



**DISTRIBUIÇÃO ATUAL E SUSCEPTIBILIDADE À INVASÃO POR ACACIA EM AMBIENTES LITORAIS. BASES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS DE UM PROJETO DE PESQUISA SOBRE AS INVASÕES POR ACACIA LONGIFOLIA NO LITORAL PORTUGUÊS E NO LITORAL SUL DO BRASIL**

**CURRENT DISTRIBUTION AND INVASIBILITY OF ACACIA ON COASTAL ENVIRONMENTS. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES OF A RESEARCH PROJECT ON THE ACACIA LONGIFOLIA INVASIONS IN THE PORTUGUESE AND BRAZILIAN COASTLINES**

**Jorge Luis P. Oliveira-Costa**

Doutorando em Geografia Física. Un. Coimbra. Portugal. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Un. Coimbra. MSc em Geografia Física

ORCID: <http://orcid.org/000000029219242X>

E-mail: [oliveiracostajorge@gmail.com](mailto:oliveiracostajorge@gmail.com)

**Rui Ferreira de Figueiredo**

Departamento de Geografia e Turismo. Un. Coimbra. Portugal. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Un. Coimbra. PhD em Geografia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4262-7568>

E-mail: [ruiff@ci.uc.pt](mailto:ruiff@ci.uc.pt)

**Vânia Regina Pivello**

Instituto de Biociências. Un. São Paulo. Brasil. Departamento de Ecologia Geral. Un. São Paulo. PhD em Applied Ecology

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8063-772X>

E-mail: [vrpivel@ib.usp.br](mailto:vrpivel@ib.usp.br)

**RESUMO**

Invasão biológica é um processo de degradação dos ecossistemas causado pela proliferação de espécies exóticas no ambiente. O sucesso desse processo dependerá das características abióticas do ambiente (invasibilidade) e das características biológicas da espécie (invasividade). Em Portugal e no Brasil a preocupação com o assunto é significativamente

*Geografia: Publicações Avulsas. Universidade Federal do Piauí, Teresina, v.3, n. 1, Dossiê Temático/Edição Especial, p. 174-241, jan./jun. 2021*

recente e decisões quanto ao manejo de espécies invasoras têm sido tomadas sem o conhecimento suficiente, gerando impactos. Espécies invasoras têm ampla diversidade funcional, que, associada às condições eco-geográficas dos territórios, parece aumentar a sua capacidade de invadir ambientes naturais. Este trabalho objetiva primordialmente apresentar as bases teóricas e metodológicas que dão suporte a um projeto de pesquisa em andamento sobre invasões biológicas; o projeto em questão tem por objetivos: (i) modelar a distribuição espacial, e (ii) caracterizar a suscetibilidade a invasão por uma espécie exótica invasora comum aos ambientes litorais de Portugal e do Brasil, através da (1) avaliação dos caracterizadores estruturadores dos territórios (uso das terras, condições do relevo, balanço hídrico, contexto socioambiental), e (2) análise dos atributos funcionais da espécie. A australiana *Acacia longifolia* (Fabaceae), a espécie invasora, é uma árvore leguminosa costeira originária do Sudeste da Austrália, que foi introduzida em Portugal para fins ornamentais e fixação de dunas litorais no início do século XIX, pelo menos um século antes que no Brasil, sendo esperadas diversificações da espécie e do território entre os países. Para caracterizar a diversidade funcional da planta, a metodologia do projeto em epígrafe baseia-se em trabalhos de campo, separadamente em cada país, avaliando-se tipos morfológicos (tipo, tamanho, peso das folhas e dos frutos/vagens, período de floração, e outros). Para modelar a distribuição espacial, será montado um Sistema de Informação Geográfica (SIG), em sistema de posicionamento geográfico (software ArcGIS), a partir do qual serão incorporados dados georreferenciados sobre a presença/abundância das espécies. Esta é uma rara oportunidade para comparar o funcionamento de uma espécie invasora com uma distribuição global em climas mediterrânicos e tropicais, sendo que nos dois países serão estudados os sistemas costeiros litorais.

**Palavras-chave:** Estrutura do território. Análise espacio-temporal. Invasões biológicas. Suscetibilidade ambiental. Impactos Geo-Ecológicos.

## **ABSTRACT**

*Biological invasion it is a process of ecosystems degradation caused by the proliferation of non-native species in the environment. The success of this process will depend on the environmental abiotic characteristics (invasibility) and biological species characteristics (invasiveness). In Portugal and Brazil, the concern around this subject is recent, and decisions about the invasive species management have been taken without enough knowledge, generating impacts. Invasive species have high functional diversity, which combined with the ecological and geographical conditions, it seems to increase their ability to invade natural environments. The PhD project referred aims to: (i) model the species distributions, and (ii) characterize the susceptibility to invasion by an*

invasive species of Portugal and Brazil coastlines, through (a) evaluating the landscape structure characteristics (land use, relief conditions, water balance, territorial socioeconomic dynamics); and (b) analysis of the species morphological attributes. The Australian *Acacia longifolia* (Fabaceae), the invasive species, it is a coastal leguminous tree native from Southern Australia, introduced in Portugal due ornamental reasons and to fixation the coastal dune systems (century XIX), at least one century before than Brazil. It is expected diversifications about the species and environments between Portugal and Brazil. To characterize the species functional diversifications, experiments will be conducted on the field, separately in each country, evaluating plant morphological traits (type, size, height, weight of leaves and fruits, flowering period, others). To model the species distribution, will be used a Geographical Information System (GIS), under a geographic positioning system (software ArcGIS), from which will be incorporate data on the presence, abundance and absence of the species. Through this present communication all the theoretical and methodological supports and approaches involved in the PhD project in question will be detailed and discussed. This is a rare opportunity to compare the functioning of an invasive species with a global distribution between Mediterranean and Tropical climates, where in the both study areas will be studied the coastal environment systems.

**Keywords:** Landscape structure. Spatial-temporal analysis. Biological invasions. Environmental susceptibility. Geo-Ecological impacts.

## **RELATO INTRODUTÓRIO – PENSANDO NA INVASIBILIDADE E NA INVASIVIDADE DA AUSTRALIANA ACACIA LONGIFOLIA (ANDREWS) WILLD: INTRODUÇÃO GERAL À ÁREA TEMÁTICA DA PESQUISA**

### **Questões de partida sobre invasões biológicas**

Considerando que: 1. Os ecossistemas naturais encontram-se altamente ameaçados por espécies vegetais invasoras; 2. A espécie *A. longifolia* é invasora agressiva em Portugal e no Brasil, mas pouco conhecida (sobretudo no Brasil) para estabelecer seu manejo adequado; 3. A presença desta espécie pode causar mudanças tanto nas condições físicas e socionaturais dos territórios, como nas cadeias tróficas com impactos em nível ecossistêmico; 4. O sucesso da invasão desta espécie depende não apenas de suas características biológicas (invasividade), mas também das

características abióticas dos territórios invadidos (invasibilidade); as questões de partida que norteiam este projeto de pesquisa são:

1. quais os fatores determinantes para explicação dos padrões da invasão por *A. longifolia* em Portugal e no Brasil?
2. a susceptibilidade do território à invasão nestes países está estruturalmente determinada pelas condições regionais (bióticas/abióticas)?

### **Invasão biológica: ameaças para a biodiversidade**

A civilização contemporânea, marcada pela relação homem e natureza ao longo dos tempos e em face do aprimoramento científico e tecnológico, tem evidenciado significativas transformações no meio natural, que ocasionam fenômenos de diferente natureza na biosfera, como as *Invasões Biológicas*. A invasão biológica é um processo irreversível em muitos locais no planeta. Aproximadamente metade da acumulação global de taxa invasores está em áreas desenvolvidas, com clima temperado, e há cerca de cinco regiões, em áreas de clima tropical, com alta taxa de espécies invasoras, resultado, em grande parte, da diáspora dos colonizadores europeus no século XIX, e a aceleração do comércio (VAN KLEUNEN *et al.*, 2000).

De acordo com Pimentel *et al.* (2000), as invasões biológicas representam um dos principais fatores das perdas econômicas globais, com custos que ultrapassam 100 bilhões anuais, derivados de despesas associadas ao controle. Ainda, as invasões são uma das principais causas da perda global da diversidade biológica (CZECH; KRAUSMAN, 1997), o que a torna o fenômeno de maior degradação ambiental do mundo (IUCN, 2000). Esse quadro é resultado da forma como as mudanças ecológicas vêm-se desenvolvendo desde o final do quaternário e início do antropoceno, e da maneira pela qual o ambiente natural é transformado, a fim de abrigar as atividades humanas.

A globalização tem modificado as barreiras naturais dos fluxos das espécies – o que tem permitido o estabelecimento e a multiplicação de inúmeras espécies exóticas em novos ambientes, em detrimento das espécies nativas – gerando extinções locais/regionais e/ou gerais.

