

POSSÍVEIS IMPACTES DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NAS PASTAGENS DOS AÇORES



Rui B. Elías
Catarina D. Melo
Sophie Wallon
Cristiana S. A. M. Maduro Dias
Alfredo E. S. Borba
João Madruga
Paulo A. V. Borges
Maria T. Ferreira

ISBN 978-989-8870-49-0



9 789898 870490

POSSÍVEIS IMPACTES DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NAS PASTAGENS DOS AÇORES

Rui B. Elias, Catarina D. Melo, Sophie Wallon,
Cristiana S. A. M. Maduro Dias, Alfredo E. S. Borba, João
Madruga, Paulo A. V. Borges e Maria T. Ferreira

FICHA TÉCNICA

Título

Possíveis impactes das alterações climáticas
nas pastagens dos Açores

Autores

Rui B. Elias
Catarina D. Melo
Sophie Wallon
Cristiana S. A. M. Maduro Dias
Alfredo E. S. Borba
João Madruga
Paulo A. V. Borges
Maria T. Ferreira

Edição

Universidade dos Açores,
Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente (FCAA),
Angra do Heroísmo

Execução Gráfica: Nova Gráfica, Lda.

Depósito legal: 517365/23

ISBN: 978-989-8870-49-0

junho 2023

Rui B. Elias, Catarina D. Melo, Sophie Wallon e Paulo A. V. Borges

Grupo da Biodiversidade dos Açores & cE3c – Centro de Ecologia, Evolução e Alterações Ambientais & CHANGE – Instituto de Sustentabilidade e Mudanças Globais, Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente, 9700-042, Angra do Heroísmo, Açores, Portugal

Cristiana S. A. M. Maduro Dias, Alfredo E. S. Borba e João Madruga

Instituto de Investigação e Tecnologias Agrárias e do Ambiente, Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente, 9700-042, Angra do Heroísmo, Açores, Portugal

Maria T. Ferreira

Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas, Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas, Rua do Galo 118, 9700-091 Angra do Heroísmo Terceira

Como citar esta obra: Elias, R.B., Melo, C.D, Wallon, S., Maduro Dias, C.S.A.M., Borba, A.E.S., Madruga, J., Borges, P.A.V. & Ferreira, M.T. (2023) *Possíveis impactes das alterações climáticas nas pastagens dos Açores*. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo. 52 pp.

Este livro apresenta os resultados, e teve financiamento, do projeto *PASTURCLIM – Impacte das alterações climáticas na produtividade e composição nutricional das pastagens* (ACORES-01-0145-FEDER-000082), financiado pelo FEDER em 85% e pela Direção Regional da Ciência e Tecnologia, do Governo Regional dos Açores, através do Programa Operacional Açores 2020, em 15%.



GOVERNO
DOS AÇORES



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu de
Desenvolvimento Regional

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	7
METODOLOGIA	11
Áreas de estudo e procedimento experimental ..	11
Metodologia para a determinação da produtividade e qualidade das pastagens	14
Análises de solo	17
Amostragem da comunidade de artrópodes	17
PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS	19
QUALIDADE DA FORRAGEM	25
QUALIDADE DO SOLO	31
COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE ARTRÓPODES	33
CONCLUSÕES	45
RECOMENDAÇÕES	47
AGRADECIMENTOS	48
BIBLIOGRAFIA	49

INTRODUÇÃO

O efeito de estufa é um fenómeno natural que permite que o planeta Terra tenha uma temperatura média adequada à existência de vida. Este efeito é causado pela presença na atmosfera de gases com efeito de estufa (GEE) (vapor de água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e outros) que evitam que parte do calor emitido pela Terra seja perdido para o espaço (Kweku et al., 2017). No entanto, a emissão excessiva, com origem humana, de alguns destes gases, principalmente dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, aumentam o efeito de estufa, e causarão alterações na temperatura, precipitação e outros elementos climáticos nas próximas décadas ou séculos (Dumont et al., 2015).

No período 2011-2020, a temperatura global foi 1,1°C superior ao período de referência (1850-1900). Por outro lado, a tendência atual de emissão de gases torna muito provável que o aquecimento exceda 1,5°C este século e torna mais difícil limitar o aquecimento abaixo de 2°C. No pior dos cenários admite-se um aumento de temperatura média de 4,4°C no final do século. As alterações climáticas induzidas pelo homem estão igualmente a contribuir para o aumento da frequência e intensidade das ondas de calor, eventos de forte precipitação, períodos de seca e ciclones tropicais (IPCC, 2021). No caso dos Açores, temperaturas mais elevadas e alterações nos padrões de precipitação têm o potencial de alterar a dinâmica sazonal. De acordo com o Programa Regional para

as Alterações Climáticas (Cavalheiro, 2017), até o final do século, espera-se que a temperatura média anual, no arquipélago, suba de 1,5 °C a 2,8 °C (para o melhor e pior cenários, respetivamente).

No que respeita à precipitação, poderá ocorrer uma ligeira tendência de aumento no inverno, que poderá chegar aos 10 %, e uma diminuição no verão. A maior concentração de precipitação poderá aumentar a ocorrência de cheias, mas a esperada diminuição da precipitação no verão poderá originar períodos de seca, principalmente nas zonas de menor altitude, assim como uma menor retenção de água superficial e subterrânea, nas zonas de maior altitude (Santos et al., 2006; Cavalheiro, 2017).

A pecuária açoriana, em particular leiteira, teve uma grande expansão sobretudo na segunda metade do século XX, tornando-se a atividade económica dominante neste arquipélago, com cerca de 30% da produção de leite em Portugal (INE, 2015). Os impactos das mudanças climáticas na produção agrícola e pecuária são difíceis de estabelecer. No caso das pastagens, apesar da precipitação ser uma variável essencial para prever a produtividade anual, a temperatura durante a estação de crescimento é igualmente importante (Chaplin-Kramer e George, 2013; Dumont et al. 2015). As mudanças climáticas terão também um impacto potencial na fertilidade dos solos devido a alterações na matéria orgânica, disponibilidade de água e teor de nutrientes (Gelybó et al., 2018; Mondal, 2021).

Uma vez que, para além da produtividade, também a qualidade da pastagem varia no espaço e no tempo, devido à influência de vários fatores, incluindo as condições

climáticas (Lee et al., 2013; Melo et al., 2022) e disponibilidade de nutrientes do solo (Perotti et al., 2021; Melo et al., 2022), é de esperar que as alterações climáticas influenciem o conteúdo nutritivo da forragem.

Muita atenção deve ser dada também às comunidades de artrópodes presentes nas pastagens, pois estes fornecem importantes serviços ecossistémicos (Borges et al., 2021). Os artrópodes estão presentes em todos os tipos de habitat, respondem muito bem às modificações ambientais (muitas das suas funções biológicas, incluindo o crescimento, desenvolvimento, metabolismo e reprodução, dependem de fatores ambientais como a temperatura, a humidade e a disponibilidade de alimentos), têm um ciclo de vida curto (o que significa que respondem rapidamente às alterações ambientais) e são fáceis de amostrar. Por essas razões, os artrópodes são um excelente grupo indicador para estudar o impacto das mudanças climáticas (Johnson e Jones, 2016).

