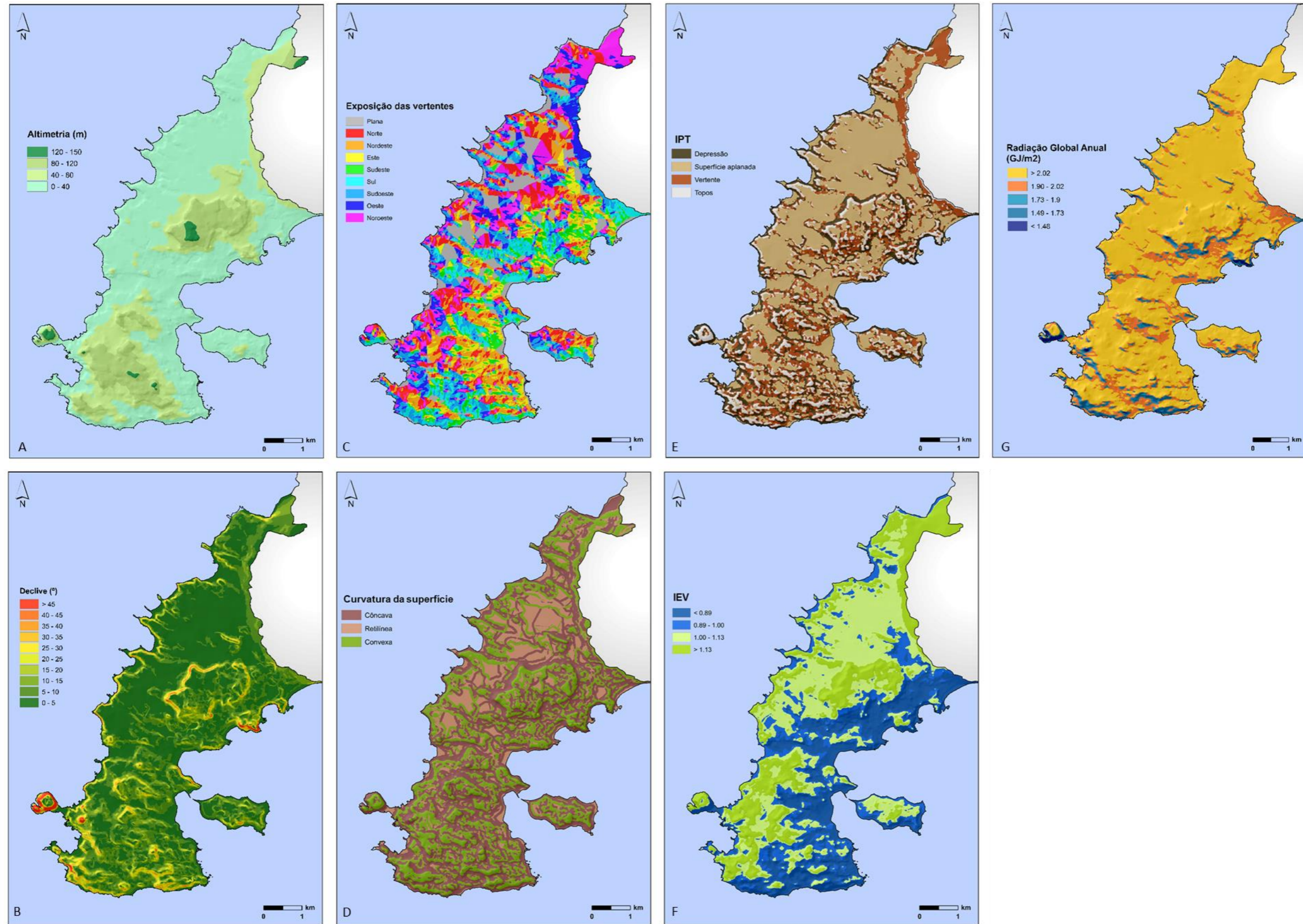


Figura 2.7 – Modelos elaborados para a Península Filizes; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento; (G) Modelo da radiação global anual

B. Penínsulas Barton e Weaver

As penínsulas Barton e Weaver (Figuras 2.8 e 2.9) localizam-se no sector sudoeste da ilha King George, separadas por *Marion Cove*. A Península Barton tem cerca de 4 km de largura e Weaver 1,3 km, ocupando, conjuntamente, cerca de 12 km² (Shin, 2014). A Península Barton é caracterizada por um setor central (90 a 180 metros) onde o relevo é caracterizado por vertentes de alguma extensão e de declive suave. O setor a noroeste é caracterizado por uma altitude mais elevada, que culmina em Noel Hill aos 266 metros de altitude, onde se observa a predominância de vertentes mais declivosas. Na península Weaver verifica-se a preponderância de vertentes de declives acentuados, nos limites da plataforma que se eleva relativamente à costa e nas depressões que se observam nessa plataforma.

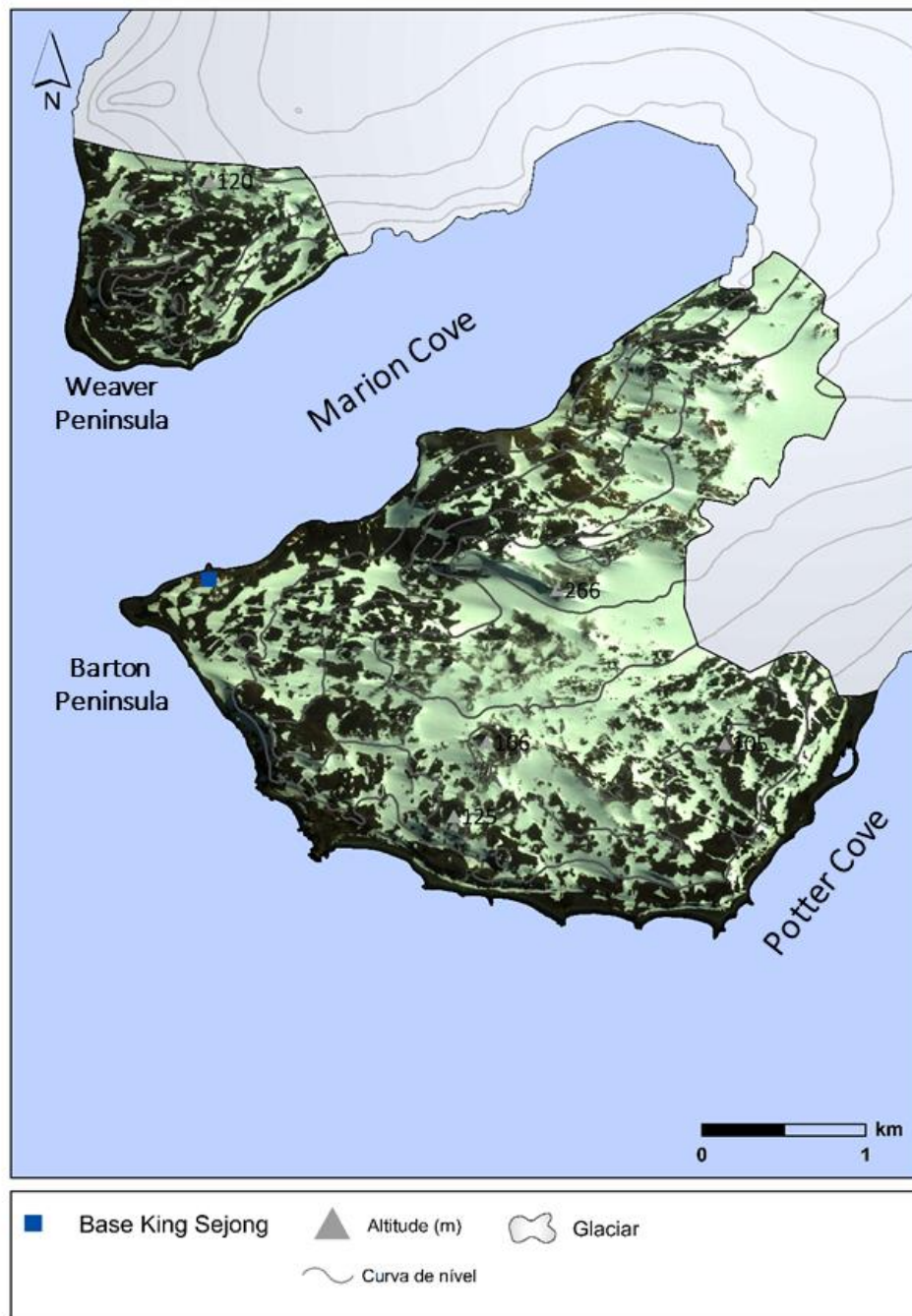


Fonte: Gonçalo Vieira

Figura 2.8 - Neveiros na península Barton

Nas Penínsulas de Barton e Weaver, cerca de 80% da área total corresponde a altitudes inferiores a 150 m (Figura 2.10-A). As penínsulas apresentam, essencialmente, declives suaves, com 72% da área inferiores a 15° (Figura 2.10-B). Os declives acentuados ocorrem, sobretudo, acima de 120 m de altitude. É nestes locais que se observa menor radiação solar incidente (< 1,73 GJ/m²), sendo que o resto das penínsulas integram classes de elevada radiação (>2,02 GJ/m²) (Figura 2.10-G). Relativamente à distribuição da exposição das vertentes, observa-se a

preponderância de vertentes expostas a sul (19%) e a noroeste (18%). Através da figura 2.10-C é possível observar que as vertentes de exposição ao quadrante norte representam locais de exposição elevada ao vento dominante de noroeste ($IEV > 1,00$), sendo que estas correspondem a 56% da área total.



Fonte: Digital Globe

Figura 2.9 – Topografia das Península Barton e Weaver, sobre imagem IKONOS-2

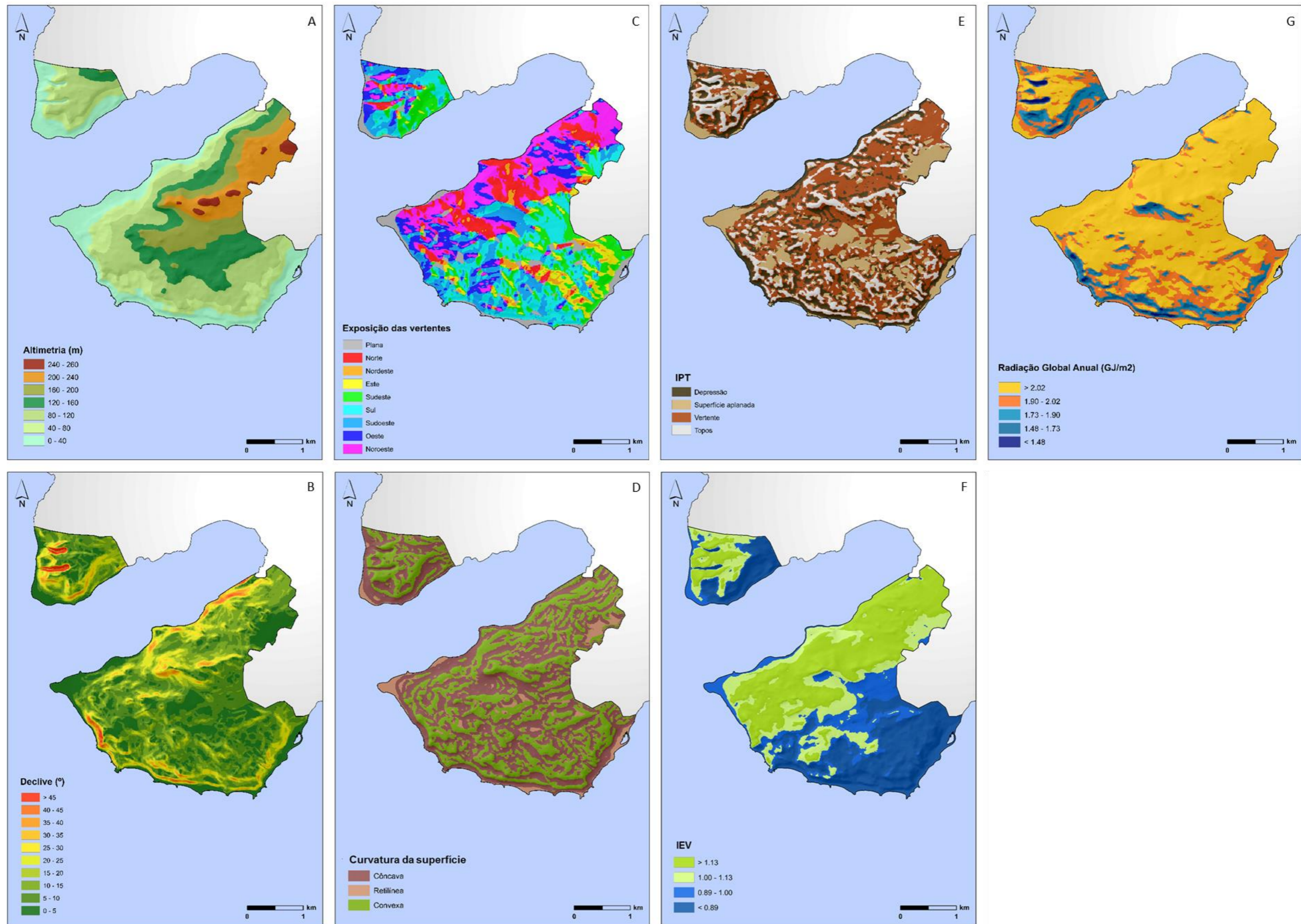


Figura 2.10 - Modelos elaborados para as Penínsulas Barton e Weaver; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento; (G) Modelo da radiação global anual

C. Península Byers

A Península Byers localiza-se no sector oeste da ilha Livingston, sendo a maior área livre de gelo do arquipélago, com aproximadamente 66,6 km². A largura da península é de aproximadamente 4km e o comprimento de cerca 8 km, podendo atingir 12 km de extensão considerando o ponto mais ocidental da península (Figura 2.11 e 2.12).

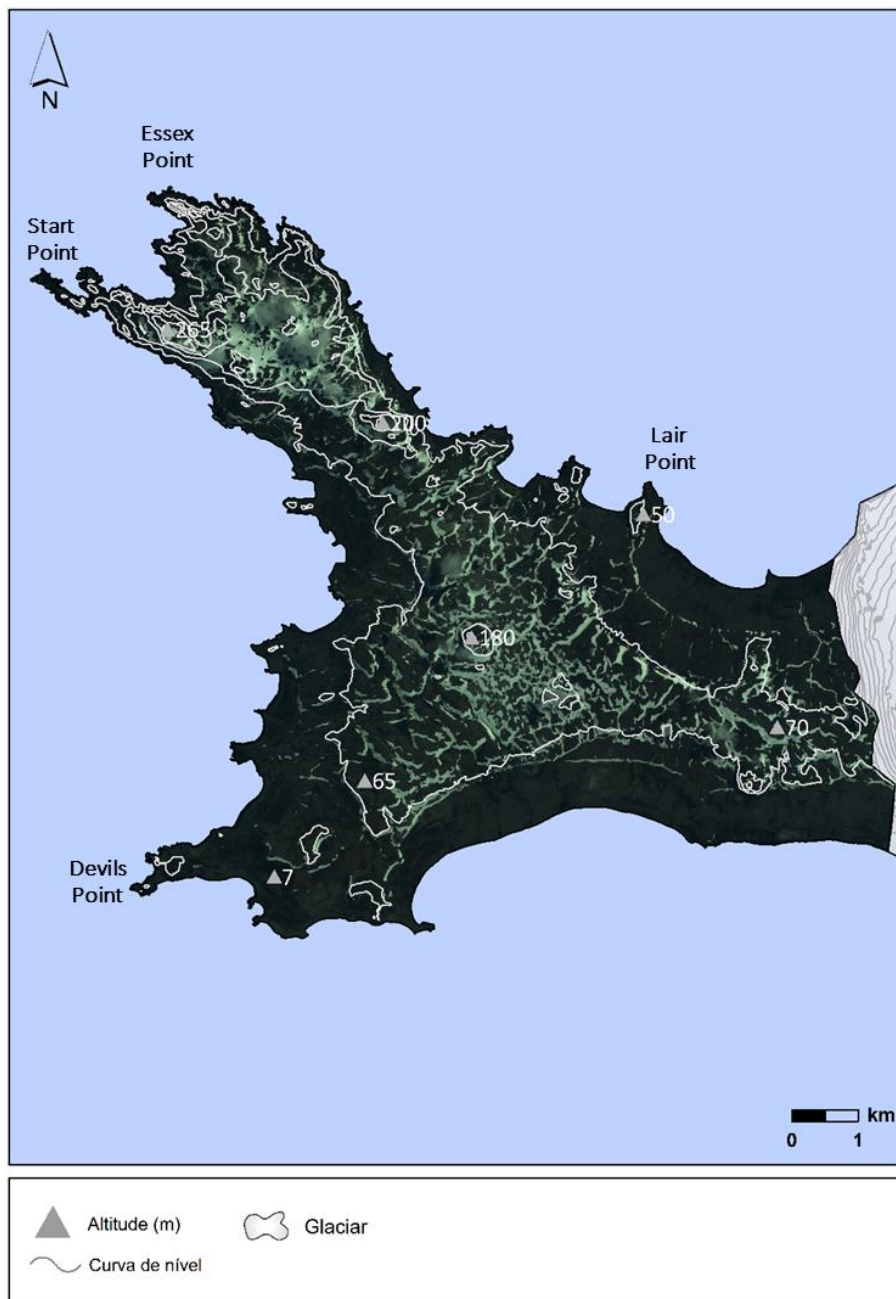


Fonte: Marc Oliva

Figura 2.11 - Neveiros na península Byers (lado superior direito da imagem)

A área central de Byers apresenta uma plataforma com 40 km², elevada e com um relevo suave e ondulado, com uma rede hidrográfica complexa e muito densa, constituída por cursos de água e lagos. A plataforma principal tem uma altitude média de 80 m e atinge a altitude máxima aos 100 m, próximo de *Chester Cone*. A sua periferia, até ao nível do mar, consiste numa serie de patamares resultantes de erosão marinha seguidos de uma complexa sequência de praias elevadas, delimitadas por escarpas. O ponto mais alto verifica-se a 265 m em Star Hill (Curl, 1980, Benayas, 2013), sendo que 80% da área da península se encontra abaixo de 80 m (Figura 2.13-A). Os declives entre 0° e 5° representam 62% da área, demonstrando a suavidade do relevo (Figura 2.13-B). Grande parte dos declives mais acentuados concentram-se do setor noroeste da ilha (Dospey Heights). Relativamente à exposição das vertentes, como se observa na figura 2.13-C, Byers apresenta uma predominância das superfícies planas (23%), seguida de vertentes com exposição a sudeste (12%) e a sul (11%). A preponderância das superfícies planas resulta na divisão de 50% da área

total entre a menor e a maior exposição ao vento. Os locais que correspondem a um índice de exposição elevada (Figura 2.13-F) concentram-se no setor oeste da península e em locais que, relativamente a área circundante, apresentam maior altitude. Por último, constata-se que os locais relativos a uma menor radiação global anual correspondem a declives mais acentuados. Desta forma, grande parte da península integra valores de radiação superiores a 2,02 GJ/m² (Figura 2.13-G).



Fonte: Digital Globe

Figura 2.12 – Topografia da Península Byers, sobre imagem WorldView

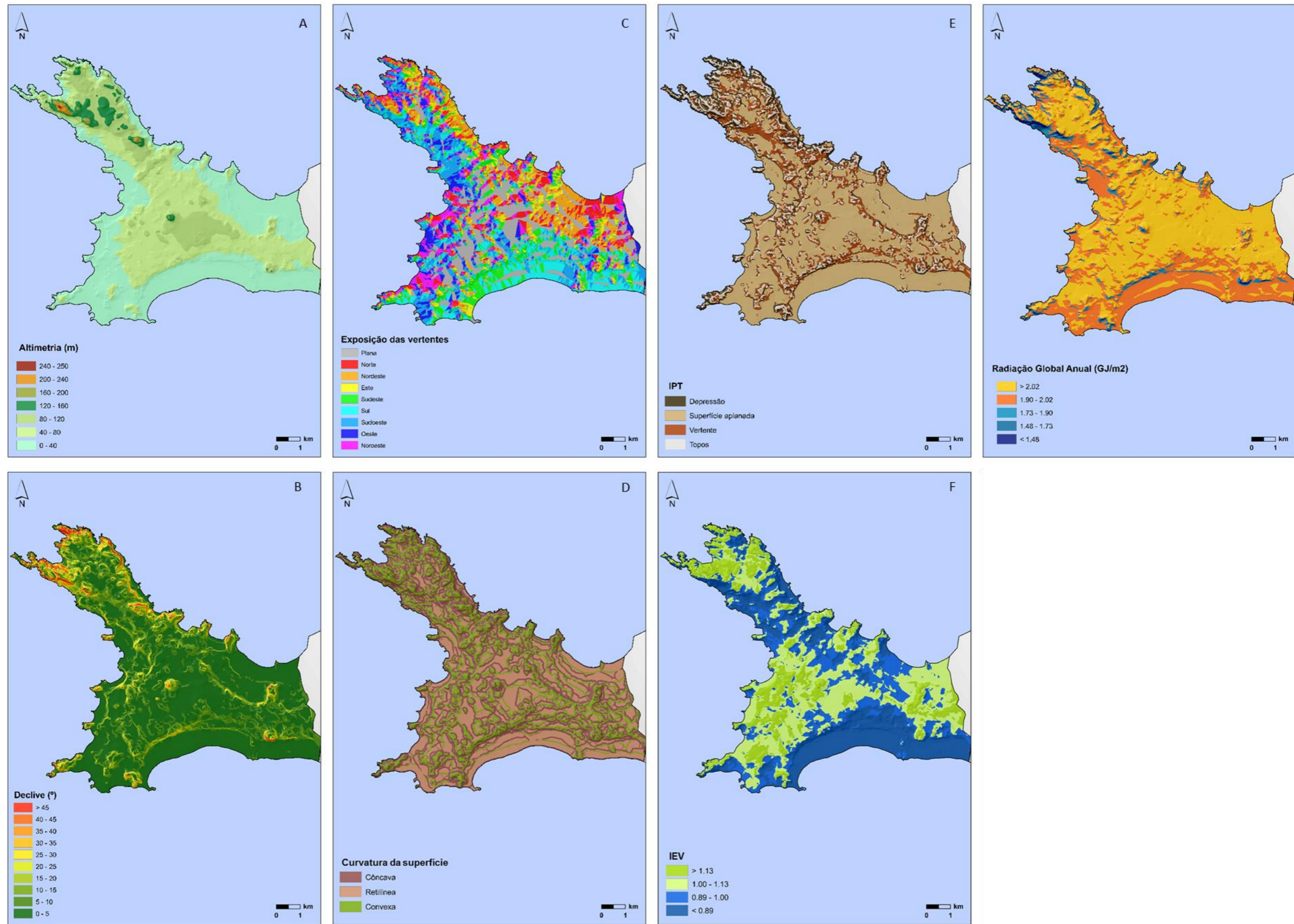


Figura 2.13 - Modelos elaborados para a Península Byers; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento; (G) Modelo da radiação global anual

D. Península Hurd

A Península Hurd (Figuras 2.14 e 2.15) localiza-se na costa sul da ilha Livingston entre *False* e *South Bay*, ocupando cerca de 26 km², sendo que 90% da área se encontra glaciada. A costa da Península Hurd é caracterizada pelas suas vertentes escarpadas, interrompidas por conjuntos de praias elevadas e plataformas de erosão marinha a diferente altitude. No sector sul da península observa-se uma crista elevada e contínua que culmina em Binn Point (392 m). Hurd apresenta uma forte dissimetria entre o lado noroeste e sudeste. O setor noroeste da Península, deglaciado, é caracterizado por um ambiente periglaciário (por ex.: gelifluxão, fluxos de detritos). O sector sudeste é caracterizado pela presença de circos com glaciares em retrocesso, alternando com vertentes onde os processos periglaciários são intensos e com sistemas de moreias frontais (Serrano, 2004).

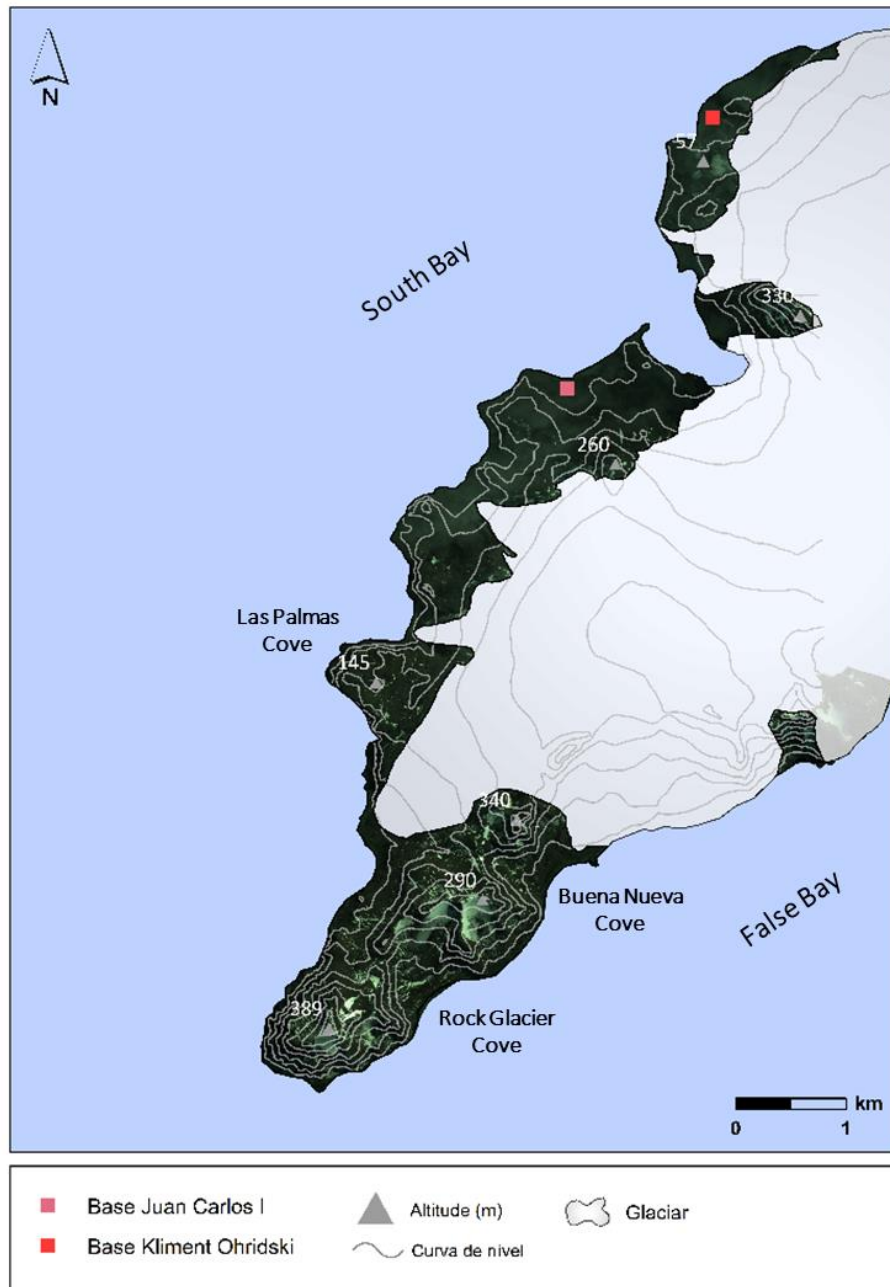


Fonte: Rita Reis

Figura 2.14 - Neveiros na Península Hurd, próximos da base búlgara

Na Península Hurd 48% da área total encontra-se acima dos 200 metros de altitude (Figura 2.16-A). Nesta Península 50 % da área apresenta declives de 10 a 25°. Os declives mais acentuados concentram-se junto à costa e nos setores de altitude mais elevada (Figura 2.16-C). Relativamente à exposição, predominam as vertentes expostas a noroeste (23%) (Figura 2.16C). Relativamente à curvatura da superfície constata-se que, aproximadamente 51% da área total, apresenta superfícies côncavas (Figura 2.16-D). A preponderância destas superfícies

associadas a declives elevados e vertentes de exposição a sudeste resultou no aumento, da área correspondente a menor radiação solar indecente, como é o caso do setor sudeste da península. Este setor demonstra, também, uma maior área correspondente a um menor índice de exposição ao vento (Figura 2.16-F). No entanto predominam os locais de maior exposição ao vento dominante de noroeste (69%).



Fonte: Digital Globe

Figura 2.15 – Topografia da Península Hurd, sobre imagem Quickbird

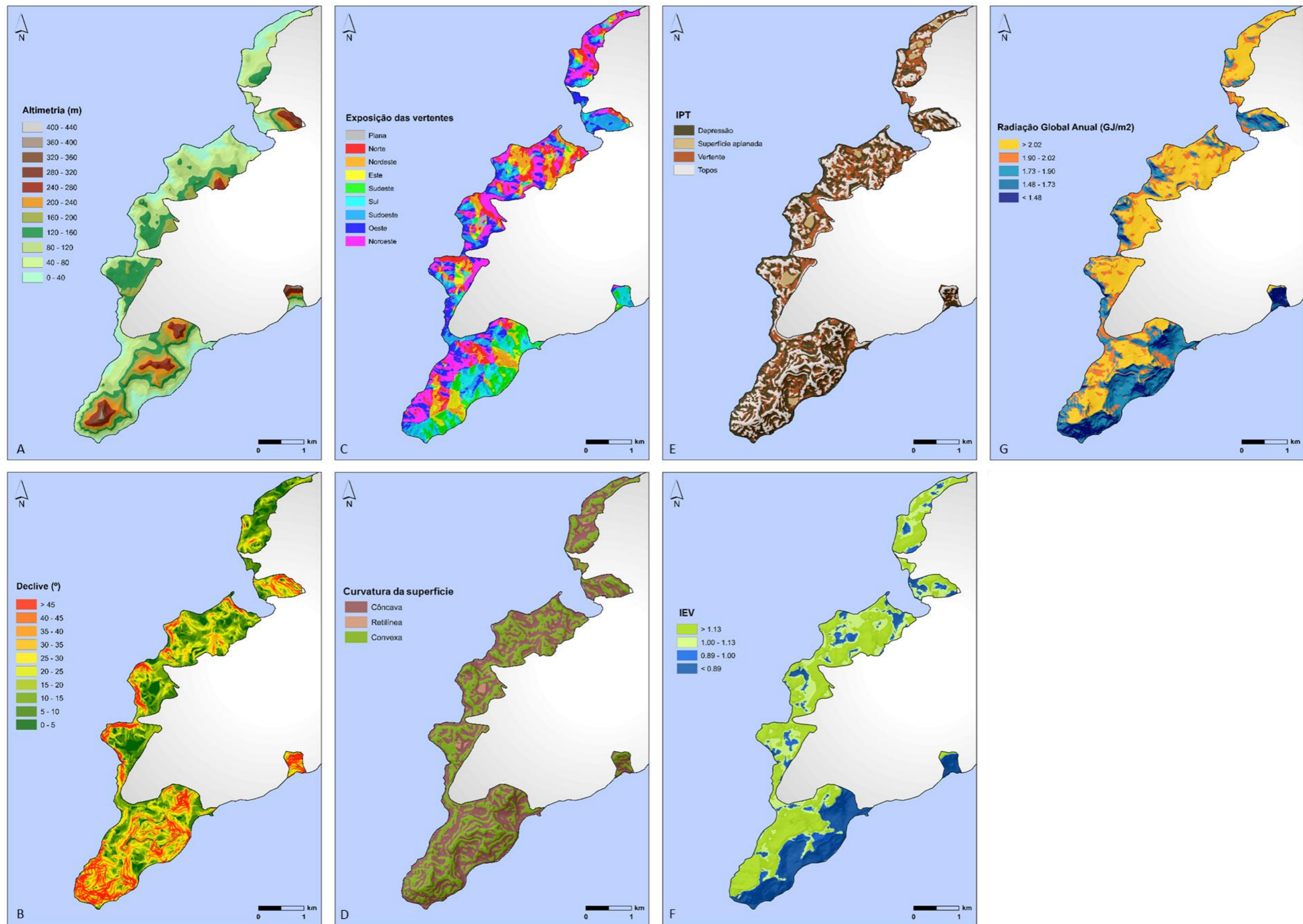
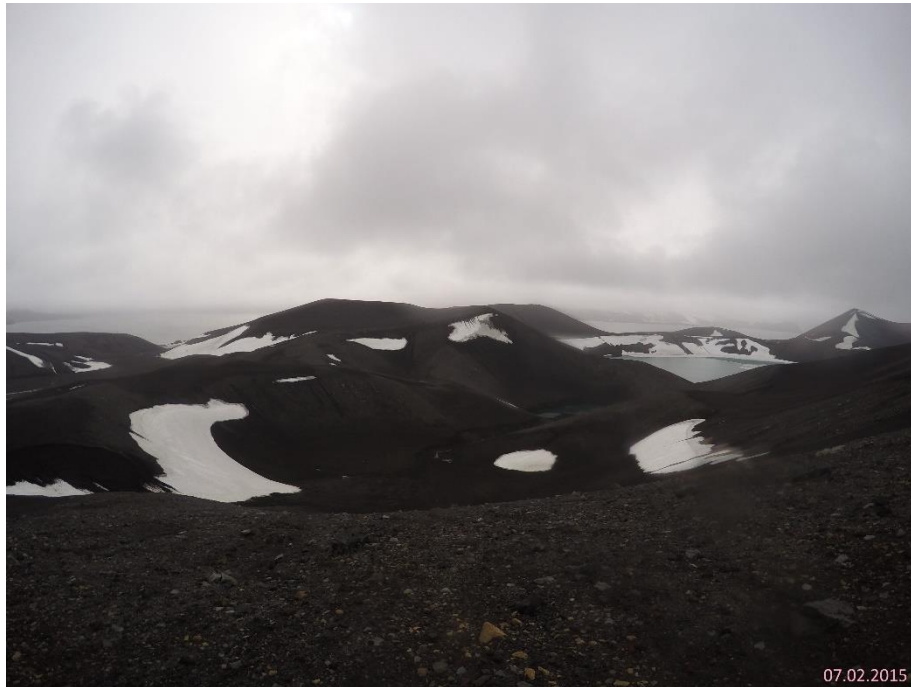


Figura 2.16 - Modelos elaborados para a Península Hurd; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento; (G) Modelo da radiação global anual

E. Ilha Deception

A ilha Deception localiza-se a 100 km a norte da Península Antártica, no estreito de Brainsfield. Esta ilha, em forma de ferradura, possui 15 km de diâmetro e atinge a sua altitude máxima em Mount Pound, aos 539 m (Figuras 2.17 e 2.18). Deception é um estratovulcão quaternário ativo, que possui uma caldeira em estado dormente com cerca de 10km de diâmetro, colapsada e submergida pelo mar (Cooper *et al.*, 1998).

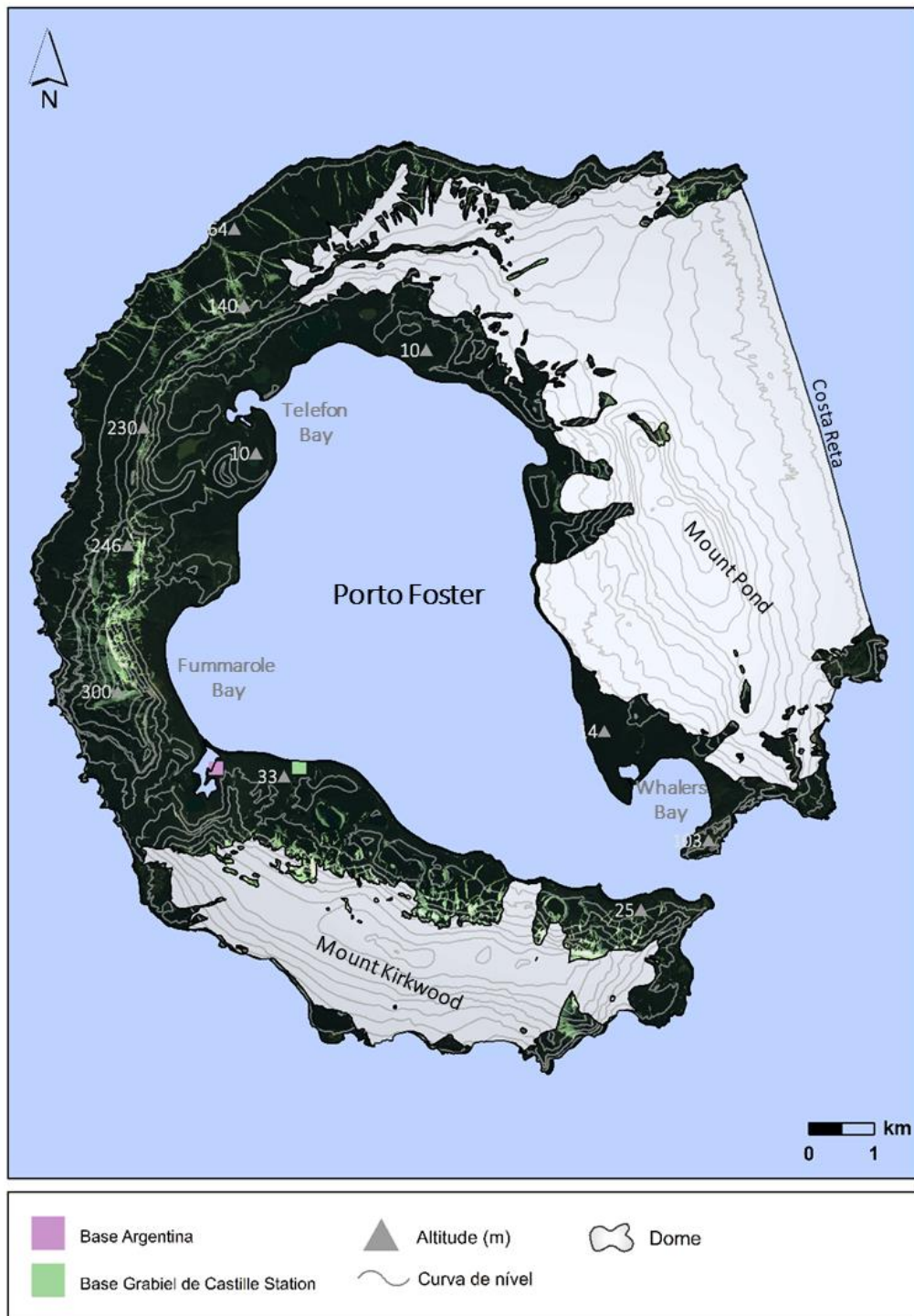


Fonte: Inês Girão

Figura 2.17 - Neveiros no setor Crater-Lake, Ilha Deception

Cerca de 57% da sua superfície é coberta por glaciares, sendo que 47 km² se encontram deglaciados (Melo, 2009). 70% da área encontra-se abaixo de 100 m (Figura 2.19-A). O relevo na ilha aparenta ser pouco declivoso, na medida em que 70% da área pertence a declives inferiores a 20 °. Os locais onde se observam declives mais acentuados (>40°) localizam-se geralmente a altitude mais elevada (>120 m) (Figura 2.19-B). A exposição das vertentes que predomina nas áreas livres de gelo, é noroeste (19%), seguindo-se norte (16%) e oeste (12%) (Figura 2.19-C). A superfície da ilha é caracterizada por vertentes côncavas (44%) e convexas (37%), sendo que as últimas correspondem, na grande maioria, a locais de elevada altitude e declive acentuado (Figura 2.19-D). É nestes locais que se verifica a predominância de áreas com um índice de exposição ao vento elevado (Figura 2.19-F). Relativamente à radiação global

anual, a ilha é dominada por valores superiores a 2,02 GJ/m² (43%), sendo que as áreas de com menor radiação solar incidente correspondem ao setor interior da ilha onde o declive é acentuado e a exposição a sul (Figura 2.19-G).