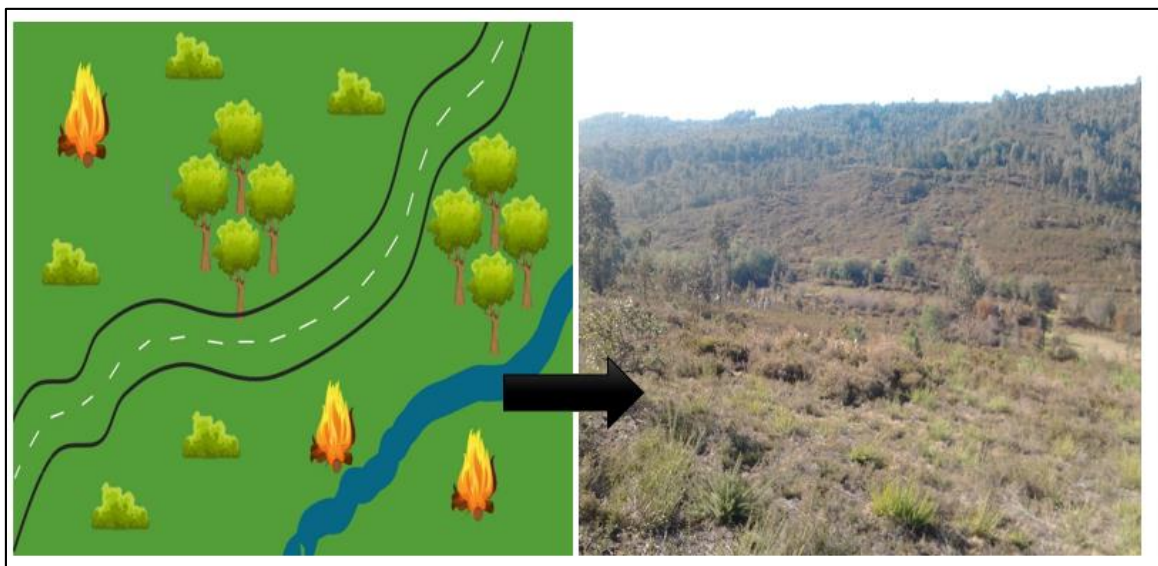
Somente com o planejamento e o ordenamento territorial adequados, a gestão sustentável dos territórios, e a formação de uma consciência e educação ambiental sobre as necessidades de preservação dos ambientes naturais e do equilíbrio ecológico sustentável, é que esta situação poderá ser minimizada, e os territórios invadidos por Espécies Exóticas Invasoras (EEI) poderão tornar-se espaços mais saudáveis, do ponto de vista ecológico. Isso não está na dependência somente de uma ordenação de legislações ou de normas, mas na ênfase de uma ampla, persistente e consistente pesquisa científica, aliada a uma efetiva ação educativa, através dos quais se disseminem valores e atitudes em relação aos recursos naturais, e a conservação.

O homem tem investigado o fenômeno das invasões biológicas há mais de 100 anos, desde um primeiro estudo em 1882 sobre a invasão por *Mangifera indica* na Jamaica (ESPÍNOLA; FERREIRA, 2007). O conceito de invasão biológica como um “processo relativamente lento de degradação dos ecossistemas, a partir do estabelecimento temporal de populações autônomas, resultante da transferência - por ação humana - de indivíduos através dos filtros naturais dos ecossistemas para áreas que guardam semelhanças (clima, solo, altitude) com o local de origem” (Figura 1), foi idealizado por Charles Elton em 1958 (*The Ecology of Invasions by Animals and Plants*), e foi adotado pelo SCOPE (*Scientific Committee on Problems of the Environment*) em 1982 (Ottawa-Canadá), a partir de proposta criada durante a *Third International Conference on Mediterranean Ecosystems*, realizada em Stellenbosh (África do Sul), em 1980.

Os cientistas da invasão biológica presentes nesta conferência colocaram-se no caminho do desenvolvimento sustentável e da consciência

ambiental, com vistas a criação de um comitê de divisão científica com foco nos impactos das invasões biológicas, à luz da obra de Charles Elton (Elton, 1958), e com apoio de especialistas de todo o mundo, a partir de uma visão de desenvolvimento simultâneo sob os enfoques econômico, social e ambiental (DAVIS, 2006).

**Figura 1 - Uma paisagem invadida: alguns fatores e elementos de risco**



Fonte: Organizado pelos autores (2021).

Um primeiro momento de reflexão acerca das preocupações com as invasões biológicas e as espécies invasoras remonta a 1964 com o simpósio internacional da *International Union of Biological Sciences* na Califórnia (Estados Unidos), que incorporou, no bojo das discussões, questões ecológicas, biológicas, econômicas, e, sobretudo, aspectos genéticos e evolucionistas, para fins do estudo da introdução racional das espécies exóticas em novos territórios, que resultou na obra "*The Genetics of Colonizing Species*" (SPENCER *et al.*, 2016), obra que 'inaugurou' a perspectiva 'Eltoniana' sobre as invasões biológicas (RICHARDSON, 2011). Nessa clássica obra, os participantes do simpósio de 1964 adotaram linguagem que em nada se assemelha a linguagem usada na atualidade, com o uso de termos efusivos



e referências militares para tratar aspectos da invasão biológica, fazendo oposição ao estilo conceptual de Charles Elton, caracterizado pelo uso de metáforas/analogias, e destacado atualmente pela importância dada ao campo da conservação biológica (LOCKWOOD *et al.*, 2007).

Um outro marco das discussões sobre as invasões biológicas foi a consolidação da *Conservação Biológica* como área própria de pesquisa científica especializada, na década de 1970, o que permitiu, entre outras ações, a criação de um comitê cujo objetivo era a compreensão plena dos problemas ambientais globais, sob a perspectiva conservacionista - *Scientific Committee on Problems of the Environment* (SCOPE) - idealizado pelo *International Council of Scientific Unions* (ICSU).

Na ocasião foram evidenciadas as primeiras preocupações e ações a nível global (escala exploratória) (Figura 2), com foco nas regiões desenvolvidas do globo dada a sua suscetibilidade às invasões biológicas e acumulação de maior número de espécies invasoras, com o estabelecimento de iniciativas internacionais como a criação do jornal *Biological Conservation*, publicação pioneira a alertar para a preocupação com a introdução de espécies exóticas, e mais recentemente, a publicação do manual *Guidelines for the Preventions of Biodiversity Loss Caused By Alien Invasive Species*, combinado a criação do *Global Invasive Species Programme* (GISP), ambos pela *The World Conservation Union* (*International Union for Conservation of Nature*/IUCN). A *Conservação Biológica* ganhou várias dimensões ao contemplar outros aspectos das relações entre os indivíduos e a natureza. A *Ciência da Invasão* assumiu, então, diversos aspectos: ecológico, ambiental, social, político, econômico, demográfico, cultural, institucional e espacial.

Desde então, de acordo com Vilà e Hulme (2017), o número de espécies invasoras, os graus de magnitude das invasões biológicas, e os caminhos teórico-metodológicos dos trabalhos nesse âmbito, têm mudado significativamente, fazendo da *Ciência da Invasão* uma componente importante da teoria biológica e ecológica, que, por sua vez, são

componentes importantes da teoria geográfica, sendo significantes aportes teóricos para explicação de porque o comportamento das espécies fora do seu alcance original é tão diverso, e porque sua organização espacial e temporal são complexas.

**Figura 2 - Principais entidades e obras clássicas sobre invasões biológicas**



Fonte: Google imagens (2021).

### **Breve discussão acerca da Geografia e a Ciência da Invasão**

O desafio da moderna ciência geográfica é o entendimento dos padrões da complexidade estruturadora da distribuição espacial das espécies, das relações contemporâneas destas com os componentes do ambiente físico, e da diversidade nos ecossistemas, necessitando atualmente elaborar de modo urgente novos critérios conceituais e terminológicos, e novas técnicas e meios mais eficientes para resolver questões de natureza geográfica que envolvem os diversos fenômenos que tem eclodido, como é



o caso das invasões biológicas. Isto só será possível através de trabalhos constantes de caráter específico, em setores particulares da Geografia, utilizando-se de aproximações teóricas, vocábulos e instrumentos metodológicos diferenciados, provenientes quer da Geografia, quer de áreas correlatas.

Considerando que:

1. a organização e o ordenamento espacial dos territórios são tarefas primordiais do geógrafo;
2. os espaços são compostos por diferentes ambientes naturais;
3. avaliar parâmetros eco-geográficos é essencial para esboçar a história e evolução dos espaços invadidos – no geral – e explicar porque espécies exóticas tornam-se invasoras – no específico.

O geógrafo cumprirá seu papel no estudo das invasões biológicas ao avaliar as estruturas, os fluxos e os processos atuantes na dinâmica desse fenômeno, em conformidade com o caráter interdisciplinar exigido pela Ciência da Invasão.

Isto só será conseguido através de trabalhos intensivos de caráter específico, com difusão de métodos e técnicas adequadas de manejo das espécies, em setores ou aspectos particulares do campo da invasão biológica, com vistas a uma estratégia de utilização plena e equilibrada dos recursos naturais, utilizando-se de aproximações teóricas, vocábulos e instrumentos metodológicos diferenciados, provenientes quer da Biologia e/ou Ecologia, quer da Geografia.

Geograficamente, as áreas invadidas se destacam por apresentarem, entre outros frequentes e citados preditores gerais da vulnerabilidade, características como: latitude, água disponível, relevo e intervenção humana, que inclinam estas áreas à eventos de invasões biológicas.