A adaptação, prevenção e mitigação dos efeitos das alterações climáticas implica também, para além de analisar as consequências para a pecuária, avaliar o papel que esta atividade tem no aquecimento do planeta, através da emissão de gases com efeito de estufa (GEE), principalmente o metano (CH_4), como resultado do processo digestivo dos ruminantes. De facto, os ruminantes da pecuária contribuem substancialmente para a emissão de GEE, sendo responsáveis por 14,5% do total de emissões de GEE induzidas pelo homem no mundo (Gerber et al., 2013). Simultaneamente, a mudança climática afetará os recursos alimentares e hídricos, bem como a saúde e a produção de

gado (Godde et al., 2021; Rojas-Downing et al., 2017). O desafio, então, é manter o equilíbrio entre produtividade, segurança alimentar e preservação ambiental (Fan et al., 2012).

Este livro apresenta os principais resultados do projeto PASTURCLIM, que decorreu em três pastagens da ilha Terceira. Recorrendo a câmaras de topo aberto (CTA), o objetivo foi simular o aumento da temperatura previsto durante este século, como resultado do aquecimento global, e avaliar os efeitos: (1) Na produtividade das pastagens, na qualidade da forragem e na disponibilidade de nutrientes do solo; (2) Na composição da comunidade de artrópodes, principalmente aracnídeos e insectos, associados às pastagens. Apesar de não estar nos objetivos iniciais do projeto, avaliámos ainda o efeito do aumento da temperatura na produção *in vitro* de metano.

METODOLOGIA

Áreas de estudo e procedimento experimental

Este trabalho decorreu entre 2020 e 2022, em três campos experimentais, instalados em pastagens com manejo intensivo, a três altitudes diferentes: na freguesia de Santa Bárbara, a 186 m e a 301 m de altitude; e na Granja Universitária da Achada, a 386 m de altitude (Figura 1 e Foto 1). Nos campos A e B as pastagens são dominadas por Azevém, *Lolium multiflorum* Lam. (Poaceae), e no campo C domina a Erva-branca, *Holcus lanatus* L. (Poaceae) (Fotos 2 e 3).

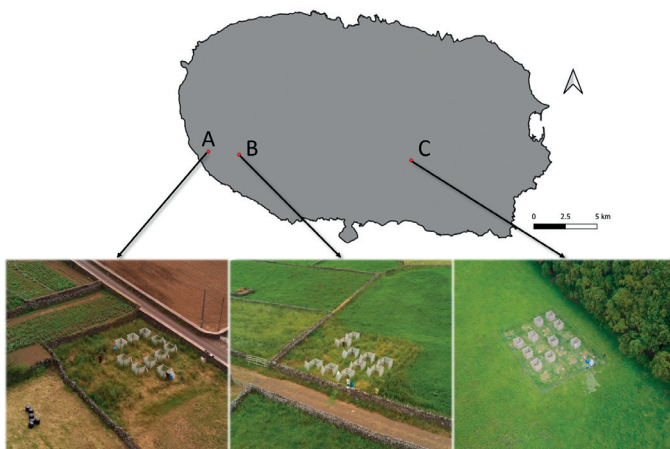


Figura 1. Foto e localização de cada campo experimental na ilha Terceira. Os campos A, B e C estão localizados, respetivamente, a 186, 301 e 386 m de altitude. Em cada campo experimental foram instaladas 10 parcelas de controlo e 10 parcelas cercadas por uma câmara de topo aberto (CTA). [Fotos: SebEyes Production; Adaptado de Wallon et al. 2023]

Em cada campo, vinte parcelas (1x1m) foram montadas num padrão do tipo grelha, com espaços de 1,5m entre cada parcela (Foto 1). Dessas vinte parcelas, dez foram escolhidas aleatoriamente como parcelas de controle e as outras dez foram cercadas por uma câmara de topo aberto (CTA). Três medidores de temperatura e humidade relativa (Easy Log: EL-161 USB-2) foram colocados dentro de CTA. Outros dois medidores foram colocados em parcelas de controlo. Estes medidores registaram a temperatura e humidade relativa de hora a hora, no campo A entre 1 de junho de 2020 e 19 de setembro de 2021 (altura em que este campo teve de ser desativado), no campo B entre 26 de junho de 2020 e 30 de setembro de 2022, e no campo C entre 1 de junho de 2020 e 27 de novembro de 2022 (Tabela 1).



Foto I. Foto aérea do campo experimental C (Pastagem C), instalado na Granja Universitária da Achada, Angra do Heroísmo (Foto: SebEyes Production)

Em todas as pastagens, a temperatura média foi mais elevada nas câmaras de topo aberto (CTA) do que nas parcelas de controlo. Tendo em conta os três campos, nos dois anos de amostragem, as temperaturas no interior das CTA foram 1 a 1,4 °C superiores às das parcelas de controlo. Pelo contrário, a humidade relativa média foi mais baixa nas CTA do que nas parcelas de controlo em todas as pastagens.



Foto 2. Azevém (*Lolium multiflorum*) (Foto: André Carapeto; Flora-on)

Tabela I. Temperatura média e humidade relativa média nas parcelas controlo e nas câmaras de topo aberto (CTA), nas pastagens A (186 m), B (301 m) e C (386 m).

	Pastagem A		Pastagem B		Pastagem C	
	CTA	Controlo	CTA	Controlo	CTA	Controlo
Temperatura (°C)	20.6	19.3	19.3	17.9	17.2	16.2
Humidade (%)	76.0	80.4	78.7	85.2	90.4	93.7

Metodologia para a determinação da produtividade e qualidade das pastagens

No primeiro ano deste estudo (2020), as amostras de plantas foram colhidas em cinco épocas de amostragem: inverno, início da primavera, final da primavera, verão e outono. No segundo ano (2021), as amostras de plantas foram colhidas em quatro épocas de amostragem: inverno, primavera, verão e outono. Em ambos os anos de estudo, não foi possível amostrar no verão e no outono no campo A, nem no outono no campo B, porque as gramíneas secaram nessas pastagens após a primavera e o verão, respetivamente, tendo sido semeadas novamente no outono.

As gramíneas de cada parcela (controlo e CTA) foram cortadas, com tesoura manual, cerca de 5 cm acima do nível do solo (total de 20 amostras em cada campo experimental). As amostras colhidas foram acondicionadas separadamente em sacos plásticos transparentes e levadas ao laboratório para pesagem em balança laboratorial. Para determinar a biomassa, as amostras foram então secas a 65 °C e pesadas novamente, todos os dias, até que o peso seco estivesse estável. Como o estudo foi focado nas espécies vegetais dominantes de cada pastagem (*Lolium multiflorum*,

nas pastagens A e B, e *Holcus lanatus*, no campo C), houve um cuidado especial para retirar quaisquer outras espécies presentes nas amostras antes da pesagem e secagem. A produtividade foi estimada dividindo-se a biomassa (peso seco) de cada parcela pelo número de dias de crescimento entre cada corte (produtividade primária líquida).