Fonte: Digital Globe

Figura 2.18 - Topografia da Ilha Deception, sobre imagem Quickbird

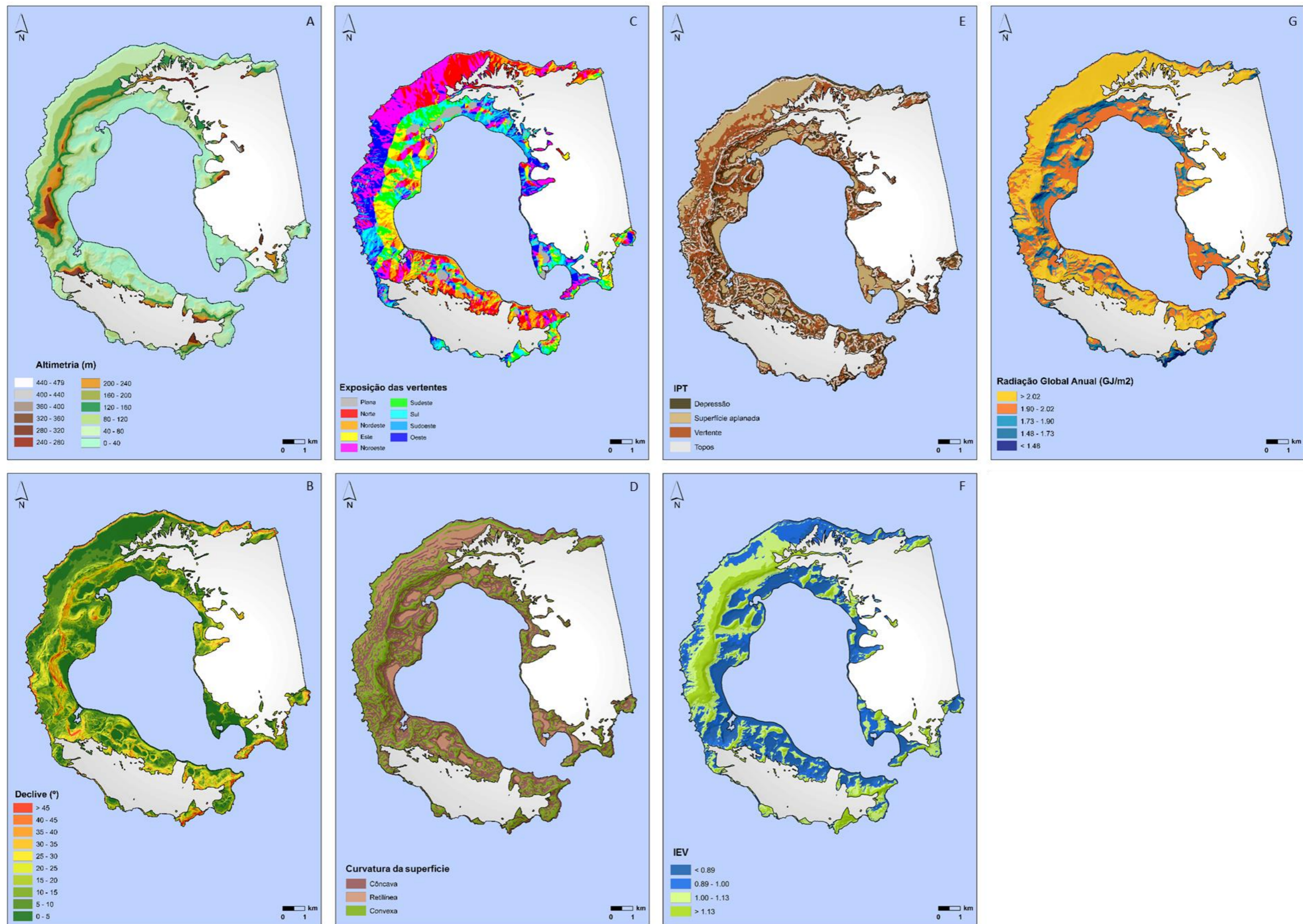


Figura 2.19 -Modelos elaborados para a Península Hurd; (A) Modelo de altitude; (B) Modelo de declive; (C) Modelo de exposição das vertentes; (D) Modelo da curvatura da superfície; (E) Modelo do índice de posicionamento topográfico; (F) Modelo do índice de exposição ao vento; (G) Modelo da radiação global anual

CAPÍTULO 3

MÉTODOS E TÉCNICAS

3.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo descrever os principais métodos e técnicas utilizadas na análise dos padrões de distribuição da neve e posteriormente na elaboração de mapas de suscetibilidade. A figura 3.1 representa um esquema simplificado das etapas desenvolvidas para a concretização dos objetivos propostos.

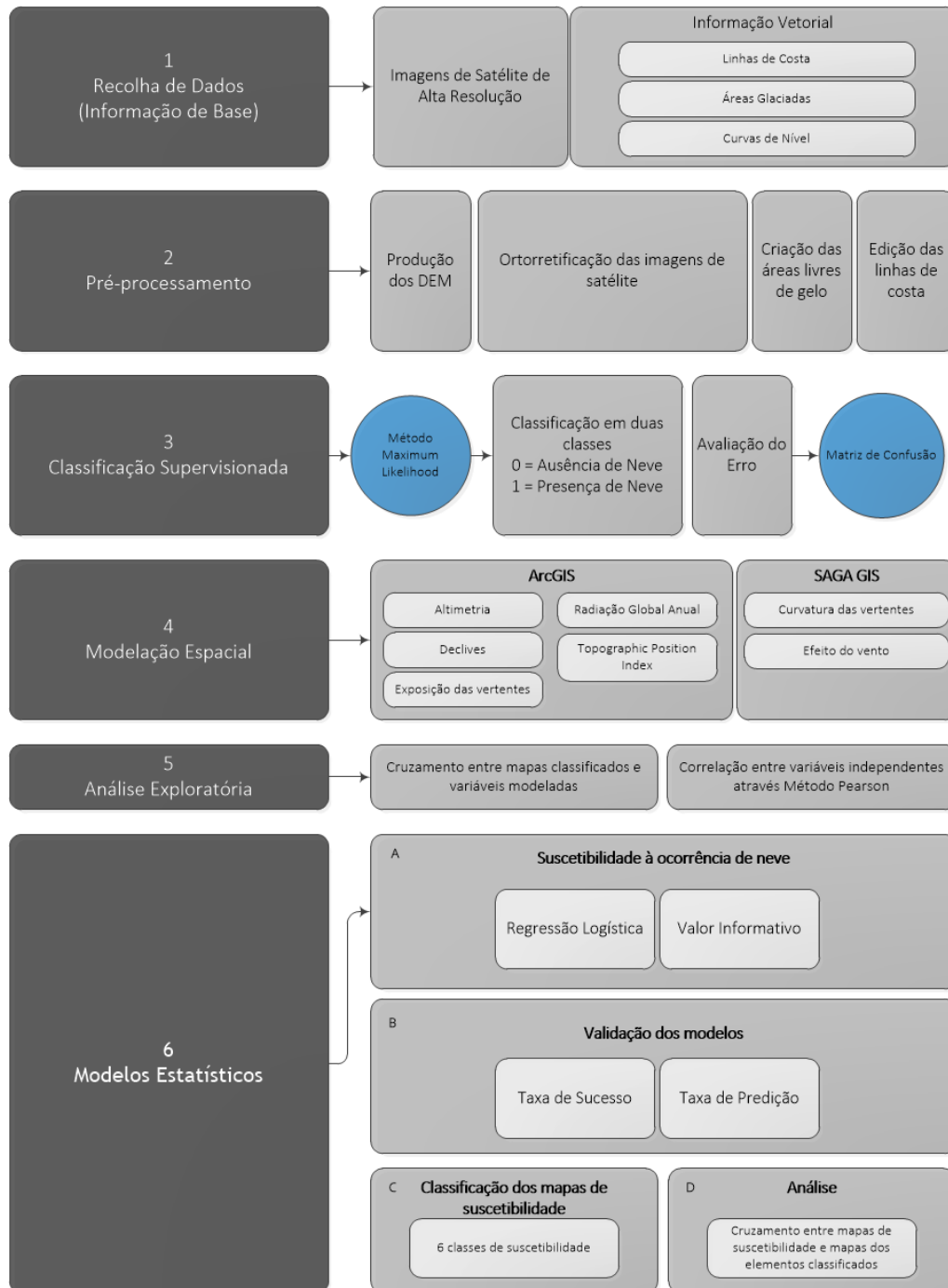


Figura 3.1 - Etapas desenvolvidas para o estudo da neve nas ilhas Shetlands do Sul.

3.2 DADOS

No sentido de concretizar os objetivos propostos, verificou-se a necessidade da recolha de informação de base que, por um lado permitisse a identificação da neve nas áreas pormenor e por outro possibilitasse a modelação espacial de fatores condicionantes.

Quadro 3.1 - Características das imagens de satélites de alta resolução usadas para o estudo da neve

	Península Fildes	Penínsulas Barton e Weaver	Península Byers	Península Hurd	Ilha Deception	
Data de aquisição	21/02/2006	26/01/2013	02/02/2011	03/02/2007	21/01/2003	
Horário da aquisição	13:37 GMT	13:23 GMT	13:31GMT	13:54 GMT	13:19 GMT	
Sensor	QB02	IKONOS-2	WV02	QB02	QB02	
Resolução	2.4 m	4 m	2 m	2.4 m	0.6 m	
Bandas		1,2,3 (RGB) e 4 (Near-IR)			1,2,3 (RGB)	
Bits per Pixel	16 Bits	11 Bits	16 Bits	16 Bits	16 Bits	
Zona UTM /Hemisfério	21 S	21 S	20 S	20 S	20 S	
Datum	WGS 84	WGS 84	WGS 84	WGS 84	WGS 84	
Coordenadas UTM	NW Lon	-	-	-	-	
	NW Lat	62.12367600	62.26264867	62.57600346	62.88895801	62.62931849
	SE Lon	-58.86664679	-58.65395513	60.95782373	60.47441014	60.31321106
	SE Lat	62.26298322	62.17438912	62.67610889	63.02767562	62.72227101
	Nebulosidade	0.100	0.000	0.000	0.485	0.000
	Formato	GeoTIFF				
	Produtor	Digital Globe				

A utilização das imagens de satélite de alta resolução, permitiu a classificação detalhada dos elementos da superfície (Quadro 3.1). As imagens são referentes ao Verão Austral entre os anos 2003 e 2013. Apenas a Península de Hurd apresenta nebulosidade significativa (49%).

Para além das imagens de satélite de alta resolução foi também usada informação vetorial, como curvas de nível, áreas glaciadas e linhas de costa, recolhida na *SCAR Antarctica Digital Base*. A informação referente às áreas glaciadas, em conjunto com a linha de costa, permitiu delinear as áreas livres de gelo, sendo que as curvas de nível foram utilizadas para a criação de Modelos Digitais do Terreno. A informação vetorial foi extraída da fonte referida, à da Península Hurd, digitalizada a partir do mapa topográfico 1:25000.

A ortorretificação das imagens foi efetuada por se constatar a presença de deformações geométricas, originadas por diversos fatores, como por exemplo locais onde a variação altimétrica é maior as deformações na imagem originadas pelo relevo, são significativas (Wolf, 2000; Fonseca, 2004). O processo referido consiste na eliminação das deformações introduzidas na imagem pelos deslocamentos devido ao relevo (Figura 3.2), no momento da sua aquisição, pelo facto da geometria de aquisição ser projetiva e não ortogonal (Melo, 2009).

A ortorretificação das imagens foi efetuada por se constatar a presença de deformações geométricas, originadas por diversos fatores, como por exemplo locais onde a variação altimétrica é maior, as deformações na imagem originadas pelo relevo, são significativas (Wolf, 2000; Fonseca, 2004). O processo referido consiste na eliminação das deformações introduzidas na imagem pelos deslocamentos devido ao relevo (Figura 3.2), no momento da sua aquisição, pelo facto da geometria de aquisição ser projetiva e não ortogonal (Melo, 2009).

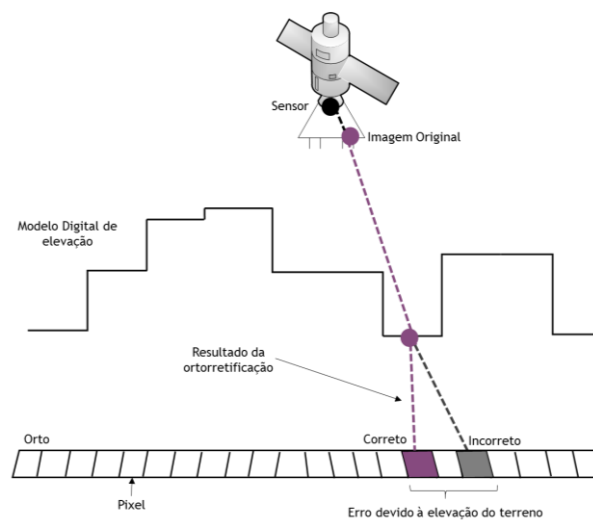


Figura 3.2- Geometria das distorções causadas pelo relevo na imagem

Segundo Chen (2003) a ortorretificação de imagens de alta resolução pode ser elaborada através de diferentes métodos: (i) uso de pontos de coordenadas conhecidas 3D no terreno e 2D na imagem; (ii) através de um modelo rigoroso do sensor; (iii) ou a partir de coeficientes polinomiais. Dado não existirem pontos de controle no terreno (*Ground Control Points*) para todas as áreas em estudo e não ser disponibilizado nenhum modelo rigoroso do sensor, que acontece sobretudo em imagens Quickbird e IKONOS (Melo, 2009), optou-se pelo uso dos coeficientes racionais polinomiais (Rational Polynomials Coefficients – RPCs). Em imagens IKONOS, WorldView e Quickbird, os RPCs são cedidos pelo fornecedor e, através

destes, é possível a criação de um modelo simplificado da geometria do sensor (*Rational Function Model* – RFM). Os RPCs relacionam coordenadas pontuais de objetos (x,y,z) com coordenadas dos pixels na imagem (linha, coluna), através do quociente de dois polinómios de 3ª ordem. Testes têm demonstrado que o uso de RPCs permite uma aproximação ao modelo rigoroso do sensor sem perda significativa de qualidade (Tao *et al.*, 2004).

O *software* ArcGIS, para além da utilização do RPCs, possibilita na ortorretificação a integração de um modelo digital do terreno. Assim, através da ferramenta disponível no *image analysis* procedeu-se à ortorretificação das cinco imagens de satélite com base nos RPCs e nos MDT.

Por fim, procedeu-se à delimitação, manual, das áreas livres de gelo. Estes limites foram criados no sentido de extrair, apenas, informação referente às áreas livres de gelo. A edição destes limites teve por base as imagens de satélite recolhidas e os mapas disponíveis referentes a cada área pormenor.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite são um meio poderoso de adquirir informação atualizada, a custos relativamente baixos, sobre as condições em que se encontra determinada paisagem em qualquer local do planeta. A sua classificação permite a extração de informação quantitativa, que por sua vez possibilita a análise dos elementos da paisagem. Normalmente, a classificação é efetuada com recurso a dados multiespectrais, considerando o facto das superfícies produzirem assinaturas espectrais distintas. Para a classificação podem ser assumidas duas abordagens: a supervisionada e a não supervisionada. A principal diferença entre estes dois métodos reside no facto de no primeiro caso se partir de exemplos de classificações corretas que envolvem o conhecimento prévio do terreno e dos processos que nele ocorrem, enquanto no segundo esses exemplos são inexistentes. Considerando que a neve é um elemento que facilmente se diferencia da restante paisagem optou-se pela utilização da classificação supervisionada.

A classificação supervisionada assume que algumas localizações das classes de ocupação do solo são conhecidas, os parâmetros estatísticos representantes (assinaturas espectrais) destas classes permitem a classificação da restante imagem. Na classificação

supervisionada é o utilizador que estabelece as áreas das quais o método dependerá para a definição espectral de cada classe:

De uma forma geral a classificação supervisionada compreende quatro fases distintas:

- Localizar exemplos de cada tipo de superfície (definição das áreas de treino);
- Digitalização de polígonos para cada área de treino, atribuindo um único identificador para cada tipo de superfície (classe);
- Análise dos pixéis contidos nas áreas de treino e criação de um ficheiro de assinaturas espectrais para cada classe;
- Classificação da imagem considerando cada pixel individualmente, através de um método de classificação (foi usado o método de máxima verosimilhança).

O método da máxima verosimilhança considera que, a distribuição dos valores radiométricos de cada classe é gaussiana (distribuição normal). Deste modo, a probabilidade de um píxel pertencer a determinada classe é calculada através da função densidade de probabilidade para uma distribuição normal. Neste processo foi utilizado o *software* que implementa o método segundo a seguinte fórmula (Richards, 1990):

$$g_i(x) = \frac{1}{n} p(\omega_i) - \frac{1}{2} \frac{1}{n} \left| \sum_i \right| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \sum_i^{-1} (x - m_i) \quad (3.1)$$

Onde,

i = classe

x = n-dimensional (onde n corresponde ao número de bandas)

$p(\omega_i)$ = probabilidade desta classe ocorrer na imagem e que se assume para todas as classes

$|\sum_i|$ = determinante da matriz de covariância dos dados da classe ω_i

\sum_i^{-1} = matriz inversa

m_i = vetor médio

A escolha do método baseia-se no facto de que este apresenta grande exatidão nos resultados gerados (Rocha e Morgado, 2007; Ahmad e Quegan, 2012; Murtaza e Romshoo,2014).

A classificação foi realizada no sentido de identificar a presença e ausência de neve sendo estabelecidas, apenas, estas duas classes em áreas não glaciadas.

Para validar a qualidade da classificação realizada é necessário efetuar duas operações: 1) delimitação de áreas de teste, ou seja, a definição de um conjunto de pixéis correspondentes

à realidade, diferentes das áreas utilizadas para a classificação; 2) aplicação de medidas/métodos de validação (avaliação do erro) às áreas de teste. É necessário ter em atenção que as áreas de teste devem ser uniformes e representativas da classe em causa e a sua localização deve ser diferente das áreas de treino que serviram para a classificação. Segundo Rocha (2002), a exatidão (aproximação de determinada medida ao seu valor real) obtida através deste método representa, no mínimo, uma primeira aproximação à exatidão global para toda a imagem. No entanto, sendo as áreas de teste homogêneas, podem não permitir verificar com rigor a exatidão da classificação relativamente à variabilidade de cada classe ao nível do píxel. A única forma de garantir uma avaliação adequada é a comparação de todos os píxéis da imagem classificada com a verdade do terreno.

Para a avaliação do erro utilizou-se um método estatístico multivariado conhecido como tabela de contingência ou matriz de confusão, que permite comparar classe a classe, a relação entre a realidade do terreno (áreas de teste ou *ground truth*) e os resultados obtidos através da classificação supervisionada das imagens de satélite. As matrizes de confusão são quadradas e a informação dispõe o mesmo número de linhas e colunas, sendo que nas linhas a informação corresponde aos resultados da classificação e nas colunas à realidade. Os elementos bem classificados encontram-se ao longo da diagonal da matriz e os restantes elementos representam os erros de classificação. Deste modo, é possível contemplar as classes que foram adjudicadas a cada píxel, identificando-se dois tipos de erros: os de comissão (EC) que ocorrem quando se atribui um píxel da imagem a uma classe à qual ele não pertence (inclusão) e os de omissão (EO), que se traduzem em não atribuir a determinada classe um píxel que lhe pertence (exclusão) (Rocha e Morgado, 2007).

A exatidão global é obtida através da divisão do número total de píxéis corretamente classificados pelo número total de píxéis da imagem, sendo que o mesmo se aplica a exatidão de cada classe obtida. Outros dois indicadores importantes são a exatidão do produtor (EP) e do utilizador (EU) sendo estes calculados através da seguinte expressão:

$$EP = (1 - EO) \times 100 \text{ e } EU = (1 - EC) \times 100 \quad (3.2)$$

De forma a avaliar a concordância entre o resultado da classificação obtida através do método selecionado (exatidão observada) e uma atribuição aleatória de classes aos píxéis (concordância devido ao acaso), é calculado o índice *Kappa*, definido em termos dos elementos da matriz de confusão:

$$x_{i+} = \sum_j x_{ij} \quad (3.3)$$

o somatório de todas as colunas para a linha i , e por:

$$x_{i+} = \sum_i x_{ij} \quad (3.4)$$

o somatório de todas as linhas para a coluna j , o índice *Kappa* é definido por:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^l x_{ii} - \sum_{i=1}^l (x_{i+} x_{i+})}{N^2 - \sum_{i=1}^l (x_{i+} x_{i+})} \quad (3.5)$$

Onde,

l = número de linhas na matriz de erro;

x_{ij} = elemento na linha i e coluna i da matriz;

N = número total de observações incluídas na matriz.

Quando o índice de *Kappa* tende para 1, situação ideal, a exatidão observada aproxima-se de 1 e a concordância devido ao acaso aproxima-se de 0. Como exemplo, um valor de *Kappa* de 0,85 significa que a classificação realizada é 85% melhor que uma efetuada ao acaso.

3.4 MODELAÇÃO ESPACIAL DOS FATORES CONDICIONANTES

Para a modelação espacial, a seleção das variáveis preditivas (independentes) que condicionam a distribuição da neve estival é uma tarefa complexa, e é importante o conhecimento das relações entre os processos e o ambiente na área em estudo (Hjort, 2006). Neste sentido, o MDT foi usado para extrair variáveis que refletem o controle topoclimático na distribuição da neve. O MDT (altimetria), o declive, a exposição das vertentes, a radiação global potencial anual foram obtidas usando o ArcGIS. A curvatura da superfície e o índice de exposição ao vento foram obtidos usando o SAGAGIS. O *Topographic Position Index* (Índice de Posicionamento Topográfico) foi também calculado no ArcGIS através da ferramenta *Land Facet Corridor Tools*.

Os Modelos Digitais do Terreno têm sido amplamente utilizados na representação da superfície da Terra (Wang, 2014). A modelação da superfície topográfica, através de Modelos Numéricos de Elevação assume relevância, sobretudo, no contexto dos estudos de Geografia Física e em particular no estudo de dinâmicas de certos processos (Reis, 2006). A informação de base utilizada para a construção do modelo TIN (*Triangulated Irregular Network*) foi obtida a partir de curvas de nível com equidistância de 10 metros, o que levou à conversão para uma estrutura matricial com uma resolução de 10 metros. O modelo de base utilizado (TIN) assenta na triangulação entre pontos de cotas conhecidas, constituindo uma superfície de faces triangulares planas (Matos, 2001). Este tipo de modelo, vetorial, é o mais utilizado na modelação de superfícies contínuas devido à facilidade de representação de superfícies complexas e a uma maior adequação da representação tridimensional do relevo (Reis, 1996). A partir do TIN, em estrutura matricial (MDT) é, então, possível a construção de novos modelos numéricos que permitem a análise do comportamento do fenómeno em estudo.

O declive é uma das variáveis mais utilizadas em estudos sobre a distribuição de fenómenos naturais em ambientes periglaciários (French, 2007). Como referido, por Seppälä (2007), as características de uma vertente influenciam, em grande medida, a distribuição da neve considerando-se, assim, pertinente o cálculo de declives para área em estudo.

A exposição de uma vertente é um dos fatores com maior influência na radiação potencial indecente influenciando, em grande medida, a presença de neve. O modelo utilizado identifica a direção descendente ao longo de uma vertente, considerando a diferença máxima entre o valor de uma célula e as suas células vizinhas. A divisão entre exposições é feita no sentido dos ponteiros do relógio, de 45° em 45°, sendo que 0° equivale à exposição a norte e valores de -1 a uma superfície plana.

Como é referido por Winstral *et al.* (2002) e Platnner (2004) a curvatura de uma superfície tem influência na forma como vento redistribuí a neve justificando assim a utilização desta variável. Gallant e Wilson (2000) propõe a classificação deste modelo em três classes: convexa (para valores positivos), retilínea (para valores próximos de 0) e côncava (para valores negativos).

O índice de posicionamento topográfico, foi outra das variáveis selecionadas para modelação. Esta compara a elevação de cada célula (num modelo digital do terreno) com a média de elevação de um conjunto de células vizinhas. Os valores positivos representam locais mais elevados do que a média da área em seu redor, sendo que os valores negativos

representam locais mais baixos relativamente à média (vales). Os valores próximos de zero correspondem a áreas planas ou a vertentes com declive constante.

No sentido de averiguar quais as formas com maior influência na presença de neve, através da ferramenta *Land Facet Corridor* foi possível o cálculo do índice de posicionamento topográfico (IPT) sendo que, esta mesma ferramenta, permitiu a posterior classificação do índice em formas de relevo. Esta classificação baseia-se em quanto a elevação de um píxel difere da média dos pixéis vizinhos considerando, também, no ângulo de um vertente em cada ponto (Jenness, 2006). Desta forma o índice foi dividido em quatro classes: depressão; superfície aplanada; vertentes; topos.

O vento é um dos fatores com maior influência na acumulação de neve (Barry, 1992; Winstral *et al.*, 2002; Seppälä, 2007) e, por isso, o cálculo de índices representativos da exposição ao vento dominante é particularmente importante. O índice de exposição ao vento (IEV) é uma função utilizada para calcular, através, do modelo digital do terreno, as áreas que, segundo o vento dominante, se encontram mais ou menos expostas, promovendo ou não a acumulação de neve. Este índice foi calculado através do *software* SAGA GIS, do módulo *wind effect*. Para a representação de ventos dominantes de Noroeste (315°), no modelo será necessário assumir a direção para qual o vento se desloca que será Sudeste (135°). Os valores superiores a 1 traduzem uma maior exposição e valores inferiores a 1 uma menor exposição relativamente ao vento dominante (Boehner, 2011). Assim, classificaram-se os valores de IEV em 4 classes: duas para menor exposição ao vento dominante (IEV < 0.89 e 0.89 a 1), e duas com exposição mais elevada (1 a 1.13 e > 1.13).

A radiação recebida por uma superfície é, por norma, o fator determinante do seu clima (Oke, 1996) e exerce um papel determinante nos processos de troca de energia entre a atmosfera e a superfície, afetando os processos físicos, químicos e biológicos (Zakšec, 2005). Entender a importância que a radiação solar detém é uma das formas para compreender um leque de processos naturais.

A ferramenta utilizada para o cálculo da radiação solar no *software* ArcGis, permite o mapeamento e análise da radiação solar potencial incidente sobre uma área geográfica para períodos de tempo específicos. Esta ferramenta incorpora variáveis como a latitude, elevação, declives, orientação das vertentes, efeitos atmosféricos, data e hora do dia, e o efeito a topografia exerce na projeção de sombras.

O cálculo da radiação solar no ArcGis é baseado no algoritmo da bacia de visão hemisférica (hemispherical viewshed algorithm) desenvolvido por Rich *et al.* (1994) e mais tarde por Fu e Rich (2002).

A radiação global ($Global_{tot}$) é calculada através da soma da radiação direta (Dir_{tot}) e difusa (Dif_{tot}) resultante de todos os mapas solares e sectores do céu gerados no processo.

$$Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot} \quad (3.5)$$

A radiação direta corresponde à radiação proveniente do sol que incide diretamente numa superfície sem obstáculos para além da atmosfera. Para o cálculo da radiação total direta (Dir_{tot}) é necessária a soma da radiação direta ($Dir_{\theta,\alpha}$) de todos os sectores do céu.

$$Dir_{tot} = \Sigma Dir_{\theta,\alpha} \quad (3.6)$$

A radiação direta de cada sector do mapa solar ($Dir_{\theta,\alpha}$) com o seu centro no ângulo zenital (θ) e o ângulo azimutal (α) é calculado da seguinte forma:

$$Dir_{\theta,\alpha} = S_{Const} * \beta m(\theta) * SunDur_{\theta,\alpha} * SunGap_{\theta,\alpha} * \cos(Angin_{\theta,\alpha}) \quad (3.7)$$

Onde:

S_{Const} – Constante solar, estimada para o topo da atmosfera (1367 W/m² - World Radiation Center - WRC).

B – Transmissividade da atmosfera (média de todos os comprimentos de onda) para o caminho mais curto (no sentido do zénite) – coeficiente angular da reta de regressão.

M(θ) – Comprimento do percurso ótico relativo, medido em percentagem do comprimento do percurso angular. O comprimento ótico relativo é determinado pelo ângulo zenital solar e a elevação acima no nível do mar através da seguinte equação:

$$m(\theta) = EXP(-0,000118 * Elev - 1,638 * 10^{-9} * Elev^2) / \cos(\theta) \quad (3.8)$$

Onde:

θ – Ângulo zenital delimitador do sector do céu

Elev – Elevação acima do nível da água do mar (metros).

SunDur $_{\theta, \alpha}$ – Intervalo de tempo representado pelo sector do céu. Na maioria dos casos o sector é igual ao intervalo dia ou mês que *a posteriori* é multiplicado pelo intervalo de horas (meia hora). No caso dos sectores parciais (perto do horizonte) a duração é calculada utilizando uma geometria esférica.

SunGap $_{\theta, \alpha}$ – Fração de abertura para o sector do mapa solar.

AngIn $_{\theta, \alpha}$ – Ângulo de incidência entre o centróide do sector do céu e o eixo normal (perpendicular à superfície).

O efeito da orientação da superfície é tido em consideração através da multiplicação pelo co-seno do ângulo de incidência. O ângulo de incidência é calculado da seguinte forma:

$$AngIn_{\theta, \alpha} = \text{acos}(\text{Cos}(\theta) * \text{Cos}(Gz) + \text{Sin}(\theta) * \text{Sin}(Gz) * \text{Cos}(\alpha - Ga)) \quad (3.9)$$

Onde:

G_z – O ângulo zenital à superfície.

G_a – O ângulo azimutal à superfície.

A radiação difusa é a radiação solar proveniente do sol que sofre uma mudança de direção do fluxo radiativo, no mesmo comprimento de onda, devido ao efeito perturbador como gases, fumos, poeiras ou que é refletida pelas superfícies vizinhas.

Na radiação difusa, para cada centróide de cada sector de céu é calculado o intervalo de tempo pretendido, sendo este corrigido pela fração e o ângulo de incidência através da seguinte equação:

$$Dif_{\theta, \alpha} = R_{glb} * P_{dif} * Dur * SkyGap_{\theta, \alpha} * Weight_{\theta, \alpha} * \text{cos}(AngIn_{\theta, \alpha}) \quad (3.10)$$

Onde:

R_{glb} – Normal da radiação global

P_{dif} – A proporção de fluxo da radiação global normal que é difundida. Por norma este valor aproxima-se de 0,2 para condições de céu limpo e 0,7 para condições de maior nebulosidade.

Dur – Intervalo de tempo em análise

SkyGap $_{\theta, \alpha}$ – Fração de abertura para o sector do céu.

Weight $_{\theta, \alpha}$ – A proporção de radiação difusa originária de um determinado sector do céu em relação a todos os outros sectores.

Angln θ,α – Ângulo de incidência entre o baricentro do sector de céu e a superfície intercetiva

A radiação global difusa total (Dif_{tot}) para uma área é calculada através da soma da radiação solar difusa de todos os sectores do céu:

$$Diftot = \Sigma Dif \theta,\alpha \quad (3.11)$$

Para este estudo foram considerados os dois tipos de radiação, dado que as condições atmosféricas na região são caracterizadas pela forte nebulosidade. Na preparação do algoritmo atendeu-se ao facto da região na qual se integravam as superfícies a modelar demonstra cenários de grande nebulosidade dando maior relevância a radiação difusa. Desta forma, assumiu-se o valor de 0,7 para a proporção de difusão e 0,13 de transmissividade que como referido por Silva (2001) serão os valores que melhor representam o cenário pretendido. Os modelos realizados correspondem ao período de 1 ano, e a unidade original (W/m²) foi convertida para GJ/m².

3.5 ANÁLISE EXPLORATÓRIA

A análise exploratória foi realizada para a caracterização e interpretação da distribuição espacial da neve à luz das variáveis modeladas e da forma como estas se relacionam no espaço. A análise foi realizada através do cruzamento entre a variável dependente e as variáveis independentes (em ambiente SIG), com o intuito de compreender os fatores que condicionam a presença de neve no solo.

O cruzamento entre a variável dependente e independentes permitiu o cálculo da percentagem de área (neve) por classe da variável independente (A%) e o cálculo da percentagem de área ponderada pela área total da respetiva classe (AP%). Desta forma, é possível uma análise mais ponderada da influência exercida pelas classes de cada variável uma vez que considera, também, a amplitude de cada classe.

No sentido de avaliar a possível utilização dos fatores condicionantes modelados nos modelos de suscetibilidade, calculou-se a correlação entre as mesmas. Deste modo, procedeu-se à avaliação da possível existência de colinearidade entre as variáveis independentes. O termo colinearidade ou multicolinearidade é utilizado para indicar a existência de uma forte correlação entre duas ou mais variáveis. Quanto maior o valor de colinearidade maior é a

inflação das variáveis predicatorias, que se traduz em informação redundante podendo dificultar a interpretação dos modelos (Melo, 2009; Lousada, 2012).

Desta forma, procedeu-se ao cálculo através do SPSS, de uma matriz de coeficientes de correlação de Pearson de todas as variáveis independentes. O coeficiente de correlação de Pearson é definido como uma medida de associação linear entre variáveis quantitativas e varia entre -1 e 1. O sinal indica a direção da correlação (negativa ou positiva), enquanto o valor indica a magnitude da mesma. O nível de associação é tanto maior, quanto mais próximo de 1 e tanto menor, quanto mais próximo de 0.

3.6 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA A MODELAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE

Os métodos estatísticos introduzem uma avaliação quantitativa e objetiva da suscetibilidade e a possibilidade de validação da importância de cada fator condicionante, bem como o do próprio modelo preditivo (Pereira, 2009).

Num método estatístico multivariado, a ponderação dos fatores que controlam a distribuição da neve indicada a contribuição relativa de cada um desses fatores para o grau de suscetibilidade em cada unidade de terreno. Neste método, a análise baseia-se na presença ou ausência de um fenómeno dentro de cada unidade de terreno (Süzen e Doyuran, 2004; Shahabi, 2012). A vantagem da utilização de métodos estatísticos multivariados baseia-se no facto de estes fornecerem uma avaliação quantitativa da influência de diferentes fatores e da abordagem mais realista e objetiva da avaliação da suscetibilidade à ocorrência de determinado fenómeno. Dentro de um conjunto amplo de métodos estatísticos o método da regressão logística tem demonstrado resultados muito favoráveis no cálculo de suscetibilidade a deslizamentos (Chau and Chan, 2005; Lee and Sambath, 2006; Sujatha *et al.*, 2012), sendo assim o método selecionado para o estudo. Estudos, relativamente à distribuição da neve que utilizem este método específico não foram encontrados. Contudo estudos relativos às consequências da sua dinâmica existem, como é exemplo Jalkanen e Mattila (2000) na tentativa de compreender os danos que a neve que, em conjunto com o vento, poderá provocar no Norte da Finlândia. Revuelto *et al.* (2014), por outro lado, utiliza um método semelhante (regressão multivariada) na tentativa de identificar os fatores topoclimáticos que contribuem para a distribuição espacial dos neveiros nos Pireneus Espanhóis. No entanto a regressão logística é o

método mais adequado para o tipo de variável dependente implicando a presença ou ausência do fenômeno.