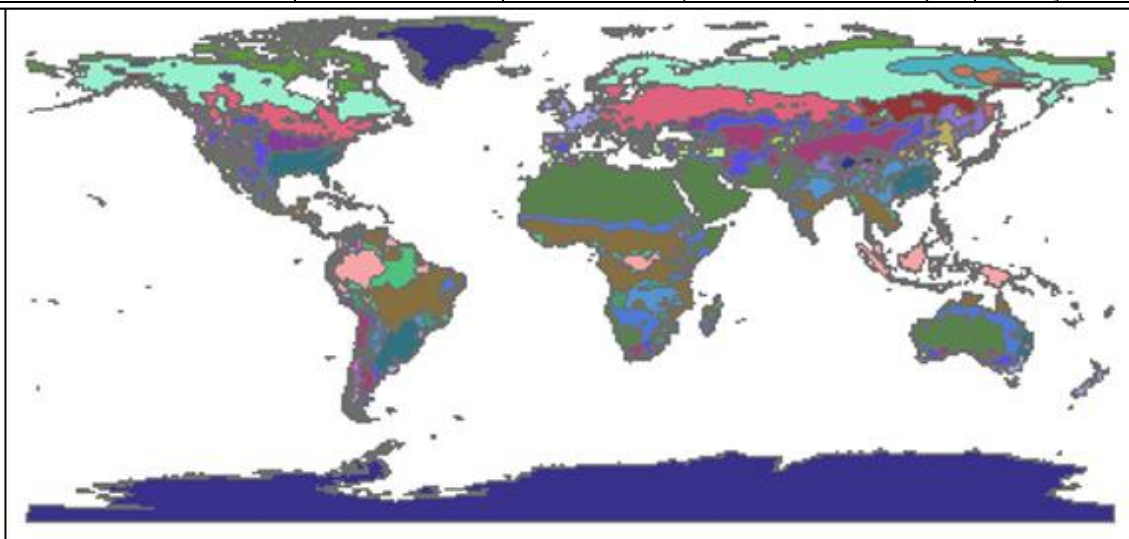
Trata-se de uma “chance histórica” (DI CASTRI, 2000), que tem início com a transferência dos indivíduos, por ação humana, e se consolida como um processo de invasão biológica de acordo com a “necessidade biológica”

das espécies, com o “grau de pobreza” do novo ambiente, e com o “histórico da introdução”. Introduções de espécies exóticas existem desde a Antiguidade (Arqueófitos), no fluxo entre o oriente (Babilônia e Egito) e o ocidente, associadas à expansão da agricultura, e se intensificaram a partir da colonização dos continentes (Neófitos) (América e Oceania), e, mais recentemente, devido à globalização e os fluxos comerciais (D’ANTONIO *et al.*, 1996), provocando profundas modificações nas paisagens da superfície terrestre. O estudo da introdução (causas do transporte, de onde procedem as espécies e por onde se introduzem, rotas e meios de transporte, tipo de introdução), permite identificar e entender a sequência evolutiva do processo da invasão e a extensão temporal dos dados obtidos nas análises dos sistemas físicos, em termos de processos, taxa, registro, respostas.

Ilhas são mais inclinadas às invasões que os continentes, zonas temperadas mais que os trópicos, zonas húmidas mais que zonas áridas, áreas perturbadas mais que áreas intactas (HENDERSON *et al.*, 2006). Especificamente quanto as zonas húmidas (áreas de interesse do projeto em discussão), os principais territórios atingidos são baías, ilhas, dunas e costas, áreas com influência de águas litorais e águas continentais interiores, e relevante vulnerabilidade e valor ecológico. Há uma menor resistência natural nestas zonas, devido: (i) proporção maior de espécies exóticas em relação ao total de espécies presentes; (ii) tamanho reduzido da área relativamente aos territórios continentais; (iii) condições geológicas significativamente mais recentes; (iv) biodiversidade limitada por isolamento geográfico, com ausência de importantes grupos funcionais (GROVES; DI CASTRI, 1991). São destaque as zonas costeiras invadidas de países como Israel, África do Sul, Estados Unidos (Califórnia), Brasil, Chile, Uruguai, Portugal, Espanha, e Nova Zelândia, todas zonas mediterrânicas ou subtropicais, com superávit hídrico anual, e clima do tipo úmido e/ou subúmido (Tabela 1/Figura 3).

**Tabela 1 e Figura 3 - Classificação e características da Zona Temperada**

Regiões Temperadas			
Climas Temperados	Latitude	Precipitação/Umidade	Biotemperatura
<b>Clima Oceânico (Cfb)</b>	56°30' - 42°00'	1.000 mm - 2.000 mm (chuva homogênea e moderada)	6° - 12° (inverno frio e verão moderado)
<b>Clima Mediterrâneo (Csa)</b>	42°00' - 27°30'	2.000 mm - 4.000 mm (unidade e chuva moderadas)	12° - 18° (estações quente e fria)
<b>Clima Subtropical (Cfa)</b>	27°30' - 13°00'	4.000 mm - 8.000 mm (muita chuva, unidade alta, pouca sazonalidade)	18° - 24° (grande variação diária)



Fonte: Köppen (1900); Holdridge (1947). Organizado pelos autores (2021).

### Entendimento sobre o processo das invasões biológicas

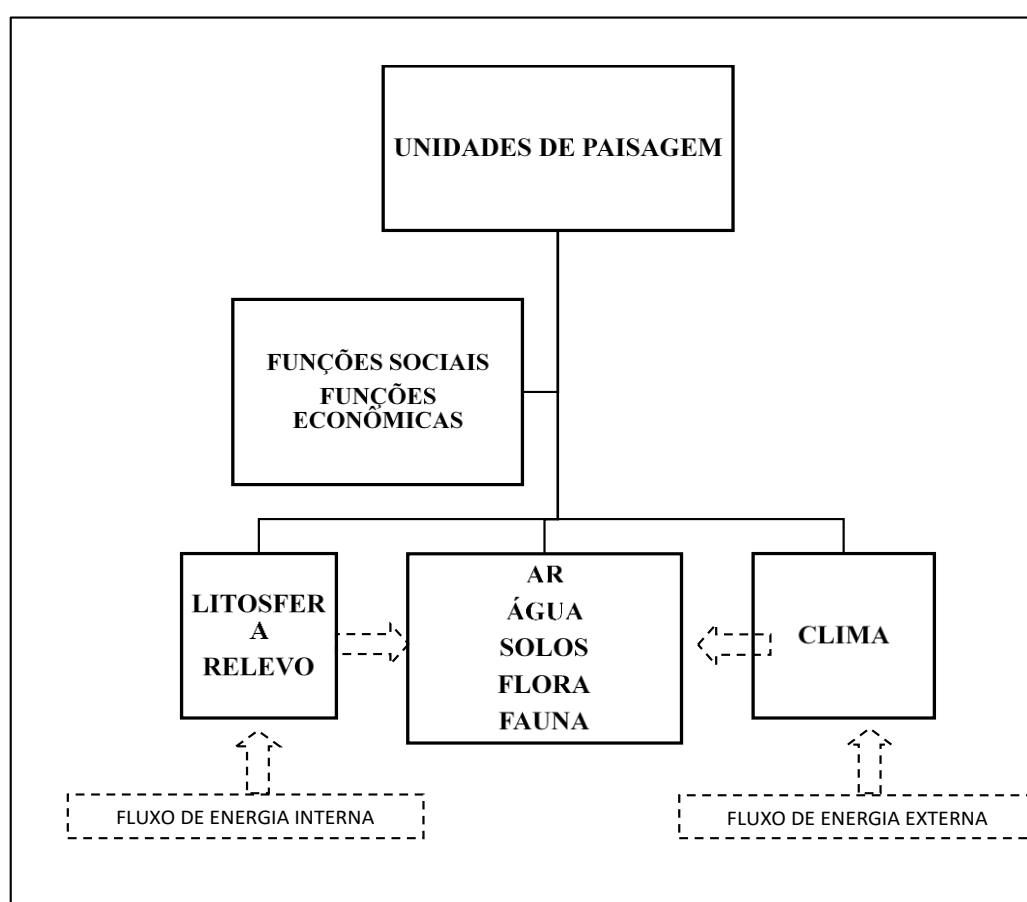
Embora seja um fenômeno mundial, a invasão biológica, como um problema moderno, ainda não está suficientemente bem esclarecido, com os impactos (diretos e indiretos) ainda pouco elucidados, e investigações ainda pouco numerosas; no entanto, algumas certezas tem emergido, onde a Invasão Biológica é defendida como um “problema indesejável”, pois acarreta na modificação dos ecossistemas e na exclusão de espécies nativas em consequência do fenômeno da homogeneização biótica, podendo reduzir as comunidades nativas com interferências no crescimento, nos valores funcionais e fenológicos das espécies nativas, além de alterar o funcionamento dos ecossistemas com interferências na ciclagem de nutrientes, balanço hídrico, produtividade, processos sucessionais, e na diversidade biótica (CRONK; FULLER, 2001). São relacionadas as seguintes propriedades de espécies exóticas invasoras a seus impactos em áreas não nativas:

- larga produção de sementes com alta viabilidade/longevidade
- rápido crescimento do sistema radicular
- adaptação ao fogo
- habilidade de interferir no crescimento de plantas vizinhas
- alta produção de propágulos
- similaridade morfológica ou fisiológica com as espécies nativas
- autopolinização pelo sistema reprodutivo
- habilidade de fixação de nitrogênio por bactérias simbiotes

Para superar seus problemas, usando aportes da geografia física, o processo da invasão biológica pode ser entendido como um SISTEMA, onde o fluxo e a transformação da energia e da matéria-prima, que determinam as ligações entre os organismos vivos e o ar, a água e o solo dos sistemas naturais, podem ser considerados também como ativadores das transformações relativas a processos de invasão biológica, no espaço e no tempo. Os sistemas

geográficos naturais e suas características de natureza ambiental e biológica, desde a configuração do embasamento rochoso à densidade da cobertura vegetal e as interações climáticas, às diferenciações, conectividades e distribuições de fisionomias e componentes florísticas que compõem os artefatos do espaço geográfico e que são influenciadas por impactos da ação do homem, são capazes de fornecer valiosas contribuições para entendimento dos processos de invasão biológica, sobretudo por se tratar de uma abordagem que contempla um número elevado de informações e variáveis (paisagísticas, sociais, ambientais, geográficas, territoriais, ecológicas, biológicas e genéticas) (Figura 4).

**Figura 4 - O modelo teórico do estudo de SISTEMAS na Geografia**



Fonte: Organizado pelos autores (2021).

Um sistema é considerado como “um todo ordenado conforme princípios científicos” (KANT, 1724/1804), dependente continuamente da importação de energia e matéria, consumidas e transformadas pelo homem em subprodutos, onde os filtros e fluxos entre estas duas dimensões são considerados como ativadores das transformações no meio natural. Desta forma, estudar o fenômeno da invasão biológica à luz da teoria sistêmica é uma mais valia, na medida em que, para além da determinação dos padrões espaciais e suas relações com os caracterizadores bióticos/abióticos, poderá constituir numa importante ferramenta para avaliação da complexidade da dinâmica sistêmica deste fenômeno na sua totalidade.