Para avaliar o efeito do aumento da temperatura no teor de clorofila, em cada data de amostragem, e em cada parcela, realizaram-se cinco medições aleatórias em folhas intactas e não molhadas das espécies dominantes (*Lolium multiflorum* e *Holcus lanatus*). As medições foram efetuadas com um medidor atLEAF CHL PLUS.

Neste trabalho analisámos igualmente o efeito do aumento da temperatura em vários parâmetros de aferição do valor nutritivo da forragem, nomeadamente: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (NDF), fibra em detergente ácido (ADF), lenhina em detergente ácido (ADL), extrato etéreo (EE) e cinza mineral (Cinza). MS refere-se à percentagem da planta que é aproveitada pelo animal, a PB refere-se à quantidade de proteína, EE e Cinza estão relacionados com gorduras e micronutrientes, respetivamente. O conteúdo em fibras, está refletido no NDF, por sua vez, fracionado em ADF e ADL. Quanto maior o conteúdo de MS, PB, EE e Cinza, e menor o conteúdo em fibras (NDF, ADF e ADL), melhor será a qualidade da forragem.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal, da Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente, da Universidade dos Açores, em Angra do Heroísmo, tendo a MS, PB, EE e Cinza sido determinadas

de acordo com o esquema de Weende. O NDF, ADF, e ADL foram aferidos pelos métodos propostos por Goering e Van Soest, sendo o NDF e ADF expressos sem cinzas residuais.



Foto 3. Erva-branca (*Holcus lanatus*) (Foto: Rui Elias)

Adicionalmente, em 2020 avaliámos a produção *in vitro* de metano, simulando o processo digestivo dos ruminantes, com amostras de forragem das três pastagens. Comparámos a produção de metano a partir de amostras de forragem retiradas das CTA e dos quadrados controlo, de forma a avaliar o efeito do aumento da temperatura. As análises foram também realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente, da Universidade dos Açores, em Angra do Heroísmo.

Análises de solo

Em cada parcela (controlo e CTA) de cada campo experimental foram colhidas amostras de solo para análise (total de 20 amostras em cada campo experimental). A amostragem ocorreu no inverno e verão de cada ano (2020 e 2021). Para avaliar o efeito do aumento da temperatura na qualidade do solo analisámos os seguintes parâmetros: concentração de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), pH e percentagem de matéria orgânica (MO). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente da Universidade dos Açores, em Angra do Heroísmo.

Amostragem da comunidade de artrópodes

Como as CTA representam uma barreira física para insectos voadores, este estudo concentrou-se nos artrópodes rastejantes. Estes incluem aracnídeos, insectos, centopeias e

milípedes. Para a amostragem foram utilizadas armadilhas de queda (*pitfall*) que são particularmente úteis para capturar este tipo de artrópodes.

Nos cantos de cada uma das 20 parcelas (10 controlo e 10 com CTA), de cada campo experimental, foram colocadas 4 armadilhas *pitfall* (Foto 4). Em cada época de amostragem, as armadilhas permaneceram no terreno durante 14 dias. As amostras recolhidas foram colocadas em álcool etílico (96%) para posterior triagem em laboratório, com vista à identificação das espécies presentes.

Em 2020, as amostragens foram realizadas no inverno, primavera e verão, nos campos A e B, e no inverno, primavera, verão e outono no campo C. Em 2021, as amostragens foram realizadas no inverno, primavera e verão nos três campos. Em 2022, realizou-se ainda uma amostragem na primavera, nos campos B e C.

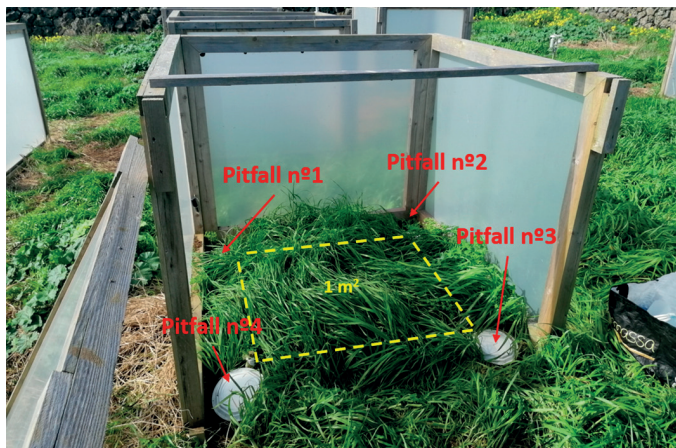


Foto 4. Câmara de topo aberto (CTA) com indicação da disposição das armadilhas *pitfall* (Foto: Sophie Wallon).

PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS

A produtividade fornece uma medida da capacidade de crescimento das plantas forrageiras da pastagem. Em ambos os anos a produtividade média das pastagens diminuiu com o aumento da altitude. No que se refere à produtividade total anual, ela foi maior em 2021 do que em 2020 (Figura 2).

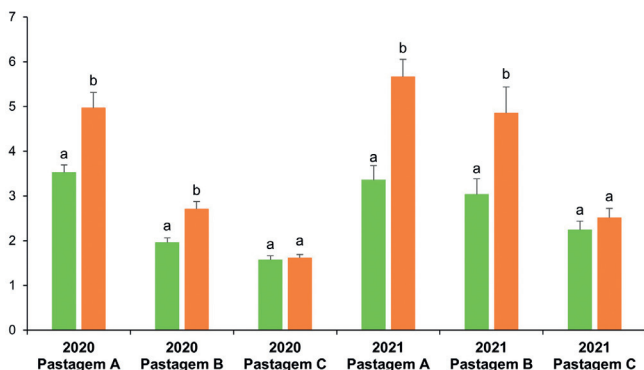


Figura 2. Produtividade (g/m²/dia) das pastagens A, B e C, nas parcelas controle (colunas verdes) e nas câmaras de topo aberto (CTA) (colunas laranjas) nos anos de 2020 e 2021. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas entre controles e CTA.

Nas pastagens A e B, a maior temperatura nas CTA teve uma clara influência na produtividade, que foi cerca de 30-40% maior do que nas parcelas controle. Na pastagem de maior altitude (C) a maior temperatura das CTA não produziu diferenças significativas na produtividade.

O aumento da temperatura teve um efeito no conteúdo de clorofila, que foi consistentemente maior nas CTA, nas pastagens A e B, nos dois anos de estudo (Figura 3). O maior conteúdo de clorofila reflete um bom estado das plantas, maior capacidade de crescimento e produção de biomassa e está em concordância com as diferenças de produtividade observadas entre as parcelas controlo e as CTA.