Num método estatístico bivariado, cada fator é comparado com o mapa representativo da variável dependente, neste caso a ausência e presença de neve. O valor de ponderação ou o peso de cada classe, pertencente a cada parâmetro, é determinado com base na quantidade de neve existente em cada classe individual (Süzen e Doyuran, 2004). A principal vantagem da utilização do método estatístico bivariado é a determinação dos fatores ou combinação de fatores que melhor explicam a distribuição do fenômeno em estudo possibilitando uma boa avaliação da suscetibilidade (Pereira, 2009). Segundo Alleotti e Chowdhury (1999) existem diversos métodos estatísticos que podem ser utilizados no cálculo dos valores de ponderação, como é exemplo o método do valor informativo, o método bivariado utilizado neste estudo.

3.6.1 Classificação das variáveis utilizadas na modelação

Para integração das variáveis (fatores condicionantes) modeladas foi necessária a classificação de todas as variáveis independentes contínuas em variáveis categóricas, de forma a limitar o número de condições únicas geradas nos modelos preditivos. A classificação das variáveis varia, em alguns casos, consoante a área de estudo, dado que há a necessidade de adequar a classificação de acordo com a realidade observada. Deste modo, a classificação das variáveis correspondentes à altimetria e radiação potencial global anual realizou-se com base nas características específicas de cada área e não em classes pré-determinadas.

A classificação da altimetria teve como objetivo não ultrapassar 15 classes, na tentativa de não ultrapassar o limite máximo de condições únicas que resultaria num erro de processamento. Assim, para as penínsulas de Fildes, Barton, Weaver e Byers usou-se um intervalo de 20 metros, sendo que na Península de Hurd e na ilha Deception, utilizou-se intervalos de 40 metros. A classificação da radiação potencial global anual baseou-se na análise dos respetivos histogramas de frequências.

A classificação das restantes variáveis independentes foi igual para cada área. A classificação da variável curvatura da superfície e do índice de exposição vento, baseou-se em Gallant e Wilson (2000) e Boehner (2011), respetivamente. Para as restantes, dada a inexistência de regras específicas para a sua classificação optou-se por um compromisso entre o número de classes e a sua amplitude. No caso dos declives usaram-se intervalos de 5°, sendo

que a exposição das vertentes e o IPT não sofreram qualquer tipo de alteração uma vez que cada classe tem valores de intervalo específicos.

No capítulo 4, nos quadros referentes ao subcapítulo da análise exploratória é possível observar as classes utilizadas para a transformação das variáveis independentes contínuas em variáveis categóricas.

3.6.2 Regressão Logística

O método da Regressão Logística (RL) é geralmente utilizado quando a variável independente é dicotômica, ou seja, quando o fenómeno está presente numa unidade de terreno o valor será 1 e 0 na sua ausência. As variáveis independentes, neste método, podem ser categóricas, contínuas ou ambas. Desta forma, a regressão logística permite o cálculo da probabilidade à ocorrência ou não da variável dependente, em função do valor das variáveis independentes através da adaptação de dados a uma curva logística. Quantitativamente, a relação de dependência entre o fenómeno em estudo e as variáveis preditivas, pode ser expressa de acordo com a equação 3.12 (Süzen e Doyuran, 2004; Govervski, 2006; Dai e Lee, 2002 *in* Melo, 2009).

$$P_r = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (3.12)$$

Onde P_r é a probabilidade da ocorrência do fenómeno; Z corresponde à combinação linear expressa pela seguinte equação:

$$Z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad (3.13)$$

Onde:

B_i - ($i=0, 1, \dots, n$) - é o coeficiente estimado;

n - é o número de variáveis independentes;

X_i - ($i= 1, 2, \dots, n$) é a variável independente.

Uma vez que Z varia entre $-\infty$ e $+\infty$, a probabilidade varia entre 0 e 1 numa função sigmoideal.

A utilização do método da Regressão Logística para a modelação da suscetibilidade à ocorrência de neve, foi elaborado através da extensão *Spatial Data Modeller* no *software*

ArcGIS. A modelação requer que a variável dependente (neve) esteja no formato vetorial (pontos), que se traduz, na presença do fenómeno em estudo. Deste modo, foi necessária a conversão dos ficheiros matriciais, com uma resolução de 10 metros por píxel (resolução dos ficheiros relativos às variáveis independentes), em ficheiros pontuais através da extração de um ponto por píxel. Neste método as áreas onde não existe a presença de pontos representativos do fenómeno em estudo são, automaticamente, assumidas como área de ausência.

Como referido o método em questão, integra as variáveis independentes em diversos formatos, no entanto optou-se por integrá-las em formato categórico dado que o *software* se encontra limitado a um processamento máximo de 6000 condições únicas. No entanto e após várias experiências, selecionou-se uma amostra total de 200 pontos dado que foi o único número de pontos que, em todas as áreas pormenor, não resultou num erro de processamento por exceder o número máximo de condições únicas. Por último, procedeu-se ao cálculo, através da ferramenta *Logistic Regression*, do mapa de probabilidade de ocorrência de neveiros, efetuado com base na integração de todas as variáveis independentes, dos respetivos pesos e do ficheiro de pontos referente à presença do fenómeno.

Após a modelação, é gerada uma tabela de coeficientes correspondentes ao peso relativo, *a posteriori*, de cada classe de cada variável preditiva integrada no modelo. Quanto maior o valor do coeficiente, maior é a contribuição para a ocorrência do fenómeno, verificando-se o inverso para os valores negativos. Contudo, estes coeficientes podem assumir valores elevados quando existe uma grande representativa do fenómeno nessa classe ou, por outro lado, quando o mesmo é inexistente, não efetuando uma discriminação entre as duas situações. Assim um coeficiente elevado pode revelar-se importante, tanto para a ocorrência do fenómeno, como para a sua ausência (Melo, 2009).

3.6.3 Valor Informativo

O método do Valor Informativo (VI), que se inclui nos métodos estocásticos, tem como objetivo a subdivisão da área em estudo em diferentes níveis de suscetibilidade (Yan, 1988). O método considerado por Yin (1988) como simples e generalista, mas fidedigno, é um processo estatístico bivariado que cruza os fatores condicionantes com a distribuição do fenómeno em estudo, sendo neste caso a neve. Apesar do uso deste método não ser tão recorrente nos

estudos que envolvem ambientes periglaciários é considerado como bom método na avaliação da suscetibilidade aos movimentos de vertente (Yin e Yan, 1988; Zêzere, 2002; Melo, 2009; Goyanes, 2014).

O método do Valor Informativo descreve quantitativamente a relação entre cada classe de cada variável independente e a presença de neve sob a forma de um score (peso), obtido pela seguinte equação (3.14):

$$I_i = \log \frac{S_i/N_i}{S/N} \quad (3.14)$$

Onde:

I_i – valor informativo da variável i ;

S_i - número de células (unidade de terreno) com neve e a presença da variável i ;

N_i - número de células com a variável i ;

S - número de células com neve na área de estudo;

N - número de células existentes na área de estudo;

O valor final de suscetibilidade é determinado para cada célula através da soma do VI obtido para cada uma das variáveis utilizada como fator de predisposição.

$$I_j = \sum_{i=1}^m X_{ij} I_i \quad (3.15)$$

Onde:

I_j – valor informativo da unidade de terreno

m – número de variáveis

X_{ji} – 0 se a variável não está presente na unidade de terreno e 1 no caso contrário

Quanto maior o valor final de VI, maior a predisposição para a presença de neve nessa unidade de terreno (Yin e Yan, 1988). Este método bivariado, de suporte bayesiano, apoia-se na transformação logarítmica da razão entre a probabilidade condicionada de encontrar neve numa determinada classe de variável (fator de predisposição) e a probabilidade *a priori* de encontrar neve na totalidade da área em estudo (Zêzere, 2002).

A utilização do método do valor informativo, para a modelação da suscetibilidade à ocorrência de neve, compreendeu o cruzamento entre os mapas matriciais correspondentes às variáveis independentes e o fenómeno em estudo, bem como a aplicação da equação 3.15. Posteriormente a estes cálculos, foi criado um novo campo na tabela de atributos correspondentes a cada variável independente, onde se introduziram os valores de VI. É importante referir que sempre que $(S_i/n_i)/(S/n)=0$, o que acontece quando as classes da variável independente não integram dados de presença do fenómeno em estudo, é atribuído o valor de VI mais baixo calculado para o modelo em questão, dado que não é possível calcular o logaritmo natural de 0 (Melo, 2009). Atribuir o valor de 0 ao VI estaria errado no sentido em que este valor significa que a probabilidade condicionada é igual à probabilidade *a priori*, o que não corresponderia à verdade, dada a inexistência do fenómeno nessa classe.

O cálculo do modelo de suscetibilidade, foi efetuado através da soma de todas as variáveis independentes, com base no campo do VI que lhes corresponde. A soma destes valores foi efetuada através da ferramenta *Raster Calculator* do *software* ArcGIS.

3.6.4 Validação dos modelos

A utilização de modelos estatísticos para a elaboração de cartografia de suscetibilidade tem a vantagem de permitir uma análise quantitativa, através da avaliação da performance dos mesmos. Esta pode dividir-se em dois processos distintos: a avaliação do sucesso do modelo (taxa de sucesso) e a sua capacidade de predição (taxa de predição) (Garcia, 2002).

Na avaliação da taxa de sucesso analisa-se o ajuste dos modelos aos dados, atendendo a que os dados utilizados para a validação são os mesmos que integram a modelação.

No caso da avaliação da capacidade preditiva dos modelos, os dados utilizados para a validação são distintos dos que foram empregues na modelação.

Na avaliação da capacidade preditiva, consoante o processo de partição dos dados iniciais, existem três grandes tipos de métodos que podem ser utilizados:

- Temporal – Neste tipo de partição é necessário contruir uma base de dados do fenómeno com informação sobre a sua localização espacial e distribuição temporal. Desta forma a neve observada num período seria utilizada para efetuar a avaliação da suscetibilidade, sendo a validação avaliada com a neve observada num outro período de tempo, tudo no mesmo espaço (Pereira, 2009);

- Espacial – Neste tipo de partição utiliza-se uma área para efetuar a análise e valida-se aplicando o procedimento a outra área com características estruturais semelhantes. Outra forma de proceder é a utilização da mesma área subdividida em duas partes através de um critério previamente definido.
- Aleatório – Neste tipo de partição é escolhido aleatoriamente, na área em estudo, dois grupos de dados um para a análise ou modelação e um outro para a validação.

No presente trabalho, não faz sentido aplicar qualquer um dos dois primeiros métodos, visto que a informação existente sobre os fenómenos em estudo é proveniente de um único período de tempo e limita-se à própria área de estudo. Desta forma, para a avaliação da capacidade do modelo efetuou-se uma partição aleatória de 50% das ocorrências a integrar no processo de modelação, sendo que as restantes servirão para validação do mesmo.

A metodologia utilizada para o cálculo das taxas de sucessos e predição é semelhante, sendo que a única diferença encontra-se na área utilizada para a validação. Para o cálculo das taxas é necessário o cruzamento entre o mapa final de suscetibilidade à ocorrência do fenómeno em estudo, com o mapa do fenómeno a partir do qual se elaborou o modelo. É através deste cruzamento que se obtém para cada condição de suscetibilidade, a área (número de pixéis) correspondente a cada condição (área total), bem como a área relativa ao fenómeno em estudo e presente nessas mesmas condições de suscetibilidade (área do fenómeno) (Melo, 2009). Posteriormente ordena-se de forma decrescente os valores de suscetibilidade para o cálculo das frequências acumuladas da área total e das frequências acumuladas da área do fenómeno em estudo.

A transferência, para um gráfico de dispersão, das frequências acumuladas da área total e da área do fenómeno em estudo, possibilita a representação gráfica das curvas de sucesso ou predição. No sentido de quantificar a performance global do modelo é necessário o cálculo da Área Abaixo da Curva (*Area Under Curve* - AUC). Esta varia numa escala de valores entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 for o valor da AUC (discriminação perfeita), maior será a capacidade preditiva do modelo. Se o valor da AUC for de 0,5 significa que os modelos não têm capacidade de discriminação e por esta razão não devem ser considerados.

3.6.5 Classificação dos mapas de suscetibilidade

Existem diversos métodos para a classificação dos mapas de suscetibilidade, no entanto, não existem classificações mais “corretas”, desde que estes métodos sejam bem aplicados.

No presente trabalho uma vez que há necessidade de comparação entre os dois métodos estatísticos utilizados, os mapas de suscetibilidade foram classificados em seis classes: as cinco primeiras classes, de igual amplitude (10%), correspondem a 50% da área com maior suscetibilidade à ocorrência do fenômeno. A sexta classe compreende os restantes 50% da área total com menor suscetibilidade. As percentagens foram determinadas com base nos valores de probabilidade e cálculo das respectivas frequências acumuladas da área total e da área do fenômeno em estudo, considerando uma hierarquia decrescente desses mesmos valores.

No mapa ideal de suscetibilidade verificar-se-ia a maior porção do fenômeno em estudo, na menor área possível das classes mais suscetíveis, resultando num aumento da capacidade preditiva do modelo.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA NEVE NO VERÃO

4.1 INTRODUÇÃO

O cruzamento entre as variáveis independentes e a variável dependente (ausência e presença de neve) permitiu uma análise, inicial, da forma como a neve se encontra distribuída pelas diferentes classes de cada fator condicionante. Neste subcapítulo apresenta-se uma breve descrição dos fatores que, em cada área, condicionam de uma forma mais significativa a presença de neve sendo que, em alguns casos, apresenta-se uma possível justificação para a distribuição observada.

As imagens utilizadas, como já referido, não correspondem ao mesmo período de tempo. Deste modo, a comparação entre cada área pormenor é dificultada, uma vez que a presença de neve é condicionada pelas condições meteorológicas que se verificam em cada mês e em cada ano. Contudo, dado o objetivo ser a identificação dos fatores que condicionam a presença de neve em cada área pormenor a utilização destas imagens torna-se útil.

De forma a analisar período antecedente à captação da imagem elaborou-se uma tabela com a classificação térmica, dos meses antecedentes e mês da imagem, com intuito de justificar ou ajudar na análise da distribuição da neve observada. A classificação térmica foi elaborada através do cálculo dos percentis e quartis, para a série temporal utilizada na caracterização do clima das Ilhas Shetland do Sul. O cálculo dos percentis e quartis permite, em relação à média dos meses de uma série de dados, estabelecer uma classificação térmica. Deste modo, a classificação térmica é atribuída consoante a classe em que o valor médio da temperatura desse mês se inclui.

O quadro 4.1 demonstra uma grande variação na classificação térmica uma vez que existem meses classificados desde extremamente frios a extremamente quentes. Na península Fildes os meses antecedentes à data da imagem traduzem condições de um verão particularmente quente. Na Península Barton e Weaver verificou-se um período de meses muito frios. Na península Byers observou-se uma variação forte entre os meses de Novembro e Dezembro, de extremamente quente para muito frio, e os meses de Janeiro e Fevereiro, de muito frio a muito quente, respetivamente. Os meses antecedentes à imagem da Península Hurd revelam que a temperatura não evidenciou variações fortes, com exceção do mês de Dezembro que foi classificado com extremamente quente. A classificação térmica dos meses antecedentes à data da imagem da Ilha Deception revelam condições de um verão onde os valores médios da temperatura correspondem à média dos anos da série, sendo que o mês de

Outubro e Novembro foram classificados como extremamente frio e moderadamente frio, respectivamente.

Quadro 4.1 - Caracterização térmica dos meses antecedentes e do mês da da imagem de satélite

Mês/Ano	Temperatura Média	Classificação Térmica
Península Fildes		
Novembro 2005	-0.8	Moderadamente Quente
Dezembro 2005	0	Normal
Janeiro 2006	2.7	Extremamente Quente
Fevereiro 2006	2.5	Extremamente Quente
Penínsulas Barton e Weaver		
Outubro 2012	-3.8	Muito Frio
Novembro 2012	-2	Muito Frio
Dezembro 2012	-1.2	Muito Frio
Janeiro 2013	0.5	Extremamente Frio
Península Byers		
Novembro 2010	0.3	Extremamente Quente
Dezembro 2010	-0.1	Muito Frio
Janeiro 2011	1.2	Muito Frio
Fevereiro 2011	2.3	Muito Quente
Península Hurd		
Novembro 2006	-0.7	Moderadamente Frio
Dezembro 2006	1.1	Extremamente Quente
Janeiro 2007	2	Moderadamente Quente
Fevereiro 2007	1.8	Moderadamente Frio
Ilha Deception		
Outubro 2002	-5.8	Extremamente Frio
Novembro 2002	-1.7	Moderadamente Frio
Dezembro 2002	0.3	Normal
Janeiro 2003	1.6	Normal

4.2 A NEVE NA PENÍNSULA FILDES NO DIA 21/02/2006

4.2.1 A distribuição espacial da neve

A. Avaliação da qualidade da classificação automática

Considerando que, a exatidão do produtor representa a probabilidade da amostra ser bem classificada constata-se que ambas apresentam bons resultados, uma vez que essa probabilidade ultrapassa os 90% (Quadro 4.2). Contudo, o quadro demonstra que essa probabilidade é maior para a ausência de neve (98.7%) do que para a presença de neve (93.6%). A exatidão do utilizador é a medida que traduz a probabilidade de um píxel classificado na imagem, representar a classe na realidade. Através do mesmo quadro, verifica-se uma diferença significativa entre a presença de neve (78.6%) e a ausência de neve (99.7%). Esta diferença resulta dos erros de comissão (linha), que em relação ao total da presença de neve representam uma porção significativa da mesma. Assim, 592 pixéis classificados como neve correspondem de facto a ausência de neve. Na classe da ausência de neve verificam-se apenas 150 pixéis mal classificados. É aceitável assumir que estes erros de classificação resultam do facto de algumas infraestruturas (construções) presentes na península assumirem uma assinatura espectral semelhante à da neve. A atribuição errada da classe a um píxel, poderá ter implicações na identificação dos fatores que mais influenciam a presença de neve, uma vez que considera um píxel errado como local onde existe o elemento.

Apesar dos valores de exatidão, obtidos para a neve, serem mais discretos do que os de ausência de neve, não significa que a sua utilização não esteja correta uma vez que o valor total de precisão é bastante satisfatório (98.5%). O índice de Kappa, que traduz a concordância entre a classificação e os dados de referência, é de 0,84. Deste modo, existe uma concordância entre o método selecionado e uma atribuição aleatória de classes aos pixéis, na ordem dos 84% que como referem (Landis e Koch, 1977) representa uma qualidade excelente.

Quadro 4.2 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Península Fildes

	Presença de Neve	Ausência de Neve	Total	Exatidão do Utilizador (%)
Presença de Neve	2176	592	2768	78,6
Ausência de Neve	150	46239	46389	99,7
Total	2326	46831	49157	Exatidão Global (%)
Exatidão do Produtor (%)	93,6	98,7		98,49

A diferença observada entre o número de pixéis utilizados para classificar a presença e ausência de neve, no quadro 4.2, deve-se ao facto deste elemento, revelar uma assinatura espectral bastante distinta dos restantes. Por esta razão não necessita de elevado número de exemplos para a sua correta classificação. O pequeno número de pixéis utilizado é justificado, também, pela reduzida presença de neve. Após várias tentativas de classificação verificou-se que o aumento do número de pixéis para a representação da ausência de neve se traduzia em melhores resultados (valores de precisão).

B. Mapa da distribuição da neve

A distribuição da neve, na Península Byers, reflete as consequência das condições térmicas verificadas, antes da captação da imagem bem como os fatores condicionantes da distribuição de neve (Figura 4.1). Através quadro 4.1, observam-se classificações térmicas desde o parâmetro normal até extremamente quente. Deste modo, a reduzida ocupação por neve da Península Fildes pode estar relacionada com as temperaturas elevadas que se verificaram nestes meses, uma vez que estas permitem a fusão acelerada da mesma.

Numa primeira análise os fatores que aparentam condicionar a presença de neve na Península Fildes são: a altitude, por ser possível observar maior concentração de neve nas mesetas norte e sul; vertentes expostas a sudeste, abrigadas dos ventos dominantes de noroeste e onde a radiação solar incidente é menor; concavidades, ou seja, depressões no terreno que oferecem proteção à acumulação de neve.



Figura 4.1 - Distribuição espacial da neve a 21/02/2006, na Península Fildes

4.2.2 Análise Exploratória dos fatores condicionantes

A. Altimetria

A análise dos valores ponderados, presentes no quadro 4.3, para a presença de neve ilustram uma clara zonação altitudinal. Abaixo de 60 metros, a presença de neve é residual (AP <2%), e acima, os valores ponderados máximos ocorrem até 80 m, superando 7%, decrescendo posteriormente de modo irregular, com o aumento da altitude.

Segundo os fatores descritos no primeiro capítulo, com maior influência na presença de neve, a concentração deste elemento em classes de maior altitude é justificada. No entanto, em Fildes, a partir dos 80 metros verifica-se uma diminuição da presença de neve que, de alguma forma, pode estar relacionada com o facto de estas áreas corresponderem a topos,

promovendo a sua exposição ao vento dominante e a uma maior radiação solar incidente, implicando menor presença de neve.

B. Declive

A neve, no que se refere aos declives, concentra cerca de 60% do seu total entre os 0° e os 15°. Porém, os valores ponderados máximos ocorrem entre os 15° e os 30° (AP > 4%) diminuindo, de forma irregular, ao longo do aumento do declive. O peso atribuído a declives entre os 15° e os 30°, nos valores ponderados, sugere estar relacionado com o facto de estes corresponderem a áreas onde a radiação global anual é baixa, não promovendo a fusão de neve (Quadro 4.3).

C. Exposição das vertentes

Através da análise dos valores ponderados, presentes no quadro 4.3, para a presença de neve, relativamente à exposição das vertentes, ilustram a importância das exposições sudeste (4,23%) e sul (3,49%) com valores superiores às restantes classes, que não ultrapassam 3%.

A exposição de uma vertente, em conjunto com outros fatores, condiciona a radiação global anual recebida por um local. Desta forma, os valores ponderados atribuídos a vertentes expostas a sudeste e a sul correspondem a valores de radiação moderados a baixos e também a áreas de menor exposição ao vento dominante.

D. Curvatura da superfície

Relativamente à curvatura da superfície, é possível constatar, através do quadro 4.3, que não se verificam grandes diferenças na distribuição nos valores ponderados obtidos. No entanto, constata-se que as vertentes convexas (AP%=1,77) são menos significativas na presença de neve. A influência da curvatura de uma vertente correlaciona-se com inúmeros fatores, no sentido em que, uma vertente mesmo que côncava só promoverá a presença de neve se as características da sua orientação e o declive o permitirem. Assim, justifica-se a proximidade dos valores ponderados, entre as classes da curvatura do tipo côncava e retilínea. No entanto, parece existir uma ligação entre as vertentes côncavas e áreas com um índice baixo de exposição ao vento dominante, determinando que estas oferecem proteção.

E. Índice de Posicionamento Topográfico

No diz respeito à variável IPT confirma-se, através dos valores ponderados, que são as concavidades (depressões) que assumem maior influência na presença de neve, dado que é a

classe que atinge um dos valores mais elevados de ponderação (2,61%), em conjunto com a classe das vertentes (3,06%). As conclusões retiradas para o peso atribuído às classes da curvatura da superfície aplicam-se ao IPT, uma vez que ambas representam variáveis caracterizantes das formas de relevo. No entanto, reforça-se a ideia de que as classes onde se observam valores de ponderação mais elevados correspondem a áreas onde a exposição ao vento é reduzida (Quadro 4.3).

F. Índice de exposição ao vento

No que diz respeito ao IEV verifica-se, através do quadro 4.3, que são as classes extremas que apresentam valores mais elevados de ponderação. A classe que representa locais com índice de exposição ao vento baixo, apresenta 28% da neve total e atinge o valor ponderado de 2,61%. A classe que representa locais onde o índice de exposição ao vento é elevado apresenta apenas 19,15% da neve total mas um valor de ponderação de 3,06%. Os valores ponderados atribuídos às classes representativas de um índice de exposição ao vento menor estão de acordo com o que foi referido no capítulo 1. Através da análise dos mapas elaborados verifica-se que os locais, correspondentes a um índice de exposição do vento elevado, onde existe a presença de neve correspondem, na grande maioria, a vertentes côncavas. A distribuição da neve nestas áreas demonstra que este tipo de curvatura da superfície dificulta a progressão da neve promovendo a sua acumulação nas mesmas.

G. Radiação Global Anual

Os valores de radiação global anual mais baixa a moderada demonstram valores de ponderação mais elevados. Como é caso a classes entre 1.59 e 2.00 GJ/m² (AP%=8,7). O resultado ponderado de 1,27% (valor baixo) na classe entre os 1,05 e 1,59 GJ/m² é justificado por nos locais a que correspondem a estes valores se verificar a predominância do de superfícies convexas que, como assinalado anteriormente, são menos significativa na presença de neve (Quadro 4.3).

4.2.3 Conclusão

A análise da influência individual dos fatores condicionantes da distribuição da neve de verão na península Fildes permite extrair algumas conclusões parciais. A data da imagem traduz as condições de um verão particularmente quente, em que a neve no terreno foi muito escassa,

tratando-se de um padrão de fusão já muito avançado. Os resultados mostram que a neve ocorria preferencialmente nas áreas mais elevadas, com menor radiação solar potencial incidente e ainda nas concavidades e setores retilíneos do terreno. Este padrão sugere que apesar de as ilhas shetlands do sul serem um arquipélago de muito forte nebulosidade, onde a radiação difusa tem um papel importante no balanço radiativo, é a exposição que tem o papel mais preponderante nos padrões de fusão. As áreas onde a neve permaneceu mais tempo correspondem a concavidades no rebordo sul da meseta norte. Na meseta sul, local onde existe um quantidade considerável de neve, a sua distribuição corresponde a setores côncavos desta plataforma verificando-se neve no rebordo sul da meseta. Assim, conclui-se que a neve permanece, essencialmente, nas mesetas desta península.

Quadro 4.3 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na Península Fildes

Altimetria (m)	A %	AP %
0 - 20	11,81	1,14
20 - 40	21,30	1,19
40 - 60	12,09	1,76
60 - 80	22,65	7,41
80 - 100	21,65	6,44
100 - 120	8,49	3,60
120 - 140	2,01	4,20
140-150	-	-
Declive (°)	A %	AP %
0-5	33,20	1,54
5-10	26,77	2,30
10 - 15	16,98	3,18
15-20	10,69	4,40
20-25	7,17	4,91
25-30	3,81	4,03
30-35	1,04	1,82
35-40	0,22	0,99
40-45	0,01	0,15
>45	0,10	0,50
Exposição das vertentes	A %	AP %
Plana	9,02	1,35
Norte	10,19	1,83
Nordeste	8,74	1,60
Este	8,45	2,45
Sudeste	15,18	4,23
Sul	16,82	3,49
Sudoeste	7,55	1,53
Oeste	6,90	1,66
Noroeste	17,16	3,00
Curvatura da superfície	A %	AP %
Côncava	52,16	2,56
Retilínea	20,48	2,37
Convexa	27,36	1,77
IPT	A %	AP %
Depressão	26,75	2,61
Superfície aplanada	31,12	1,72
Vertentes	32,05	3,06
Topos	10,09	2,25
IEV	A %	AP %
0,75 - 0,89	28,08	2,61
0,89 - 1,0	18,84	2,47
1,0 - 1,23	33,93	1,72
1,23 - 1,35	19,15	3,06
Radiação Global Anual (GJ/m²)	A %	AP %
0,36 - 1,22	0,61	1,27
1,22 - 1,76	7,04	5,33
1,76 - 1,97	25,53	3,73
1,97 - 2,11	39,88	1,62
2,11 - 2,32	26,94	2,43

4.3 A NEVE NAS PENÍNSULAS BARTON E WEAVER NO DIA 26/01/2003

4.3.1 A distribuição espacial da neve

A. Avaliação da qualidade da classificação automática

No quadro 4.4 observa-se que a classificação da neve nas penínsulas Barton e Weaver, gerou resultados muito satisfatórios, com uma exatidão global de 99,9%. O índice *Kappa* traduz uma concordância entre o método selecionado e atribuição aleatória aos pixels na ordem dos 99%, valor que na escala definida por Landis e Koch (1977) representa uma qualidade de exatidão temática excelente.

Verificam-se pequenas diferenças entre classes na exatidão do utilizador e do produtor, com uma probabilidade de 100% da amostra ser bem classificada para a presença de neve e de 99,8% para a ausência de neve. No que diz respeito à probabilidade de um pixel classificado na imagem corresponder à realidade no terreno, verifica-se que para a presença de neve esse valor é de 99,8% e de 100% para a ausência de neve. Estes valores são o resultado da classificação errada de apenas 6 pixels como presença de neve.

Quadro 4.4 - Matriz de confusão da classificação supervisionada das Penínsulas Barton e Weaver

	Presença de Neve	Ausência de Neve	Total	Exatidão do Utilizador (%)
Presença de Neve	3565	6	3571	99,83
Ausência de Neve	0	2456	2456	100
Total	3565	2462	6027	Exatidão Global (%)
Exatidão do Produtor (%)	100	99,76		99,9

B. Mapa da distribuição da neve

A análise climática dos meses antecedentes à imagem mostra serem meses muito frios, sendo Janeiro de 2003 classificado como extremamente frio (Quadro 4.1). Na data da imagem, a neve terá, por isso, sofrido menor fusão do que na imagem de Fildes, podendo mesmo esta refletir o resultado de eventos de queda de neve, como é frequente na região nos verões mais frios. A cobertura nival corresponde a 58% da área não glaciada, podendo esta imagem ser usada como um exemplo de um verão com neve abundante e de uma fase inicial do processo de fusão estival. A forte cobertura por neve dificulta a análise dos fatores condicionantes e permite apenas identificar aqueles que afetam o estágio inicial da fusão, refletindo-se ainda,

provavelmente, os efeitos da acumulação diferencial de neve durante a estação fria. As áreas com menos neve ocorrem preferencialmente junto ao litoral, mas também num complexo padrão espacial distribuído pela península, que parece relacionado com a topografia, em particular pelas convexidades, mais expostas ao vento e onde a neve também se terá acumulado menos no inverno.

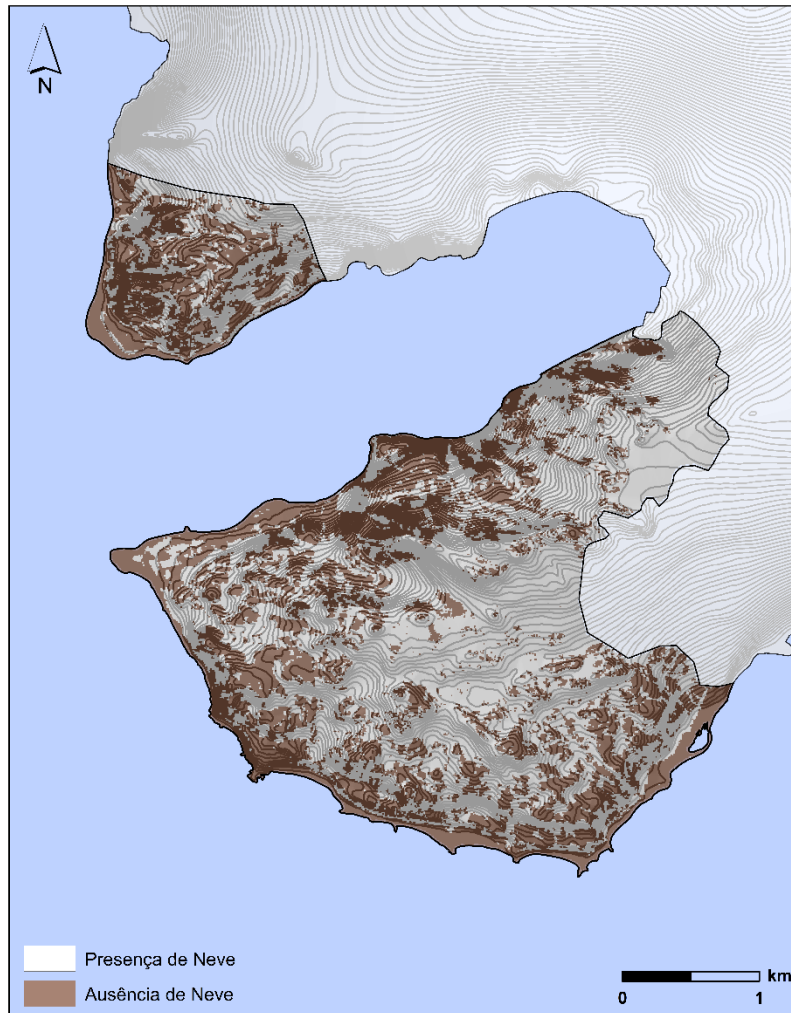


Figura 4.2 - Distribuição espacial da neve a 26/01/2003, nas Penínsulas Barton e Weaver

4.3.2 Análise Exploratória dos fatores condicionantes

A. Altimetria

Nas penínsulas de Barton e Weaver a influência da altimetria é semelhante a Fildes, com a diferença de que não ocorrem frequências menores nas altitudes mais elevadas, ilustrando o aumento da influência da altimetria nas classes mais elevadas. A influência da altitude torna-se particularmente significativa a partir dos 120 metros, quando a AP passa de menos de 50%,

para mais de 70%; e acima de 180 metros, onde se verifica novo salto dos 76% para 87% de AP (Quadro 4.5). O aumento da influência da altitude está de acordo com o referido no capítulo 1, quando se afirma que o seu aumento promove a queda de neve e manutenção da mesma.

B. Declive

Relativamente ao declive verifica-se uma maior presença de neve nas vertentes com declives suaves a moderados. As superfícies com 5° a 20° concentram 68 % da neve. Os valores ponderados ilustram, também, este padrão uma vez que os valores mais elevados se verificam entre as mesmas classes (AP > 60%). Os valores ponderados elevados observados em classes correspondentes a baixo declive são o resultado da neve estar numa fase muito inicial fusão, sendo que os padrões encontrados traduzem essencialmente as diferenças na acumulação na estação fria. É de notar que nas praias, apesar de corresponderem a áreas de baixo declive, a presença de neve é muito reduzida demonstrando a influência da altitude.

C. Exposição das vertentes

Relativamente à exposição das vertentes cerca de 53,7% da neve total encontra-se distribuída por vertentes expostas a Sudeste, Sul e Sudoeste. Os valores ponderados demonstram que são as exposições a Sul e Sudeste que mais influência exercem na presença de neve. A influência destas classes na presença de neve poderá estar relacionada com a sua menor exposição à radiação solar incidente, apesar do peso desta não se demonstrar, ainda visível.

D. Curvatura da superfície

Os valores ponderados para as classes desta variável apresentam diferenças pouco significativas. No entanto, através da análise do mapa relativo à variável, verifica-se que as convexidades revelam menor presença de neve (AP=53,6%) abaixo dos 120 metros de altitude.

E. Índice de Posicionamento Topográfico

Através da análise dos valores ponderados atribuídos a cada classe da variável IPT verifica-se que os valores baixos atribuídos aos topos (42,7%) estão de acordo com os valores ponderados obtidos para as convexidades. Revelando a influência destas na fusão inicial da neve.

F. Índice de Exposição ao Vento

Os resultados ponderados obtidos traduzem uma influência pouco significativa da variável, uma vez que não se verificam grandes diferenças nos valores atribuídos a cada classe (AP% >54 e <66). Contudo o padrão da distribuição da neve observado poderá resultar da importância que o vento tem na deposição inicial da neve promovendo a maior presença de neve em vertentes expostas ao vento dominante.

G. Radiação Global Anual

Relativamente à radiação global anual, são os valores intermédios, entre 1,22 e 1,97 GJ/m² que obtêm valores de ponderação mais elevados (AP% > 58). Estes valores poderão resultar da influência da radiação solar incidente não ser visível uma vez que a situação, nas Penínsulas Barton e Weaver, representa uma fase inicial da fusão da neve.

4.3.3 Conclusão

A análise da influência individual dos fatores condicionantes da distribuição da neve de verão nas penínsulas Barton e Weaver permitiu extraí conclusões relativas a uma situação onde se verifica uma maior cobertura por neve e a uma fase inicial de fusão da mesma. Os resultados mostram que a fusão ocorre preferencialmente em convexidades a uma altitude relativamente baixa (<120 metros). Através da análise das áreas onde se observa um padrão de fusão mais avançado (áreas de baixa altitude) verificou-se a concentração da neve em áreas de menor exposição à radiação solar incidente que correspondem a vertentes expostas a sul. Desta forma, os resultados sugerem uma maior preponderância das áreas mais elevadas, concavidades, e da exposição a sul na presença de neve. Assim observa-se uma concentração de neve, nas penínsulas, no setor central (elevada altitude) para o setor este.