A aplicação de estudos sistêmicos para diagnósticos ambientais está bem representada a nível mundial (ACKOFF, 1974; BERTALANFY, 1956; CHECKLAND, 1981; CHORLEY; CHURCHMAN, 1968; HAGGETT, 1994; HUGGETT, 1987; JACKSON, 1990; KENNEDY, 1971; REYNOLDS, MARTIN; HOLWELL, 2010; RICHLING, 1981; KLINK, 1974), entretanto, sua convergência com a invasão biológica é inédita, o que pode constituir numa importante contribuição para esse campo de estudo. A proposta de um *Modelo Eco-Geográfico de Invasão Biológica* comparece como um modelo teórico integrador para o estudo das relações de invasão, a partir de uma leitura sistêmica no âmbito dos modelos teóricos sobre as invasões biológicas.

Os modelos teóricos em invasão biológica, onde os processos ecológicos e geográficos se destacam, são defendidos por Williamson (2001), Shigesada e Kawasaki (1997), Catford *et. al.* (2012) e Wilson *et. al.* (2021) como proposições teórico-metodológicas para ajudar a investigar os fatores facilitadores das invasões por espécies exóticas em diferentes regiões geográficas, e em distintas situações de invasão, com vistas a tornar os territórios invadidos ecologicamente mais sustentáveis, subsidiando um plano de ações adequadas para manejo e controle de EEI, que permitem: (i) a diminuição da entrada de novas espécies, (ii) redução do grau das invasões



locais, (iii) além do aumento da qualidade dos ambientes, (iv) e controle da expansão da invasão.

Modelos em invasão biológica oferecem como vantagens:

1. a elaboração de um aporte teórico no âmbito das possibilidades dinâmicas da invasão, que podem estar a ocorrer em distintas regiões geográficas
2. uma ampla abordagem com um número elevado de variáveis e informações, já que em cada região invadida são produzidas adaptações locais (ecossistemas – territórios – espécies) que atuam como forças de diversificação entre elas
3. um modelo mais conivente com as especificidades das relações de invasão biológica, em virtude de enfatizar o aspecto territorial e desse modo contemplar a etapa da introdução das espécies, já que poderão ter sido as migrações humanas entre essas regiões geográficas que provocaram uma alteração do fluxo e do filtro estruturador natural da diáspora das espécies, que se adaptaram e se naturalizaram nestas regiões
4. a promoção de um *Modelo Eco-Geográfico de Invasão Biológica*, da convergência entre as adaptações locais e as dispersões, determinando que em distintas regiões geográficas possam ser encontrados diferentes situações de invasão

Entretanto, os modelos teórico-conceptuais estão passíveis de implicações, pelas incongruências das análises espaciais e temporais, bem como por permitir convergência entre diferentes informações. **É esperada a seleção das espécies em modelos geográficos de invasão, entre as diferentes regiões geográficas do mundo, selecionando distintas situações de invasão biológica? Existem núcleos de degradação onde a inclinação à invasão dessas áreas (combinado a frequência de indivíduos introduzidos) é elevada, e provocam, via proliferação das espécies, um alto grau de invasão? Haverá**

## **uma mescla de atributos físicos e biológicos destes núcleos que estão sendo invadidos que permitem sua seleção em modelos geográficos?**

Desde a década de 60 inúmeros modelos teóricos vem sendo desenvolvidos visando a identificação e a análise dos principais problemas encontrados nos territórios invadidos por espécies exóticas, bem como a proposição de alternativas que indiquem caminhos para a construção de um ambiente natural sustentável, contemplando as estratégias propostas pelo SCOPE.

São destaque os trabalhos de Charles Darwin, 1859, *On The Origin of Species* (DARWIN, 1859); de Charles Elton, 1958, *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (ELTON, 1958); o trabalho de Hebert Baker e Leyard Stebbins (1965), *The Genetics of Colonizing Species* (BAKER; STEBBINS, 1965); o trabalho de James A. Drake e colaboradores (SCOPE), 1989, *Biological Invasions: A Global Perspective* (DRAKE et al., 1989); o trabalho de Bill Jordan (WILLIAM R. JORDAN III), de 1990, *Restoration and Management Notes* (atual *Journal of Ecological Restoration*), e *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research* (JORDAN III et al., 1990); e a obra de Richard H. Groves e Francesco Di Castri, 1991, *Biogeography of Mediterranean Invasions* (GROVES; DI CASTRI, 1991).

Na ciência da invasão moderna (pós 1990), destaque para os modelos teórico-conceituais e hipóteses científicas de: Nentwig Wolfgang (1993), *Biological Invasions* (WOLFGANG, 1993); Petr Pyšek et al. (1995); *Plant Invasions. General Aspects and Special Problems* (PYŠEK et. al., 1995); Quentin C. B. Cronk e Janice L. Fuller (1995); *Plant Invaders* (CRONK; FULLER, 1995); Mark Williamson (1996), *Biological Invasions* (WILLIAMSON, 1996); Nanako Shigesada e Kohkichi Kawasaki (1997); *Biological Invasions: Theory and Practice* (SHIGESADA; KAWASAKI, 1997); Harold A. Mooney e Richard J. Hobbs (2000); *Invasive Species in a Changing World* (MOONEY; HOBBS, 2000); David Pimentel (2002), *Biological Invasions. Economic and Ecological Costs of Alien Plant, Animal and Microbe Species* (PIMENTEL, 2002); Judith H. Myers e Dawn R. Bazely (2010);

*Ecology and Control of Introduced Plants* (MYERS; BAZELY, 2010); e o trabalho de Daniel Simberloff e Marcel Rejmànek (2010), *Encyclopedia of Biological Invasions* (SIMBERLOFF; REJMÀNEK, 2010).

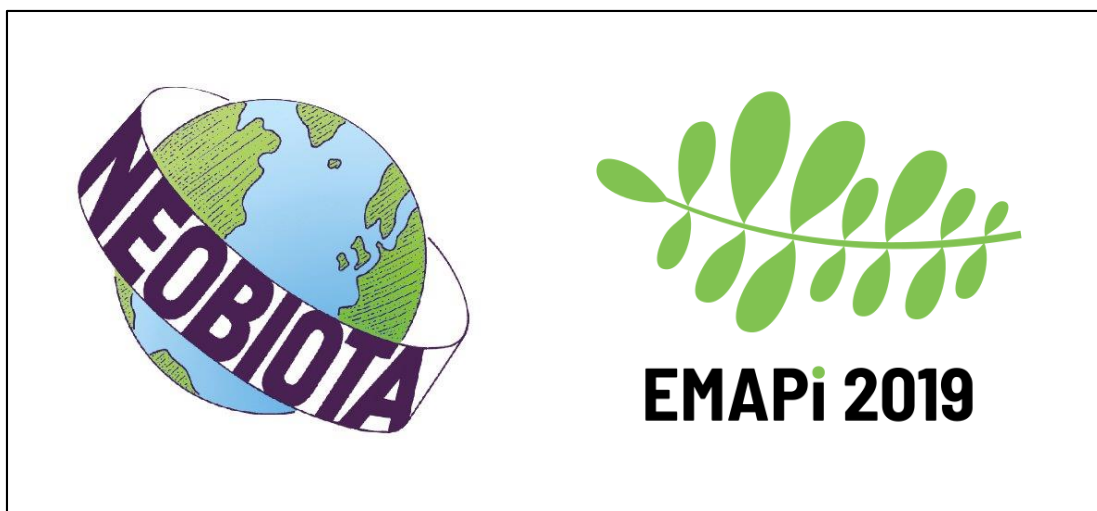
**Tabela 2 - Principais hipóteses científicas da Ciência da Invasão**

HIPÓTESES (DESCRIÇÃO)	REFERÊNCIA
Naturalização de espécies originárias de outras áreas geográficas	Darwin (1859)
Adaptação das espécies a partir da modificação de seus traços biológicos por meio de fluxos gênicos e naturalização de genótipos	Baker e Stebbins (1965)
Invasividade das espécies e invasibilidade dos ambientes	Elton (1958)
Potencial invasor de espécies não-indígenas na dependência das suas necessidades biológicas	Drake et. al., (1989)
Susceptibilidade do meio à receptividade de espécies exóticas na dependência do grau de pobreza dos ecossistemas	Groves e Di Castri (1991)
Conservação biológica: manejo e restauração de áreas invadidas	Pyšek et al. (1995)
Regra dos 10% (Tens Rule)	Williamson (1996)

Fonte: Organizado pelos autores (2021).

A invasão biológica tem sido tema/debate de discussão em diversas conferências, como a realizada pelo *European Group of Biological Invasions – International Conference on Biological Invasions* (NEOBIOTA), e o *International Conference on Ecology and Management of Alien Plant Invasions* (EMAPI); e jornais como *Biological Invasions*, *NeoBiota Journal*, *Diversity and Distribution*, *Bioinvasions Records*, *Aquatic Invasions*, *Management of Biological Invasions*, *Weed Research Journal*, *Russian Journal of Biological Invasions*, *Preslia*, *Bioinvasiones*.

**Figura 5 - Conferências do debate principal sobre invasões biológicas**



Fonte: Google imagens (2021).