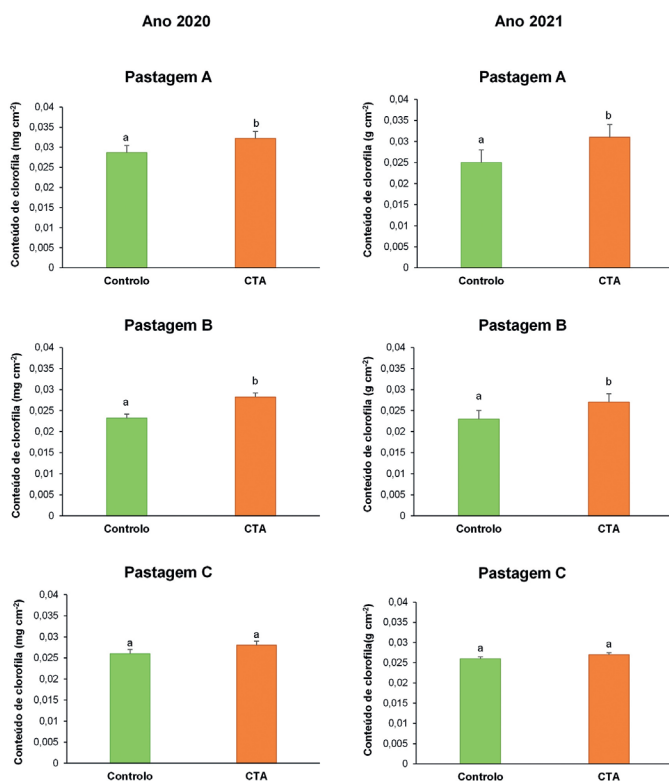


Figura 3. Conteúdo de clorofila das plantas forrageiras nas pastagens A, B e C. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas entre controlos e câmaras de topo aberto (CTA).

PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS

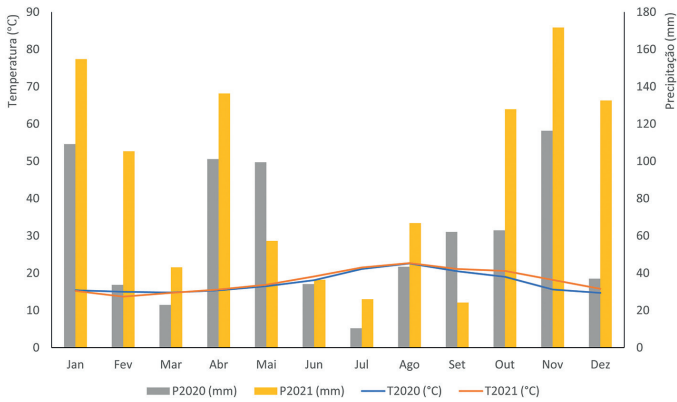


Figura 4. Gráfico termopluviométrico, com indicação dos valores da precipitação total mensal em 2020 (P2020) e 2021 (P2021) e da temperatura média mensal em 2020 (T2020) e 2021 (T2021) (valores registados em Angra do Heroísmo, a 74 m de altitude) [Fonte: IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera].

Entre os dois anos em que decorreu este estudo, registaram-se diferenças quer na temperatura quer na precipitação. De facto, em 2020 a temperatura média anual foi mais baixa e a precipitação total anual foi claramente inferior a 2021 (Figura 4). Quando comparamos os valores com as normais climatológicas para o período 1981-2010, verificamos que 2020 foi um ano excecionalmente seco, principalmente no inverno e no outono, e mais frio (Tabela 2 e Figura 4). Os valores registados em 2021 são muito próximos dos valores de referência. As diferenças observadas entre os dois anos de estudo parecem ser a causa mais provável para a menor produtividade anual registada em 2020.

Tabela 2. Temperatura média anual e precipitação total anual nos anos de 2020 e 2021 (valores registados em Angra do Heroísmo, a 74 m de altitude), e valores médios, referentes ao período 1981-2010 (normais climatológicas) (valores registados em Ponta Delgada, a 35 m de altitude) (Fonte: IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera).

	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Ano de 2020	17,4	732,8
Ano de 2021	17,9	1082,7
Normais (1981-2010)	17.8	1052,5

Nas pastagens de menor altitude (A e B) a produtividade foi mais elevada no inverno e primavera (Figura 5). Nestas pastagens a ervas secaram no início do verão (pastagem A) ou no final do verão (pastagem B), tendo sido semeadas novamente no outono. Na pastagem de maior altitude (C), a maior produtividade foi registada na primavera e verão. Nesta pastagem o outono e inverno são épocas com temperaturas baixas e elevada precipitação, que limitam o crescimento das plantas. Pelo contrário, nas pastagens de baixa altitude as maiores limitações estão relacionadas com as elevadas temperaturas e baixa precipitação durante o verão. Nestas pastagens, o stress hídrico do verão pode ser potenciado se a primavera ou o inverno (como aconteceu em 2020) tiverem níveis de precipitação inferiores ao normal.

PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS

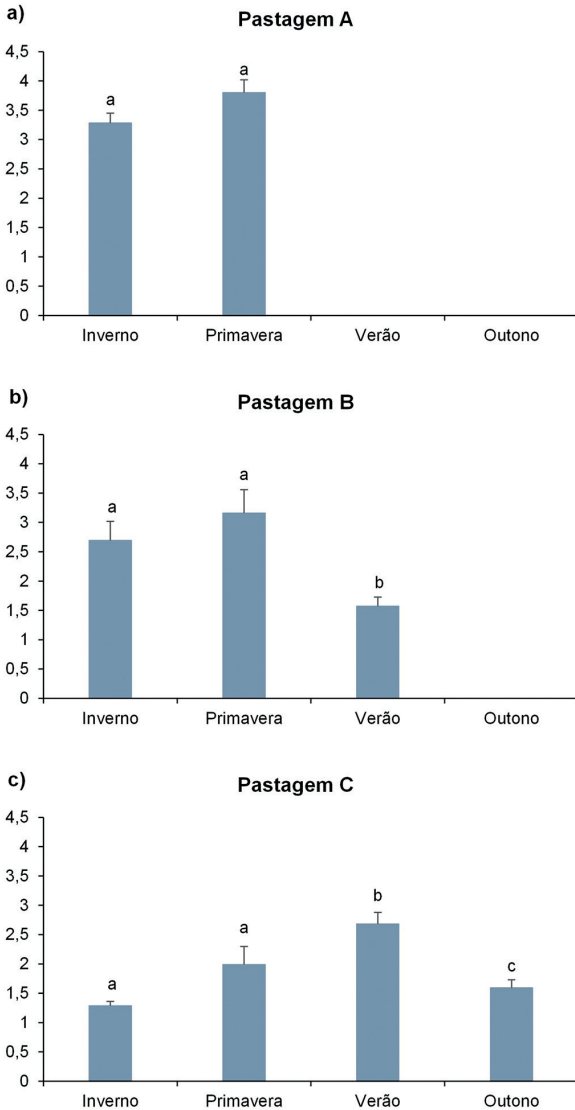


Figura 5. Produtividade média (g/m²/dia) (2020 e 2021) nas várias estações do ano, nos quadrados controle. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas.