Quadro 4.5 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve, nas Penínsulas Barton e Weaver

Altimetria (m)	A %	AP %
0 - 20	6,58	28,68
20 - 40	5,09	41,79
40 - 60	5,92	52,76
60 - 80	7,68	49,20
80 - 100	9,80	49,57
100 - 120	10,74	49,68
120 - 140	11,65	73,21
140 - 160	10,00	73,14
160 - 180	9,56	76,44
180 - 200	5,82	86,58
200 - 220	5,54	88,76
220 - 240	9,40	88,59
240 - 260	2,21	83,20
Declive (°)	A %	AP %
0-5	16,71	47,29
5-10	31,13	62,85
10 - 15	25,51	64,88
15-20	12,10	60,97
20-25	6,96	56,01
25-30	3,86	52,39
30-35	1,99	50,70
35-40	0,98	48,01
40-45	0,38	44,01
>45	0,38	36,65
Exposição das vertentes	A %	AP %
Plana	2,80	24,84
Norte	7,22	38,80
Nordeste	2,30	38,86
Este	4,31	49,48
Sudeste	14,59	65,27
Sul	23,50	71,09
Sudoeste	15,65	66,81
Oeste	11,70	63,97
Noroeste	17,93	59,64
Curvatura da superfície	A %	AP %
Côncava	53,62	63,29
Retilínea	9,26	52,43
Convexa	37,12	53,56
IPT	A %	AP %
Depressão	21,10	60,45
Superfície aplanada	17,61	52,90
Vertentes	47,03	67,08
Topos	14,25	42,70
IEV	A %	AP %
0,75 - 0,89	28,41	54,73
0,89 - 1,0	16,47	66,06
1,0 - 1,23	19,99	59,50
1,23 - 1,35	35,13	57,36
Radiação Global Anual (GJ/m²)	A %	AP %
0,36 - 1,22	0,28	46,90
1,22 - 1,76	4,89	58,17
1,76 - 1,97	17,93	61,74
1,97 - 2,11	39,95	56,88
2,11 - 2,32	36,95	58,26

4.4 A NEVE NA PENÍNSULA BYERS NO DIA 02/02/2011

4.4.1 A distribuição espacial da neve

A. Avaliação da qualidade da classificação automática

Através do quadro 4.6 é possível constatar que a classificação para a Península Byers gerou excelentes resultados, com uma exatidão global de 99,9%. O índice *Kappa* reforça o bom resultado obtido, com 99%. Analisando os valores de exatidão do produtor e do utilizador, não se observam diferenças significativas entre as duas classes. Os erros observados são mínimos, mas derivam da presença de nuvens em alguns locais da península, promovendo a classificação de áreas como neve que na verdade correspondem a locais onde a neve é ausente.

Quadro 4.6 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Península Byers

	Presença de Neve	Ausência de Neve	Total	Exatidão do Utilizador (%)
Presença de Neve	2037	2	2039	99,9
Ausência de Neve	14	8770	8784	99,8
Total	2051	8772	10823	Exatidão Global (%)
Exatidão do Produtor (%)	99,3	99,9		99,85

B. Mapa da distribuição da neve

O período que antecedeu a data de recolha da imagem da península Byers apresenta um conjunto de meses com características térmicas variáveis. Novembro de 2010 foi extremamente quente, dezembro e janeiro foram muito frios e, por fim, Fevereiro, muito quente.

Analisando a figura 4.3 é possível observar que a distribuição de neve na península Byers é fortemente influenciada pela organização do relevo e, em particular, pela distribuição dos vales e valeiros. A altimetria demonstra-se, também, relevante para a distribuição da neve, uma vez que é no setor a noroeste (Dospey Heights) de altitude superior a 120 metros, onde se verifica uma maior ocorrência de neve. As concavidades ou depressões, que resultam da presença de uma complexa rede hidrográfica, são também áreas onde ocorre grande acumulação de neve.



Figura 4.3 - Distribuição espacial da neve a 02/02/2011, na Península Byers

4.4.2 Análise Exploratória dos fatores condicionantes

A. Altimetria

Os dados do quadro 4.7 revelam a influência pouco clara da altimetria na distribuição da neve. Segundo os valores ponderados, existe um aumento da influência das classes na ocorrência de neve até aos 140 m de altitude, seguido de uma diminuição até aos 200 m e um posterior aumento até aos 240 m. As classes onde se verificam os valores ponderados mais elevados são entre os 120 e 140 m e entre os 220 e 240 m.

Os resultados obtidos poderão estar relacionados com o facto de existir uma concentração da neve nos vales e valeiros (concavidades), que correspondem a áreas de altitude mais baixa, e no setor Dospey Heights correspondente a uma altitude mais elevada, justificando assim a quebra observada nos valores ponderados.

B. Declive

A influência do declive sobre a distribuição da neve na Península Byers revela uma tendência para a diminuição da neve com o aumento do declive. Este facto demonstra-se com a grande concentração de neve (89%) em declives até 15°. As classes que apresentam um valor ponderado mais elevado ($AP\% > 22$) correspondem aos declives entre os 5° e os 15° (Quadro 4.7).

C. Exposição das vertentes

Na Península Byers são as vertentes expostas a este e sudeste aquelas que obtiveram maiores valores ponderados de cobertura nival, com o máximo de 26% para a exposição leste. Esta distribuição corresponde às áreas de baixo declive, nos fundos de vale, estando de acordo com os valores ponderados atribuídos a declives abaixo do 15° (Quadro 4.7).

D. Curvatura da superfície

Relativamente à curvatura da superfície, observa-se no quadro 4.7 que é no tipo côncava que se verifica uma maior ocupação por neve, com 48,53% do seu total a integrar esta classe. Os valores ponderados sustentam, também, a influência desta classe na presença de neve ($AP\% = 19,9$).

E. Índice de Posicionamento Topográfico

As classes referentes a depressões e a vertentes são, as que apresentam valores de ponderados mais elevados, 19,7 % e 24,8 %, respetivamente. No entanto e devido à forte presença de superfícies aplanadas verifica-se maior concentração de neve nesta classe (48%). Este fato está de acordo com o peso atribuídos a áreas representativas de declive fraco (Quadro 4.7).

F. Índice de exposição ao vento

Relativamente ao índice de exposição ao vento é nas classes intermédias com um índice de exposição entre 0,89 e 1,23, que se verificam valores ponderados mais elevados e por sua vez uma maior concentração da neve (61%). Os valores ponderados próximos, observados nesta variável, revela que a própria não sugere grande influência. Analisando os mapas não se identifica uma relação direta entre a distribuição da neve e as áreas com maior índice de exposição (Quadro 4.7).

G. Radiação Global Anual

Atendendo aos valores ponderados, do quadro 4.7, os valores de radiação global anual com maior influência na ocorrência de neve correspondem aos valores compreendidos entre 1,76 e 1,94 e 2,04 – 2,27 GJ/m². A distribuição observada coaduna com o facto de não existir grande presença de neve em áreas de declive acentuados que por sua vez correspondem às áreas de menor exposição solar incidente. Assim, verifica-se a preponderância das classes de valores de radiação global anual mais elevados. Este facto pode dever-se a esta variável não ser a que maior peso exerce na distribuição de neve na península Byers.

4.4.3 Conclusão

Os resultados observados demonstram que as variáveis modeladas não têm uma grande capacidade de destacar quais os fatores que promovem a distribuição da neve, observada, na península Byers. Desta forma, as classes às quais é atribuído maior peso não corresponderem às condições que, por norma, promovem a presença de neve. Contudo, constata-se a preponderância correlacionada de declives moderados e de superfícies aplanadas que na grande maioria correspondem aos fundos de vale.

A distribuição da neve observada no mapa faz sentido, no entanto os resultados obtidos para as variáveis utilizadas sugerem que estas poderão não ser as que melhor justificam a distribuição observada ou, de alguma forma, não são adequadas à escala de análise. Todavia através da análise dessa distribuição verifica-se que esta ocorre preferencialmente no setor central da península, delimitado por praias. Neste setor esta concentra-se nas depressões (vales e valeiros) e em superfícies aplanadas. Verifica-se, também, uma concentração de neve no setor Dospey Heights, demonstrando assim a influência da altitude (>120 metros). Neste local a neve ocorre, sobretudo, em superfícies aplanadas.

Quadro 4.7 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na Península Byers

Altimetria (m)	A %	AP %
0 - 20	5,24	2,72
20 - 40	8,59	8,60
40 - 60	13,56	15,77
60 - 80	31,80	25,00
80 - 100	18,55	29,43
100 - 120	11,00	41,52
120 - 140	7,65	51,45
140 - 160	2,32	40,05
160 - 180	0,44	27,21
180 - 200	0,26	21,27
200 - 220	0,24	30,18
220 - 240	0,27	49,52
240 - 250	0,06	44,27
Declive (°)	A %	AP %
0-5	49,76	13,24
5-10	26,49	22,25
10 - 15	13,07	24,23
15-20	5,36	20,69
20-25	2,43	16,42
25-30	1,20	12,31
30-35	0,61	8,57
35-40	0,39	8,00
40-45	0,27	8,25
>45	0,43	6,88
Exposição das vertentes	A %	AP %
Plana	22,98	18,89
Norte	6,06	10,30
Nordeste	12,01	17,25
Este	11,13	26,21
Sudeste	13,15	21,53
Sul	12,41	14,28
Sudoeste	11,46	14,32
Oeste	6,11	11,74
Noroeste	4,68	9,75
Curvatura da superfície	A %	AP %
Côncava	48,53	19,86
Retilínea	25,26	11,97
Convexa	26,21	15,86
IPT	A %	AP %
Depressão	15,63	19,65
Superfície aplanada	48,40	13,16
Vertentes	26,42	24,80
Topos	9,55	14,27
IEV	A %	AP %
0,75 - 0,89	24,35	13,53
0,89 - 1,0	25,27	19,49
1,0 - 1,23	35,63	18,11
1,23 - 1,35	14,76	12,91
Radiação Global Anual (GJ/m²)	A %	AP %
0,70 - 1,46	0,63	10,64
1,46 - 1,76	1,67	11,56
1,76 - 1,94	11,64	21,38
1,94 - 2,04	31,64	10,68
2,04 - 2,27	54,42	21,81

4.5 A NEVE NA PENÍNSULA HURD NO DIA 03/02/2007

4.5.1 A distribuição espacial da neve

A. Avaliação da qualidade da classificação automática

A classificação das áreas cobertas de neve na península Hurd deu resultados bastante satisfatórios, com todas as medidas de exatidão a ultrapassar os 90% (quadro 4.8). O índice *Kappa* foi de 0,98, o que corresponde a uma exatidão excelente. Relativamente à exatidão do produtor constata-se que a classe da presença de neve assume a probabilidade de 100% de ser bem classificada, sendo que a classe referente à ausência de neve obteve uma probabilidade de 99%. Os erros por omissão correspondem à ausência de neve uma vez que 44 pixéis foram classificados, de forma errada, como neve. A exatidão do produtor verifica-se maior na classe de ausência de neve, uma vez que esta não apresenta qualquer erro de comissão ao contrário da classe relativa à presença de neve. Os erros observados relacionam-se com o facto de alguns setores da imagem, sobretudo em áreas circundantes à base búlgara e um pouco mais a sul, apresentarem elevada nebulosidade. No entanto, este facto não foi impeditivo da identificação de neve, nestas zonas.

Quadro 4.8 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Península Hurd

	Presença de Neve	Ausência de Neve	Total	Exatidão do Utilizador (%)
Presença de Neve	2007	44	2051	97,9
Ausência de Neve	0	4484	4484	100
Total	2007	4528	6535	Exatidão Global (%)
Exatidão do Produtor (%)	100	99,0		99,30

B. Mapa da distribuição da neve

Através da análise do quadro 4.1 constata-se que a classificação térmica dos meses anteriores à captação da imagem, varia entre moderadamente frio e extremamente quente. A distribuição da neve observada na figura 4.4 é o resultado de um período de fusão uma vez que não se verifica uma elevada cobertura por neve, sendo que aquela que a que existe encontra-se muito localizada e ocupa uma área limitada (10%).

A análise da figura 4.4 permitiu a identificação prévia dos fatores que aparentam influenciar a distribuição da neve na Península Hurd. Desta forma, a altitude, as concavidades

(depressões) e menor exposição ao vento dominante são os fatores que parecem influenciar de uma forma mais significativa a distribuição de neve.



Figura 4.4 - Distribuição espacial da neve a 03/02/2007, na Península Hurd

4.5.2 Análise Exploratória dos fatores condicionantes

A. Altimetria

Na Península Hurd cerca de 57% da superfície de neve encontra-se entre 120 e 280 m de altitude. A distribuição de neve pelas classes altitudinais demonstra-se irregular uma vez que analisando os valores ponderados não se verifica um aumento ou diminuição gradual dos mesmos. Desta forma, estes valores sugerem a importância de outros fatores na distribuição observada. No entanto entre os 120 e 200 m observa-se um aumento gradual do peso dos mesmos, uma vez que estes correspondem a classes intermédias onde se verifica grande parte da neve (Quadro 4.9).

B. Declive

No que concerne aos declives é possível depreender através do quadro 4.9 que na presença de neve esta variável não exerce um controlo específico, dada a distribuição relativamente simétrica do elemento. No entanto, é perceptível um maior contributo dos declives entre os 5 e 15° (AP%=13,6).

C. Exposição das vertentes

Relativamente à exposição das vertentes observa-se, segundo os valores ponderados, que são as vertentes expostas a Sul, Sudeste e Sudoeste que exercem maior influência na presença de neve. Nestas classes o valor de AP é de 38 % (Quadro 4.9).

D. Curvatura da superfície

Analisando o quadro 4.9 constata-se que, o peso da curvatura da superfície não difere em grande medida, entre classes. Contudo as superfícies retilíneas apresentam um valor ponderado ligeiramente maior que as restantes (11,4%).

E. Índice de Posicionamento Topográfico

Em Hurd, as formas do relevo (IPT) demonstram, apesar de pequena, influência na distribuição do fenómeno. Através dos valores ponderados observa-se que a classe relativa a depressões (AP=10,4 %) e a classe relativa a vertentes (AP=11,4%) obtêm pesos mais elevados. O facto das vertentes demonstrarem um valor ponderado mais elevado deve-se às vertentes longas e sombrias que se observam no setor sudeste da península que correspondem a áreas de baixa radiação solar incidentes e exposição ao vento (Quadro 4.9).

F. Índice de exposição ao vento

Relativamente ao índice de exposição ao vento observa-se, através da análise dos valores ponderados do quadro 4.9, que são as classes de menor índice de exposição ao vento dominante (0,75 a 1,00) que detêm maior influência na presença de neve e onde se observa maior concentração de neve (42%). Estes resultados estão de acordo com o referido relativamente ao peso das vertentes sudeste da península.

G. Radiação Global Anual

Nas classes da radiação global anual, entre 0,65 e 1,66 GJ/m², observam-se os valores ponderados mais elevados, ou seja, as classes correspondentes a uma menor radiação global anual. Desta forma, os valores obtidos coadunam com a importância revelada pelas vertentes

de exposição sudeste na ilha, representativas das áreas de menor exposição a radiação solar incidente (Quadro 4.9).

4.5.3 Conclusão

A análise da influência individual dos fatores condicionantes da distribuição da neve de verão na península Hurd permitem extrair algumas conclusões parciais. A data da imagem reflete um período de fusão e uma situação de grande nebulosidade. Os resultados obtidos mostram que a neve ocorre preferencialmente em áreas mais elevadas de menor exposição à radiação solar potencial (valores de radiação inferiores a $1,66 \text{ GJ/m}^2$) e ao vento dominante ($\text{IEV} < 1$) e, ainda, nas concavidades e setores retilíneos do terreno. Este padrão sugere que a exposição tem um papel preponderante na distribuição da neve. Verifica-se, através da análise da imagem, que a neve permaneceu, durante mais tempo, no setor sudeste da península, correspondente a áreas de altitude elevada (> 120 metros), menor exposição à radiação solar e ao vento dominante.

Quadro 4.9 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na Península Hurd

Altimetria (m)	A%	AP%
0-40	9,26	12,27
40-80	13,80	15,42
80-120	10,59	10,69
120-160	14,76	13,99
160-200	15,78	19,09
200-240	14,85	15,42
240-280	12,19	12,74
280-320	4,62	4,92
320-360	2,67	3,93
360-400	1,47	4,32
400-440	0,01	0,04
Declive (°)	A%	AP%
0-5	5,80	7,98
5-10	17,86	13,55
10 - 15	16,25	10,21
15-20	13,59	9,75
20-25	10,51	10,13
25-30	8,28	9,79
30-35	6,99	9,70
35-40	7,91	11,66
40-45	6,00	10,32
>45	6,82	8,68
Exposição das vertentes	A%	AP%
Plana	1,39	6,40
Norte	9,08	7,54
Nordeste	4,88	4,75
Este	4,35	6,86
Sudeste	12,89	15,33
Sul	24,44	22,79
Sudoeste	15,31	12,50
Oeste	9,96	6,99
Noroeste	17,70	8,71
Curvatura da superfície	A%	AP%
Côncava	51,37	10,43
Retilínea	6,04	11,36
Convexa	42,59	10,08
IPT	A%	AP%
Depressão	37,42	10,43
Superfície aplanada	3,54	7,14
Vertentes	29,74	11,44
Topos	29,30	9,78
IEV	A%	AP%
0,75 - 0,89	25,42	12,07
0,89 - 1,0	16,25	18,93
1,0 - 1,23	22,92	10,22
1,23 - 1,35	35,41	7,92
Radiação Global Anual (GJ/m ²)	A%	AP%
0,70 - 1,46	11,39	19,63
1,46 - 1,76	15,74	15,36
1,76 - 1,94	17,52	10,41
1,94 - 2,04	19,86	7,75
2,04 - 2,27	35,49	9,27

4.6 A NEVE NA ILHA DECEPTION NO DIA 21/01/2003

4.6.1 A distribuição espacial da neve

A. Avaliação da qualidade da classificação automática

Através da análise do quadro 4.10 constata-se uma exatidão global de 98,8 %, sendo que o valor de *Kappa* obtido foi de 0,97. A probabilidade da presença de neve ser bem classificada é de 97,3 % enquanto a classe da ausência é de 98,7%. Relativamente à exatidão do utilizador, é semelhante para as duas classes. Os erros observados aparentam estar relacionados com: as sombras projetadas na superfície e taludes detríticos, que aparentemente se assemelham a resolução espectral de neve com sedimentos.

Quadro 4.10 - Matriz de confusão da classificação supervisionada da Ilha Deception

	Presença de Neve	Ausência de Neve	Total	Exatidão do Utilizador (%)
Presença de Neve	2552	26	2578	98,99
Ausência de Neve	69	5288	5357	98,71
Total	2621	5314	7935	Exatidão Global (%)
Exatidão do Produtor (%)	97,37	98,71		98,8

B. Mapa da distribuição da neve

O comportamento térmico dos meses antes de 21 de Janeiro de 2003 ilustra valores médios que variam entre extremamente frio a normal (Quadro 4.1).

A distribuição da neve na Ilha Deception parece ser controlada preferencialmente pela altitude e pelas formas de relevo, sobretudo as depressões, com clara acumulação de neve em sulcos e ravinas que se verificam mais desenvolvidos em vertentes de exposição a norte e noroeste (Figura 4.5)

Verifica-se na Ilha Deception que não existia, à data, uma grande cobertura nival da ilha, sendo que esta corresponde a apenas 10% da área total não glaciada.

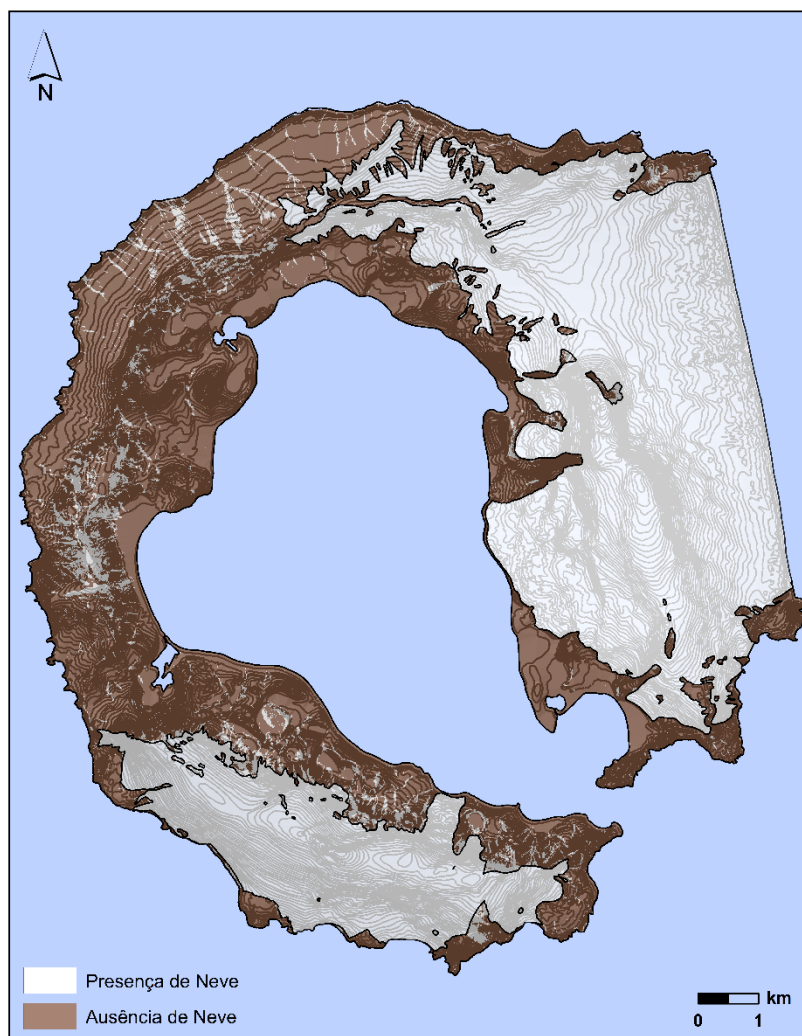


Figura 4.5 - Distribuição espacial da neve a 21/01/2003, na Ilha Deception

4.6.2 Análise Exploratória dos fatores condicionantes

A. Altimetria

O quadro 4.11 mostra o aumento progressivo dos valores de área ponderada para a presença de neve, até aos 320 m, onde se atinge o valor máximo (58,4%). Apesar de se verificar um decréscimo nos valores a maior altitude, os valores continuam a ser bastante elevados, em especial entre 320 e 400 m (AP > 38%).

B. Declive

Embora cerca de 66% da área ocupada por neve se encontre abaixo dos 20°, os valores ponderados indicam maior concentração relativa de neve entre 35 e 45° (Quadro 4.11). A razão pela qual os declives elevados assumem maior relevância poderá estar relacionada com a maior

altitude desses setores que correspondem a valores de radiação solar incidentes bastante baixos, não promovendo, assim, a fusão da neve.

C. Exposição das vertentes

No caso da exposição de vertentes observam-se algumas diferenças comparativamente às restantes áreas analisadas, na medida em que são as vertentes expostas a nordeste e este que apresentam valores ponderados mais elevados. Esta distribuição pode estar relacionada com o facto de os sulcos, de alguma profundidade, só existirem de uma forma tão desenvolvida no setor norte da ilha, promovendo, assim, a acumulação e permanência de neve em vertentes desta exposição (Quadro 4.11)

D. Curvatura da superfície

Os resultados ponderados (Quadro 4.11) demonstram que não existe grande preponderância de uma classe específica. Contudo, o tipo de superfície convexa (11,32) apresenta um valor ponderado um pouco mais alto que o tipo côncava (9,36).

Ao observar a figura 4.5, verifica-se que de facto grande parte da neve se encontra distribuída por áreas convexas (topos) e em sulcos (concavidades). Esta distribuição considera-se espectável na medida em que os topos correspondem a classes de altitude elevada e as concavidades oferecem proteção a redistribuição pelo vento.

E. Índice de Posicionamento Topográfico

Relativamente ao IPT, são as classes relativas a áreas de depressão e topos que se revelam, através da análise dos valores ponderados, como mais significativas (Quadro 4.11). No entanto, as diferenças de valores observados entre todas as classes indicam que a influência exercida não difere em grande medida. Contudo verifica-se a preponderância das classes topos (convexidades) e depressões (concavidade) estando de acordo com os valores atribuídos às classes da curvatura da superfície.

F. Índice de Exposição ao Vento

No quadro 4.11 observa-se que as classes correspondentes a um índice de exposição mais elevado ($IEV > 1$) assumem maior preponderância, ao contrário das restantes áreas de pormenor, sendo que se verifica nestas classes mais de 50% da neve. O valor ponderado obtido para a classe de índice de exposição ao vento dominante elevado, demonstra a importância que a exposição detém, uma vez que foram assinaladas as vertentes expostas a nordeste como as que maior influência exerciam na presença de neve.

G. Radiação Global Anual

Atendendo aos valores ponderados da radiação global anual (Quadro 4.11) é nas classes entre os valores 1,48 e 1,73 e 2,02 e 2,37 GJ/m², que se verifica os valores mais elevados, sendo que o último intervalo compreende mais de 50% da neve total.

Através da análise exploratória não é possível encontrar a justificação para a influência da radiação global anual elevada. No entanto, o peso atribuído às classes de declive elevado e às vertentes expostas a nordeste demonstra que estas são preponderantes na presença de neve justificando os valores ponderados observados para a radiação global anual, uma vez que estas correspondem a áreas de maior exposição a radiação solar incidente.

4.6.3 Conclusão

Os resultados obtidos para a influência de cada fator condicionante da distribuição de neve na Ilha Deception revelam a sua particularidade. Desta forma, constata-se que a neve ocorre preferencialmente em áreas elevada altitude (>280 metros) de declive acentuado (35° e 45°) e, ainda, em concavidades e setor retilíneos da península. O padrão observado sugere a importância das formas de relevo nesta ilha, uma vez que segundo os valores obtidos, estas se demonstram mais condicionante da presença de neve. Assim, verifica-se uma concentração da neve, no setor oeste correspondente a um topo da ilha (áreas de elevada altitude), sendo que no setor noroeste observa-se uma maior concentração desta nas concavidades correspondentes a sulcos e ravinas.

Quadro 4.11 - Estatística exploratória da distribuição espacial da neve na ilha Deception

Altimetria (m)	A %	AP %
0-40	11,79	3,85
40-80	17,76	6,53
80-120	16,75	8,90
120-160	15,06	14,41
160-200	12,16	19,94
200-240	10,69	22,60
240-280	6,52	31,70
280-320	6,11	58,36
320-360	2,42	54,52
360-400	0,45	45,00
400-440	0,24	38,21
440-478	0,05	12,87
Declive (°)	A %	AP %
0-5	18,62	6,61
5-10	19,35	9,17
10 - 15	15,43	10,02
15-20	13,56	11,26
20-25	11,43	12,84
25-30	8,92	13,79
30-35	5,68	13,19
35-40	3,44	14,68
40-45	2,03	15,48
>45	1,55	9,60
Exposição das vertentes	A %	AP %
Plana	5,18	5,83
Norte	16,95	10,75
Nordeste	13,52	13,08
Este	10,29	11,69
Sudeste	10,98	10,71
Sul	7,30	8,37
Sudoeste	6,92	8,36
Oeste	11,96	10,50
Noroeste	16,89	8,78
Curvatura da superfície	A %	AP %
Côncava	42,17	9,36
Retilínea	14,86	7,96
Convexa	42,98	11,32
IPT	A %	AP %
Depressão	24,34	10,75
Superfície aplanada	16,83	6,40
Vertentes	32,30	10,51
Topos	26,53	12,06
IEV	A %	AP %
0,75 - 0,89	12,86	6,40
0,89 - 1,0	22,67	7,18
1,0 - 1,23	31,87	9,85
1,23 - 1,35	32,60	18,46
Radiação Global Anual (GJ/m ²)	A %	AP %
0,25-1,48	1,51	9,31
1,48-1,73	7,38	12,51
1,73-1,90	14,56	10,15
1,90-2,02	24,00	6,73
2,02-2,37	52,54	11,90

4.7 CONCLUSÃO

No sentido de analisar as diferenças entre cada área pormenor elaborou-se o quadro 4.12 que serve de síntese às classes que, segundos os valores ponderados, mais influência exercem na presença de neve. A sua análise permitiu concluir que em todas as áreas pormenor, o aumento da altitude constituí um fator de importância na ocorrência de neve, uma vez que se observa a preponderância, ainda que diferente, das classes correspondentes a uma altitude mais elevada. Relativamente ao declive o cenário é semelhante, uma vez que todas as áreas pormenor, à exceção da Ilha Deception e Península Hurd, demonstram um predomínio de classes de declives moderados a baixos (<25°). Nestas últimas, verifica-se que os declives entre 35° e 45° obtêm valores mais significativos na ocorrência de neve, que pode estar relacionado com o fato de estas receberem menor radiação solar incidente, se a sua exposição for oposta ao sol. No que diz respeito à exposição das vertentes, constata-se que o quadrante sul demonstra maior peso na ocorrência de neve, sendo que em Deception a variável não parece contribuir de forma significativa para a presença de neve. A preponderância de vertentes expostas ao quadrante sul relaciona-se com a radiação potencial indecente que no hemisfério sul é menor nestas. O índice de exposição moderada a baixa ao vento na Península Barton, Weaver, Byers e Hurd, exerce maior peso na ocorrência de neve, sendo que em Fildes e Deception são as áreas de maior exposição que se constituem como mais relevantes. Contudo, em Fildes esta variável apresenta valores ponderados muito semelhantes podendo, assim, o índice de exposição ao vento não contribuir de forma significativa para a distribuição da neve observa nesta península. No caso da ilha Deception a preponderância desta classe está relaciona com a influência das depressões (sulcos) que se encontram mais desenvolvidas nos setor de maior exposição ao vento (quadrante norte). Por último, constata-se que o peso exercido pela radiação global anual é pouco visível. Os resultados apontam para a maior influência de áreas de menor a moderada exposição à radiação solar incidente, na península Fildes e na ilha Deception. Na Península de Hurd são áreas correspondentes a valores de radiação muito baixos que exercem maior influência na presença de neve. Relativamente às restantes áreas pormenor observa-se a preponderância de classes que compreendem valores de radiação global anual mais elevados, demonstrando que esta variável pode não ser a que melhor justifica, nestas áreas, a distribuição de neve observada.

Quadro 4.12 – Principais fatores condicionantes da distribuição de neve nas áreas pormenor

Fatores Condicionantes	Fildes	Barton e Weaver	Byers	Hurd	Deception
Altimetria (m)	60-100	>180	120-140	160-200	280-320
Declive (°)	15-25	5-15	5-15	5-10 e 35-40	35-45
Exposição de Vertentes	Sul e Sudeste	Sul e Sudoeste	Este e Sudeste	Sul e Sudeste	Nordeste e Este
Curvatura da superfície	Côncava e Retilínea	Côncava e Convexa	Côncava e Convexa	Retilínea e Côncava	Côncava e Convexa
IPT	Depressão e Vertentes	Depressão e Vertentes	Depressão e Vertentes	Depressão e Vertentes	Depressão e Vertentes
IEV	>1,23	0,89 a 1,00	0,89 a 1,00	0,89 a 1,00	>1,23
Radiação Global Anual (GJ/m²)	1,22-1,76	1,76-1,97	2,04 - 2,27	<1,76	1,48-1,73

CAPÍTULO 5

MODELAÇÃO ESPACIAL DA NEVE NO VERÃO

5.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo a elaboração e validação de modelos preditivos da distribuição espacial da neve de verão em cada área pormenor, e ainda o propósito de avaliar o peso dos principais fatores topoclimáticos condicionantes. Para a modelação utilizaram-se dois métodos estatísticos que permitem a determinação do peso específico de cada variável independente (o método da regressão logística e do valor informativo). Os resultados foram validados através da análise de taxas de sucesso e de predição.

5.2 SUSCETIBILIDADE À PRESENÇA DE NEVE NO VERÃO NA PENÍNSULA FILDES

5.2.1 Análise do grau de associação entre fatores condicionantes

O quadro 5.1 apresenta os resultados obtidos para a correlação linear de Pearson entre os fatores condicionantes da presença de neve na Península Fildes.

Numa primeira análise verifica-se que as correlações apresentam níveis de significância aceitáveis, considerando que apenas valores acima de 0,9 poderão causar problemas na interpretação dos resultados do modelo (Evans, 1996; Katz, 1999). Desta forma, a utilização destas variáveis para o cálculo da suscetibilidade à ocorrência de neve não é redundante. O coeficiente de correlação positiva e relativamente forte, observado entre o IPT e a curvatura da superfície, era espectável uma vez que ambas são variáveis representativas de formas de relevo. O mesmo se verifica entre a altimetria e o IEV que apresentam o coeficiente de correlação positiva mais elevado.

Quadro 5.1 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Península Fildes

	Altimetria	Declive	Exposição	Curvatura da superfície	IPT	IEV	Radiação Global Anual (GJ/m ²)
Altimetria	1,00						
Declive	0,18	1,00					
Exposição	0,10	0,24	1,00				
Curvatura da superfície	0,24	-0,05	-0,01	1,00			
IPT	0,27	0,24	0,10	0,60	1,00		
IEV	0,64	0,25	0,03	0,38	0,49	1,00	
Radiação Global Anual (GJ/m ²)	0,12	-0,52	-0,22	0,12	0,00	-0,07	1,00

5.2.2 Modelos da regressão logística e valor informativo

A. Resultados

Os modelos de suscetibilidade à ocorrência de neve na Península de Fildes mostram que as classes de elevada suscetibilidade concentram-se na Meseta Norte e na Meseta Sul (Figuras 5.1 e 5.2). No entanto, usando o método do valor informativo as áreas de maior suscetibilidade são mais circunscritas espacialmente, enquanto usando a regressão logística, parece existir uma variação mais gradual nas classes de suscetibilidade.

No quadro 5.2 encontram-se identificadas as classes de suscetibilidade expressas por percentagem de área total hierarquizada pelos valores de probabilidade (ordem decrescente), os correspondentes valores de probabilidade e de VI e a percentagem de área ocupada por neve presente em cada classe. A análise do quadro mostra que na Península de Fildes, 55% da neve encontra-se na classe de maior suscetibilidade, ou seja, nos 10% de área com máxima suscetibilidade. Por outro lado, na classe referente aos valores mais baixos de suscetibilidade (50% da área total) observa-se apenas 6% da neve total. Os 50% da área com valores de probabilidade mais elevados, compreendem 95% da neve total. Relativamente ao valor informativo, observa-se que os 10% da área de estudo com o valor mais elevado de suscetibilidade compreendem 53 % da neve. Considerando 20% da área de estudo, a presença de neve eleva-se para 67%. Contabilizando os 50% da área de estudo com valores de probabilidade mais elevada, o valor de ocorrência sobe para os 90%, ou seja, um resultado 5% inferior ao da regressão logística.