Estas iniciativas internacionais (congressos e jornais) tem apontado as necessidades nas (i) atualizações dos parâmetros de estudo das invasões, (ii) no estudo da qualidade dos espaços invadidos, (iii) nas regulamentações globais e regionais, (iv) no tratamento dos dados, entre muitos outros questionamentos atuais, relacionando tanto o tratamento a ser dado às espécies invasoras quanto aos espaços invadidos como um todo, de maneira a garantir a sustentabilidade ambiental, sendo apoiadas por organizações internacionais no âmbito do problema das invasões, como: a *European Commission (EU)*, o *Invasive Species Specialist Group (ISSG)*, o *Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI)*, a *British Ecological Society (BES)*, *International Weed Science Society* e a *European Weed Research Society (IWSC/EWRS)*, a *International Biogeography Society (IBS)*, *International Association for Open Knowledge on Invasive Alien Species (INVASIVESNET)*, o *Centre of Excellence for Invasion Biology (CIB)*, o *Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE)*, *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*, o *Non-Native Tree Species for European Forests/European Cooperation in Science/Technology (NNEXT-COST)*, *European Network on Invasive Alien Species in North/Central Europe (NOBANIS)*, *U.S Department of Agriculture* e

U.S. Geological Survey (USGS/UDSA), *Online Atlas of the British and Irish Flora*, e o *California Invasive Plant Council (CAL-IPC)*.

**Figura 6 - Principais bases de dados sobre invasões biológicas**



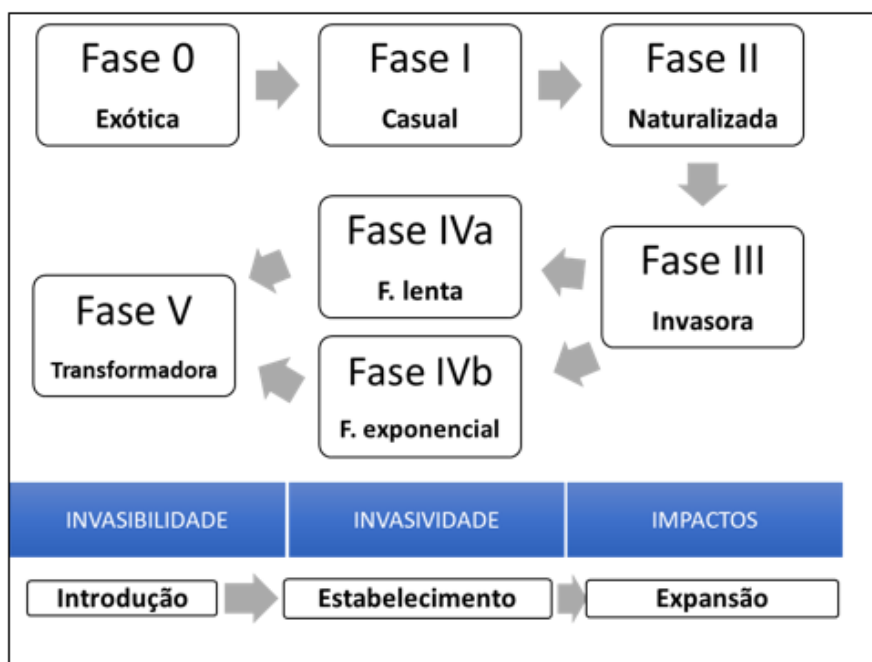
Fonte: Google imagens (2021).

Entre os cientistas da invasão, são destaque na África do Sul nomes como David Richardson e John Wilson (CIB); No Reino Unido, Mark Williamson (University of York), Max Wade (University of Hertfordshire), Louis Child (Loughborough University); Nos Estados Unidos da América, John Brock (Arizona State University), David Lodge (Cornell University), Mark Davis (Macalester College), Carla D'Antonio (UC Berkeley e UC Santa Barbara), Daniel Simberloff (University of Tennessee), Marcel Rejmànek (UC Davis); Na República Tcheca, Petr Pysek e Karel Prach (Academy of Science of Czech Republic); Na Alemanha, Uwe Starfinger (Julius Kühn-Institut), Ingo Kowaric (Technische Universität Berlin), Nentwig Wolfgang (University of Bern), Mark van Kleunen (Konstanz University), Hanno Seebens (Senckenberg Research Centre, Frankfurt); Na Itália, Giuseppe Brundu (University of Sassari); Na Espanha, Montserrat Vilà (Estación Doñana), Anna Treveset (University of Balearic Islands); No Brasil, Vânia Pivello (University of São Paulo), Dalva Mattos (Federal University of São Carlos), Sílvia Ziller (Instituto Hórus); Em Portugal, Elizabete Marchante (University of Coimbra), Cristina Máguas (University of

Lisbon); No Canadá, Anthony Ricciardi (McGill University), Hugh MacIsaac (University of Windsor).

Na busca da melhor qualidade ambiental e da conservação da natureza, os estudos em invasão biológica procuram a integração entre os ecossistemas, a invasão, e as espécies exóticas, de maneira a garantir a conservação, utilizando ao máximo os recursos naturais e preservando o meio ambiente. Em invasão biológica, de acordo com Cadotte *et. al.* (2006), é o enfoque nos ecossistemas e nas espécies que “*definem as condições físicas e biológicas, do meio biótico e abiótico, que melhor satisfaçam às exigências da invasibilidade dos espaços e da invasividade das espécies*”. Para Colautti e MacIsaac (2004), a invasibilidade, ou fragilidade do meio à invasão, é a continuidade mais natural da invasividade, ou capacidade invasora das espécies, considerando a integração da espécie à totalidade do meio, de forma a torná-la parte de um processo maior (Figura 7).

**Figura 7 - O mapa teórico-conceitual da Ecologia da Invasão**



Fonte: Organizado pelos autores (2021).



A espécie exótica invasora pode alcançar a estabilidade/equilíbrio no novo ambiente (**etapa 1. transporte/introdução; etapa 2. estabelecimento/colonização; etapa 3. expansão; etapa 4. equilíbrio/naturalização**) (Figura 7), promovendo o aumento do desequilíbrio do ambiente invadido e no seu entorno, combinado com o desequilíbrio nas características da biodiversidade e do clima locais, consumindo grande quantidade de recursos não compatíveis com a susceptibilidade dos territórios.

Os territórios, sob o enfoque da Ciência da Invasão, devem ser entendidos como “o espaço invadido demarcado, mediadores das relações entre a espécie exótica e o ambiente” (LOCKWOOD *et. al.*, 2007), criando mosaicos que contribuem negativamente para o equilíbrio ambiental das áreas externas e das áreas internas dos núcleos invadidos, no contexto de uma fase inicial lenta de estabelecimento dos indivíduos, seguida de uma fase exponencial, do que pode resultar no sucesso ou insucesso da invasão, tornando as espécies invasoras ou não.

O modelo teórico (Figura 7) agrupa em quatro grandes categorias os elementos a serem analisados no estudo das invasões: as etapas (1. introduzindo-se; 2. estabelecendo-se; 3. tornando-se uma peste), os graus de risco (1. introduzida/importada; 2. estabelecida; 3. transformadora), o potencial invasor (1. alto; 2. médio; 3. baixo), as fases de estabelecimento (1. lenta; 2. exponencial). No modelo são destacadas as principais características de cada uma das categorias que devem ser consideradas na análise da invasão, sublinhando o número de propágulos invasores e a frequência com que são introduzidos (a pressão de propágulos é reconhecidamente um importante mecanismo para o sucesso das invasões) (Figura 7).

Foram propostas quatro categorias para o tratamento da invasão biológica, segundo combinação do número de vezes e locais em que a espécie é introduzida e de indivíduos/propágulos em cada introdução:

1. o estado subespontâneo
2. o estado estabelecido

3. o estado invasor
4. o estado transformador

Como explicam McNelly *et al.* (2001), o estado *subespontâneo* corresponde a primeira etapa, onde o estabelecimento e a reprodução dos indivíduos acontecem sem intervenção humana, mas a persistência destes dependerá da proximidade de zonas antropizadas (=adventícias; =subespontâneas; =casuais); o estado *estabelecido* corresponde a segunda etapa, onde os indivíduos são capazes de formar populações autônomas no local da introdução (=naturalizadas; =estabelecidas); o estado *invasor* corresponde a terceira etapa, onde as espécies naturalizadas rapidamente se expandem para longe do foco da introdução, com populações estáveis e numerosos indivíduos (=invasoras); o estado *transformador* corresponde a quarta etapa, onde as espécies são capazes de alterar os ecossistemas, com danos em infraestruturas, no desaparecimento de nativas, na troca do ciclo de nutrientes, transmissão de doenças (=transformadoras; =pragas).

Segundo Williamson (1996), apenas uma pequena proporção (cerca de 10%) das espécies introduzidas se naturalizam, e destas, outra pequena proporção (cerca de 10%) tornam-se invasoras. O autor agrupa em 4 etapas a sequência na qual está inserido o processo da invasão:

1. introdução (movimentação de espécies potencialmente invasoras pelo homem para outro ecossistema onde não são encontradas)
2. estabelecimento (processo em que uma espécie produz com êxito indivíduos viáveis conforme a sua probabilidade de sobrevivência)
3. expansão (disseminação das espécies exóticas no novo ambiente)
4. contaminação biológica (quando o estabelecimento de espécies exóticas causa mudanças no funcionamento dos ecossistemas das quais estes não conseguem se recuperar naturalmente)

O modelo acima refere-se à 'capacidade invasora' ou 'invasividade' aos traços biológicos que potencializam o sucesso do estabelecimento e expansão das espécies exóticas, e 'susceptibilidade à invasão' ou

'invasibilidade' quanto aos aspectos que caracterizam a fragilidade do meio a receptividade de espécies exóticas, na dependência dos caracteres abióticos (WILLIAMSON, 1996).