QUALIDADE DA FORRAGEM

A qualidade da forragem é determinante para o uso eficiente do pasto e afeta o rendimento e o crescimento do gado. No entanto a qualidade da forragem varia muito, principalmente em função da precipitação e da temperatura, podendo por isso ser diferente no tempo e no espaço. De facto, os nossos resultados demonstraram que o aumento da temperatura nas CTA afetou os parâmetros nutritivos, mas de uma forma variável, dependendo da pastagem, do ano e da estação do ano.

Na pastagem A registámos mais diferenças entre CTA e controlos na primavera, em ambos os anos (ver exemplo de 2021: Figura 6). A pastagem B foi a que registou mais diferenças significativas, em mais parâmetros nos dois anos de estudo, principalmente no inverno e na primavera. Nesta pastagem, no inverno de 2021, por exemplo, observaram-se diferenças significativas entre CTA e controlos em quase todos os parâmetros (Figura 7). Na pastagem C, em 2021, o inverno foi também a estação que registou mais diferenças (Figura 8).

A tendência geral foi de alguma diminuição do teor de proteína (PB), extrato etéreo (EE) e cinzas do Inverno para o Verão. Pelo contrário, o teor de fibras (NDF, ADF e ADL) aumentou continuamente com o decorrer da estação de crescimento, afetando negativamente a digestibilidade da forragem. Este efeito acontece porque o crescimento das pastagens é tendencialmente mais rápido no Verão, o que leva a um consumo superior de energia e, conseqüentemente, à existência de uma quantidade superior de fibra em relação ao conteúdo celular.

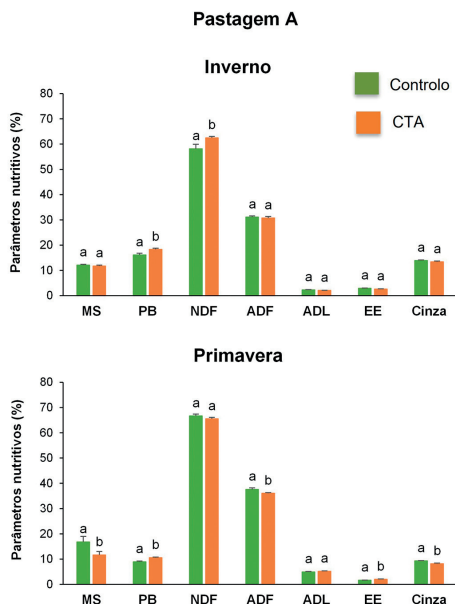


Figura 6. Variação dos parâmetros nutritivos das plantas forrageiras na pastagem A no ano de 2021. Legenda: MS – matéria seca, PB – proteína bruta, NDF – fibra em detergente neutro, ADF – fibra em detergente ácido, ADL – lenhina em detergente ácido, EE – extrato etéreo e Cinza – cinza mineral. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas entre controlos e câmaras de topo aberto (CTA).

A matéria seca (MS), a fibra em detergente ácido (ADF) e lenhina em detergente ácido (ADL) foram os parâmetros que responderam mais consistentemente ao aumento da temperatura. Quando existiram diferenças significativas, a ADF (com exceção de um caso) e a ADL foram sempre superiores nas CTA. Pelo contrário, a percentagem de MS foi quase sempre superior nos quadrados de controlo. Nas CTA a temperatura era mais elevada e a humidade relativa mais baixa (Tabela 1). Até ao fim deste século prevêem-se,

como já vimos, temperaturas mais elevadas e precipitação menos distribuída ao longo do ano, com a ocorrência de alguns períodos de seca.

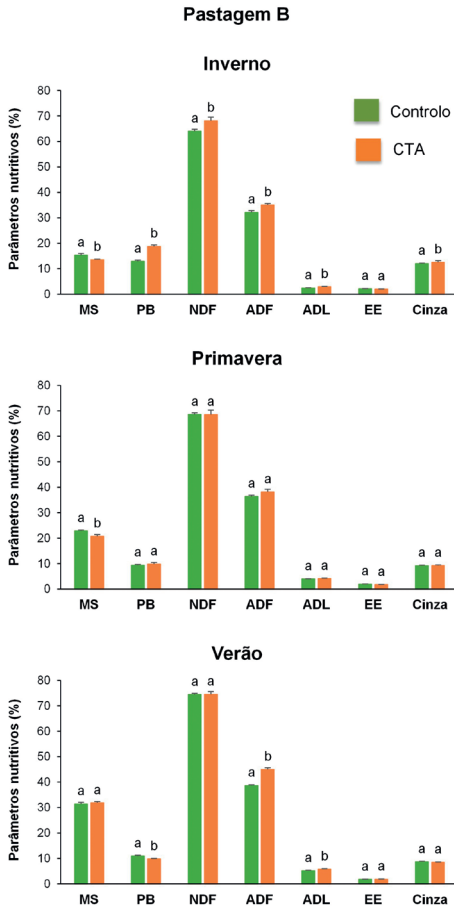


Figura 7. Variação dos parâmetros nutritivos das plantas forrageiras na pastagem B no ano de 2021. Legenda: MS – matéria seca, PB – proteína bruta, NDF – fibra em detergente neutro, ADF – fibra em detergente ácido, ADL – lenhina em detergente ácido, EE – extrato etéreo e Cinza – cinza mineral. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas entre controlos e câmaras de topo aberto [CTA].

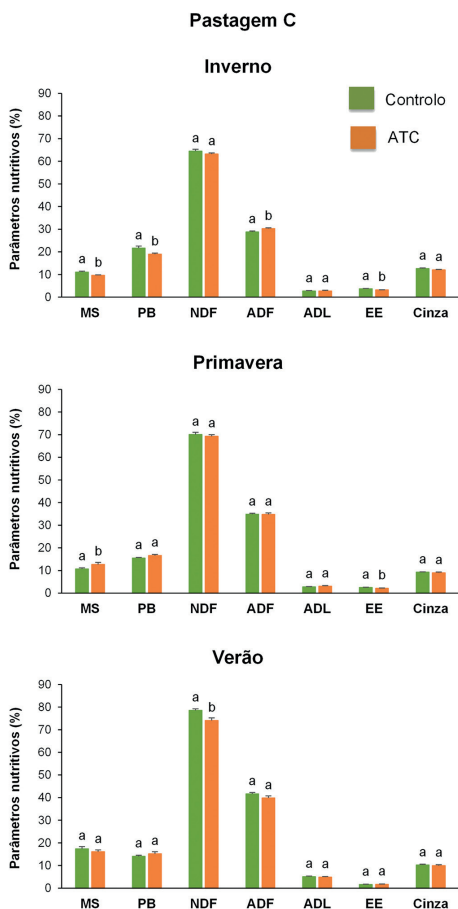


Figura 8. Variação dos parâmetros nutritivos das plantas forrageiras na pastagem C no ano de 2021. Legenda: MS – matéria seca, PB – proteína bruta, NDF – fibra em detergente neutro, ADF – fibra em detergente ácido, ADL – lenhina em detergente ácido, EE – extrato etéreo e Cinza – cinza mineral. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas entre controlos e câmaras de topo aberto (CTA).