Quadro 5.2 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respetivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo na Península Fildes

Classes de suscetibilidade	Valores de Probabilidade	% de área com presença de neve	Valores de VI	% de área com presença de neve
0-10	0,0085 - 0,0805	55	2,10 - 5,61	53
10-20	0,0037 - 0,0085	17	1,20 - 2,10	14
20-30	0,0020 - 0,0037	10	0,01 - 1,02	9
30-40	0,0011 - 0,0020	8	-0,98 - 0,01	7
40-50	0,0006 - 0,0011	5	-2,12 - -0,98	7
>50	0,0000 - 0,0006	6	-8,76 - -2,12	10

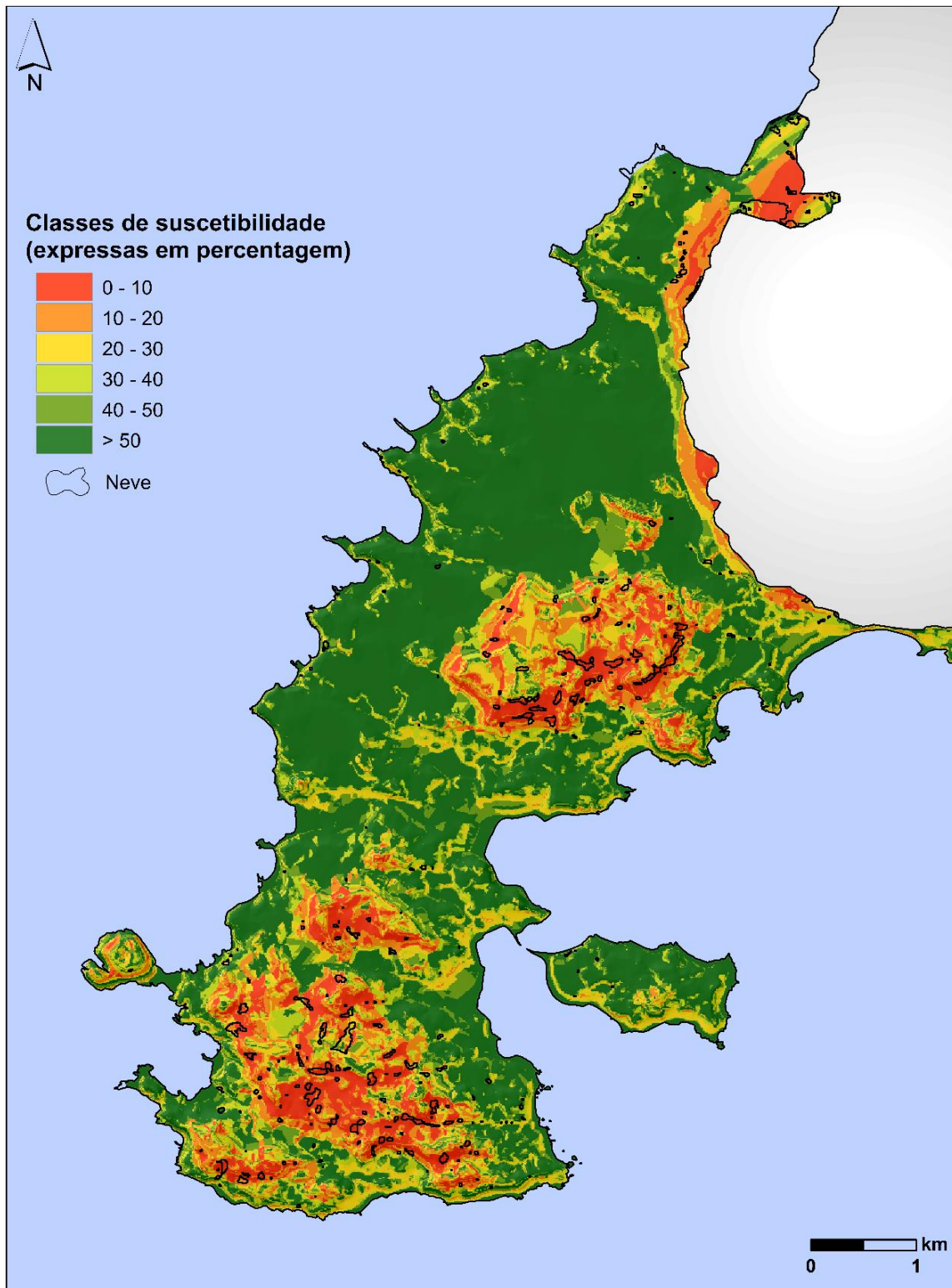


Figura 5.1 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Península Fildes

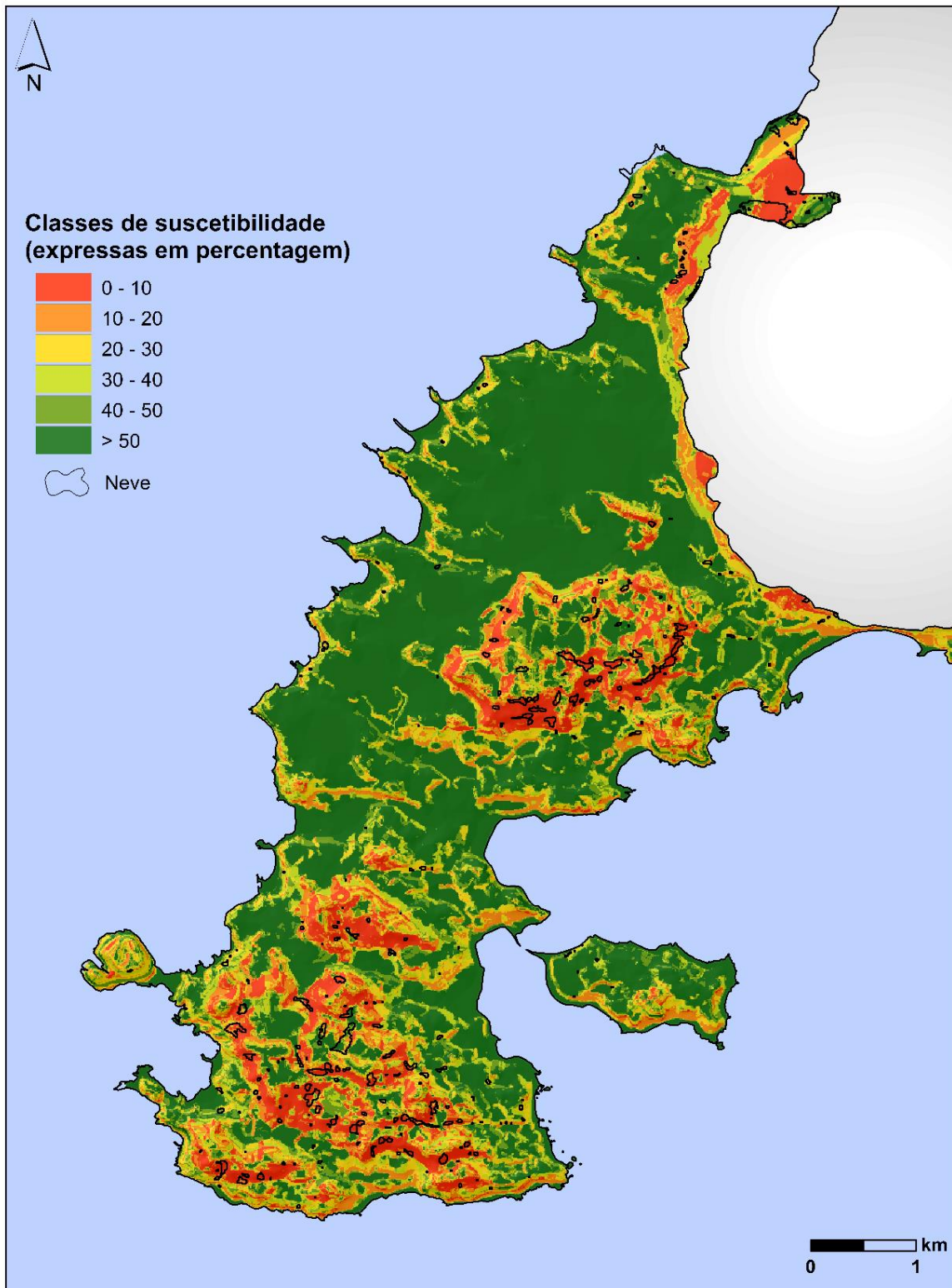


Figura 5.2 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método do valor informativo, para a Península Fildes

Um dos resultados da modelação é a tabela do peso relativo, *a posteriori*, de cada classe de cada variável preditiva integrada no modelo (Quadros 5.3 e 5.4). No quadro 5.3 constata-se que a altimetria e o declive são as variáveis que assumem maior peso na suscetibilidade à ocorrência de neve. Nestas, são as classes de altimetria entre o 80 e 120 metros e os declives inferiores 25°, que apresentam coeficientes mais elevados. No que concerne IPT são as classes relativas a depressões e às vertentes às quais o modelo atribui pesos mais significativos. No que diz respeito à radiação global anual, os pesos mais significativos recaem nas classes compreendidas entre os 1,59 e os 1,85 GJ/m², que representam valores de radiação relativamente baixos. Constata-se ainda que as classes de exposição norte a nordeste, bem como os índices de exposição elevada ao vento, pelo seu peso forte negativo, detêm bastante influência na ausência de neve. As restantes variáveis não aparentam exercer uma influência significativa na suscetibilidade à ocorrência de neve.

Quadro 5.3 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Fildes (regressão logística)

Variável Independente	Coeficientes	Variável Independente	Coeficientes
Altm [80-100]	1,69	Expo. Sudeste	0,31
Altm [60-80]	1,52	Rad. [1,85 – 2,00 GJ/m ²]	0,28
Altm [100-120]	1,19	Sup. Côncava	0,26
Decl. [5-10]	1,03	Decl. [0-5]	0,22
Decl. [20-25]	0,91	Rad. [2.00 - 2.09 GJ/m ²]	0,07
Depressão	0,80	IEV [1,23-1,35]	-0,07
Vertentes	0,78	Expo. Plana	-0,65
Rad. [1,59 – 1,85 GJ/m ²]	0,76	IEV [1,00-1,23]	-0,72
Decl. [10-15]	0,66	Expo. Nordeste	-0,88
Expo. Noroeste	0,39	Altm [0-20]	-1,09
Sup. Retilínea	0,38	Altm [20-40]	-1,57
Superfície aplanada	0,34	Expo. Norte	-1,66
Expo. Sul	0,31		

No quadro 5.4 é possível constatar que usando o método do VI, as variáveis altitude e declive são também as que revelam maior influência na ocorrência da neve. As altitudes com maior peso estão compreendidas entre 60 e 100 m, sendo que nos declives, as classes identificadas como mais significativas são as mesmas que na regressão logística (5° a 25°). Relativamente à radiação global anual esta exerce mais influência, com coeficiente elevado na classe 1,59 a 1,85 GJ/m². Os coeficientes negativos fortes nos declives acentuados, exposição a norte, superfícies aplanadas e baixa altitude, ilustram a influência destes fatores na fusão da neve. As restantes variáveis não demonstram um peso significativo na presença de neve.

Quadro 5.4 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Fildes (valor informativo)

Variável Independente	VI	Variável Independente	VI
Altm. [60-80]	1,47	Expo. Sudoeste	-0,01
Altm. [80-100]	1,47	Sup. Convexa	-0,02
Decl. [20-25°]	1,11	Altm. [120-140]	-0,07
Rad. [1,59 – 1,85 GJ/m ²]	1,11	Rad. [1,05 – 1,59 GJ/m ²]	-0,09
Vertentes	0,77	Altm. [40-60]	-0,10
Expo. Sul	0,71	Topos	-0,20
Expo. Sudeste	0,68	Rad. [2,00 – 2,09 GJ/m ²]	-0,49
Altm. [100-120]	0,63	Sup. Retilínea	-0,67
Rad. [1,85 – 2,00 GJ/m ²]	0,60	Expo. Nordeste	-0,90
Decl. [5-10°]	0,58	IEV [1,00 – 1,23]	-1,05
Expo. Noroeste	0,49	Superfície aplanada	-1,14
Decl. [10-15°]	0,46	Altm. [0-20]	-1,21
Decl. [30-35°]	0,44	Decl. [0-5°]	-1,32
Depressão	0,42	Decl. [35-40°]	-1,32
IEV [1,23 – 1,35]	0,39	Decl. [40-45°]	-1,32
Decl. [25-30°]	0,34	Decl. [> 45°]	-1,32
Expo. Oeste	0,25	Expo. Norte	-1,83
IEV [0,75 – 0,89]	0,25	Expo. Plana	-2,02
Sup. Côncava	0,20	Altm. [20-40]	-2,09
IEV [0,89 – 1,00]	0,20	Altm. [140-150]	-2,09
Expo. Este	0,15		
Rad. [2,09 – 2,25 GJ/m ²]	0,11		
Decl. [15-20°]	0,09		

Considerando a metodologia utilizada no cálculo das taxas de sucesso, elaborou-se para cada fator condicionante a sua respectiva curva de sucesso, com o intuito de compreender quais os fatores condicionantes que apresentam uma melhor eficácia na explicação da distribuição da neve. Os resultados mostram que as variáveis independentes apresentam taxas de sucesso diferentes (Figura 5.3). As variáveis que obtiveram, segundo o método da regressão logística, melhor taxa de sucesso são o declive (AUC=0,92), a altimetria (AUC=0,82) e a exposição (AUC=0,70). As variáveis menos relevantes são o IEV (AUC=0,61) e a curvatura da superfície (AUC=0,55).

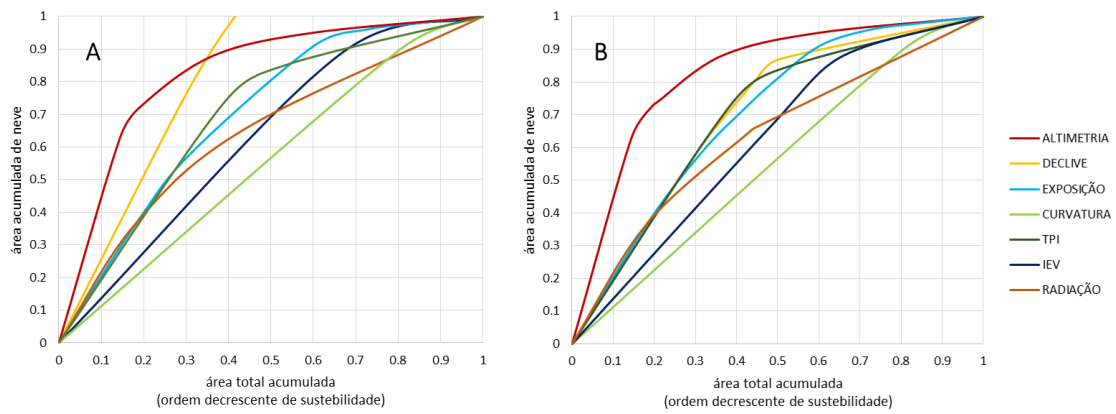


Figura 5.3- Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Península Fildes)

No caso do método do VI, a altimetria é o fator que apresenta a melhor taxa de sucesso ($AUC=0,73$), seguida pelo declive ($AUC = 0,70$) e da exposição das vertentes ($AUC=0,70$), o que comprova a forte relação entre estes fatores e a presença de neve (Figura. 5.3-B). Os fatores que menos influência exercem na suscetibilidade à ocorrência de neve são, tal como na regressão logística, o IEV ($AUC=0,61$), seguido da curvatura da superfície ($AUC =0,54$).

B. Taxas de sucesso e predição

Como referido, na metodologia, foram também calculadas para a Península Fildes as curvas de sucesso, com um resultado de 0,89, com base no método da regressão logística, e de 0,85 com base no método do valor informativo (Figura. 5.4).

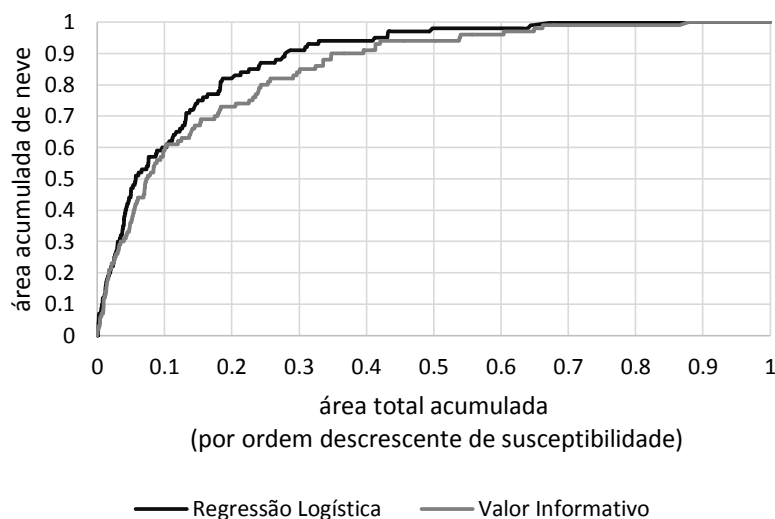


Figura 5.4 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Fildes, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo

No sentido de avaliar a capacidade preditiva dos modelos de suscetibilidade, utilizou-se a AUC. O resultado obtido, com base no método da regressão logística, foi de 0,87 para a Península Fildes e 0,85, com base no método do valor informativo (Quadro 5.5).

Quadro 5.5 - Comparação das AUC entre os métodos estatísticos na modelação dos neveiros, para a Península Fildes

	AUC da curva de sucesso	AUC da curva de predição
Regressão Logística	0,89	0,87
Valor Informativo	0,85	0,85

A curva de predição obtida através da regressão logística para a Península Fildes mostra que os 10% da área mais suscetíveis justificam 60% da neve (Figura 5.5). Se aumentarmos a área de estudo para os 20% de maior suscetibilidade já é explicada 72% da presença de neve, sendo que 96% da neve total é detetada quando considerados 50% da área de estudo. Com base na análise da curva de predição obtida com base no método do VI, constata-se que em 10% da área de estudo (valores de suscetibilidade mais elevados) se verifica cerca de 58% da neve total existente, perfazendo os valor de 89% quando considerada 50% da área de estudo.

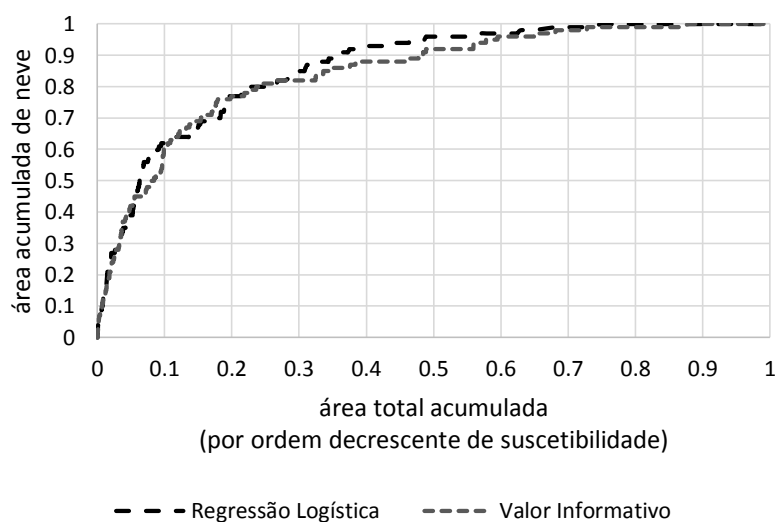


Figura 5.5 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Fildes, elaboradas com base no método da regressão logística e no valor informativo

5.2.3 Conclusão

Os resultados que se observam no quadro 5.5 demonstram que, para além de um desempenho dos modelos sempre superior a 85%, a diferença entre os dois métodos é de apenas 4%. A capacidade preditiva dos modelos é também bastante satisfatória uma vez que atinge valores superiores a 85%, constatando-se que a capacidade preditiva é bastante próxima do próprio desempenho dos modelos.

No que diz respeito aos pesos das variáveis independentes mais significativas na suscetibilidade à ocorrência de neveiros, verifica-se que estes são idênticos nos dois métodos (Quadro 5.3 e 5.4). Estes destacam as seguintes classes de variáveis como sendo as mais relevantes: altitude entre os 60 e 100 metros; declives inferiores a 25°; exposição das vertentes a sul e a sudeste; superfícies côncavas, sendo que na regressão logística é também dada relevância a áreas retilíneas; radiação global anual entre 1,59 e 2,00 GJ/m²; depressões e vertentes. As únicas diferenças observadas dizem respeito à variável IEV que tem uma contribuição mínima em ambos os métodos.

Quanto às classes das variáveis independentes menos significativas, transversais aos dois modelos destacam-se: as classes referentes a baixa altitude; exposição das vertentes plana, a norte e a nordeste; áreas de exposição média ao vento dominante. O valor informativo acrescenta, ainda, as seguintes classes: declives acentuados; áreas retilíneas e convexas; superfícies aplanadas e topos.

Relativamente ao peso de cada variável nos dois modelos, através das AUC é possível hierarquizar a sua eficácia na classificação da neve. Desta forma e apesar de anteriormente ter sido referido que existiam diferenças relativamente à variável IEV, comprova-se através do quadro 5.6, que esta ocupa a mesma posição nos dois modelos. As diferenças observadas no peso atribuído a cada variável, verificam-se apenas entre a altimetria e os declives. A altimetria demonstra uma melhor taxa de sucesso seguida da variável declive no método do VI, verificando-se o inverso no método da regressão logística. As variáveis que em ambos os modelos são menos significativas são a curvatura da superfície e o IEV.

Quadro 5.6 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Península Fildes

Variável independente	AUC da curva de sucesso (RL)	Variável independente	AUC da curva de sucesso (VI)
Declive	0.919	Altimetria	0.732
Altimetria	0.822	Declive	0.701
Exposição das vertentes	0.700	Exposição das vertentes	0.699
IPT	0.689	IPT	0.689
Radiação global anual	0.629	Radiação global anual	0.630
IEV	0.611	IEV	0.617
Curvatura da superfície	0.547	Curvatura da superfície	0.547

Os resultados obtidos para o peso de cada classe e as AUC calculadas para cada variável coadunam-se com os conceitos subjacentes à presença de neveiros. Assim, a presença de neve encontra-se relacionada com: a maior altitude que provoca o arrefecimento do ar, aumentando o potencial de queda de neve e limitando a fusão; com vertentes expostas a sul e sudeste que evidenciam menor radiação global anual; e com áreas côncavas, como é o exemplo das depressões em vertentes com um declive moderado promovendo a proteção da neve depositada.

5.3 SUSCETIBILIDADE À PRESENÇA DE NEVE NO VERÃO NAS PENÍNSULAS BARTON E WEAVER

5.3.1 Análise do grau de associação entre fatores condicionantes

Numa primeira análise (Quadro 5.7) verifica-se que as correlações apresentam níveis de significância aceitáveis, sendo que os coeficientes que apresentam maior correlação são os mesmos que na Península Fildes, reforçando a semelhança entre estas duas variáveis. Contudo, a correlação mais elevada verifica-se entre a altimetria e o IEV seguida da correlação entre a curvatura da superfície e o IPT.

Quadro 5.7 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve nas Penínsulas Barton e Weaver

	Altimetria	Declive	Exposição	Curvatura da superfície	IPT	IEV	Radiação Global Anual (GJ/m ²)
Altimetria	1.00						
Declive	-0.12	1.00					
Exposição	0.07	0.19	1.00				
Curvatura da superfície	0.17	-0.06	0.00	1.00			
IPT	0.20	0.15	0.08	0.55	1.00		
IEV	0.58	-0.08	-0.07	0.31	0.35	1.00	
Radiação Global Anual (GJ/m ²)	0.42	-0.46	-0.07	0.24	0.08	0.07	1.00

5.3.2 Modelos da regressão logística e valor informativo

A. Resultados

Nas Penínsulas Barton e Weaver observa-se que as classes de elevada suscetibilidade concentram-se, sobretudo, no centro de Barton demonstrando a influência da altitude. Os padrões encontrados entre os dois modelos são muito semelhantes (Figuras 5.6 e 5.7).

No quadro 5.8 observa-se que nos 10% da área de estudo, correspondente aos valores de probabilidade mais elevados, se verifica 15% na neve total. Se se considerar 50% da área com valores de probabilidade mais elevados verifica-se uma ocupação por neve de 62%. Esta distribuição mais homogénea pelas classes de probabilidades mais elevadas advém do facto de no caso das Penínsulas de Barton e Weaver a percentagem de neve ser extremamente elevada relativamente à área total. Relativamente ao valor informativo é possível verificar que em 10% da área de estudo, dos valores VI mais elevados, se verifica 15% da neve total observada na área de estudo. Considerando 20% da área de estudo, o valor eleva-se para 28%. Contabilizando 50% da área correspondente aos valores de VI mais elevados, verifica-se a presença de 61% da neve total.

Quadro 5.8 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respetivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo nas Penínsulas Barton e Weaver

Classes de suscetibilidade	Valores de Probabilidade	% de área com presença de neve	Valores de VI	% de área com presença de neve
0-10	0,0166 - 0,0589	15	0,74 - 1,99	15
10-20	0,0127 - 0,0166	14	0,46 - 0,74	13
20-30	0,0104 - 0,0127	12	0,23 - 0,46	12
30-40	0,0084 - 0,0104	11	0,03 - 0,23	11
40-50	0,0069 - 0,0084	10	-0,16 - 0,03	10
>50	0,0006 - 0,0069	38	-2,95 - -0,16	39

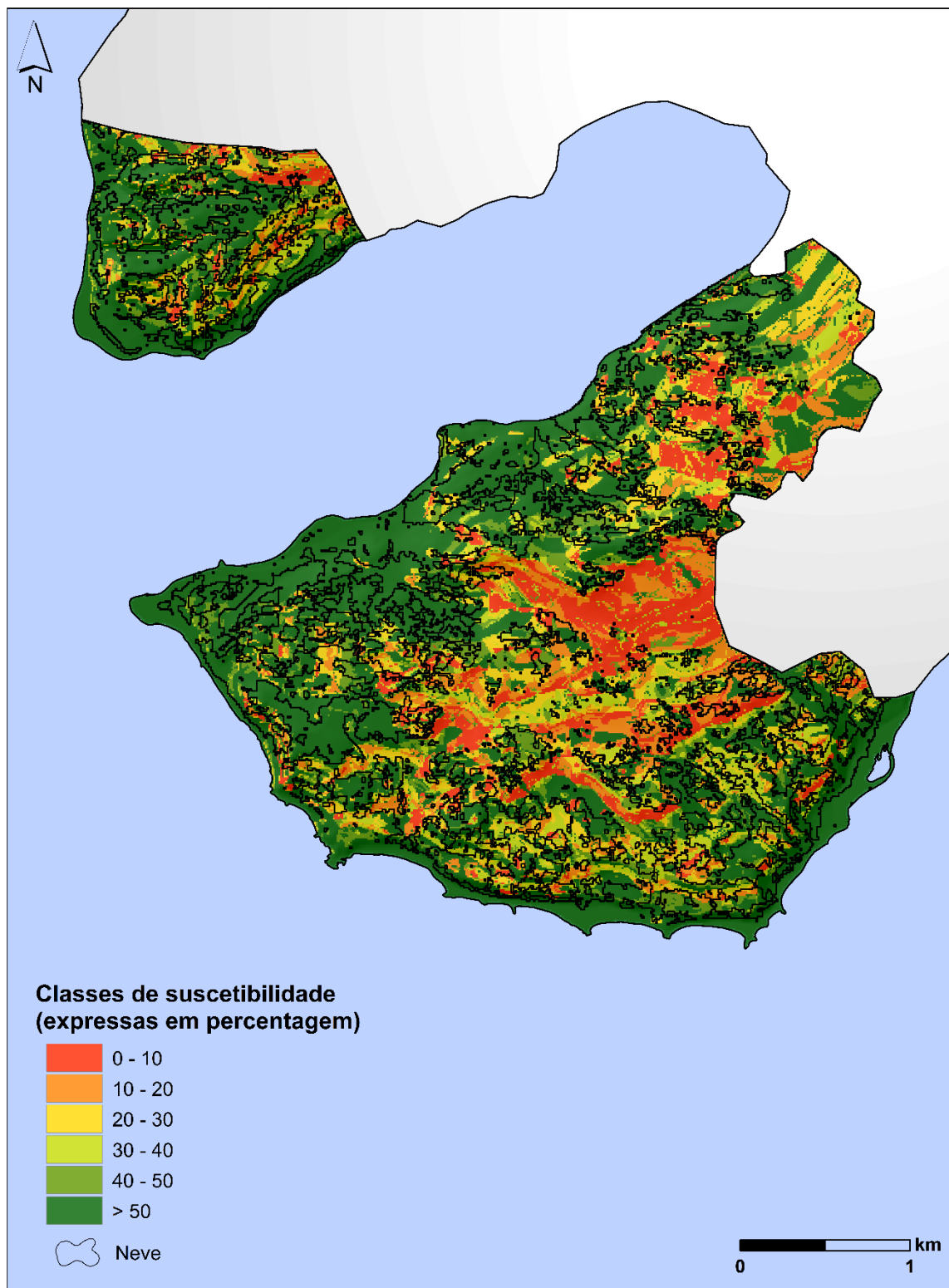


Figura 5.6 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para as Penínsulas Barton e Weaver

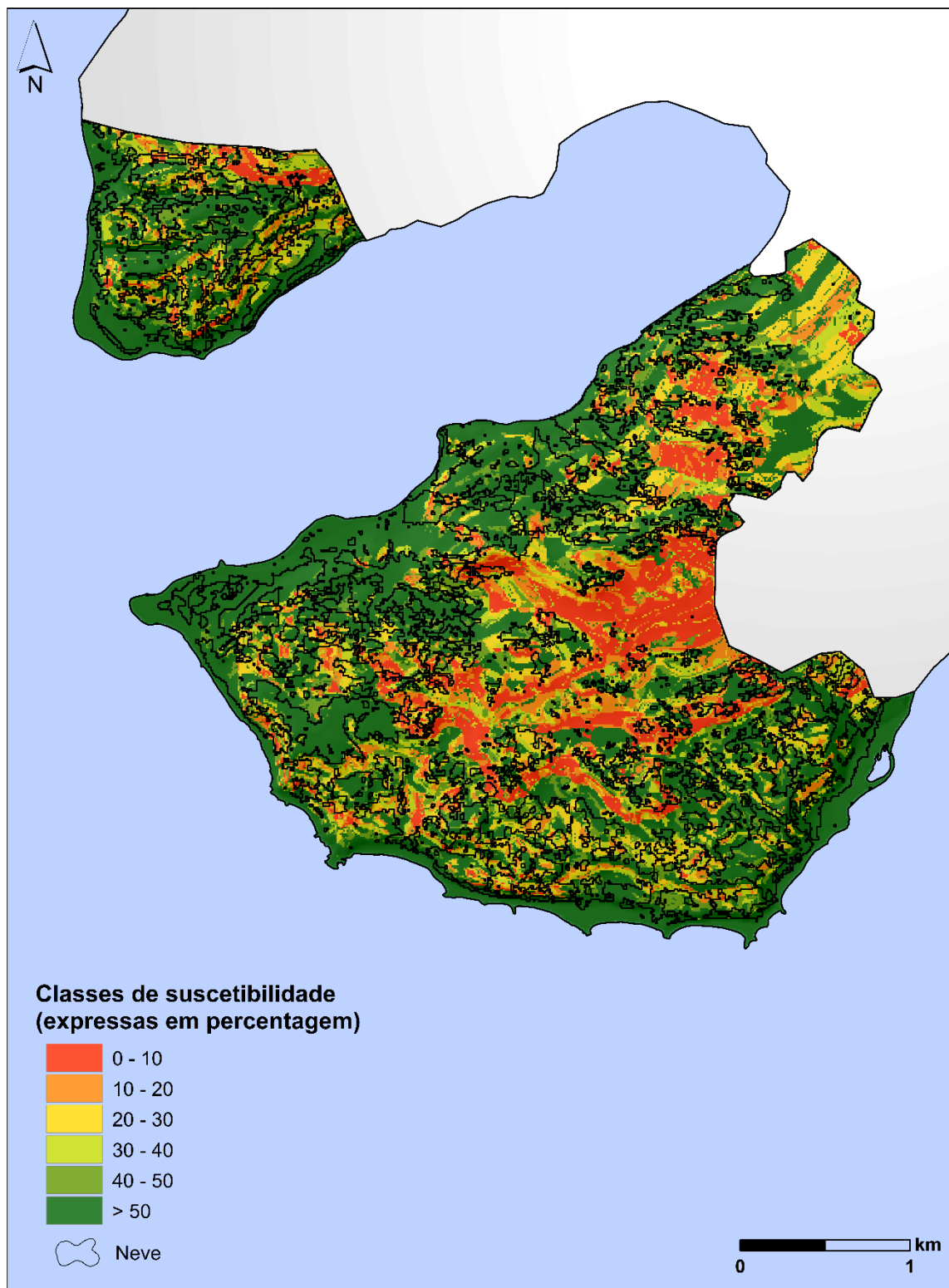


Figura 5.7 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método do valor informativo, para as Penínsulas Barton e Weaver

Através da análise do quadro 5.9 observa-se que as variáveis com maior influência na distribuição da neve nas Penínsulas Barton e Weaver são: o declive (40° a 45°), a altimetria (> 180 m), a exposição ao vento ($IEV < 1$) e a exposição (este). No que diz respeito às classes das variáveis que mais contribuem para a ausência de neve, destacam-se aquelas referentes a baixa altitude (< 120 metros) e as correspondentes a superfícies retilíneas.

Quadro 5.9 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve, nas Penínsulas Barton e Weaver (regressão logística)

Variável Independente	Coefficientes	Variável Independente	Coefficientes
Decl. [40-45]	1,26	Rad. [1,85 - 2,00 GJ/M2]	0,29
IEV [0,75-0,89]	0,83	Decl. [0-5]	0,15
IEV [0,89-1,00]	0,79	Decl. [5-10]	0,11
Expo. Este	0,73	Decl. [10-15]	0,08
Altm [220-240]	0,70	Sup. Côncava	0,08
Altm [180-200]	0,69	Vertentes	0,08
Expo. Plana	0,68	Altm [40-60]	0,07
Altm [160-180]	0,60	Superfícies aplanada	-0,09
IEV [1,00-1,23]	0,54	Depressão	-0,13
Expo. Norte	0,52	Altm [60-80]	-0,48
Altm [120-140]	0,44	Altm [100-120]	-0,48
Expo. Noroeste	0,44	Altm [20-40]	-0,59
Altm [200-220]	0,44	Sup. Retilínea	-0,70
Expo.Oeste	0,38	Altm [0-20]	-1,08
Expo. Sudeste	0,30		

Na análise do quadro 5.10 constata-se que o método do valor informativo destaca a altimetria (> 120 m), a exposição das vertentes (Oeste e Sudeste), o IEV (< 1) e o declive (35° a 40°) como as variáveis que maior influência exercem na distribuição da neve. A preponderância de classes representativas de declives acentuados sugere que a presença de neve depende bastante da radiação solar recebida pela superfície, que é menor se as vertentes de exposição sul tiverem forte declive. O peso atribuído a classes de radiação baixa entre o 0,36 e 1,22 GJ/m² sustenta o peso atribuído aos declives. As restantes variáveis não exercem um peso significativo na distribuição da neve. As classes correspondentes a baixa altitude (< 120 m), a vertentes de exposição a este e planas (contrariando os pesos atribuídos na regressão logística a estas classes) obtêm maior peso na ausência do fenómeno.

Quadro 5.10 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve nas Penínsulas Barton e Weaver (valor informativo)

Variável Independente	VI	Variável Independente	VI
Decl. [35-40°]	0,69	Rad. [1,97 – 2,11 GJ/m2]	-0,03
Altm. [180 - 200]	0,58	IEV [0.75 - 0.89]	-0,04
Expo. Oeste	0,52	Rad. [1,76 – 1,97 GJ/m2]	-0,05
Altm. [120-140]	0,48	Rad. [2,11 – 2,32 GJ/m2]	-0,05
Altm. [160 - 180]	0,41	Decl. [25-30°]	-0,07
Altm. [220 - 240]	0,38	Topos	-0,08
Expo. Sudeste	0,32	Altm. [140-160]	-0,13
Altm. [200 - 220]	0,32	Superfície aplanada	-0,13
IEV [0,89 – 1,00]	0,27	Decl. [30-35°]	-0,13
Altm. [240 - 260]	0,26	IEV [1.23 - 1.35]	-0,14
Altm. [40-60]	0,20	Depressão	-0,18
Rad. [1,22 – 1,76GJ/m2]	0,17	Decl. [20-25°]	-0,19
Vertentes	0,16	Decl. [0-5°]	-0,19
Expo. Nordeste	0,15	Decl. [40-45°]	-0,19
Decl. [5-10°]	0,13	Decl. [> 45°]	-0,19
Decl. [10-15°]	0,09	Expo. Noroeste	-0,22
Expo. Sul	0,09	Altm. [20-40]	-0,35
Sup. Côncava	0,07	Altm. [60-80]	-0,42
IEV [1,00 – 1,23]	0,07	Altm. [100-120]	-0,45
Altm. [80-100]	0,04	Expo. Norte	-0,59
Sup. Convexa	0,04	Sup. Retilínea	-0,72
Decl. [15-20°]	0,04	Expo. Plana	-0,78
Expo. Sudoeste	0,03	Expo. Este	-0,93
Rad. [0,36 – 1,22 GJ/m2]	0,02	Altm. [0-20]	-0,98

Na figura 5.8 é possível observar a curvas de sucesso elaboradas, com base na regressão logística e no método do valor informativo, para cada fator condicionante. Segundo a regressão logística o fator que assume uma melhor taxa de sucesso é mais uma vez a altimetria com uma AUC de 0,622, em seguida a variável ou fator com maior preponderância é a exposição das vertentes com uma AUC de 0,601. Os fatores com menor contribuição na suscetibilidade à ocorrência de neve são a curvatura da superfície com uma AUC de 0,526 e a radiação global anual com uma AUC de 0,500 (Figura 5.8-A).

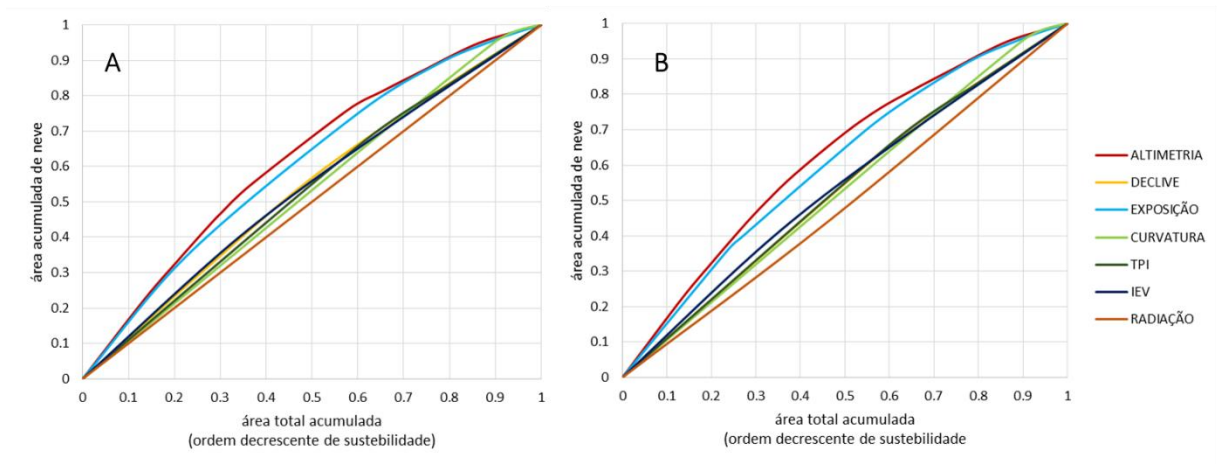


Figura 5.8 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Penínsulas Barton e Weaver)

Através da análise da figura 5.8-B a altimetria obteve a melhor taxa de sucesso (AUC=0,623), seguida pela variável corresponde à exposição das vertentes (AUC=0,60). As variáveis que obtiveram taxas de sucesso mais baixas para a ocorrência do elemento são: a radiação global anual (AUC=0,49) e a curvatura da superfície (AUC=0,53)

B. Taxas de sucesso e predição

As curvas de sucesso obtidas por ambos os modelos, demonstraram resultados baixos e não tão satisfatórios como na Península Fildes, uma vez que o resultado obtido foi de 0,69 no método da regressão logística e de 0,67 no método do valor informativo (Figura 5.9).

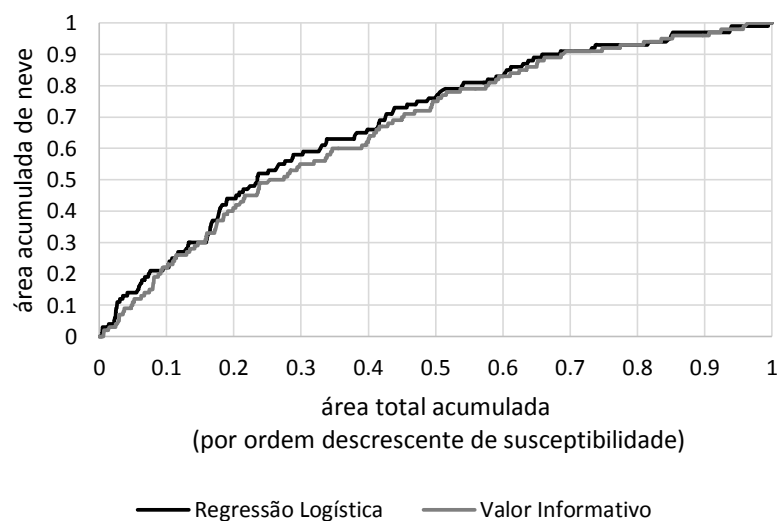


Figura 5.9 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, nas Península Barton e Weaver, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo

Através do quadro 5.12 verifica-se que capacidade preditiva dos modelos foi ia mesma nos dois métodos (AUC=0,58).