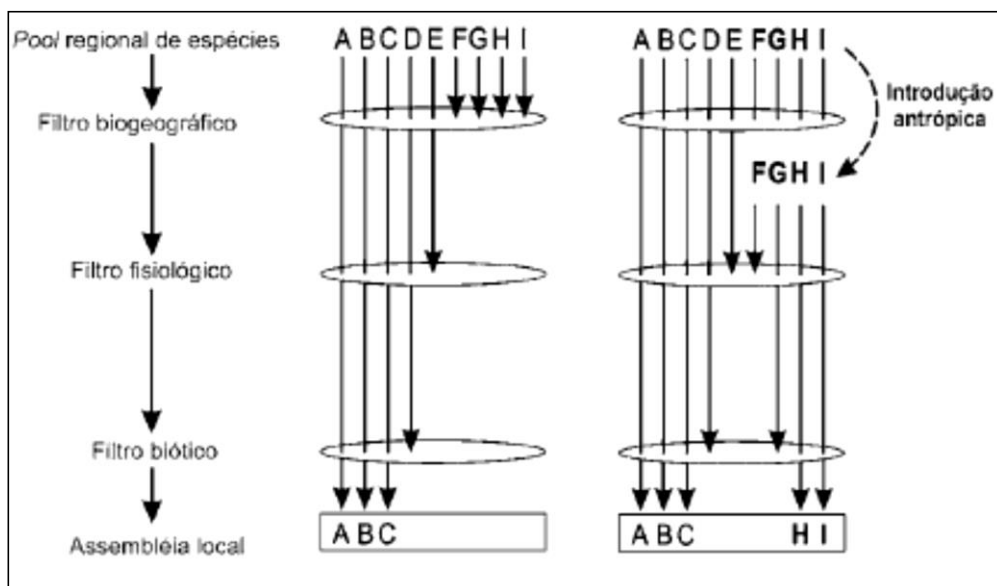
A base teórico-conceitual do referido modelo teórico baseia-se no princípio da tolerância das espécies aos filtros dos ecossistemas, onde são distinguidas duas formas de distribuição geográfica dos seres vivos: a *distribuição em tipos particulares de ecossistemas por espécies tolerantes aos filtros (=espécie nativa; =autóctone; =indígena)*; e a *distribuição procedente de outras áreas geográficas, a partir da introdução humana (=espécie introduzida; =exótica; =alóctone; =não nativa; =importada)*. O sucesso ou o insucesso da invasão biológica depende tanto dos caracteres biológicos das espécies (que determinam a invasividade ou potencial invasor), assim como dos fatores ambientais (que determinam a invasibilidade ou susceptibilidade do meio) (WILLIAMSON, 1996).

Este estado de transição, entre o êxito e o insucesso da invasão, dependerá de fatores como: (i) mecanismos de dispersão das espécies, (ii) distância do epicentro da introdução, (iii) barreiras geográficas, (iv) homogeneidade da estrutura espacial do recurso disponível, (v) e perturbações, do que podem resultar impactos (Figura 8). Assim, a invasão biológica é resultado da hierarquia iniciada pelo fator geográfico como filtro biogeográfico, seguida do fator ecológico como filtro fisiológico, do fator 'caracteres da espécie' como filtro biótico, e do fator 'introdução antrópica'.

No que tange a invasibilidade e a invasividade, a adaptabilidade ao novo ambiente e sua capacidade de suporte continua sendo um paradigma dentro do campo da Ciência da Invasão. Esse fato se reflete tanto para aqueles que defendem a invasão como um processo dependente das condições de suporte em termos de estrutura espacial do recurso disponível dos territórios, acarretando na ocupação do espaço natural e danos ambientais, como também para aqueles que defendem o processo como dependente das condições bióticas e da componente biológica das

espécies exóticas, acarretando na competição entre as comunidades e no consumo dos seus recursos.

**Figura 8 - Fluxos estruturadores das invasões**



Fonte: Espínola *et al.* (2007).

A avaliação da invasividade necessita de conhecimento sobre a conjuntura biológica, bem como sobre as principais alterações ambientais que a espécie possa causar, e como estão relacionadas à severidade da invasão. Para se estimar a invasibilidade, o conhecimento sobre o meio e sua capacidade de suporte são essenciais. Fridley (2011) admite que comunidades cujas populações são mantidas em ambiente abaixo de sua capacidade de suporte seriam mais susceptíveis a invasões. Atributos ambientais (clima, solo, uso do solo, e outros) são essenciais em estimativas de riscos de invasão.

O modelo teórico da invasão biológica está baseado em investigações no âmbito de introduções que tiveram sucesso, e por isso a invasão está determinada pelo grau de susceptibilidade/fragilidade de uma região, que pode ser entendido como resultado do conjunto das condições ambientais necessárias para a manutenção de populações invasoras, conjugando desde

dados dos padrões de distribuição das espécies exóticas, às condições hidrobiológicas e o contexto socioambiental dos territórios (Oliveira-Costa, 2014).

Foi proposta uma regra geral das condições para ser considerado o sucesso da invasão biológica (WILLIAMSON, 1996):

1. na fase lenta, ou de dispersão pontual (menos de 50 anos da introdução), a espécie deve estar estabelecida a, pelo menos, 100 metros do foco de entrada (WILLIAMSON, 1996)
2. na fase exponencial, ou de dispersão difusa (mais de 50 anos da introdução), a espécie deve estabelecer-se a mais de 100 metros do foco de entrada (regra proposta nomeadamente para espécies com reprodução por semente); para o caso de espécies com reprodução por rizomas ou estolões, estas devem estabelecer-se a mais de 6 metros, em até três anos após a introdução (WILLIAMSON, 1996)

Por basear-se em invasões que tiveram sucesso, o modelo impede o entendimento de muitos fatores que controlam a invasão. Entretanto, este modelo tem feito emergir, pelo menos, seis certezas no âmbito dos estudos em invasões biológicas (WILLIAMSON, 1996):

1. o sucesso da invasão biológica está de perto correlacionado com o surgimento de estímulos e o habitat disponível, no âmbito de aspectos relacionados à espécie invasora (a pressão de propágulos, por exemplo) e a estrutura do território (no âmbito do potencial ecológico e ação antrópica)
2. em geral, apenas 10% das espécies introduzidas se naturalizam, e destas, apenas 10% tornam-se invasoras (Regra dos 10%)
3. a invasão caracteriza-se como um processo de rápida expansão e estabelecimento de populações autônomas e numerosas, com impactos significativos

4. a Regra dos 10% caracteriza a invasão como um fenômeno ecológico progressivo, e não unidirecional/linear, na dependência dos caracteres da espécie e fatores ambientais
5. não há uma proporção constante de espécies que passem de um grau/estágio do processo da invasão para o outro
6. a percentagem aproximada de espécies exóticas que se tornam invasoras é de 0,1%, já que, segundo a Tens Rule (Regra dos 10%), 10% das espécies exóticas passam a exóticas casuais, 10% das espécies exóticas casuais se naturalizam, 10% das naturalizadas se tornam invasoras, e 10% das espécies invasoras tornam-se espécies transformadoras.

## **O PROCESSO DE INVASÃO BIOLÓGICA E ALGUNS ESTUDOS ENFOCANDO O TEMA EM PORTUGAL E NO BRASIL: IMPORTÂNCIA DOS OBJETOS DE ESTUDO DA PESQUISA**

### **Conservação da natureza e invasão biológica em Portugal e no Brasil**

Ao elaborar um amplo panorama da realidade nacional, de acordo com Figueiredo, Leal e Meireles (2010), a Agenda 2020 Portuguesa (Portugal 2020), apontou como os principais estímulos e desafios para um maior desenvolvimento econômico, social e territorial português:

1. a produção de bens e serviços
2. a educação (com ações, sobretudo, no âmbito do cumprimento da escolaridade obrigatória e redução dos níveis de abandono escolar)
3. a promoção do desenvolvimento sustentável (com foco sobretudo quanto a eficiência no uso dos recursos naturais)
4. o acesso à terra (no âmbito do reforço da coesão territorial)

Os problemas sublinhados tendem a se agravar em Portugal, sobretudo em decorrência da diminuição da população portuguesa (cerca de 10 milhões de habitantes, de acordo com dados do Instituto Nacional de



Estatística – INE, de 2017), e com a crescente demanda de infraestruturas. Sobre as propostas no âmbito da construção da sustentabilidade e eficiência dos recursos do território português, a Agenda 2020 Portuguesa apresenta, sob um acordo de parceria com a Comissão Europeia EU (ESTRATÉGIA EUROPA, 2020), na forma de princípios de programação para 2014-2020, três focos principais:

1. **as emissões de carbono** (buscando a transição para uma economia com baixa emissões de carbono em todos os setores, e maior qualidade ambiental)
2. **as alterações climáticas** (promovendo a adaptação às alterações climáticas e à gestão e prevenção de riscos)
3. **a proteção do ambiente** (com o objetivo de proteger o ambiente e promover a eficiência na utilização dos recursos)

Com vistas a alcançar com plenitude todos estes objetivos, o território de Portugal foi classificado em 7 regiões, segundo a relação entre o PIB per capita e a média do PIB da EU:

1. regiões menos desenvolvidas/ <75% PIB (Norte, Centro, Alentejo, Açores)
2. regiões em transição/ 75-90% PIB (Algarve)
3. regiões mais desenvolvidas/ >90% PIB (Lisboa e Madeira)

Os conceitos de proteção do ambiente e conservação da natureza constituem num novo modelo de referência no desenvolvimento das atividades humanas. São dois dos principais conceitos adotados pela rede ecológica para proteção do espaço comunitário da União Europeia (Natura 2000/European Commission) – principal instrumento para a conservação da natureza na Comunidade Europeia – assim como pelo princípio da “sustentabilidade e eficiência dos recursos” do Projeto Portugal 2020, que consideram que a proteção do ambiente e a conservação da natureza tem por finalidade:

1. manter a qualidade geral de vida
2. assegurar o acesso contínuo aos recursos naturais
3. evitar os danos contínuos ao meio ambiente
4. promover a eficiência na utilização dos recursos
5. assegurar a conservação a longo prazo das espécies e dos habitats mais ameaçados
6. parar a perda da biodiversidade

Entre os principais componentes envolvidos na construção dessas finalidades estão: *(a) os resíduos urbanos; (b) os recursos hídricos e o uso do solo (gestão de bacias hidrográficas); (c) as águas residuais (ciclo urbano da água); (d) biodiversidade e ecossistemas.*

A gestão dos valores naturais protegidos e da biodiversidade, o conhecimento e a monitorização da biodiversidade, a promoção da proteção e do ordenamento dos recursos geológicos e das águas minerais, a recuperação de passivos ambientais, e o comprometimento com a qualidade dos mesmos, são alguns dos focos da proposta no âmbito da biodiversidade e dos ecossistemas europeus, e que, de acordo com os conceitos de proteção do ambiente e conservação da natureza adotados pela Rede Natura 2000 e pela Agenda Portugal 2020, e constante na convenção da Rede Nacional de Áreas Protegidas de Portugal (RNAP), podem ser estudados na perspectiva das invasões biológicas, um problema sério e que agrava a qualidade dos ambientes de todos os atuais 28 estados membros da União Europeia.