Os nossos resultados indicam assim a possibilidade de as alterações climáticas resultarem em alguma diminuição da qualidade da forragem devido à diminuição da MS e aumento do teor de fibras (ADF e ADL). No entanto, existe igualmente a possibilidade de se registarem em alguns casos aumentos da proteína bruta (PB). De facto, nos nossos resultados, em sete dos 10 casos em que existiram diferenças significativas, a PB foi mais elevada nas CTA.

A produção de metano diminuiu com o aumento da altitude e atingiu os valores mais elevados nas estações mais quentes, nas três pastagens. No entanto, não se verificaram diferenças significativas entre as CTA e os quadrados controlo. Os nossos resultados indicam que a produção de metano está positivamente correlacionada com o teor de fibras, o que quer dizer que quanto maior o teor de fibras da forragem, maior é a produção deste gás potenciador do efeito de estufa.

QUALIDADE DO SOLO

Em 2020, as diferenças nos parâmetros do solo entre os quadrados controle e as CTA foram observadas apenas na pastagem B, no que respeita à concentração de potássio (K) e ao teor de matéria orgânica (MO) (Tabela 3). Durante 2021, o teor de MO variou significativamente nas pastagens A e B. Nestas pastagens também foram encontradas diferenças significativas em relação ao cálcio (Ca), com maior concentração deste elemento nas CTA. Na pastagem B a concentração de magnésio (Mg) também foi maior nas CTA.

Com o aumento da altitude o solo torna-se mais ácido e mais pobre em nutrientes, sendo isto particularmente evidente na pastagem C. No segundo ano de estudo verificaram-se mais diferenças significativas, o que parece indicar que para compreender completamente o efeito do aumento da temperatura no solo são precisos estudos com maior duração. No entanto, o aumento da temperatura poderá favorecer o aumento da concentração de alguns nutrientes, provavelmente (pelo menos em parte) por aumento da atividade dos organismos decompositores.

Tabela 3. Parâmetros do solo nos quadrados controlo e nas câmaras de topo aberto (CTA) nas pastagens A (186 m), B (301 m) e C (386 m), em 2020 e 2021. Legenda: P – Fósforo; K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; MO – Matéria orgânica. Os valores escritos em negrito correspondem às diferenças significativas.

Parâmetros	Pastagem A		Pastagem B		Pastagem C	
	Controlo	CTAs	Controlo	CTAs	Controlo	CTAs
Ano 2020						
pH	6.8	6.7	6.3	6.3	5.6	5.5
P (mg/kg)	96.6	105.4	81.1	74.7	25.7	30.3
K (mg/kg)	377.8	459.9	162.8	128.8	98.1	96.9
Ca (mg/kg)	1693.4	1735.7	1290.1	1256.5	433.3	469.1
Mg (mg/kg)	336.7	345.0	131.5	148.7	153.2	149.6
MO (%)	6.6	7.1	8.2	9.1	11.2	11.4
Ano 2021						
pH	6.7	6.7	6.3	6.2	5.7	5.6
P (mg/kg)	85.4	94.1	69.9	68.6	27.6	31.6
K (mg/kg)	333.2	407.1	158.5	128.2	52.5	47.5
Ca (mg/kg)	1629.2	1833.7	1134.7	1281.1	268.2	242.2
Mg (mg/kg)	311.9	349.2	125.0	158.9	87.5	77.9
MO (%)	7.3	7.9	8.5	9.5	9.9	10.0

COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE ARTRÓPODES

Relativamente aos artrópodes, neste livro são apenas apresentados dados recolhidos no inverno e verão de 2020. Foram capturados 41 355 indivíduos, de 171 morfoespécies (137 das quais identificadas ao nível da espécie ou subespécie), pertencentes a 60 famílias e 15 ordens. A maioria (71%) destas morfoespécies são exóticas (não nativas dos Açores). Aracnídeos e coleópteros foram os grupos mais abundantes (Figura 9).

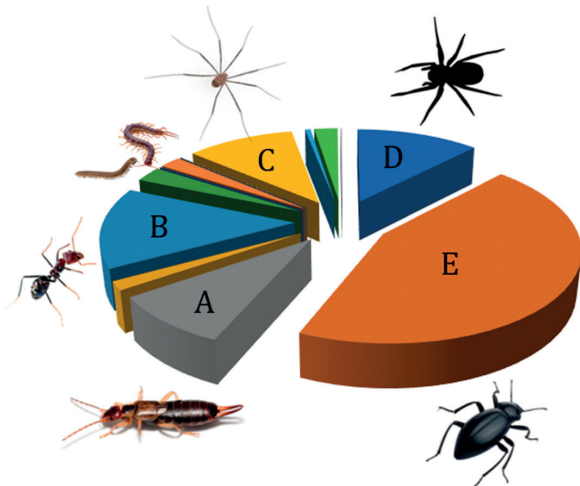


Figura 9. Abundância relativa dos principais grupos de artrópodes capturados. Legenda: A - Insecta, Dermaptera; B - Insecta Hymenoptera; C - Arachnida, Opiliones; D - Arachnida, Araneae; E - Insecta, Coleoptera.

Considerando a totalidade das espécies de artrópodes, as CTA tiveram um impacto negativo quer na abundância, quer na diversidade, o que sugere que ambientes com temperaturas mais elevadas são menos favoráveis à maior parte das espécies destas pastagens (Figura 10).



Figura 10. Tendo em conta a totalidade das espécies de artrópodes, a abundância e diversidade foram mais elevadas nos quadrados de controlo do que nas câmaras de topo aberto (CTA).

No entanto, o efeito das CTA, e o consequente aumento de temperatura, não foi uniforme entre os artrópodes, com aracnídeos e coleópteros a demonstrarem tendências diferentes. A diversidade e abundância de coleópteros (principalmente carabídeos e estafilínídeos) foi significativamente mais baixa nas CTA (Figura 11). Isto quer dizer que o aquecimento global poderá ter um impacto negativo neste grupo de artrópodes.

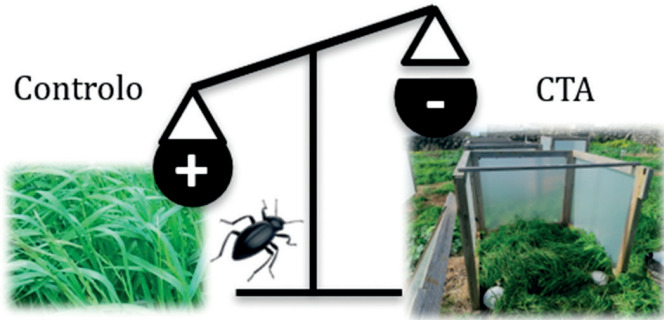


Figura II. A abundância e a diversidade de coleópteros foram mais baixas nas câmaras de topo aberto (CTA) do que nos quadrados de controlo.