Quadro 5.11 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para as Penínsulas Barton Weaver

	AUC da curva de sucesso	AUC da curva de predição
Regressão Logística	0,69	0,58
Valor Informativo	0,67	0,58

A curva de predição (Figura 5.10) obtida através da regressão logística mostra que 10% da área total (maior suscetibilidade) compreende apenas 13% da neve total, no entanto quando considerada 50% da área de estudo verifica-se que um aumento da neve para os 64%. Através da curva de predição obtida com o VI constata-se que 10% da área total integra apenas 14% da neve total existente tendo um aumento pouco significativo de 6% quando considerada 20% da área total. 50% da área de estudo, referente aos valores de suscetibilidade mais elevados, integra 68% da neve total observada nesta área de estudo (Figura 5.12).

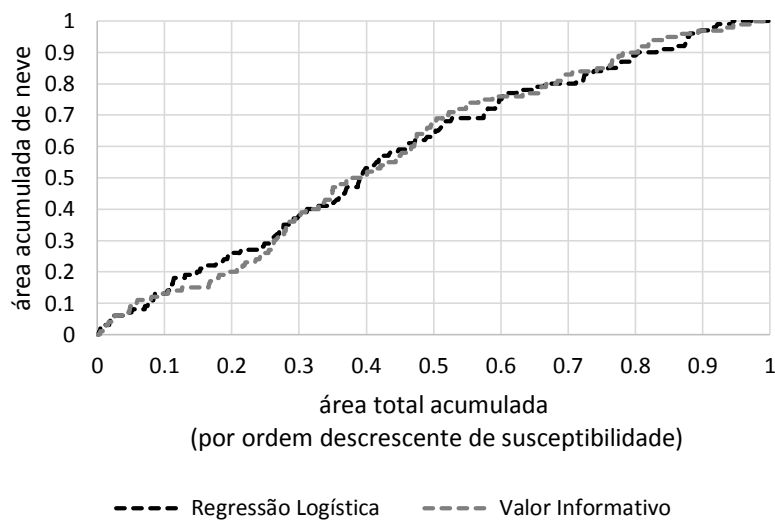


Figura 5.10 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, nas Penínsulas Barton e Weaver, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo

5.3.3 Conclusão

Na comparação entre as AUC das curvas de sucesso e de predição, para as Penínsulas Barton e Weaver, constata-se que os dois métodos possuem um desempenho bastante aproximado e uma capacidade preditiva igual verificando-se uma diferença de apenas 0,2 entre as taxas de sucesso, não existindo nenhuma entre as taxas de predição.

Comparando os pesos das classes das variáveis independentes entre os dois métodos destacam-se: as classes relativas a uma altitude intermédia, sobretudo entre os 180 e 200 metros; vertentes declivosas sendo que a regressão logística destaca declives entre os 40° e 45° e o valor informativo declives entre os 35° e 40° e transversal aos dois métodos declives entre o 10° e 15°; áreas côncavas, apesar da sua contribuição diminuída; classes de IEVentre 0,89 e 1,00, uma exposição diminuída ao vento dominante. Relativamente à exposição verificam-se grandes diferenças entre os dois métodos uma vez que na regressão logística é atribuído maior peso às vertentes de exposição este, plana e norte, sendo que no valor informativo são as vertentes expostas a oeste, sudeste e noroeste que assumem maior significado. As classes das variáveis que menos contribuem na ocorrência do fenómeno e que se verificam transversais aos dois modelos são: as classes referentes a baixa altitude (<40 metros); vertentes de baixa declividade (superfícies aplanadas), depressões e superfícies retilíneas.

Apesar de todas as diferenças observadas, quando consideradas as AUC calculadas para cada variável, constata-se que em termos de hierarquia as diferenças verificam-se com apenas uma variável (Quadro 5.12). Deste modo, os métodos consideram que a variável com maior peso na ocorrência do fenómeno é a altimetria seguida da exposição das vertentes. A diferença verifica-se na variável que vem em terceiro lugar que, na regressão logística é o declive e no valor informativo é o IEV. As variáveis que segundos os dois métodos obtêm uma pior taxa de sucesso são a curvatura da superfície e a radiação global anual (Quadro 5.12).

Quadro 5.12 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para as Penínsulas Barton e Weaver

Variável independente	AUC da curva de sucesso (RL)	Variável independente	AUC da curva de sucesso (VI)
Altimetria	0.622	Altimetria	0.623
Exposição das vertentes	0.601	Exposição das vertentes	0.603
Declive	0.538	IEV	0.534
IEV	0.534	Declive	0.530
IPT	0.529	IPT	0.529
Curvatura da superfície	0.526	Curvatura da superfície	0.526
Radiação global anual	0.500	Radiação global anual	0.489

Os resultados obtidos para as Penínsulas de Barton e Weaver demonstram para além da importância da altimetria e da exposição, um aumento no peso que o IEV exerce na ocorrência do fenómeno. A importância da IEV pode ser justificada pelo facto da distribuição

da neve representar um padrão de acumulação e de redistribuição nivo-éolico da estação fria, onde a fusão se encontra num estado inicial. Desta forma o peso diminuído da radiação global anual é reflexo desta fase inicial de fusão onde variáveis como esta não exerce, inicialmente, um peso significativo.

5.4 SUSCETIBILIDADE À PRESENÇA DE NEVE NO VERÃO NA PENÍNSULA BYERS

5.4.1 Análise do grau de associação entre fatores condicionantes

Após a análise do quadro 5.13, constatou-se possível a utilização de todas as variáveis. No entanto, tal com nas áreas pormenor anteriormente analisadas, verifica-se que é entre as mesmas variáveis que se observam correlações mais fortes. Como referido, a correlação forte positiva entre a curvatura da superfície e o IPT já é espectável, bem como entre a altimetria e o IEV.

Quadro 5.13 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Península Byers

	Altimetria	Declive	Exposição	Curvatura da superfície	IPT	IEV	Radiação Global Anual (GJ/m ²)
Altimetria	1.00						
Declive	0.24	1.00					
Exposição	-0.09	0.21	1.00				
Curvatura da superfície	0.18	-0.02	-0.03	1.00			
IPT	0.28	0.24	0.09	0.51	1.00		
IEV	0.69	0.20	-0.07	0.32	0.44	1.00	
Radiação Global Anual (GJ/m ²)	0.08	-0.57	-0.26	0.09	-0.01	0.06	1.00

5.4.2 Modelos da regressão logística e valor informativo

A. Resultados

Na Península Byers observa-se uma concentração das classes de elevada suscetibilidade no setor central da península, delimitado pelo sistema de praia levantadas (Figuras 5.11 e 5.12). Contudo é possível observar algumas diferenças na distribuição espacial das classes na medida em que na figura 5.11, sobretudo no setor noroeste da península (Dospey Heights), observa-se uma mancha homogénea da classe relativa à suscetibilidade mais elevada. No método do valor informativo (Figura 5.12) essa homogeneidade não se verifica, uma vez que existe uma variação mais abrupta da distribuição das classes no espaço.

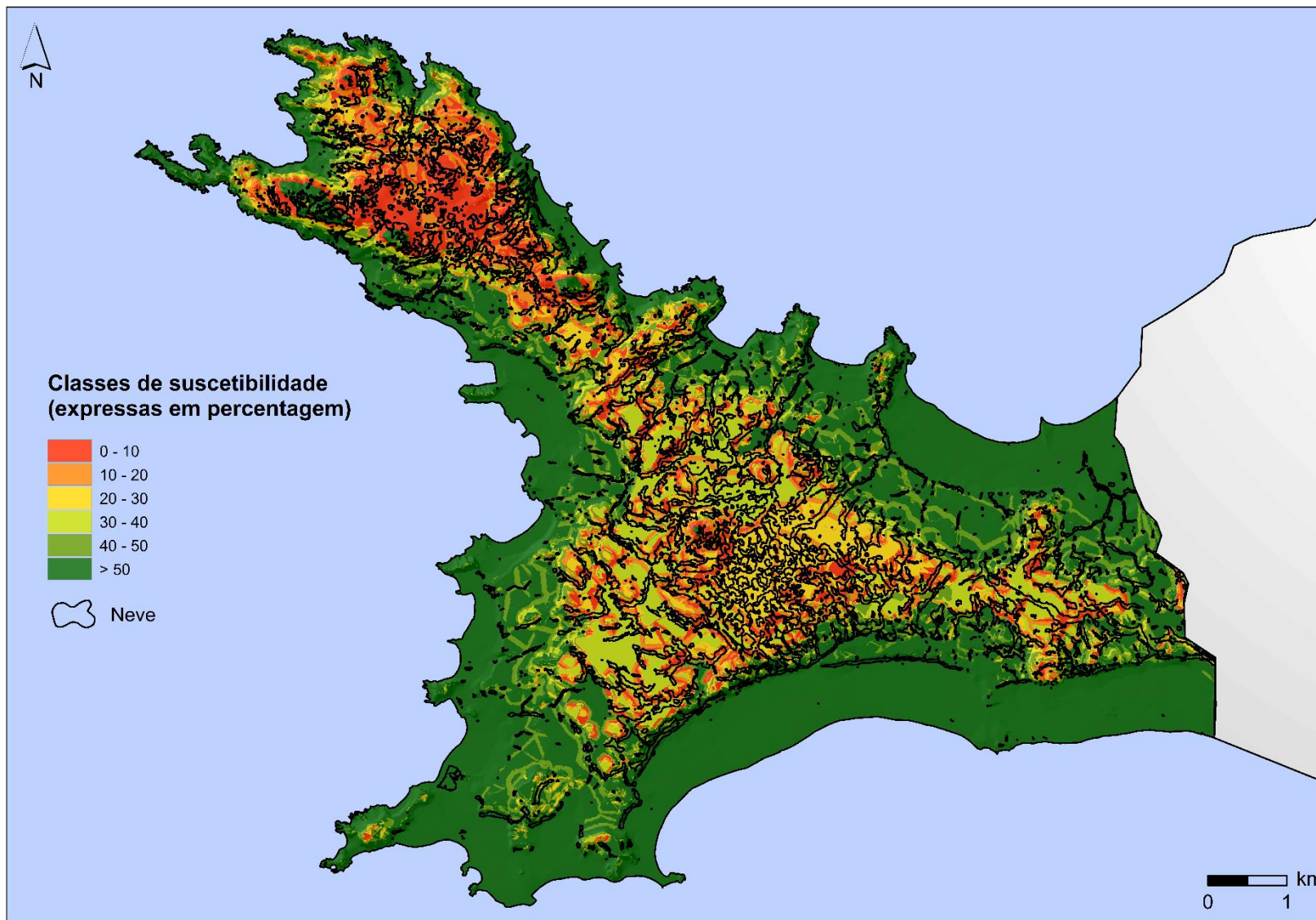


Figura 5.11 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Península Byers

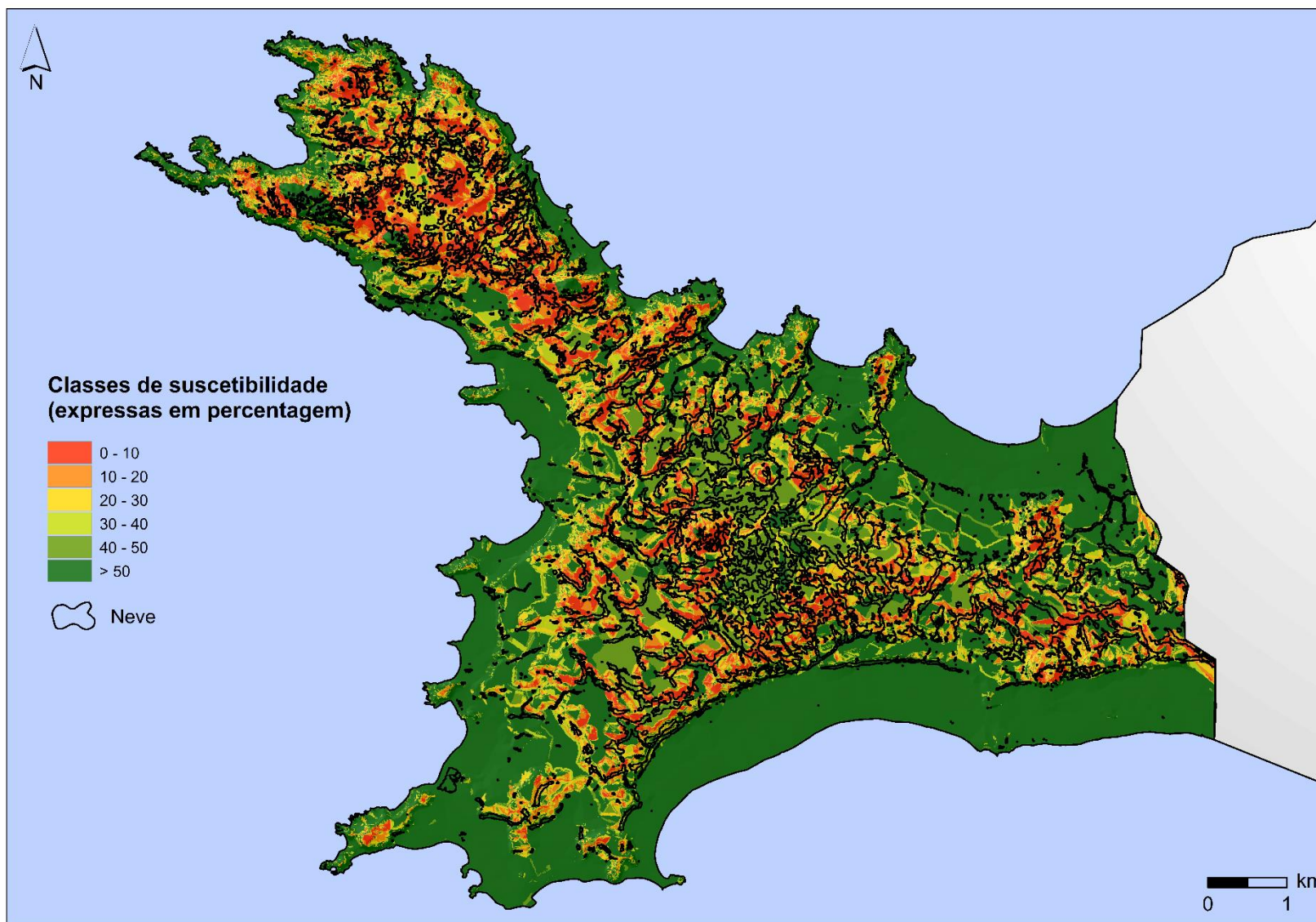


Figura 5.12 - Modelo de suscetibilidade à ocorrência de neve, baseado no método do valor informativo, para a Península Byers

Através da análise do quadro 5.14 constata-se que nos 10% da área de estudo, correspondente aos valores de probabilidade mais elevados, enquadra 23% na neve total. Considerando 20% da área de estudo, a presença do fenómeno eleva-se a 42%. Contabilizando os 50% da área total de estudo com os valores de probabilidade mais elevados, o número de ocorrências ronda os 83%. No que diz respeito a distribuição da neve pelas classes dos valores de VI constata-se que aos 10% da área de estudo, com valores mais elevados, corresponde 21% da neve total. Se se considerar 20% da área de estudo a área ocupada por neve eleva-se para 38%, perfazendo um total de 80% quando se considera 50% da área de estudo com valores de VI mais elevados.

Quadro 5.14- Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respetivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo na Península Byers

Classes de suscetibilidade	Valores de Probabilidade	% de área com presença de neve	Valores de VI	% de área com presença de neve
0-10	0,0041 - 0,0475	23	0,92 - 4,09	21
10-20	0,0027 - 0,0041	19	0,21 - 0,92	17
20-30	0,0021 - 0,0027	14	-0,29 - 0,21	15
30-40	0,0017 - 0,0021	14	-0,72 - -0,29	13
40-50	0,0010 - 0,0017	13	-0,90 - -0,72	15
>50	0 - 0,0010	18	-4,77 - -0,90	20

No quadro 5.15 é possível observar que a variável com maior peso na suscetibilidade à ocorrência de neve é claramente a altimetria, sobretudo entre o 0 e 160 metros, sendo que quanto maior a elevação maior o coeficiente atribuído. A curvatura da superfície assume, também, maior significado (vertentes côncavas e retilíneas) bem como o IEV (classes de exposição intermédia). No que diz respeito à exposição das vertentes destaca-se a exposição a sudeste, sendo que as restantes variáveis não aparentam exercer grande influência na presença de neve.

Relativamente às classes das variáveis que mais contribuem para a ausência do fenómeno destacam-se, apenas, as vertentes expostas a norte e oeste.

Quadro 5.15 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Byers (método da regressão logística)

Variável Independente	Coefficientes	Variável Independente	Coefficientes
Altm [140-160]	7,11	IEV [0,89-1,00]	0,21
Altm [120-140]	6,53	Decl, [0-5°]	0,16
Altm [100-120]	6,05	Vertentes	0,09
Altm [80-100]	5,84	Superfície aplanada	0,06
Altm [60-80]	5,69	Rad [2,04 - 2,27 GJ/M ²]	0,00
Altm [40-60]	4,93	Sup. Convexa	0,00
Altm [20-40]	4,60	Rad [1,94 - 2,04 GJ/M ²]	-0,01
Altm [0-20]	3,53	IEV [0,75-0,89]	-0,27
Sup. Côncava	0,68	Expo, Oeste	-0,58
Expo,Sudeste	0,68	Expo,Norte	-0,64
Decl, [5-10]	0,58		
Sup. Retilínea	0,38		
IEV [1,00-1,23]	0,32		

Quadro 5.16 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Byers (valor informativo)

Variável Independente	VI	Variável Independente	VI
Altm. [140-160]	1,68	Depressão	-0,15
Altm. [120-140]	1,32	Expo. Sudoeste	-0,16
Altm. [100-120]	0,85	Superfície aplanada	-0,17
Decl. [30-35°]	0,65	Sup. Convexa	-0,19
Altm. [80-100]	0,63	Decl. [0-5°]	-0,23
Expo. Sudeste	0,60	Sup. Retilínea	-0,27
Decl. [5-10°]	0,54	Rad. [1,76 – 1,94 GJ/m ²]	-0,28
Altm. [60-80]	0,51	Altm. [40-60]	-0,33
Vertentes	0,45	Decl. [25-30°]	-0,45
Sup. Côncava	0,28	Decl. [35-40°]	-0,45
Rad. [1,94 – 2,04 GJ/m ²]	0,28	Decl. [40-45°]	-0,45
Expo. Este	0,27	Decl. [> 45°]	-0,45
IEV [1,00 – 1,23]	0,26	Expo. Oeste	-0,52
IEV [0,89 – 1,00]	0,26	Expo. Norte	-0,64
Decl. [20-25°]	0,23	IEV [0,75 – 0,89]	-0,66
Expo. Noroeste	0,15	Altm. [20-40]	-0,70
Decl. [10-15°]	0,14	Rad. [0,70 – 1,46 GJ/m ²]	-0,85
Rad. [1,46 – 1,76 GJ/m ²]	0,13	Rad. [2,04 – 2,27 GJ/m ²]	-0,85
Topos	0,11	Altm. [0-20]	-1,83
Expo. Sul	0,07	Altm. [160 - 180]	-1,83
Decl. [15-20°]	-0,04	Altm. [180 - 200]	-1,83
IEV [1,23 – 1,35]	-0,08	Altm. [200 - 220]	-1,83
Expo. Plana	-0,09	Altm. [220 - 240]	-1,83
Expo. Nordeste	-0,12	Altm. [240 - 250]	-1,83

Verifica-se, através do quadro 5.16, que as variáveis que assumem maior significado na distribuição da neve são a altimetria (> 100 metros) e a exposição das vertentes (Sudeste e Este). No que diz respeito aos declives verifica-se uma preponderância de valores

compreendidos entre 30° e 35°. As classes intermédias de IEV são as que indicam uma maior influência na forma como a neve se distribuiu na Península Byers.

Os valores de vi, elevados e negativos, foram relativos às classes de baixa altitude (<40 metros) e as classes extremas da radiação global anual (0,70 a 1,46 e 2,04 a 2,27 GJ/m²). Assim, considera-se que estas classes detêm um peso significativo na ausência de neve. Os valores que se verificam nas classes relativas a altitude superior aos 160 metros ocorre dado que, estas classes não integram a presença de fenómeno, uma vez que amostra utilizada não contempla pontos nestas.

Segundo a regressão logística as variáveis que apresentam uma melhor eficácia na explicação são da neve são: a altimetria (AUC =0,74), IEV (AUC=0,57) e o declive (AUC = 0,56) (Figura 5.13-A). As menos relevantes dizem respeito à curvatura da superfície (AUC=0,54) e à exposição das vertentes (AUC=0,54).

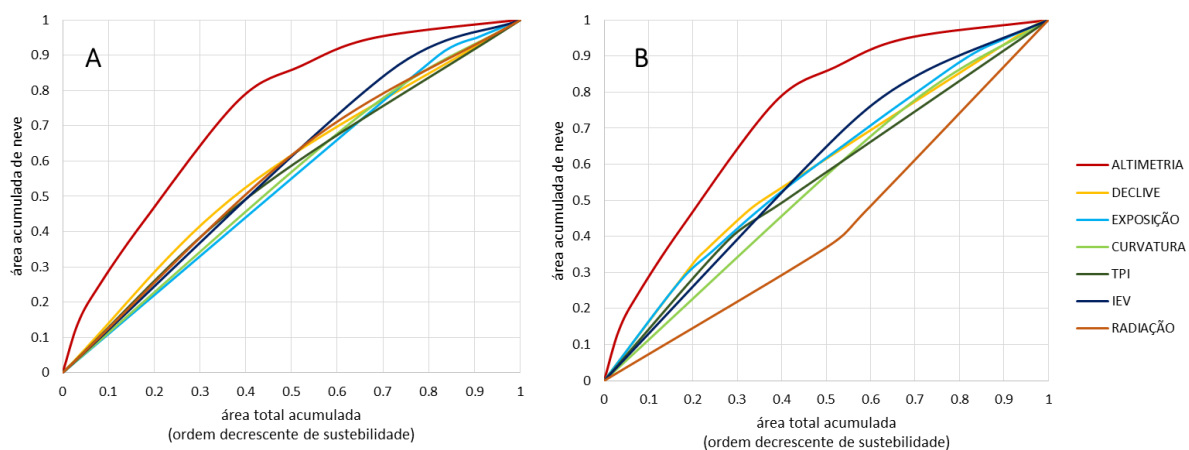


Figura 5.13 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Península Byers)

Relativamente ao valor informativo (Figura 5.13-B) a variável que demonstrou melhor eficácia na explicação da distribuição da neve foi a altimetria (AUC de 0,74), sendo seguida da variável IEV (AUC=0,59). As variáveis que menor taxa de sucesso obtiveram são referentes à radiação global anual (AUC=0,54) e a curvatura da superfície (AUC=0,43).

B. Taxas de sucesso e predição

O método da regressão logística é o que se verificou mais eficaz uma vez que obteve o valor de 0,77 de taxa de sucesso enquanto o valor informativo obteve uma taxa de sucesso de 0,74 (Figura 5.14).

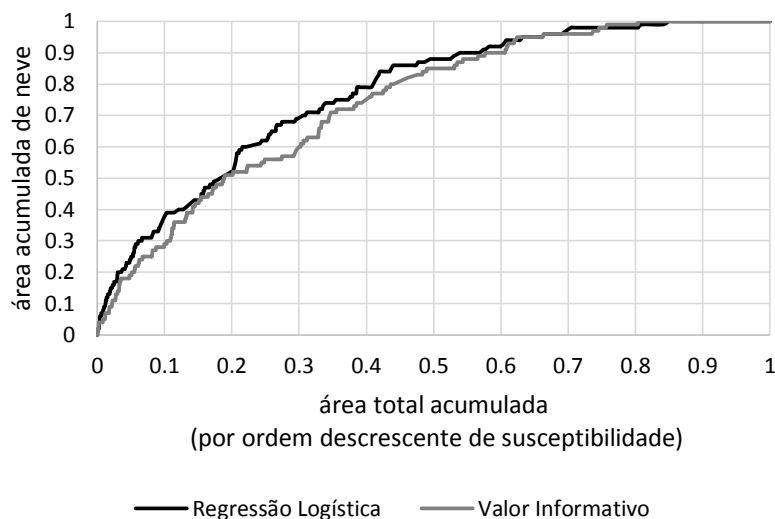


Figura 5.14 - Curvas de sucesso da susceptibilidade à ocorrência de neve, na Península Byers, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo

O resultado obtido para a capacidade preditiva dos modelos, com base no método da regressão logística, foi de 0,72 sendo que com base no método do valor informativo foi de 0,66 (Quadro 5.17).

Quadro 5.17 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para a Península Byers

	AUC da curva de sucesso	AUC da curva de predição
Regressão Logística	0,77	0,72
Valor Informativo	0,74	0,66

A curva de predição calculada através da regressão logística indica que em 10% da área total (0,1) se detetou 25% da neve total, sendo que se considerarmos 20% da área de estudo este valor eleva-se para os 46%. Quando considerados os 50% da área de estudo com valores de susceptibilidade mais elevados, a percentagem de neve observada sobe para 80%.

De acordo com o valor informativo, verifica-se que 20% da neve total integra os 10% da área de estudo correspondente aos valores de susceptibilidade mais elevado. Quando considerada 20% da área de estudo verifica-se um acréscimo deste valor de 15%, perfazendo o valor de 78% de neve quando contabilizada 50% da área total (Figura 5.15).

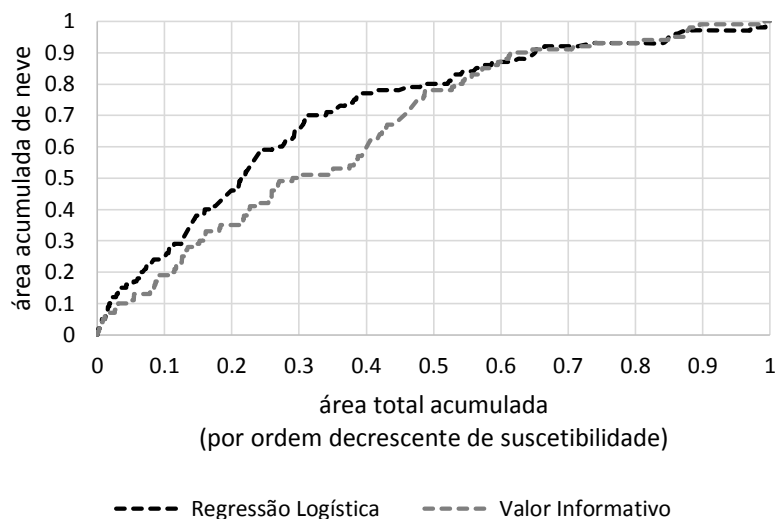


Figura 5.15 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Byers, elaborado com base no método da regressão logística e do valor informativo

5.4.3 Conclusão

Através do quadro 5.17 observa-se que, na comparação entre as AUC das curvas de sucesso e de predição, os dois métodos, tal com para a Península de Fildes, demonstram um desempenho e uma capacidade preditiva aproximada. Os resultados que se observam no quadro indicam que, para além de um desempenho superior a 70%, entre estes verifica-se uma diferença de apenas 3%. No entanto as AUC de predição já demonstram uma diferença de 6%.

Comparando os pesos das classes das variáveis independentes, mais ou menos significativas na suscetibilidade à ocorrência de neveiros, verifica-se que estes são semelhantes em ambos os métodos (Quadro 5.15 e 5.16) . Em suma os dois métodos destacam: classes de altitude entre os 100 e 160 metros; declives pouco acentuados entre o 5° e 10°; vertentes expostas a sudeste; áreas côncavas e também retilíneas, na regressão logística; classes do IEV com um índice entre 0,89 e 1,00, ou seja, locais onde a exposição ao vento dominante é baixa;

As classes, transversais aos dois modelos, que menor contribuição detém na presença de neve são: vertentes expostas a norte e oeste; áreas convexas; valores de radiação elevados compreendidos entre os 2,04 a 2,27 GJ/m². O método do valor informativo acrescenta as classes referentes a declives muito acentuados e depressões.

Segundo as AUC calculadas para cada variável (Quadro 5.18) os dois métodos apresentam, ao contrário das anteriores áreas de estudo, resultados bastante diferentes em

termos de hierarquia. Deste modo, a altimetria e o IEV são as variáveis que em ambos os métodos obtêm uma melhor taxa de sucesso. Em seguida, segundo a regressão logística a variável com melhor taxa de sucesso na ocorrência do fenómeno é o declive sendo que no valor informativo essa variável é a exposição das vertentes. Segundo as AUC calculadas com base nos resultados do método da regressão logística, a variável exposição é a que apresenta menor taxa de sucesso, sendo a radiação global anual no método do valor informativo. As variáveis que, em ambos os métodos, ocupam o mesmo lugar hierárquico são o IPT e a curvatura da superfície e demonstram em relação as restantes variáveis uma menor taxa de sucesso no cálculo da suscetibilidade à ocorrência do fenómeno.

Quadro 5.18 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Península Byers

Variável independente	AUC da curva de sucesso (RL)	Variável independente	AUC da curva de sucesso (VI)
Altimetria	0.738	Altimetria	0.738
IEV	0.570	IEV	0.588
Declive	0.563	Exposição das vertentes	0.587
Radiação global anual	0.559	Declive	0.584
IPT	0.546	IPT	0.556
Curvatura da superfície	0.540	Curvatura da superfície	0.540
Exposição das vertentes	0.540	Radiação global anual	0.432

De acordo com os resultados obtidos constata-se que existe, tal como em Barton e Weaver, um aumento do peso do IEV. Na Península Byers, ambos os modelos consideram que são os locais onde o índice de exposição ao vento é mais baixo são os mais contribuem para a presença de neve, o que coaduna com o facto de que o vento é um dos principais agentes na redistribuição da mesma.

Apesar da curvatura da superfície não ser a variável que apresenta uma melhor taxa de sucesso é de denotar que quando observados os pesos de cada classe, para ambos os modelos, destacam-se as superfícies côncavas, que associadas a algum declive promovem a permanência da neve de uma forma mais perlongada, uma vez que se encontra protegida.

5.5 SUSCETIBILIDADE À PRESENÇA DE NEVE NO VERÃO NA PENÍNSULA HURD

5.5.1 Análise do grau de associação entre fatores condicionantes

A elaboração dos coeficientes de Pearson permitiu verificar se todas as variáveis modeladas para a Península Hurd poderiam ser integradas nos modelos sem problemas de redundância (Quadro 5.19).

No caso da Península Hurd, as variáveis apresentam valores de correlação abaixo dos 0,7 permitindo, assim, a sua utilização dos modelos de suscetibilidade. As correlações mais forte verificam-se, iguais às restantes áreas, entre a curvatura e o IPT e o IEV e altimetria.

Quadro 5.19 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Península Hurd

	Altimetria	Declive	Exposição	Curvatura da superfície	IPT	IEV	Radiação Global Anual (GJ/m ²)
Altimetria	1.00						
Declive	0.25	1.00					
Exposição	-0.04	0.05	1.00				
Curvatura da superfície	0.27	-0.03	-0.01	1.00			
IPT	0.25	0.01	0.02	0.58	1.00		
IEV	0.61	0.27	-0.08	0.31	0.42	1.00	
Radiação Global Anual (GJ/m ²)	0.01	-0.57	-0.11	0.10	0.12	-0.23	1.00

5.5.2 Modelos da regressão logística e valor informativo

A. Resultados

Na Península Hurd verifica-se uma concentração das classes de elevada suscetibilidade em áreas de elevada altitude (Figura 5.16 e 5.17). Ao contrário das outras áreas pormenor, a classificação baseada no método do valor informativo resultou em manchas, correspondentes a valores de suscetibilidade mais elevada, com maior concentração no setor sul, sudeste da península.

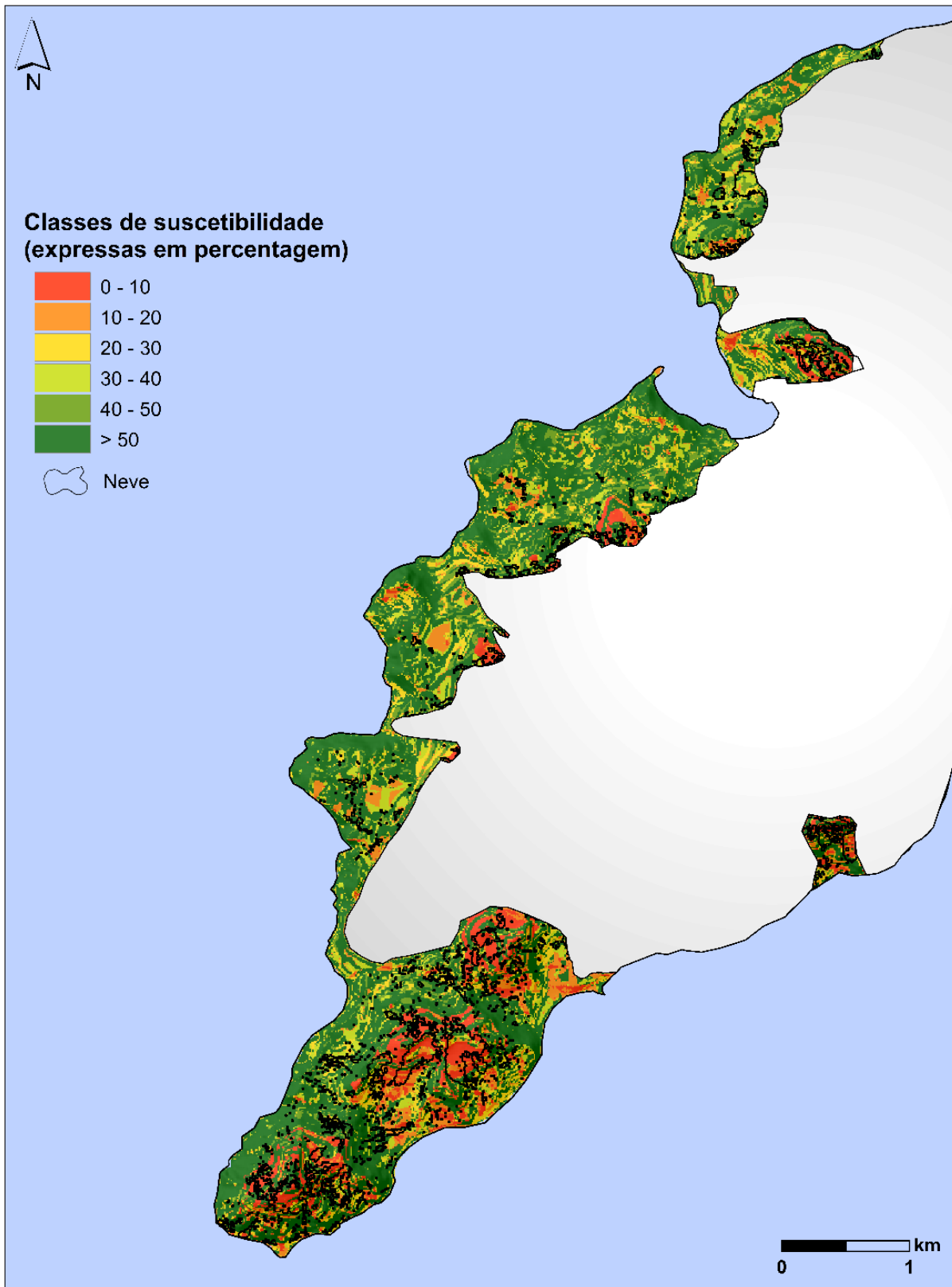


Figura 5.16 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Península Hurd

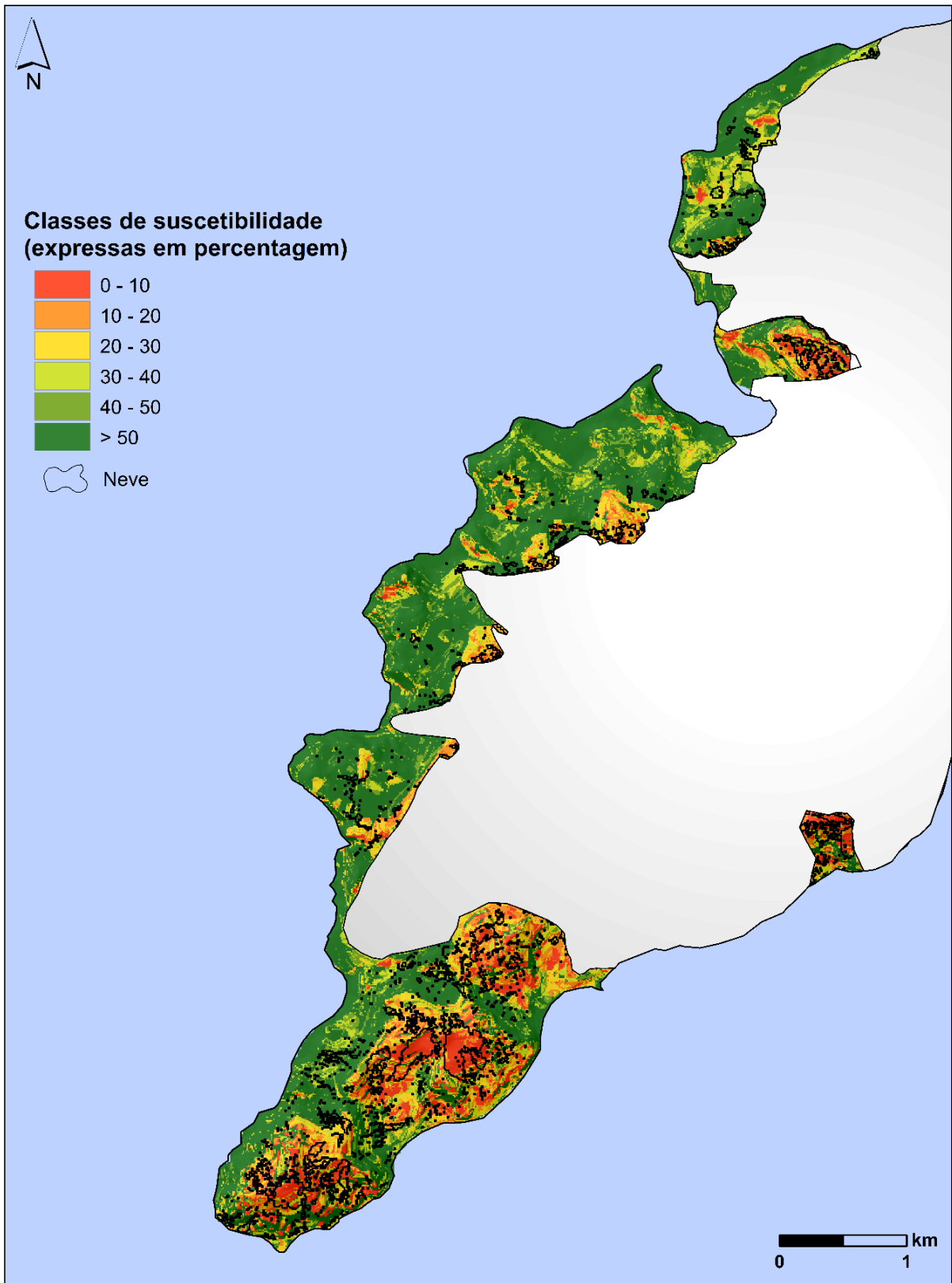


Figura 5.17 - Modelo de suscetibilidade à ocorrência de neve, baseado no método do valor informativo, para a Península Hurd

No quadro 5.20 verifica-se que 10% da área em estudo, relativa aos valores de probabilidade mais elevados, compreende cerca de 28% da neve total observada. Se se considerar 20% da área total o valor de ocupação pela neve eleva-se a 41%. Contabilizando os 50% da área de estudo com os valores mais elevados de probabilidade verifica-se que estes compreende cerca de 65% da neve total. Relativamente ao valor informativo é possível observar que nos 10% de área de estudo, correspondente aos valores de VI mais elevados, se verifica 31% da neve total. Considerando 20% da área de estudo o valor de neve presente eleva-se para 48%, perfazendo o valor de 79% quando ponderado 50% da área de estudo com os valores de VI mais elevados.