A área monitorada pela Rede Natura 2000 é de 18% do território europeu, espaço para conservação da natureza. O projeto Natura 2000, que utiliza formas sustentáveis de condicionamento ambiental, classifica o território protegido em *Sítios de Importância Comunitária (SIC)*, dividindo-os em *Zonas de Proteção Especial (ZPE)* e *Zonas Especiais de Conservação (ZEC)*, que contribuem para melhorar o uso racional dos recursos, reduzindo os prejuízos ao ambiente. Conforme dados da RNAP, a área para conservação em

Portugal é de aproximadamente 2.000.000ha, cerca de 22% do território, onde a RNAP monitora 681.220ha, área composta de 60 SIC's e 40 ZPE's, e superfície de 1,9 milhões de ha.

A invasão biológica em Portugal é estimada em 670 espécies exóticas (18% do total das espécies do território português, 15% são consideradas invasoras), pela legislação portuguesa que reconhece o problema através de decretos-lei, de acordo com os dados do grupo especialista em invasão biológica do Centro de Ecologia Funcional da Universidade de Coimbra – CEF/UC (ALMEIDA, 1999; ALMEIDA; FREITAS, 2012; MARCHANTE, 2011; MARCHANTE *et. al.*, 2014).

Este cálculo tem como base o número de espécies consideradas naturalizadas em Portugal, distinguindo-as relativamente quanto ao meio em que prosperam, sua utilização, seu local de origem, datas e razões de introdução, diversidade taxonômica e habitats onde ocorrem, o que demonstra a necessidade da política ambiental vigente que atende principalmente à questões como a proibição na introdução de novas espécies, e a detecção, a criação, o cultivo e a comercialização das espécies consideradas invasoras e/ou de risco ecológico.

Até 1980, o Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA) era o principal agente gerenciador das políticas sobre invasão biológica em Portugal. Com a sua extinção, a quantidade de espécies invasoras aumentou significativamente, e as análises e políticas passaram a ser descentralizadas e foram significativamente modificadas.

No território brasileiro, as ações governamentais, a legislação pertinente e o setor privado não têm levado em consideração os danos resultantes das invasões biológicas no país, processo que pode tornar-se irreversível com custos aos recursos naturais disponíveis e nem sempre renováveis. De acordo com trabalho realizado por Zenni e Ziller (2011), à luz das iniciativas em invasão biológica no Brasil nos últimos anos, as plantas invasoras no Brasil são estimadas em 117 espécies.

Assim como em Portugal, este cálculo tem como base o número de espécies consideradas naturalizadas, distinguindo-as relativamente quanto ao meio em que prosperam, sua utilização, seu local de origem, datas e razões de introdução, diversidade taxonômica e habitats onde ocorrem. Ainda, como em Portugal, a política ambiental nesse âmbito atende principalmente questões como a proibição na introdução de novas espécies, e a detecção, a criação, o cultivo e a comercialização das espécies consideradas invasoras e/ou de risco ecológico, conforme dados do Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, em cooperação com a I3N Inter-American Biodiversity Information Network (I3N-Brazil, 2010). No Brasil, os municípios tornaram-se responsáveis pela implantação de programas locais voltados para o combate à invasão de espécies exóticas, e na década de 1990 foram os responsáveis pela maior parte das normativas dirigidas ao combate deste problema.

No âmbito nacional do Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) são, atualmente, os gerenciadores das políticas em invasão biológica do país, seja através de parcerias com os municípios ou de deliberações próprias. A Presidência da República, a partir de 2002, redirecionou os investimentos no âmbito da conservação da natureza do Brasil, através da regulamentação da Política Nacional de Biodiversidade, e do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). A partir disso, medidas foram tomadas para o aumento dos recursos destinados às invasões, deliberadas por órgãos como a Comissão Nacional da Biodiversidade (CONABIO), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Abrangidas pela iniciativa governamental ou privada, as invasões biológicas e as espécies invasoras, hoje em dia, constituem parte dos problemas ambientais cotidianos, dado o espaço que ocupam e os distúrbios

que ocasionam. A qualidade ambiental dos territórios invadidos pode ter repercussão nos núcleos onde se localiza o epicentro das invasões, e até na região como um todo. Por isso os trabalhos em invasão biológica têm focado essencialmente em fomentar ações que levem à relação equilibrada das espécies exóticas com o ambiente, objetivando a sustentabilidade do processo de desenvolvimento das invasões, incentivando estratégias sustentáveis de manejo dos territórios.

### **Conhecendo Espécies Exóticas Invasoras (EEI): a natureza da problemática das invasões por *Acacia***

A presente pesquisa é dirigida a um importante grupo de espécies de plantas exóticas, o gênero *Acacia* Mill., consideradas de médio e alto potencial invasor, que em geral não necessitam de intervencionismos do homem para adquirir sua naturalização, e que dispõem de recursos para adaptabilidade ao novo ambiente, tendo que conviver com situações de perturbação/degradação na grande maioria das vezes, devido ao comportamento ecologicamente negativo às condições da região.

A invasão biológica para esse grupo de espécies é considerada, sob certos critérios, como sendo um caso de "imperialismo ecológico". Richardson *et. al.* (2011) discute o conceito de imperialismo ecológico, que pode ser considerado como tal em função:

1. do movimento intercontinental que ocorreu na era colonial entre o Novo Mundo e o Velho Mundo, com grupos australianos (gêneros *Acacia* Mill., *Pinus* L., *Eucalyptus* L'Hér) representando um caso especial de "imperialismo ecológico" (Richardson *et. al.*, 2011)
2. em função da exportação de Acácias Australianas para outras partes do mundo após a chegada dos colonizadores europeus à Austrália em 1788 (na Europa, por exemplo, muitas espécies de Acácias Australianas tiveram desenvolvimento e naturalização na primeira metade do século XIX) (RICHARDSON *et. al.*, 2011)

3. após disseminação pelo mundo, acresce a adaptabilidade dessas espécies às condições abióticas dos ambientes, sendo, no caso das Acácias, classificadas em 4 grupos (Richardson *et. al.*, 2011):

Acácias dos climas frios

*Acacia melanoxylon*

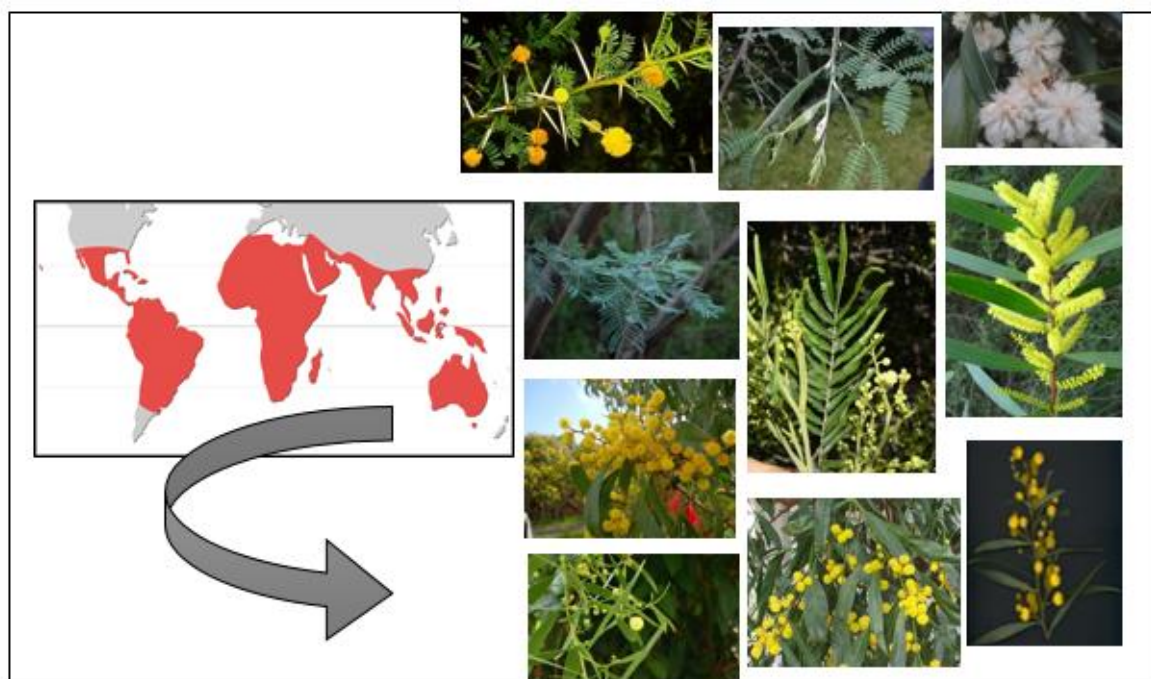
Acácia tropical

Acácia das zonas áridas

4. a constituição original das espécies, privilegiando as espécies que possuem características biológicas mais eficientes, como no caso da (i) *associação simbiótica bactéria* no sistema radicular com *rhizobia*, presente em inúmeras leguminosas, que auxilia na fixação de Azoto pela espécie, além de inúmeras outras adaptações ligadas a (ii) *resistência ao fogo*, (iii) *utilização de animais* nos processos de dispersão de sementes, e a (iv) *polinização particular* das Acácias, chamada de Síndrome de Polinização, com alocação de pouca energia para o néctar floral o que maximiza a reprodução de pólenes e o banco de sementes após a polinização.