No caso dos aracnídeos, apesar da abundância ter sido também maior nos quadrados controlo, a diversidade, ao contrário dos coleópteros, foi significativamente mais elevada nas CTA (Figura 12). De facto, as CTA tiveram um impacto positivo na equitabilidade das espécies de aracnídeos, promovendo a coexistência de um maior número de espécies em vez da existência de apenas algumas espécies dominantes. Para além do efeito direto do aumento da temperatura, a maior diversidade de aracnídeos pode dever-se também à maior biomassa de plantas dentro das CTA. A maior biomassa de plantas pode favorecer os aracnídeos devido ao aumento da complexidade estrutural da vegetação e/ou aumento da disponibilidade de presas.

De facto, num estudo anterior, Borges e Brown (2001) demonstraram que as aranhas respondem positivamente à complexidade arquitetural da vegetação em pastagens das ilhas Terceira, Pico e Santa Maria. Estes autores demonstraram que:

- i) A complexidade da vegetação nas pastagens está diretamente relacionada com a diversidade e abundância de insetos fitófagos e aranhas que constroem teias. Pastagens com vegetação mais complexa apresentaram maior diversidade e abundância de espécies.
- ii) A relação entre a complexidade da vegetação e a diversidade e abundância de insetos fitófagos e aranhas que constroem teias foi mais forte no verão, quando as temperaturas são mais elevadas e a vegetação está mais densa.
- iii) Os resultados sugerem que a complexidade da vegetação em pastagens pode desempenhar um papel importante na manutenção da diversidade e abundância de insetos fitófagos e aranhas que constroem teias, e que a gestão da vegetação em pastagens pode ser importante para conservar a biodiversidade destas comunidades de artrópodes.

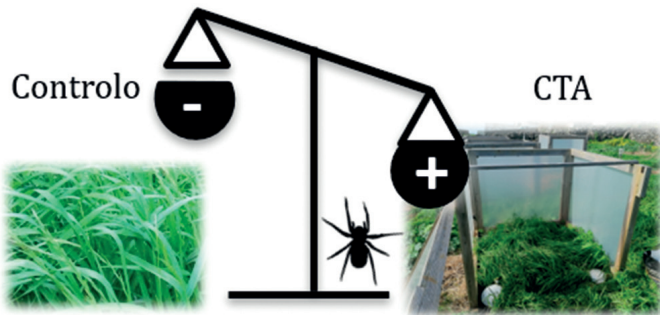


Figura 12. A diversidade de aracnídeos foi mais elevada nas câmaras de topo aberto (CTA) do que nos quadrados controlo.

O nosso estudo indicou também que, para além das diferenças entre os principais grupos de artrópodes (aracnídeos e coleópteros), a resposta ao aumento da temperatura também não foi uniforme entre as espécies. De facto, algumas espécies comuns de agroecossistemas, como *Homalenotus coriaceus* (Foto 5), *Paranchus albipes* (Foto 6), *Cordalia obscura* (Foto 7), *Amischa analis* (Foto 8), *Rugilus orbiculatus* (Foto 9) e *Anotylus nitidifrons* (Foto 10), contribuíram desproporcionalmente mais para as diferenças observadas do que outras espécies.

Consequentemente, algumas espécies podem ser mais vulneráveis ao aquecimento global do que outras, o que, por sua vez, pode influenciar o seu papel no ecossistema, por exemplo nos serviços ecossistémicos que prestam. O facto de todas estas espécies serem predadoras é ainda mais significativo uma vez que as alterações da abundância e diversidade dos predadores têm geralmente um efeito descendente ao longo da cadeia trófica (efeito de cascata), acabando por afetar (direta e indiretamente) também outras espécies de artrópodes e até as próprias plantas forrageiras.

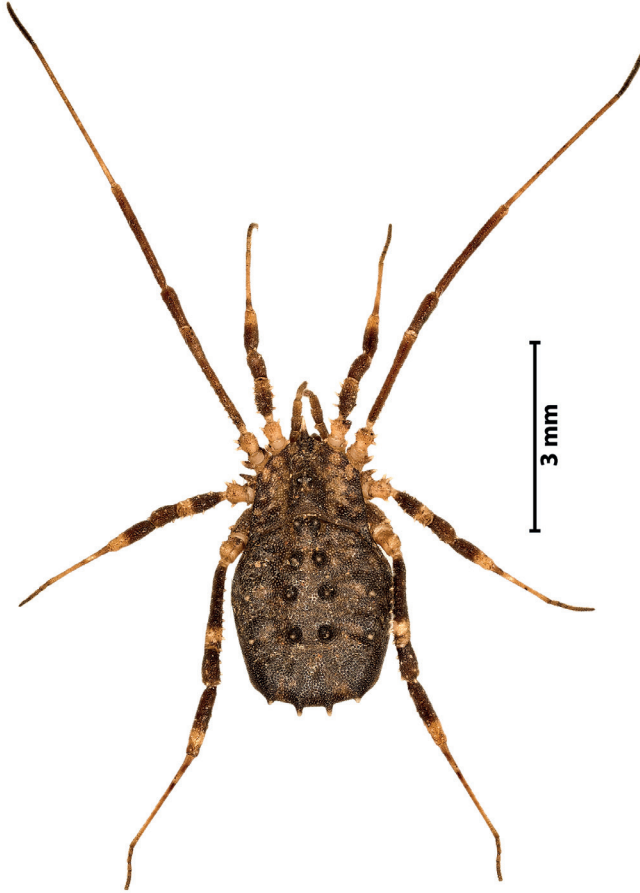


Foto 5. O aracnídeo (Arthropoda, Arachnida, Opiliones) *Homalenotus coriaceus* (Simon, 1879) (Foto: Javier Torrent, Grupo da Biodiversidade dos Açores/cE3c)



Foto 6. O carábídeo (Arthropoda, Insecta, Coleoptera) *Paranchus albipes* (Fabricius, 1796) (Foto: Javier Torrent, Grupo da Biodiversidade dos Açores/cE3c)



Foto 7. O estafilínídeo (Arthropoda, Insecta, Coleoptera) *Cordalia obscura* (Gravenhorst, 1802) (Foto: Enésima Mendonça, Grupo da Biodiversidade dos Açores/cE3c)



Foto 8. O estafilínídeo (Arthropoda, Insecta, Coleoptera) *Amischa analis* (Gravenhorst, 1802) [Foto: Enésima Mendonça, Grupo da Biodiversidade dos Açores/cE3c]



Foto 9. O estafilínídeo (Arthropoda, Insecta, Coleoptera) *Rugilus orbiculatus* (Paykull, 1789) (Foto: Enésima Mendonça, Grupo da Biodiversidade dos Açores/cE3c)



Foto 10. O estafilínídeo [Arthropoda, Insecta, Coleoptera] *Anotylus nitidifrons* (Wollaston, 1871) (Foto: Enésima Mendonça, Grupo da Biodiversidade dos Açores/ cE3c)

CONCLUSÕES

- O aquecimento global terá efeito na produtividade das pastagens, na qualidade da forragem e na disponibilidade de nutrientes do solo, assim como na composição das comunidades de artrópodes das pastagens.
- O aumento da temperatura pode aumentar a produtividade das pastagens, mas esse aumento pode ser anulado ou revertido se a quantidade ou sazonalidade da precipitação se alterar, com o aumento da ocorrência de períodos mais secos.
- O aumento da temperatura afeta a qualidade da forragem de uma forma variável, mas os nossos resultados indicam a possibilidade de as alterações climáticas resultarem em alguma diminuição da qualidade, devido à diminuição da matéria seca e aumento do teor de fibras.
- Uma vez que a produção de metano está positivamente correlacionada com o teor de fibras, a confirmar-se o aumento deste componente da forragem, a emissão de metano (um gás com efeito de estufa), como resultado do processo digestivo dos ruminantes da pecuária, pode também aumentar.
- O aumento da temperatura poderá favorecer o aumento da concentração de alguns nutrientes do solo, mas se a quantidade ou sazonalidade da precipitação se alterar, os efeitos positivos podem ser anulados ou revertidos.