Quadro 5.20 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respetivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenómeno em estudo na Península Hurd

Classes de suscetibilidade	Valores de Probabilidade	% de área com presença de neve	Valores de VI	% de área com presença de neve
0-10	0,0211 - 0,3087	28	0,75 - 4,05	31
10-20	0,0127 - 0,0211	13	0,35 - 0,75	17
20-30	0,0093 - 0,0127	10	-0,01 - 0,35	12
30-40	0,0087 - 0,0093	8	-0,34 - -0,01	11
40-50	0,0070 - 0,0087	5	-0,59 - -0,34	7
>50	0,0000 - 0,0070	35	-3,68 - -0,59	21

Através do quadro 5.21 constata-se que a variável altimetria detém um peso significativo na suscetibilidade à ocorrência de neve, sobretudo nas classes entre os 200 e os 400 metros. Com os valores observados não é possível identificar as variáveis que exercem maior peso. Contudo no que concerne à exposição é a classe das vertentes expostas a sul que assume maior relevância sendo que as restantes não são representativas. De seguida, é a radiação global entre os 1.41 a 1.66 GJ/m² e a curvatura da superfície retilínea.

No que diz respeito as classes das variáveis que mais contribuem para a ausência de neve, pelo seu peso forte e negativo: destacam-se declives acentuados, baixa altitude (<40 metros), exposições a norte e nordeste e curvatura da superfície convexa.

As restantes variáveis não apresentam uma influência significativa na ocorrência de neve na península Hurd.

Quadro 5.21 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Hurd (regressão logística)

Variável Independente	Coefficientes	Variável Independente	Coefficientes
Altm [360-400]	2,54	Decl. [35-40°]	-0,12
Altm [320-360]	2,16	Depressão	-0,15
Altm [280-320]	1,69	Rad. [1,87 – 2,04 GJ/m ²]	-0,18
Altm [240-280]	1,12	Expo. Norte	-0,19
Altm [200-240]	0,97	Expo. Nordeste	-0,37
Altm [160-200]	0,73	Altm [80-120]	-0,40
Expo. Sul	0,68	Sup. Convexa	-0,57
Rad. [1,41 – 1,66 GJ/m ²]	0,45	Altm [120-160]	-0,57
Sup. Retilínea	0,36	Altm [0-40]	-0,94
Decl. [15-20°]	0,33	Decl. [>45°]	-1,39
IEV [1,23-1,35]	-0,10	Decl. [40-45°]	-2,37

No quadro 5.22 observa-se, tal como no método da regressão logística, a preponderância da altimetria, sobretudo entre os 200 e 400 metros. No que diz respeito à exposição das vertentes as que apresentam maior relação ao fenómeno são as expostas a sul e sudeste. De acordo com os valores de VI, os declives que variam entre os 30° e 40° são considerados mais determinantes na presença de neve. Os valores de radiação global mais preponderantes dizem respeito aos valores entre 1,41 e 1,66 GJ/m².

As classes das variáveis que, segundo o método do VI, mais contribuem para ausência de neve são: as classes altitudinais inferiores a 40 metros, os declives mais acentuados (> 40°), vertentes e superfícies aplanadas e exposição a norte e nordeste. O valor que se verifica na classe entre os 400 e 440 metros ocorre dado que, esta classe não integrava a presença de fenómeno, uma vez que amostra utilizada não contempla pontos nestas, por corresponderem a áreas muito reduzidas.

Quadro 5.22 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Península Hurd (valor informativo)

Variável Independente	VI	Variável Independente	VI
Altm. [360-400]	2,03	Expo. Sudoeste	-0,05
Altm. [320-360]	1,72	Decl. [0-5°]	-0,07
Altm. [280-320]	1,04	Depressão	-0,09
Altm. [200-240]	0,82	Decl. [25-30°]	-0,09
Expo. Sul	0,81	Altm. [40-80]	-0,11
Altm. [240-280]	0,79	IEV [1.23 - 1.35]	-0,12
Rad. [1,41 – 1,66 GJ/m ²]	0,58	Sup. Convexa	-0,14
Altm. [160-200]	0,54	Expo. Noroeste	-0,15
Decl. [35-40°]	0,45	Decl. [20-25°]	-0,18
Sup. Retilínea	0,38	Expo. Oeste	-0,20
Expo. Sudeste	0,24	Expo. Este	-0,27
Decl. [15-20°]	0,22	Expo. Norte	-0,32
Decl. [5-10°]	0,22	Rad. [1,87 – 2,04 GJ/m ²]	-0,33
Decl. [30-35°]	0,19	Rad. [0,65 – 1,41 GJ/m ²]	-0,40
IEV [0.75 - 0.89]	0,14	Expo. Nordeste	-0,42
IEV [0.89 - 1.00]	0,12	Altm. [80-120]	-0,52
Vertentes	0,08	Altm. [120-160]	-0,67
Sup. Côncava	0,06	Decl. [> 45°]	-0,71
IEV [1.00 - 1.23]	0,04	Expo. Plana	-0,81
Rad. [1,66 – 1,87 GJ/m ²]	0,03	Altm. [0-40]	-0,89
Topos	0,03	Altm. [400-440]	-0,89
Rad. [2,04 – 2,27 GJ/m ²]	0,01	Decl. [40-45°]	-1,79
Superfície aplanada	-0,02		
Decl. [10-15°]	-0,03		

Na figura 5.18-A é possível observar que a variável que obteve uma melhor taxa de sucesso foi a altimetria (AUC=0,69). As variáveis que, em seguida, apresentam uma maior eficácia são o declive (AUC=0,57) e a radiação global anual (AUC=0,50). As variáveis que menor peso exercem na ocorrência do fenómeno são o IPT (AUC=0,53) e o IEV (AUC=0,50).

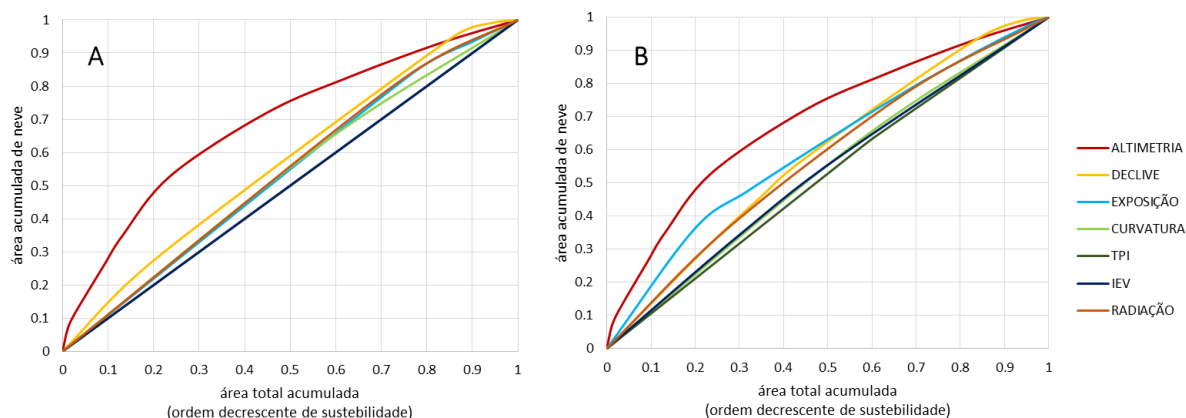


Figura 5.18 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Península Hurd)

Com base no método do VI (Figura 5.18-B) a variável que apresenta a melhor taxa de sucesso é a altimetria (AUC= 0,69) seguida da variável exposição das vertentes (AUC=0,60). As variáveis que se verificaram com menor eficácia na explicação da ocorrência de neve foram a curvatura da superfície (AUC=0,53) e o IPT (AUC=0,52).

B. Taxas de sucesso e predição

Através da figura 5.20 verifica-se que o desempenho dos dois métodos, na Península Hurd, é igual (AUC=0,75).

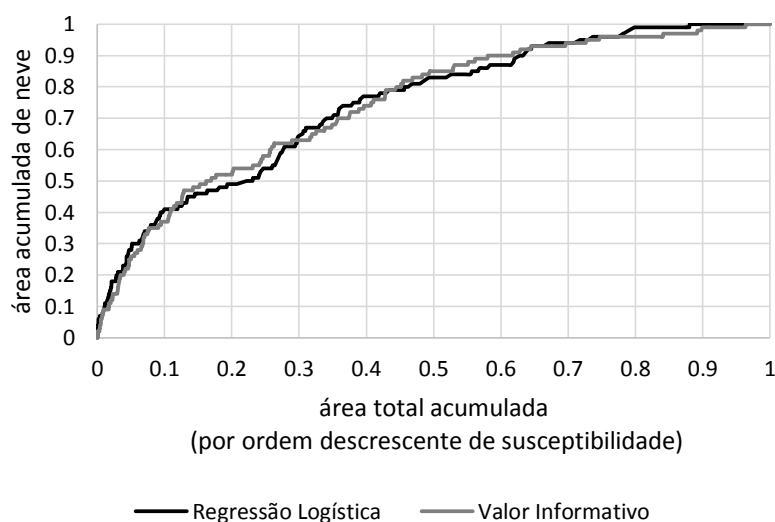


Figura 5.19 - Curvas de sucesso da susceptibilidade à ocorrência de neve, na Península Hurd, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo

Relativamente à capacidade preditiva dos dois métodos verifica-se, tal como no desempenho, igual (AUC=0,75) (Quadro 5.23).

Quadro 5.23 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para a Península Hurd

	AUC da curva de sucesso	AUC da curva de predição
Regressão Logística	0,75	0,68
Valor Informativo	0,75	0,68

Com base na regressão logística detetou-se que em 10% da área, com os valores de susceptibilidade mais elevados, se integra 24% da neve total, sendo que considerando 20% da área de estudo observa-se 39% da neve total. Ao considerar os 50% da área de estudo com os valores de susceptibilidade mais elevados, a neve observada eleva-se para os 75%. Relativamente

à curva elaborada com base no método do valor informativo, constata-se que 10% da área de estudo mais suscetível, justifica 24% da neve total. Se se aumentar para 20% a área estudada o valor de neve que a íntegra eleva-se para 41%. Contabilizando 50% de área de estudo, mais suscetível, observar-se um total de 80% de neve (Figura 5.21).

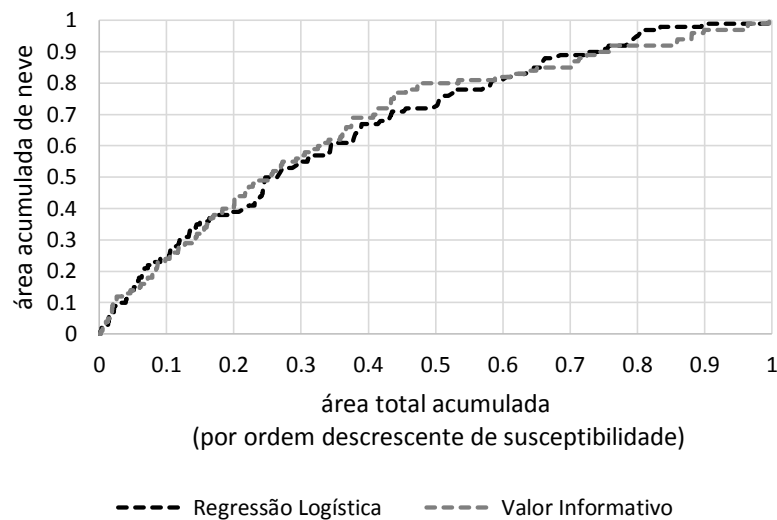


Figura 5.20 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Península Hurd, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo

5.5.3 Conclusão

A comparação entre as AUC das curvas de sucesso e de predição, para a Península Hurd, sugere que os dois métodos possuem um desempenho uma capacidade preditiva igual. No entanto, não significa que ambas demonstrem a mesma qualidade na representação do fenómeno em estudo (Quadro 5.23).

Após a comparação dos pesos das variáveis independentes mais significativas na suscetibilidade à ocorrência a neveiros, verifica-se que são idênticos nos dois modelos (Quadro 5.21 e 5.22). Estes destacam: as classes de altimetria entre o 320 e 400 metros; declives entre (15° a 20°); vertentes expostas a sul; áreas retilíneas; valores de radiação relativamente baixos (1,41 a 1,66 GJ/m²). O valor informativo acrescenta, ainda, áreas onde a exposição ao vento dominante é reduzida e superfícies côncavas.

As classes de variáveis mais contribuem para a ausência de neve dizem respeito a classes de baixa altitude (< 120 metros), declives muito acentuados (superior a 40°), exposição

das vertentes a norte e nordeste, áreas convexas, valores de radiação global relativamente elevados entre os 1,87 e 2,04 GJ/m² e áreas de elevada exposição ao vento dominante.

Segundo as AUC calculadas para cada variável (Quadro 5.24), verificam-se algumas diferenças na hierarquização das mesmas em cada modelo. A altimetria, em ambos os métodos, demonstra a melhor taxa de sucesso. De seguida, a regressão logística considera a variável referente aos declives de maior importância sendo que o valor informativo considera a exposição. Posteriormente, a radiação global anual é a variável que, na regressão logística, obteve uma melhor taxa de sucesso em relação ao valor informativo em que foi a variável referente aos declives. As variáveis que demonstram pior taxa de sucesso são: o IEV na regressão logística e o IPT no valor informativo.

Quadro 5.24 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Península Hurd

Variável independente	AUC da curva de sucesso (RL)	Variável independente	AUC da curva de sucesso (VI)
Altimetria	0.685	Altimetria	0.685
Declive	0.569	Exposição das vertentes	0.600
Radiação global anual	0.537	Declive	0.586
Exposição das vertentes	0.536	Radiação global anual	0.565
Curvatura da superfície	0.528	IEV	0.530
IPT	0.500	Curvatura da superfície	0.528
IEV	0.500	IPT	0.517

Os resultados obtidos sugerem que a altimetria é a variável que maior peso detém na suscetibilidade à ocorrência de neve, sobretudo as classes que representam altitude elevada.

Apesar de na hierarquização das variáveis se verificar algumas diferenças, na Península Hurd as vertentes expostas a sul assumem maior relevância da mesma forma que classes de radiação global anual baixa, uma que estas se encontram relacionadas pelo facto da exposição ao sul promover menor radiação solar incidente. Em Hurd as áreas retilíneas e côncavas de declive moderado (até cerca de 20°) assumem maior peso o que, como referido anteriormente, vai de encontro às características que propiciam a presença e permanência de neve.

5.6 SUSCETIBILIDADE À PRESENÇA DE NEVE NO VERÃO NA ILHA DECEPTION

5.6.1 Análise do grau de associação entre fatores condicionantes

O cenário observado no quadro 5.25 foi o mesmo, descrito nas restantes áreas pormenor, na medida que em que existe valores de correlação mais elevados entre a altimetria e o IEV bem como entre a curvatura da superfície e o IPT. No entanto esta correlação não inviabiliza a sua utilização nos modelos de suscetibilidade.

Quadro 5.25 - Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre fatores condicionantes de presença de neve na Ilha Deception

	Altimetria	Declive	Exposição	Curvatura da superfície	IPT	IEV	Radiação Global Anual (GJ/m ²)
Altimetria	1,00						
Declive	0,22	1,00					
Exposição	0,11	0,10	1,00				
Curvatura da superfície	0,20	0,00	0,03	1,00			
IPT	0,26	0,15	0,07	0,53	1,00		
IEV	0,67	0,21	0,15	0,32	0,44	1,00	
Radiação Global Anual (GJ/m ²)	0,27	-0,39	-0,08	0,12	0,11	0,05	1,00

5.6.2 Modelos da regressão logística e valor informativo

A. Resultados

Na Ilha Deception observa-se que as classes de suscetibilidade mais elevadas correspondem aos setores relativos a uma altitude mais elevada (Figuras 5.22 e 5.23). Através destas figuras não se identifica grandes diferenças entre os dois métodos.

Com recurso ao quadro 5.26 constata-se que nos 10% da área de estudo, correspondentes aos valores de probabilidade mais elevados, verifica-se 24% da neve total. Considerando 20 % da área de estudo a percentagem de neve eleva-se a 39%. Contabilizando 50% da área de estudo com valores se probabilidade mais elevados, o número de ocorrência é de 74%. Relativamente ao modelo do valor informativo observa-se que em 10% da área de estudo, relativa aos valores de VI mais elevados, integra 26% da neve total. Considerando 20% da área de estudo o valor de presença de neve eleva-se para 44%. Contabilizando 50% da área de estudo referente aos valores de VI mais elevados a presença de neve é de 70%

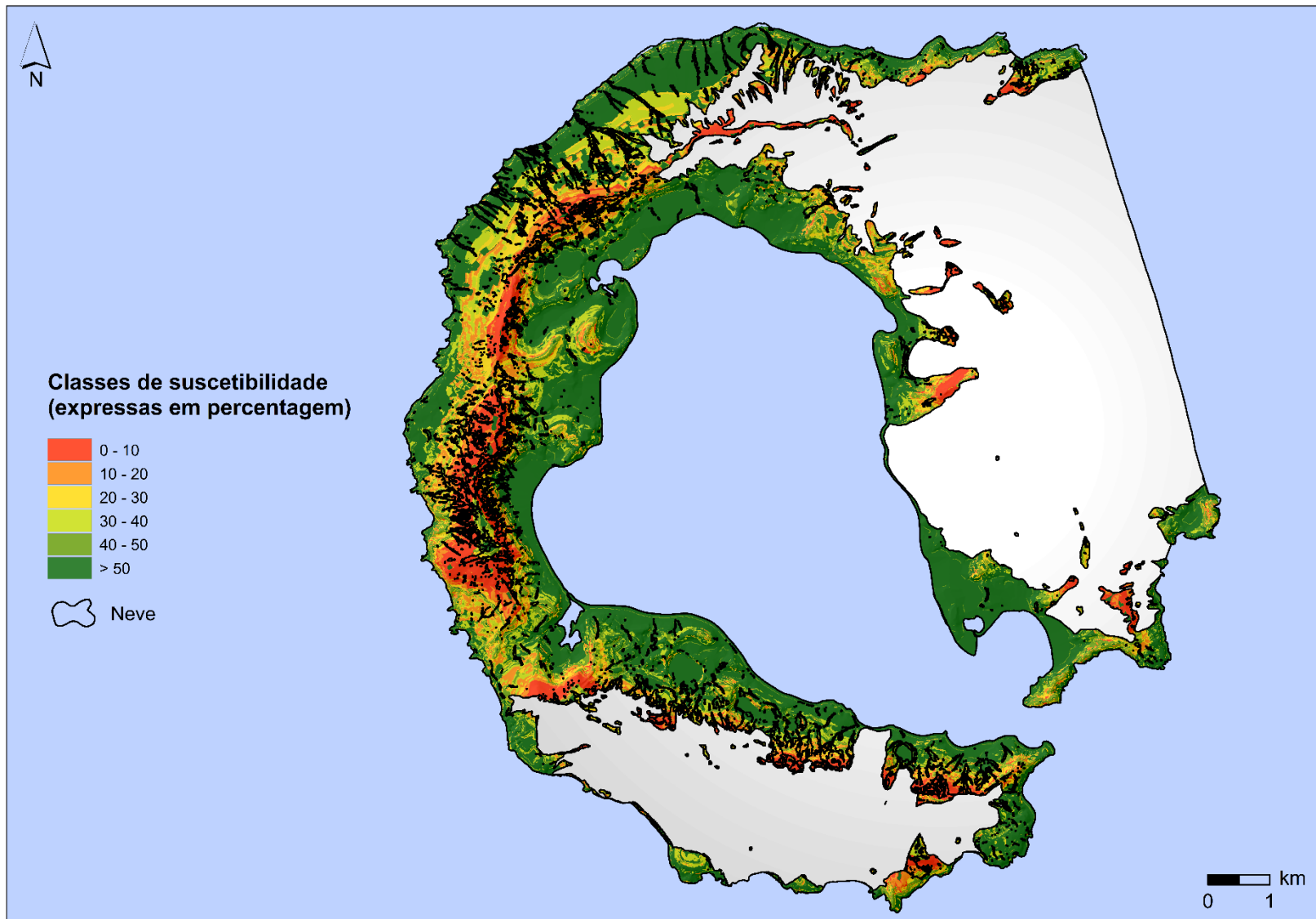


Figura 5.21 -Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método da regressão logística, para a Ilha Deception

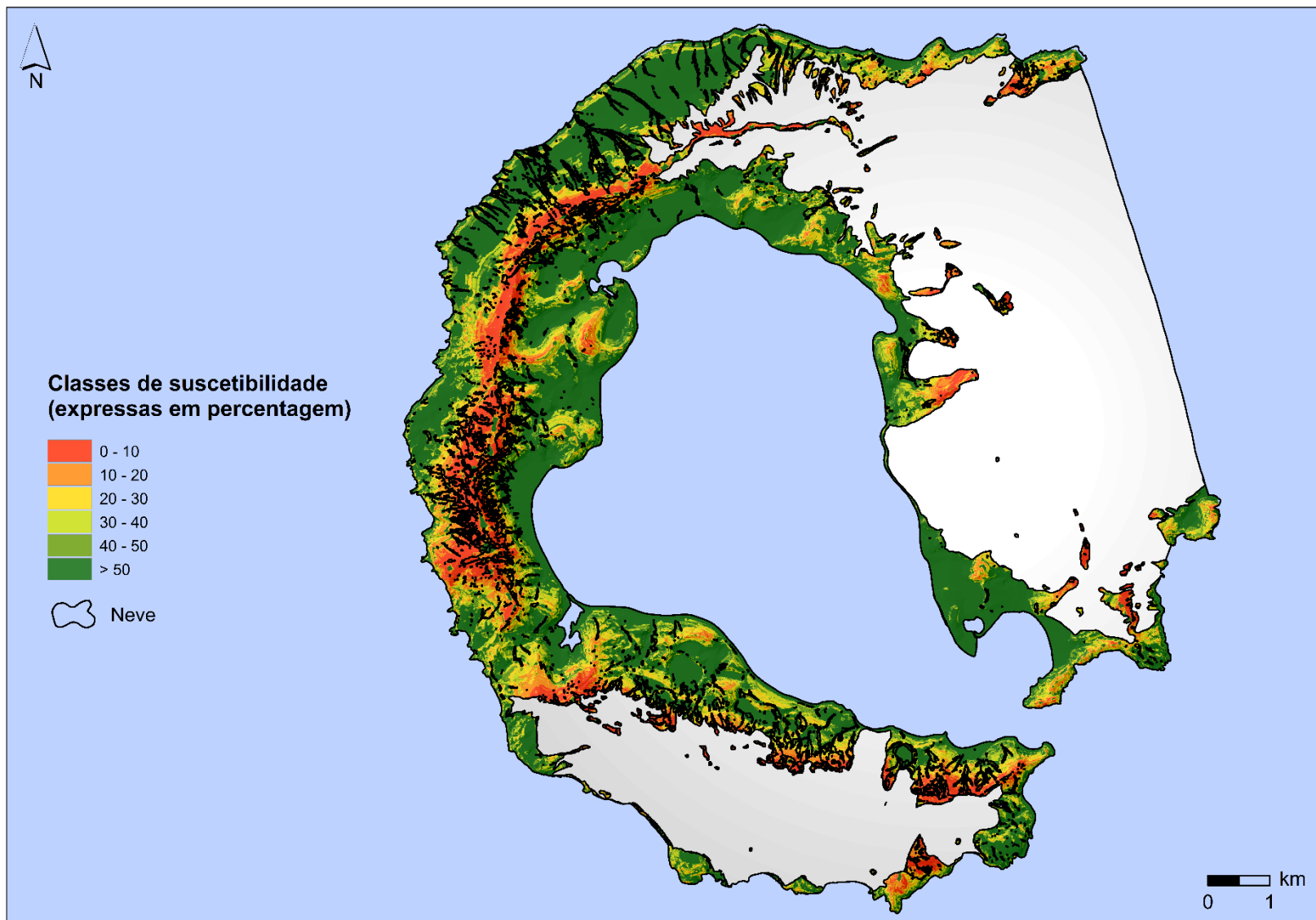


Figura 5.22 - Modelo da suscetibilidade à ocorrência de neve, elaborado com base no método do valor informativo, para a Ilha Deception

Quadro 5.26 - Classificação da suscetibilidade à ocorrência de neve com respectivos valores de probabilidade e de VI e de área ocupada pelo fenômeno em estudo na Ilha Deception

Classes de suscetibilidade	Valores de Probabilidade	% de área com presença de neve	Valores de VI	% de área com presença de neve
0-10	0,0045 - 0,0490	24	1,63 - 4,83	26
10-20	0,0026 - 0,0045	15	0,76 - 1,63	18
20-30	0,0020 - 0,0026	14	0,24 - 0,76	11
30-40	0,0017 - 0,0020	11	-0,12 - 0,24	8
40-50	0,0015 - 0,0017	10	-0,50 - -0,12	8
>50	0,0000 - 0,0015	26	-5,69 - -0,50	30

No quadro 5.27 constata-se a preponderância da altimetria, sendo que as classes onde se verifica um coeficiente mais elevado compreendem valores acima de 200 m. O declive mostra também um peso significativo, sobretudo nas classes entre 30 e 40°, bem como as superfícies côncavas e retilíneas. Constata-se ainda que as classes de radiação global anual mais elevada (1,73 a 1,90 GJ/m²), as altitudes inferiores a 80 m, bem como classes de exposição a sudeste detêm, pelo seu peso forte e negativo, maior influência na ausência de neve. As restantes variáveis não aparentam contribuir de forma significativa para a distribuição da neve.

Quadro 5.27 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Ilha Deception (regressão logística)

Variável Independente	Coefficientes	Variável Independente	Coefficientes
Altm [320-360]	2,23	Vertentes	0,20
Altm [240-280]	1,71	Rad. [1,90-2,02 GJ/m ²]	0,09
Altm [200-240]	1,29	IEV [0,75-0,89]	0,00
Decl. [35-40°]	0,94	Rad. [2,02-2,37 GJ/m ²]	-0,03
Altm [160-200]	0,82	IEV [1,00 - 1,23]	-0,10
Decl. [30-35°]	0,48	Altm [40-80]	-0,29
Altm [120-160]	0,48	Decl. [5-10°]	-0,40
Sup. Retilínea	0,39	Rad. [1,73-1,90 GJ/m ²]	-0,42
Decl. [0-5°]	0,39	Superfície aplanada	-0,46
Decl. [25-30°]	0,38	Expo. Sudeste	-0,46
Sup. Côncava	0,35	Altm [0-40]	-0,63
Decl. [10-15°]	0,29	Expo. Plana	-1,75
Expo. Oeste	0,25		

No quadro 5.28 verifica-se que utilizando o método do VI as variáveis altimetria (> 160 m) e declive (25 a 35°) são as com maior influência na ocorrência de neve. Outra variável significativa é a radiação global anual, sendo os valores compreendidos entre 0,25 e 1,48 e 2,02 a 2,37 GJ/m² indicados, pelos valores de VI, como os que exercem maior peso na ocorrência de neve. As classes das variáveis que mais contribuem para a ausência de neve, pelo seu peso forte

e negativo são: as superfícies aplanadas e com exposição a sudeste; as classes entre 360 e 478 que poderá resultar do facto destas corresponderem a declives acentuados e vertentes expostas a noroeste, que revelam valores de radiação global anual elevados; declives entre inferiores a 5°, uma vez que se verificam mais expostos a radiação solar e superiores a 45°, pela mesma razão aplicando-se apenas a classes de exposição direta ao sol. As restantes variáveis não demonstram um peso significativo na presença de neve.

Quadro 5.28 - Peso relativo de cada classe de cada variável, presente no modelo de suscetibilidade, na ocorrência de neve na Ilha Deception (valor informativo)

Variável Independente	VI	Variável Independente	VI
Altm. [320-360]	2,31	Sup. Convexa	0,02
Altm. [240-280]	1,60	Decl. [15-20°]	0,01
Altm. [200-240]	1,17	Expo. Noroeste	0,00
Decl. [30-35°]	1,04	IEV [1,00 – 1,23]	-0,06
Altm. [160-200]	0,77	Decl. [35-40°]	-0,14
Altm. [280-320]	0,66	Expo. Sudoeste	-0,15
IEV [1,23 – 1,35]	0,61	Rad. [1,90 – 2,02 GJ/m ²]	-0,19
Decl. [25-30°]	0,55	Altm. [80-120]	-0,21
Expo. Oeste	0,42	IEV [0,75 – 0,89]	-0,21
Decl. [20-25°]	0,40	IEV [0,89 – 1,00]	-0,35
Altm. [120-160]	0,38	Sup. Retilínea	-0,43
Vertentes	0,28	Rad. [1,73 – 1,90 GJ/m ²]	-0,45
Decl. [10-15°]	0,28	Altm. [40-80]	-0,45
Expo. Nordeste	0,25	Decl. [5-10°]	-0,47
Decl. [40-45°]	0,23	Expo. Sudeste	-0,52
Rad. [0,25 – 1,48 GJ/m ²]	0,22	Decl. [0-5°]	-0,61
Rad. [2,02 – 2,37 GJ/m ²]	0,22	Decl. [> 45°]	-0,61
Expo. Norte	0,15	Superfície aplanada	-0,77
Expo. Este	0,14	Altm. [0-40]	-0,92
Sup. Côncava	0,12	Altm. [360-400]	-0,92
Depressão	0,12	Altm. [400-440]	-0,92
Topos	0,06	Altm. [440-478]	-0,92
Expo. Sul	0,05	Expo. Plana	-2,17
Rad. [1,48 – 1,73 GJ/m ²]	0,03		

Através da figura 5.24-A constata-se que é a altimetria a variável que obteve melhor taxa de sucesso (AUC=0,69), seguida do declive (AUC=0,64). As variáveis que, segundo o método da regressão logística, se relevam menos significativas dizem respeito à radiação global anual (AUC=0,56) e à curvatura da superfície (AUC=0,53).

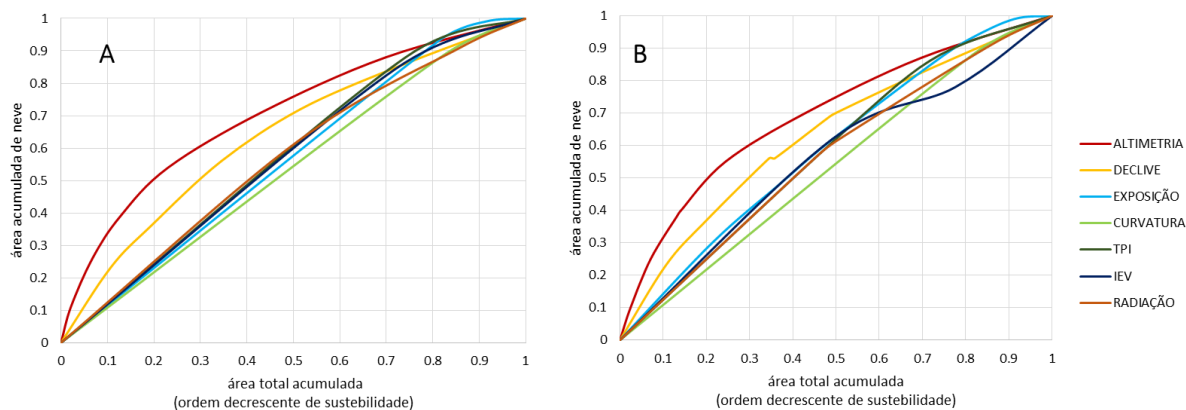


Figura 5.23 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve por fator condicionante: A – Regressão logística, B – Valor informativo (Ilha Deception)

No caso do método do VI (Figura 5.24-B) são também a altimetria (AUC=0,69) e o declive (AUC=0,63) que demonstram maior eficácia na explicação da presença de neve. Os fatores que menos influência exercem são o IEV (AUC=0,55) e curvatura da superfície (AUC=0,53).

B. Taxas de sucesso e predição

O método da regressão logística obteve uma taxa de sucesso de 0,77, enquanto o valor informativo obteve uma 0,74 (Figura 5.26) e a capacidade preditiva dos modelos foi de 0,58, para a regressão logística, e de 0,59 para o valor informativo (Quadro 5.29).

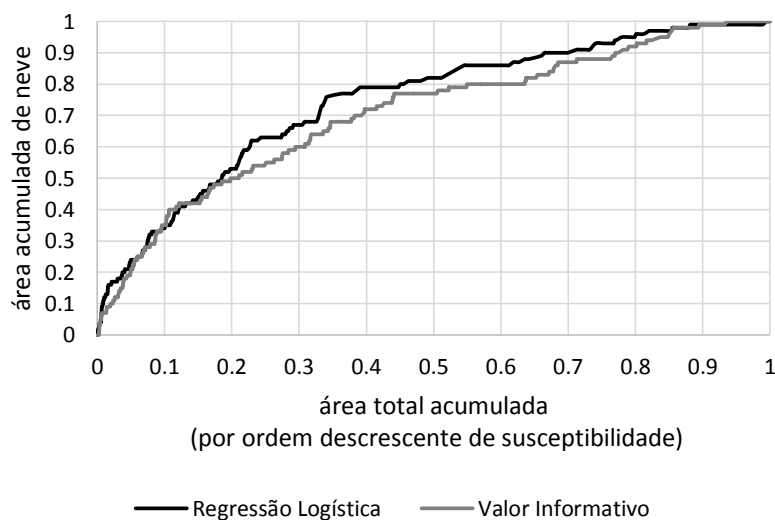


Figura 5.24 - Curvas de sucesso da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Ilha Deception, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo

Quadro 5.29 - Comparação entre métodos estatísticos na modelação de neveiros, para a Ilha Deception

	AUC da curva de sucesso	AUC da curva de predição
Regressão Logística	0,74	0,58
Valor Informativo	0,71	0,59

No modelo de suscetibilidade, com base na regressão logística, elaborado para a Ilha Deception (Figura 5.27) verifica-se que os 10% de área com valores mais elevados, integram apenas 16% da neve, passando a 26% quando considerados 20% com maior susceptibilidade. Em 50% da área de estudo com valores de suscetibilidade mais elevados verificou-se 57% da neve total. Com base no método do valor informativo constata-se que os 10% da área com maior suscetibilidade representam 21% da área de neve, enquanto que em 50% da área se observou um total de 60%.

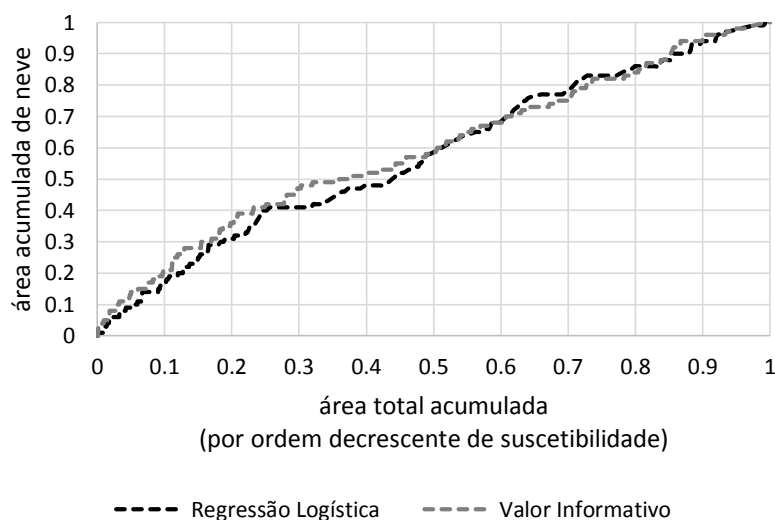


Figura 5.25 - Curvas de predição da suscetibilidade à ocorrência de neve, na Ilha Deception, elaboradas com base no método da regressão logística e do valor informativo

5.6.3 Conclusão

Na comparação entre as AUC das curvas de sucesso e de predição, para a Ilha Deception, verificou-se que os métodos possuem um desempenho e uma capacidade preditiva idênticas. Relativamente ao desempenho verifica-se uma diferença de 3% sendo que na capacidade preditiva verifica-se uma diferença de apenas 1% (Quadro 5.29).

Quando comparados os pesos das variáveis independentes mais relevantes na suscetibilidade à ocorrência de neveiros, constata-se uma semelhança entre modelos (Quadro 5.27 e 5.28), destacando-se: as classes altitudinais entre 200 e 280 m e os 320 e 360 m; declives

entre 25 e 40°; exposição a oeste e superfícies côncavas. O índice de exposição ao vento aparenta não contribuir de forma significativa em ambos modelos. Contudo, o valor informativo considera que as áreas onde o índice de exposição ao vento dominante é elevado (IEV=1,23 a 1,35) exercem algum peso. O método acrescenta ainda, os valores de radiação global anual baixos entre os 0,25 e 1,73 GJ/m² e a classe, equivalente à radiação anual mais elevada, entre os 2,02 e 2,37 GJ/m².

As classes de variáveis, transversais aos dois modelos, que maior contribuição evidenciam para a ausência de neve são as classes referentes a baixa altitude (<80 m), declives entre 5 e 10° e exposição das vertentes a sudeste.

Quando consideradas as AUC calculadas, constata-se que é a variável altimetria que, em ambos os modelos, demonstra uma melhor taxa de sucesso, bem como a variável declive. A terceira variável que obteve melhor taxa de sucesso difere entre modelos. Na regressão logística é a variável IPT que apresenta melhor resultado, sendo que, no método do valor informativo é a variável relativa à exposição das vertentes. A variável que em ambos os modelos apresenta uma mais baixa taxa de sucesso é a curvatura da superfície (Quadro 5.30).

Quadro 5.30 - AUC de cada variável, segundo a regressão logística e o valor informativo, para a Ilha Deception

Variável independente	AUC da curva de sucesso (RL)	Variável independente	AUC da curva de sucesso (VI)
Altimetria	0.698	Altimetria	0.690
Declive	0.636	Declive	0.631
IPT	0.569	Exposição das vertentes	0.593
IEV	0.562	IPT	0.579
Exposição das vertentes	0.561	Radiação global anual	0.563
Radiação global anual	0.561	IEV	0.551
Curvatura da superfície	0.532	Curvatura da superfície	0.532

Nos resultados observados para a Ilha Deception comprova-se a importância que a variável independente altimetria detém na presença de neveiros. A variável declive, em ambos os modelos, é considerada como a segunda variável de maior influência, sendo os declives moderados a acentuados que ganham maior relevância na presença de neve na Ilha. O valor de AUC obtido para a variável IPT, demonstram a influência, na presença de neve das vertentes e superfícies côncavas. A influência exercida pela radiação global é mais evidente no valor informativo, uma vez que na regressão logística os coeficientes atribuídos não se verificam significativos. Assim, as classes extremas da radiação (0,25 a 1,48 GJ/m² e 2,02 a 2,37 GJ/m²) são as que, segundo o método do VI, exercem maior influência na ocorrência de neveiros. O

peso atribuído à radiação global anual alta, vai de acordo com o peso atribuído à classe de índice de exposição ao vento elevado ($IEV > 1,23$), uma vez que as vertentes expostas ao vento dominante (quadrante norte) correspondem a classes de elevada radiação global anual. Desta forma, verifica-se na Ilha Deception um aumento da influência de vertentes a oeste e norte na presença de neve.

Apesar das conclusões retiradas os resultados para a Ilha Deception revelam-se pouco satisfatórios, uma vez que os fatores assinalados como condicionantes e os pesos atribuídos não coadunam, em alguns casos, com as características que promovem a presença de neve. Desta forma, seria uma mais valia para trabalhos posteriores a aplicação de forma diferente, da própria metodologia.

5.7 CONCLUSÕES

Atendendo à comparação entre os dois métodos conclui-se que os resultados revelam-se, de forma geral, para as penínsulas Fildes, Byers e Hurd satisfatórios e próximos. Contudo para os modelos para as penínsulas Barton, Weaver e a ilha Deception, apresentam resultados, apesar de próximos, com pior desempenho e, sobretudo, pior capacidade de predição.

A análise dos resultados forneceu indicações relevantes sobre as variáveis que influenciam a distribuição dos neveiros, apresentando-se uma síntese no Quadro 5.31 que discutimos de seguida.

Os neveiros encontram-se, de forma geral, associados a altitude elevada, uma vez que em todas as áreas pormenor e em ambos os modelos, se verifica a preponderância das classes de altitude, ainda que diferentes, sempre superiores a 60 metros. Os valores de AUC demonstram a elevada eficácia que, em comparação às restantes variáveis, a altimetria detém na classificação de neve. Relativamente ao declive constatou-se, na Península Fildes e Byers, uma maior influência dos declives baixos a moderados (entre 5° a 25°), contudo o valor informativo na Península Byers indica, também, que declives entre 30° a 35° exercem um peso significativo, indo de encontro à concentração de neve que se observa no setor Dospey Heights. As restantes áreas pormenor demonstram a preponderância de valores dos declives mais acentuados (30° a 40°), justificada pela influência que estes têm no efeito de sombra. No que diz respeito à exposição, as áreas mais favoráveis à ocorrência de neve correspondem às exposições sul e sudeste uma vez que se encontram relacionadas com a menor radiação solar

potencial incidente nestes locais. As classes de radiação global anual que maior peso exercem na presença de neve correspondem a valores de radiação baixos a intermédios, para a península Fildes e Hurd (1,46 a 1,85 GJ/m²). Na península Barton, Weaver e Byers a radiação global anual não exerce um peso significativo na ocorrência de neve, que se verifica através dos valores de AUC que são relativamente baixos. No que concerne as variáveis que traduzem as formas de relevo (curvatura da superfície e IPT) verifica-se que estas não exercem uma influência significativa nas áreas pormenor, à exceção de Deception, uma vez que não obtêm pesos nem valores de AUC elevados. Todavia, verifica-se a preponderância de vertentes e depressões (superfícies côncavas) na península Fildes, na Península Byers e na ilha Deception, sendo que em Hurd destacam-se as superfícies retilíneas. Por último, constata-se que o índice de exposição ao vento só se apresenta significativo para a distribuição da neve em algumas áreas pormenor como é caso a da península Barton, Weaver e Byers em que valores correspondentes a uma menor exposição (<1,00) e exposição moderada (0,89 a 1,23), respetivamente, exercem maior influência na presença de neve (Quadro 5.31).

Os resultados dos modelos permitiram, em alguns casos, aferir as classes que maior peso exercem na ausência de neve, pelos seus fortes valores negativos. Desta forma, destacam-se as classe de baixa altitude (<40 metros) e declives muito suaves e muito acentuados (<5° e >40°), em todas as áreas pormenor. As superfícies aplanadas exercem um efeito importante nas penínsulas Fildes, Hurd e Deception. A exposição a norte exerce, também, algum peso na ausência de neve em Fildes, sendo que em Byers é a exposições a este e a oeste. Relativamente à radiação global anual são os valores elevados (>1,73 GJ/m²) que exercem maior influência na ausência de neve, verificando-se a sua preponderância na península Fildes e na ilha Deception. No que concerne a exposição ao vento dominante contata-se que este não representa um peso significativo na ausência de neve, exceto na península Fildes. As restantes classes não exercem um peso significativo na distribuição da neve (Quadro 5.31).

Através da avaliação dos resultados constatou-se que a regressão logística obteve, consecutivamente, melhores resultados. Os valores de melhor desempenho e predição verificaram-se na península Fildes, em ambos os modelos. A seguir a Fildes, os valores obtidos, com base na regressão logística, para península Byers apontam para um melhor desempenho deste, sendo que de seguida é a península Hurd que apresenta resultados mais satisfatórios. No valor informativo verifica-se o inverso, sendo a península Hurd que demonstra melhores resultados, em relação a Byers. Os valores de desempenho e predição mais baixos em ambos

os modelos, correspondem a Barton, Weaver e Deception. Sendo que são as penínsulas Barton e Weaver que demonstram o pior desempenho e capacidade preditiva. No caso da Ilha Deception o número reduzido de amostras, numa área relativamente extensa, poderá ser a razão pela qual se verifica uma perda de consistência dos modelos preditivos (Meneses, 2011).

Quadro 5.31 - Síntese das características das áreas de pormenor e dos resultados da modelação espacial da neve.

	Características				Regressão Logística			Valor Informativo			
	Data	Meses antecedentes	% de neve	Relevo	Variáveis	Presença de neve	Ausência de neve	Valores de AUC	Presença de neve	Ausência de neve	Valores de AUC
Península Fildes	21/02/2006	Normal a extremamente quente	2	- Superfícies aplanadas em torno e entre duas elevadas plataformas vulcânicas; - Na meseta norte verifica-se uma ligeira depressão no seu centro sendo limitada por vertentes de declive acentuado; - A meseta sul é caracterizada por um relevo irregular.	Altimetria	> 60 m	<40 m	0.822	>60 m	<40 m	0.732
					Declive	5° a 25°	-	0.919	5° a 25°	>35°	0.701
					Exposição de Vertentes	Noroeste, Sul e Sudeste	Norte, Nordeste e Plana	0.700	Sul, Sudeste e Noroeste	Plana, Norte e Nordeste	0.699
					Curvatura da superfície	-	-	0.547	Côncava	Retilínea	0.547
					IPT	Depressões e Vertentes	-	0.689	Vertentes e Depressões	Superfícies aplanadas	0.689
					IEV	-	> 1,00	0.611	-	>1,00	0.617
					Radiação Global Anual	1,59 a 1,85 GJ/m ²	-	0.629	1,59 a 1,85 GJ/m ²	> 2,00 GJ/m ²	0.630
Penínsulas Barton e Weaver	26/01/2013	Extremamente frio a muito frio	58	- O noroeste da península Barton é caracterizados por uma altitude mais elevada e um relevo mais acidentado que culmina em Noel Hill aos 266 m;	Altimetria	>180 m	<20 m	0.622	>120 m	<20 m	0.623
					Declive	40° a 45°	-	0.538	35° a 40°	>40°	0.530
					Exposição de Vertentes	Este	-	0.601	Oeste	Este	0.603
					Curvatura da superfície	-	Retilínea	0.526	-	Retilínea	0.526
					IPT	-	-	0.529	-	-	0.529
					IEV	< 1,00	-	0.534	0,89 a 1,00	-	0.534
					Radiação Global Anual	-	-	0.500	-	-	0.489
Península Byers	02/02/2011	Muito Frio a extremamente quente	16	- Plataforma central com relevo suave e ondulado com rede hidrográfica complexa; - Periferia com série de patamares resultantes da erosão marinha seguidos de uma sequência de praias elevadas delimitadas por escarpas; - Setor noroeste (Dospay Heights) com maior altitude e declive culminando em Start Hill (265 m);	Altimetria	>100 m	-	0.738	>100 m	-	0.738
					Declive	5° a 10°	-	0.563	30° a 35° e 5° a 10°	>35°	0.584
					Exposição de Vertentes	Sudeste	Norte e Oeste	0.540	Sudeste e Este	Norte e Oeste	0.587
					Curvatura da superfície	Côncava	-	0.540	Côncava	-	0.540
					IPT	-	-	0.546	-	-	0.556
					IEV	0,89 a 1,23	-	0.570	0,89 a 1,23	-	0.588
					Radiação Global Anual	-	-	0.559	-	0,70 a 1,46 e 2,04 a 2,27 GJ/m ²	0.432
Península Hurd	03/02/2007	Moderadamente frio a extremamente quente	10	- Vertentes escarpadas interrompidas por conjuntos de praias elevadas e plataformas de erosão marinha; - Forte dissimetria entre o lado noroeste e sudeste; - No setor sul observa-se uma crista elevada e contínua que culmina em Binn Point (392m);	Altimetria	>160 m	>40 m	0.685	>200 m	>40 m	0.685
					Declive	-	>40°	0.569	35° a 40°	>40°	0.586
					Exposição de Vertentes	Sul	-	0.536	Sul	Plana	0.600
					Curvatura da superfície	Retilínea	-	0.528	Retilínea	-	0.528
					IPT	-	-	0.500	-	-	0.517
					IEV	-	-	0.500	-	-	0.530
					Radiação Global Anual	1,41 a 1,66 GJ/m ²	-	0.537	1,41 a 1,66 GJ/m ²	-	0.565
Ilha Deception	21/01/2003	Extremamente frio a normal	10	- A ilha é um estratovulcão com uma caldeira colapsada e submergida pelo mar; - Cerca de 57% de área total é ocupada por glaciares; - A altitude máxima verifica-se aos 539 m; - Na ilha predominam vertentes com exposição a noroeste;	Altimetria	200 a 360 m	<40 m	0.698	200 a 360 m	<40 e >360 m	0.690
					Declive	30° a 40°	-	0.636	30° a 35°	< 5° e >45°	0.631
					Exposição de Vertentes	-	Plana	0.561	-	Plana	0.593
					Curvatura da superfície	-	-	0.532	-	-	0.532
					IPT	-	Superfície aplanada	0.569	-	Superfície aplanada	0.579
					IEV	-	-	0.562	1,23 a 1,35	-	0.551
					Radiação Global Anual	-	1,73 a 1,90 GJ/m ²	0.561	-	1,73 a 1,90 GJ/m ²	0.563

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

A presente dissertação permitiu identificar e analisar os fatores condicionantes que explicam a distribuição da neve em diferentes áreas pormenor nas ilhas Shetlands do Sul: penínsulas Fildes, Barton e Weaver na ilha de King George, penínsulas Byers e Hurd na ilha Livingston, e na Ilha Deception. A utilização de imagens de satélite alta resolução de verão permitiu a cartografia detalhada da neve. Apesar de as imagens serem de datas diferentes, apresentando por isso uma cobertura nival diversa, elas puderam ser usadas para identificar e analisar os fatores que condicionam a presença de neve no verão. Naturalmente, a comparação direta entre as diversas áreas de pormenor encontra-se limitada pela falta de sincronismo nas imagens, mas as diferentes datas ilustram também diferentes momentos na estação de fusão, permitindo avaliar o modo como estes se vão traduzindo em diferentes pesos dos fatores condicionantes.

Para a identificação dos fatores condicionantes para a presença de neve, procedeu-se à análise estatística resultante do cruzamento da cobertura nival com variáveis independentes representativas de fatores condicionantes. As variáveis utilizadas foram as seguintes: altimetria, declive, exposição das vertentes, curvatura da superfície, IPT, IEV e a radiação global anual. Os resultados demonstraram que a presença de neve encontra-se relacionada, na maior parte dos casos, com locais a elevada altitude, vertentes expostas a quadrantes de sul, de fraco declive e exposição ao vento. Estes locais apresentam também uma baixa radiação potencial global anual. As concavidades das superfícies modeladas revelaram também importância na presença de neve.

O estudo das características e distribuição espacial de neve foi completado através da elaboração de modelos de suscetibilidade à sua ocorrência. A modelação realizou-se através da aplicação de dois métodos: a regressão logística (método multivariado) e o valor informativo (bivariado). A validação dos métodos através do cálculo das curvas de sucesso e respetiva área abaixo da curva, permitiu aferir a eficácia dos modelos.

O método da regressão logística evidenciou uma eficácia na ordem dos 89% para a Península Fildes, 68% para as Penínsulas Barton e Weaver, 77% para Península Byers, 75% para Península Hurd e 74% para a Ilha Deception. Relativamente à capacidade preditiva dos modelos, esta foi de 87%, 58%, 72%, 68% e 58%, respetivamente. Estes valores sugerem uma capacidade preditiva satisfatória, apesar de relativamente baixa para as Penínsulas Barton e Weaver e a Ilha Deception.

Em relação ao método do valor informativo, a performance dos modelos foi de 85% para a Península Fildes, 67% para as Penínsulas Barton e Weaver, 74% para a Península Byers, 75% para a Península Hurd e 71% para a Ilha Deception e a capacidade preditiva de 85%, 58%, 66%, 68% e 59%, respetivamente.

A aplicação destes modelos permitiu também a identificação das variáveis e as respetivas classes que condicionam a ocorrência de neve num local, salientando-se as seguintes conclusões:

- o efeito da altimetria na presença de neve é transversal a todas as áreas pormenor, sobretudo em áreas onde a altitude é elevada;
- relativamente aos declives, esta é a variável que surge, em grande parte das áreas pormenor, como sendo a que a seguir à altimetria detém maior influência na distribuição da neve;
- nas penínsulas Fildes e Byers destacam-se como condicionantes na presença de neve, as vertentes de declive suave a moderado, enquanto nas restantes áreas os valores apontam para uma maior influência dos declives moderados a acentuados, uma vez que é nestes que se verifica uma menor radiação potencial incidente, sobretudo em vertentes de exposição oposta ao sol;
- na exposição das vertentes verifica-se a preponderância de vertentes expostas a sul e sudeste, uma vez que estas representam por um lado, menor exposição à radiação solar incidente e por outro, áreas de menor exposição ao vento dominante;
- nas variáveis que traduzem as formas de relevo (curvatura da superfície e IPT) constata-se que os valores obtidos indicam uma maior influência de concavidades e vertentes;
- os valores obtidos relativamente ao índice de exposição ao vento dominante, sugerem a importância de áreas protegidas deste;
- na Ilha Deception verifica-se que as áreas que se encontram mais expostas ao vento apresentam mais neve, dado a influência dos sulcos na presença desta que se verificam, neste local, mais desenvolvidos em vertentes de exposição norte e noroeste;
- as classes representativas de baixa a moderada radiação global anual são as que, em ambos os métodos, se destacam como as que exercem maior influência na presença de neve.

Em suma, a análise dos dados estatísticos e dos resultados dos modelos de suscetibilidade destacaram a altimetria (altitude elevada) e os declives (moderados a

acentuados) como as variáveis que, independentemente da área pormenor e do método, demonstraram maior influência na manutenção da neve no solo. O peso das restantes varia consoante o método e as áreas pormenor. A exposição das vertentes, é apontada pelo método do valor informativo, a seguir à variável altimetria e declive, como sendo a que mais influencia a distribuição da neve em todas as áreas pormenor. Contudo, na regressão logística verifica-se uma diminuição da influência exercida por esta variável na Península Byers, Hurd e na Ilha Deception. As variáveis que apresentaram resultados menos significativos em ambos os métodos e áreas pormenor, foram: a curvatura da superfície, o IPT e a radiação global anual. O índice de exposição ao vento varia consoante a área pormenor, sendo que nas Penínsulas Barton, Weaver e Byers, esta variável exerce maior peso na distribuição espacial da neve.

Os resultados dos métodos estatísticos, obtidos no desempenho e capacidade preditiva, revelam-se próximos e bastante satisfatórios, á exceção das penínsulas Barton e Weaver e a Ilha Deception, permitindo concluir da fiabilidade da análise efetuada. Contudo, considerando as taxas de sucesso calculadas para cada fator condicionante constata-se uma variação, apesar de reduzida, dos valores obtidos em cada modelo. Depreende-se destes resultados, que os modelos diferem na forma como cada variável influencia a presença de neve sendo que, por vezes, consideram mesmo como mais relevantes variáveis diferentes. Os resultados menos satisfatórios revelam-se, principalmente, na capacidade preditiva dos modelos. Este facto pode estar associado à reduzida amostra de pontos representativos da presença de neve, demonstrando que a utilização da mesma metodologia, para diferentes áreas, pode revelar-se pouco adequada. Contudo, o objetivo do trabalho consistia na aplicação da mesma metodologia para ser possível a posterior comparação.

O trabalho realizado e o estudo detalhado das várias áreas de pormenor, com extração de novos ensinamentos e uma compreensão dos fatores condicionantes da neve estival, permite propor algumas abordagens para aprofundar o estudo do tema em trabalhos futuros.

O estudo mais aprofundado das relações existentes entre cada fator condicionante poderia resultar num melhor entendimento de como estes, em conjunto, influenciam a presença de neve em cada área pormenor. Através de uma estatística exploratória seria possível aferir a distribuição de fator condicionante por fator condicionante. A análise desta distribuição poderia ajudar na análise dos pesos observados nos modelos, dado a compreensão dos fatores de influência, nem sempre é imediata. Este facto pode ser resultado da influência de outras características do local em estudo.

O teste de inúmeras amostras aleatórias seria, também, uma abordagem que poderia resultar na seleção de pontos que melhor traduzissem os fatores de influência nos padrões de distribuição da neve. Esta seria uma forma de promover uma melhoria no desempenho e na capacidade preditiva dos modelos.

O cálculo da espessura da neve, através das imagens de satélites referentes ao período de acumulação, permitindo aferir as características dos locais onde esta é promovida. Assim, seria possível a análise entre os fatores de acumulação e os locais onde se observa neve estival, permitindo a validação mais exaustiva dos resultados obtidos.

A elaboração dos modelos de suscetibilidade classificados por classes de probabilidade à ocorrência de neve poderiam, também, ser um ponto de partida para estabelecer os padrões de fusão da neve, em cada área pormenor.

A presente dissertação é o primeiro trabalho realizado na região para o estudo da neve a uma escala de pormenor, e tendo apenas o âmbito de uma dissertação de mestrado, por motivos de tempo, não foi possível aprofundar mais algumas questões pertinentes.

BIBLIOGRAFIA

Ahmad A., Quegan, S. (2012) – Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences*, 6(129): pp.6425-6436

Alleotti, PP., Chowdhury, R. (1998) - Landslide hazard: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58: pp.21-44.

Anderegg, W., Prall, J., Harold, e Schneider, S. (2010) - Expert credibility in climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: pp.12107-12109.

Ballantyne, C.K., Harris, C. (1994) - The Periglaciation of Great Britain. Cambridge: University Press. 330pp.

Barry R., Chorley R. (1992) - *Atmosphere, weather and climate*. London, Routledge.

Benayas, J., Pertierra, L., Tejedó, PP., Lara, F., Bermúdez, O., Hughes, K., e Quesada, A. (2013) - A review of scientific research trends within ASPA No. 126 Byers Peninsula, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*, 25(126): pp. 128–145.

Bockheim, J, Vieira, G., Ramos, M., López-Martínez, J., Serrano, E., Guglielmin; M., Wilhelm, K., Nieuwendam, A. (2013) – Climate warming and permafrost dynamics in Antarctic Peninsula region. *Global and Planetary Change*, 100: pp.215-223.

Boehner, J., Antonic, O. (2009) - Land-surface parameters specific to topo-climatology. *In: Hengl, T., Reuter, H. (Eds.): Geomorphometry - Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, 33: pp.195-226, Elsevier.

Blöschl, G., Kirnbaur, R. (1992) – An analysis of snow cover patterns in a small alpine catchment. *Hydrological Process*, 6: p 99-109.

Chau, K.T., Chan, J.E. (2005) - Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island. *Landslide*, 2: pp. 280–290,

Chen, PP., Toutin, T., Zhang, Y. (2003) – Quickbird-Geometric correction, data fusion, and automatic DEM extraction. 3pp.

Christiansen, H. (1998) - Nivation forms and processes in unconsolidated sediments, NE Greenland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(8): pp. 751–760.

Curl, J.E. (1980) – A Glacial History of South Shetland Islands, Antarctica. Institute of Polar Studies and Department of Geology, Report No. 63. Ohio State University. pp. 147.

Dai, F. C., Lee, C. F. (2002) - Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42: pp.213-228.

Elder, K., Dozier, J., e Michaelsen, J. (1991) - Snow Accumulation and distribution in an Alpine Watershed. *Water Resources Research*, 27(7): pp. 1541–1552.

Filho, D., Rocha, E., Júnior, J., Paranhos, R., Neves, A., Silva, M. (2014) - Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson. *Leviathan*, 8,: pp.66–95.

French, H. M. (2007) - *The Periglacial Environment*. Chichester, Wiley.

FONSECA, A. M. (2004) - Exploração de Imagens de Satélites de Alta Resolução. Informação Técnica de Detecção Remota, 35pp.

Fu, PP., Rich, PP.M. (2002) - A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Agriculture and Forestry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37: pp.25–35.

Gallant, J.C., Wilson, J.PP. (2000) - Primary topographic attributes. In: Wilson, J. PP. Gallant, J. C. (eds.). *Terrain Analysis. Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons, pp.51-85

Garcia, R. A. C. (2002) – Avaliação do risco de movimentos de vertente na depressão da Abadia (Torres Vedras). Lisboa: Universidade de Lisboa. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente. 140 pp.

Goyanes, G. G. (2014) – *Control climático e interacciones permafrost-volcanismo, Isla Decepción, Antártida*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Dissertação de Doutorado em Ciências Geológicas.318 pp.

Goyanes, G., Vieira, G., Caselli, A., Cardoso, M., Marmy, A., Santos, F., Bernardo, I., Hauck, C. (2014) - Local influences of geothermal anomalies on permafrost distribution in an active volcanic island (Deception Island, Antarctica). *Geomorphology*, 225: p 57-68.

Gorsevski, PP.V., Gessler, PP.E., Foltz, R.B., Elliot, W.J. (2006) - Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Logistic Regression and ROC Analysis. *Transactions in GIS*, 10(3): pp.395-415.

Gray, D.M. (1978) - Snow Accumulation and Distribution. *Modeling Snow Cover Runoff*: pp. 26–29.

Groffman, P.P., Hardy, J.P., Driscoll, C.T., Fahey, T.J. (2006) – Snow depth, soil freezing, and fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide and methane in a northern hardwood forest. *Global Change Biology*, 12: pp. 1748-1760.

Guglielmin, M., & Vieira, G. (2014) - Permafrost and periglacial research in Antarctica: New results and perspectives. *Geomorphology*, 225: pp. 1-3.

Hamlet, A. F., Mote, P.P., Clark, M.P., Lettenmaier, D.P. (2005) – Effects of temperature and precipitation variability on snowpack trends in the Western United States. *Journal of Climate*, 8: pp. 4545-4561.

Haehnel, R.B., Wilkinson, J.H., Lever, J.H. (1993) – Snowdrift modelling in the CRREL wind tunnel. Ice Engineering Research Branch; pp. 139-147. Quebec.

Harris, C., Murton, J. B. (Eds.) (2005) – Cryospheric Systems: Glaciers and Permafrost. Geological Society. London, Special Publication.

Hiemstra, C.A., Liston, G.E., W.A. Reiners. (2002) - Snow redistribution by wind and interactions with vegetation at upper treeline in the Medicine Bow Mountains, Wyoming. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 34: pp. 262-273.

Hjort, J. (2006) - *Environmental factors affecting the occurrence of periglacial landforms in Finnish Lapland : a numerical approach*. Aachen: Shaker Verlag, 162pp.

IPCC (2007) - Climate Change 2007: The physical science basis. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 996 pp.

Jalkanen, A., Mattila, U. (2000) – Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data. *Forest Ecology and Management*, 135: pp. 315-330.

Jenness, J. (2006) – Topographic Position Index (IPT). *Jenness Enterprises*, 1.3a: 41 pp.

Katz, M.H. (1999) – Multivariable analysis. *A practical guide for clinicians*. Cambridge: University Press, 212 pp.

Keller, F., Kienast, F., & Beniston, M. (2000) - Evidence of response of vegetation to environmental change on high-elevation sites in the Swiss Alps. *Regional Environmental Change*, 1: pp. 70–77.

Konz, N., Baenninger, D., Konz, M., Nearing, M., Alewell, C. (2010) – Process identification of soil erosion in steep mountain regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: pp. 675-686.

Lee S., Sambath, T. (2006) - Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50: pp.847–855.

Litaor, M. I., Williams, M., Seastedt, T. R. (2008) - Topographic controls on snow distribution, soil moisture, and species diversity of herbaceous alpine Vegetation, Netwot Ridge, Colorado. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113: pp. 1–10.

López-Martínez, J., Serrano, E., Schmid, T., Mink, S., Linés, C. (2012) - Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). *Geomorphology*, 155-156: pp. 62–79.

Lousada, M. (2012) - *Análise Geométrica e Topológica de Redes Poligonais de Contração Térmica em Adventdalen, Svalbard, Noruega*. Lisboa: Universidade de Lisboa. Dissertação em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território. 126pp.

Martí, J., Geyer, A., Aguirre-Díaz, G. (2013) - Origin and evolution of the Deception Island caldera (South Shetland Islands, Antarctica). *Bull. Volcanol.*, 75(732): pp. 18.

Massom, R., Lubin, D. (2006) - *Polar Remote Sensing*. Chichester, Wiley.

Matos, J.L. (2001) – *Fundamentos de informação geográfica*. 2ªed. Lisboa: Lidel, 326pp.

Melo, R. A. de. (2009). Dinâmica geomorfológica actual na ilha deception (antártida marítima): Análise espacial do sector cerro caliente – crater lake. Lisboa: Universidade de Lisboa. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. 162 pp.

Meneses, B., Zêzere, J.L. (2011) – Modelação e validação da susceptibilidade a movimentos de vertente no município de Tarouca. VIII Congresso da Geografia Portuguesa, Repensar a Geografia para Novos Desafios, Comunicações, APG, Lisboa, 6 pp.

Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., López-Martínez, J., Simas, F. N. B., Haus, N. W., Serrano, E., Bockheim, J. G. (2014) - Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology*, 225: pp.76–86.

Whiteman, C.D. (2000) – *Mountain Meteorology* :Fundamentals and Applications. Oxford University Press.

Murtaza, K.O., Romshoo, S.A. (2014) - Determining the Suitability and Accuracy of Various Statistical Algorithms for Satellite Data Classification. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 4(4): pp. 585-599

National Research Council (2011) – Frontiers in understanding climate change and polar ecosystems. Earth and Life Studies. Washington, DC . 87 pp.

Nieuwendam, A. (2009) - *Aspectos Do Regime Térmico Do Solo Da Península De Hurd (Ilha Livingston , Antárctida*. Lisboa: Universidade de Lisboa. Dissertação de Mestrado Em Geografia Física. 155 pp.

Pereira, S. (2009) - *Perigosidade a movimentos de vertente na região norte de Portugal*. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. 354 pp.

Plattner, C., Braun, L. N., Brenning, A. (2004) - Spatial variability of snow accumulation on Vernagtferner, Austrian Alps, in winter 2003/2004. *Zeitschrift Für Gletscherkunde Und Glazialgeologie*, 39(1): pp. 43–57.

Pomeroy, J.W., Gray, D.M., Shook, K.R., Toth, B., Essery, R.L.H., Pietroniro, A., Hedstrom, N. (1998) – An evaluation of snow accumulation and ablation processes for land surface modelling. *Hydrological Processes*, 12: pp. 2339-2367.

Pomeroy, J.W., E. Brun (2001) - Physical properties of snow In (eds. H.G. Jones, J.W. Pomeroy, D.A. Walker and R.W. Hoham) *Snow Ecology: an Interdisciplinary Examination of Snow-covered Ecosystems* 45: pp. 118. Cambridge University Press, Cambridge, UK

Oke, T.R. (1996) – *Boundary layer climates*. 2ª ed. London: Routledge, 435pp.

Reis, E. (2006) - *As bacias hidrográficas das ribeiras da serra de Grândola: dinâmica hidrológica e factores condicionantes*. Lisboa: Universidade de Lisboa. Dissertação de Doutoramento em Geografia. 703pp.

Revuelto, J., López-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., Vicente-Serrano, S. M. (2014) - Topographic control of snowpack distribution in a small catchment in the central Spanish Pyrenees: intra- and inter-annual persistence. *The Cryosphere Discussions*, 8: pp. 1937–1972.

Rich, P.P.M., Dubayah, R., Hetrick, W.A., Saving, S.C. (1994) - Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers*: pp. 524–529.

Rocha, J. (2002) – Integração de dados estatísticos na classificação de imagens de satélite. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica. 194 pp.

Rocha, J., Morgado, P.P. (2007) - Integração de dados estatísticos na classificação de imagens de satélite: Estudos para o Planeamento Regional Urbano. 70. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos. 193 pp.

Sàbat, F., Serrat, D., Vilaplana, J.M. (1992) – Cenozoic tectonic evolution in Livingston island (south Shetland, antarctica): mesostructural and geomorphological approach. *Rev. Soc. Geol. España*, 5: pp.159-166.

Sëppala, M. (2004) – *Wind as a Geomorphic Agent in Cold Climates*. Cambridge.

Serrano, E., López-Martínez, J. (2000) - Rock glaciers in the South Shetland Islands, Western Antarctica. *Geomorphology*, 35(1-2): pp. 145–162.

Serrano, E., Giner, J., Gumiel, P.P., López-Moreno, J. (2004) - El glaciar rocoso de Hurd: estructura y dinámica actual (Isla Livingston, Islas Shetland del Sur, Antártida) *Revista C&G*, 18 (1-2): pp. 13-24.

Serrano, E. (2008) – Islas de Hielo: naturaleza, presencia humana y paisaje en las islas Shetland del Sur. Antártida. Valladolid: Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, 246pp.

A. K. Singh. (2011) – Snow In: Singh, A.P.P., Singh P, Haritashya, U.K (eds.) – *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. Springer, Netherlands. 1300pp.

Slaymaker, O., e Kelly, R. E. J. (2007) - *The Cryosphere and Global Environmental Change*. Blackwell Publishing, Victoria.

Shahabi, H., Saeed, K., Ahmad, B.B., Hashim M. (2012) – Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Cateana*, 115: pp.55-70.

Shin J., Kim, H., Kim, S., Hong, S. G. (2014) – Vegetation abundance on the Barton Peninsula, Antarctica: estimation from high-resolution satellite images. *Polar Biology*, 37: pp. 1579-1588.

Stieglitz, M., Déry, S. J., Romanovsky, V.E., Osterkamp, T.E. (2003) - The role of snow cover in the warming of arctic permafrost. *Geophysical Research Letters*, 30(13): pp. 4.

Sujatha, E.R., Rajamanickam, G.V., Kumaravel, PP. (2012) - Landslide susceptibility analysis using Probabilistic Certainty Factor Approach: A case study on Tevankarai stream watershed, India. *Journal of Earth System Science*, 121: pp. 1337–1350.

Süzen, M.L., Doyuran, V. (2004) – A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental Geology*, 45(5): pp.665-679.

Tao, C.V., Hu, Y., Jiang, W. (2004) - *Photogrammetric exploitation of IKONOS imagery for mapping applications. International Journal of Remote Sensing*, 25: pp.2833- 2853

Thordarson, S. (2002) – Wind flow studies for drifting snow on roads. Norwegian: Faculty of Engineering Science and Technology. Dissertação de Doutoramento em Engenharia. 192 pp.

Tong, J., Déry, S. J., e Jackson, PP. L. (2008) - Topographic control of snow distribution in an alpine watershed of western Canada inferred from spatially-filtered MODIS snow products. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 5: pp. 2347–2371.

Turner, J., Bindschadler, R., Convey, PP., Prisco, G. Di, Fahrbach, E., Gutt, J., Summerhayes, C. (2009) - *Antarctic Climate Change and the Environment*. Scott Polar Research Institute, Cambridge.

Vieira, G., Ramos, M. (2003) – Geographic factors and geocryological activity in Livingston Island, Antarctic. Preliminary results. In: Phillips, M., Springman, S. M., Arenson, L. U. (eds.) - Permafrost. Proceedings of the Eight International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland. Lisse: Swets & Zeitlinger, pp.1183-1188

Vieira, G., Mora, C., Pina, PP., e Schaefer, C. E. R. (2014) - A proxy for snow cover and winter ground surface cooling: Mapping *Usnea* spp. communities using high resolution remote sensing imagery (Maritime Antarctica). *Geomorphology*, 225: pp. 69–75.

Wang, L., Shi, Z. H., Wu, G. L., Fang, N. F. (2014) - Freeze/thaw and soil moisture effects on wind erosion. *Geomorphology*, 207: pp. 141–148.

Winstral, A., Elder, K., Davis, R. E. (2002) - Spatial Snow Modeling of Wind-Redistributed Snow Using Terrain-Based Parameters. *Journal of Hydrometeorology*, 3: pp. 524–538.

WOLF, PP.R. (2000) - *Elements of photogrammetry*. New York: MacGraw-Hill. 628pp.

Yin, K.L., Yan, T.Z. (1988) - Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. *In: C.Bonnard (ed.) Proc. Fifth International Symposium in Landslides, Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Holanda, 2: pp.1269-1272*

Zang, T. (2005) – Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: an overview. *Reviews of Geophysics, 43: p1-23.*

Zakšec, K., Podobnikar, T., Ostir, K. (2005) - Solar radiation modelling. *Computers & Geosciences, 31: pp. 233–240.*

Zêzere, J.L. (2002) - Landslide susceptibility assessment considering landslide typology, a case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences, 2: pp.73-82.*