- O aumento da temperatura poderá afetar a abundância e diversidade de várias espécies de aracnídeos e insectos predadores. Desta forma, é de esperar que as alterações climáticas produzam efeitos em toda a cadeia trófica das pastagens devido a efeitos de cascata (diretos e indiretos) sobre outras espécies de animais e até de plantas.

RECOMENDAÇÕES

- Este tipo de estudos experimentais deve ter continuidade de forma a confirmar as tendências aqui detetadas.
- Paralelamente, novos estudos, que avaliem também o efeito das alterações dos padrões de precipitação, devem ser realizados.
- Para além da garantia da melhor qualidade da forragem, deve-se incentivar a introdução de suplementos alimentares (alguns dos quais já estão disponíveis e aprovados pela UE) que reduzam a produção de metano pelo gado bovino.
- Os nossos resultados indicam a absoluta necessidade de instalar um programa de monitorização permanente de pastagens, em várias ilhas e diferentes altitudes, para acompanhar a evolução do clima e dos vários componentes destes agroecossistemas, de forma perceber de facto como as plantas, os animais e os solos vão reagir às alterações ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: à Dr.^a Virgínia Pires pela cedência das áreas onde foram instalados os campos experimentais nas pastagens A e B, entre 2020 e 2022; ao Eng.^o Mauro Matos e aos alunos Beatriz Ontoria Antolin e Juan Antonio Torres Vaquerizo, pela ajuda na recolha de dados; à Fundação Gaspar Frutuoso e aos seus funcionários pela forma sempre eficiente e profissional com que geriram financeira e burocraticamente o projeto PASTURCLIM.

BIBLIOGRAFIA

- Borges, P.A.V., Brown, V.K. (2001). Phytophagous insects and web-building spiders in relation to pasture vegetation complexity. *Ecography*, 24: 68-82.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2001.240109.x>
- Borges, P.A.V., Nunes, R., Lamelas-López, L., Pereira, E.S., Costa, R., Monjardino, P., Lopes, D.H., Soares, A.O., Gil, A., Rigal, F., et al. (2021). Monitoring Arthropods in Azorean Agroecosystems: The Project AGRO-ECOSERVICES. *Biodiversity Data Journal*, 9.
<https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e77548>
- Cavalheiro, G. (Coordenador geral) (2017). *Relatório Técnico do Programa Regional para as Alterações Climáticas (PRAC)*. Decreto Legislativo Regional n.º 30/2019/A de 28 de novembro, publicado em Diário da República n.º 229/2019, Série I de 2019-11-28.
- Chaplin-Kramer, R., George, M.R. (2013). Effects of Climate Change on Range Forage Production in the San Francisco Bay Area. *PLoS ONE* 8, e57723.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057723>
- Dumont, B., Andueza, D., Niderkorn, V., Lüscher, A., Porqueddu, C., Picon-Cochard, C. (2015). A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass Forage Science* 70, 239-254. <https://doi.org/10.1111/gfs.12169>
- Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W.J., Zhang, F. (2012). Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. *Journal Experimental Botany* 63, 13-24.
<https://doi.org/10.1093/jxb/err248>

- Gelybó, G., Tóth, E., Farkas, C., Horel, Á., Kása, I., Bakacsi, Z. (2018). Potential impacts of climate change on soil properties. *Agrokémia és Talajtan* 67, 121–141.
<https://doi.org/10.1556/0088.2018.67.1.9>
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. (2013). *Tackling Climate Change Through Livestock – A global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Godde, C.M., Mason-D’Croz, D., Mayberry, D.E., Thornton, P.K., Herrero, M. (2021). Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security* 28, 100488.
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>
- INE—Instituto Nacional de Estatística (2015). *Estatísticas da Produção e Consumo de Leite*. INE, Lisboa, Portugal. 76p.
- IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32.
- Johnson, S.N., Jones, T.H. (2016). Introduction to Global Climate Change and Terrestrial Invertebrates. In: Johnson, S.N. e Jones, T.H. (eds.), *Global Climate Change and Terrestrial Invertebrates*; John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, UK; pp. 1–8.
- Kweku, D.W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K.A., Danso, K.B., Oti-Mensah, E. A., Quachie, A.T., Adormaa, B.B. (2017). *Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact*

- on Global Warming. *Journal of Scientific Research & Reports* 17(6): 1-9. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2017/39630>
- Lee, J.M., Clark, A.J., Roche, J.R. (2013). Climate-change effects and adaptation options for temperate pasture-based dairy farming systems: a review. *Grass Forage Science* 68, 485–503. <https://doi.org/10.1111/gfs.12039>
- Melo, C.D., Maduro Dias, C.S.A.M., Wallon, S., Borba, A.E.S., Madruga, J., Borges, P.A.V., Ferreira, M.T., Elias, R.B. (2022). Influence of climate variability and soil fertility on the forage quality and productivity in Azorean pastures. *Agriculture* 12, 358. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030358>
- Mondal, S. (2021). Impact of climate change on soil fertility. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (Eds.), *Climate Change and the Microbiome: Sustenance of the Ecosphere, Soil Biology*. Springer International Publishing, Cham, pp. 551–569. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_28
- Perotti, E., Huguenin-Elie, O., Meisser, M., Dubois, S., Probo, M., Mariotte, P. (2021). Climatic, soil, and vegetation drivers of forage yield and quality differ across the first three growth cycles of intensively managed permanent grasslands. *European Journal of Agronomy* 122, 126194. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126194>
- Rojas-Downing, M.M., Nejadhashemi, A.P., Harrigan, T., Woznicki, S.A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management* 16, 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Santos, F.D., Forbes, K., Moita, R. (eds.) (2006). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project*. Gradiva, Lisboa, Portugal, 2002.
- Wallon, S., Melo, C., Tsafack, N., Elias, R.B., Borges, P.A.V. (2023). Assessing the effects of climate change on arthropod

abundance in Azorean pastures: PASTURCLIM project's baseline monitoring data. *Biodiversity Data Journal*, 11, e103723.

<https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e103723>