Existem várias iniciativas internacionais que envolvem todos as fases dos processos da invasão biológica por Acácias Australianas, com o objetivo de implantação de um *modelo global de gestão da invasão de Acacia*, em países invadidos por *Acacia*, que possui diversas finalidades, de acordo com o trabalho de Richardson *et. al.* (2011).

**Figura 9 - Distribuição global de Acacia.**



Fonte: World Wide Wattle Project (2021)

A determinação de um modelo global com vistas a promoção de programas de gestão dos ambientes invadidos por Acácias Australianas busca a melhoria da qualidade e produtividade de ambientes adequados às suas espécies. Entre os autores dessas iniciativas, no *Domínio Extra-Australiano*, é destaque o Centre of Excellence for Invasion Biology, CIB, desde 2004, com financiamento e coordenação do Department of Science and Technology Centres of Excellence Programme of the University of Stellenbosh (DST-NRF), além da participação de outras instituições da África do Sul como a University of KwaZulu-Natal, University of Cape Town, e University of Pretoria; no *Domínio Australiano*, é destaque o Projeto WorldWideWattle, banco de dados global do gênero Acacia da Austrália – WATTLE, iniciativa com financiamento do Government of Western Australia, com coordenação do Western Australian Herbarium (Department of Biodiversity, Conservation and Attractions). A presente pesquisa que realizamos se insere nesta preocupação e visa



contribuir para a melhoria da qualidade dos espaços invadidos por espécies de Acácias Australianas.

Em relação a importância do modelo global da *Acacia* para a Ciência da Invasão, entre outros aspectos, é estabelecido que as espécies devam atender às exigências do modelo teórico de translocação de espécies exóticas, considerando as taxas de plantação fora da distribuição nativa e o grau de destaque na representação em listas globais de espécies exóticas invasoras e investimentos na investigação dos seus processos de invasão.

O género *Acacia* Mill., com origem da descrição taxonômica de 1754 por Philip Miller, representa satisfatoriamente este modelo. O modelo global em questão, de *Acacia*, determina como critério de avaliação, as oportunidades e os fatores que influenciam a longa história de transferência de Acácias Australianas pelo mundo. Durante séculos as Acácias tem sido plantadas fora de sua região natural, onde várias espécies do gênero tem assumido comportamento diferente quando espécies exóticas, mesmo sob condições similares.

Hoje, diversas paisagens ao redor do mundo estão dominadas por plantações de *Acacia*. Algumas estão entre as maiores dispersoras e infestantes destes territórios, outras são somente espécies não nativas, e há aquelas que não se sabe se são espécies invasoras. A percepção humana sobre as Acácias difere entre as regiões do mundo, o que implica em diferentes formas de manejo e gestão, conforme as legislações, políticas ambientais, fatores culturais e sociopolíticos.

As diretrizes desse modelo podem ser mais detalhadas, adequando-se aos aspectos regionais e locais, abordando elementos como por exemplo: (i) as vias com que as espécies foram introduzidas; (ii) as características dos ecossistemas segundo o valor dos sistemas naturais (energia, climatologia); (iii) como tem sido as trocas nesses sistemas nos últimos tempos sob diferentes circunstâncias; (iv) porque as espécies têm mostrado diferentes graus de invasividade; (v) porque certos ecossistemas são mais susceptíveis à invasão;

(vi) a função das Acácias no ecossistema receptor e a sua capacidade de alterar os serviços dos ecossistemas; (vii) os fatores que influenciam na evolução da resposta do ambiente em diferentes regiões do mundo. O gênero *Acacia* e todos esses aspectos proporcionam uma múltipla dimensão na construção de um modelo global da translocação/introdução de espécies exóticas.

O gênero *Acacia* Mill. possui como área de distribuição original a Austrália com 1012 espécies, sendo 71 espécies consideradas naturalizadas e outras 23 espécies já identificadas como invasoras, em região geográfica classificada como o **Domínio Australiano das Acácias** (RICHARDSON *et al.*, 2011).

Há ocorrência de espécies nativas na América (185 espécies), na África (144 espécies), e na Ásia (89 espécies), com destaque para 10 espécies de *Acacia* exclusivas da região do Indo-Pacífico, territórios categorizados como o **Domínio Extra-Australiano das Acácias**, junto com a Europa, onde não há presença de espécies nativas de *Acacia*.

As espécies de *Acacia* vem sendo translocadas da Austrália no decorrer dos últimos 250 anos, com um total de aproximadamente 366 espécies transportadas para fora da Austrália. Na Austrália, as Acácias ocupam o território de leste a oeste, onde adquirem importante característica evolucionária dada as diferentes condições climáticas e edáficas no país de origem, assimilando-se às condições de regiões como o Mediterrâneo, que tem sido invadido por aproximadamente 50 espécies de Acácias Australianas (RICHARDSON *et al.*, 2011). Como o mais característico atributo biológico das Acácias, destaque para a presença de filódios sempreverdes (esclemórficos com variados mecanismos xeromórficos), de diferentes tamanhos e nervuras.

De acordo com o Centre of Excellence for Invasion Biology – CIB (RICHARDSON *et al.*, 2011), podemos estabelecer alguns dos critérios gerais do modelo da invasão por *Acacia* a serem pesquisados neste trabalho, dada a

importância das Acácias Australianas no desenvolvimento de um modelo global em invasão biológica:

- a) Alto número de espécies transportadas, sendo o terceiro taxa mais disseminado para fora da região original, com 23 espécies confirmadas invasoras, e muitas outras naturalizadas;
- b) Taxonomia e filogenia já identificadas e documentadas, permitindo associar o potencial invasor das espécies ao significado filogenético; inúmeras espécies exóticas vêm dos maiores clades do gênero *Acacia*;
- c) Ocorrência na maioria das regiões biogeográficas do subcontinente Australiano, numa dinâmica espacial regional que beneficia a adaptabilidade das espécies em diversas partes do mundo;
- d) Conhecimento prévio do alcance original da distribuição das espécies nativas na Austrália, com disponibilidade dos dados locais em databases, facilitando análises macroecológicas e biogeográficas, e a modelação das informações sobre a distribuição das espécies;
- e) Altos níveis de divergências e variações intraespecíficas (diversidades genética e filogenética, por exemplo), apresentadas pelas populações de Acácias Australianas no Domínio Extra-Australiano;
- f) Variação nas formas de uso e ocupação do solo em diferentes partes do mundo, motivando seleções naturais para vários traços das espécies (crescimento, robustez, tolerância ambiental);
- g) Utilização para propósitos diversos no Domínio Extra-Australiano, o que beneficia o entendimento dos motivos da introdução das Acácias e seu papel na troca de cultura e outros elementos dos sistemas regionais;
- h) Vasta documentação já publicada sobre as razões e demais aspectos no âmbito da introdução de *Acacia* pelo mundo; este grupo foi transportado a partir da Austrália, sobretudo por razões comerciais, para diferentes partes do mundo, sendo hoje um componente importante da maior parte dos diferentes ecossistemas do planeta;

- i) Vasta literatura já existente sobre a biologia das espécies de Acácias Australianas indígenas (nativas) e não indígenas (exóticas), facilitando a comparação intraespecífica entre muitas regiões do mundo;
- j) O estudo da introdução de Acácias Australianas pelo mundo permite muitas oportunidades, ao explorar, por exemplo, a interação entre os níveis tróficos e fluxos gênicos que contribuem no sucesso das invasões biológicas, mediante suas influências à biota nativa, e os efeitos da viabilidade e qualidade das espécies de importância comercial;
- l) A longa história de manejo de *Acacia* em alguns países, relativamente à recente iniciação de manejo em outros, cria uma oportunidade ideal para construções generalizadas da melhor prática de gestão, manejo e controle das introduções e invasões do gênero *Acacia* no mundo.

No tocante ao contexto regional, Portugal e Brasil, considerando a temática das invasões por *Acacia*, o Invasive Species Specialist Group (ISSG) e o Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI), o World Wide Wattle Project (WATTLE), o Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE), a I3N Inter-American Biodiversity Information Network (I3N-Brazil), indicam as espécies *Acacia melanoxylon*, *Acacia dealbata* e *Acacia longifolia*, como as Acácias Australianas mais difundidas, com expressivo potencial de invasividade.

A espécie focal da presente pesquisa, *Acacia longifolia* (Andrews) Willd., também conhecida como golden wattle (Estados Unidos), acácia-de-espigas (Portugal) e acácia marítima (Brasil) (Figura 10), é um arbusto ou pequena árvore de até 8 metros, pertencente à família Fabaceae e de origem australiana, cuja presença na Europa e na América parece dever-se a seu uso como fixadora de dunas litorais.

Dentre as diversas características das invasões por *A. longifolia*, destaque para a rápida proliferação dessa espécie em ecossistemas costeiros, que pode chegar a cobrir extensas superfícies, com formação de densos tapetes, sobre as dunas litorais, limitando a chegada de luz, impedindo

o intercâmbio gasoso entre o ar e o solo, aumentando os níveis de nitrogênio. Outras características da invasão por *Acacia longifolia* são a elevada capacidade de reprodução e dispersão, além do rápido crescimento (MARCHANTE, 2007; MARCHANTE *et. al.*, 2014).

Esses efeitos lhe conferem a capacidade de alterar a composição e a microbiologia do solo, e impedir o desenvolvimento da vegetação da restinga, provocando uma diminuição da diversidade vegetal. Além disso, é uma espécie com reprodução seminal, geradora de banco de sementes viável por até 10 anos (MARCHANTE, 2007; MARCHANTE *et. al.*, 2008; OLIVEIRA-COSTA *et. al.*, 2015; OLIVEIRA-COSTA; PIVELLO, 2017).

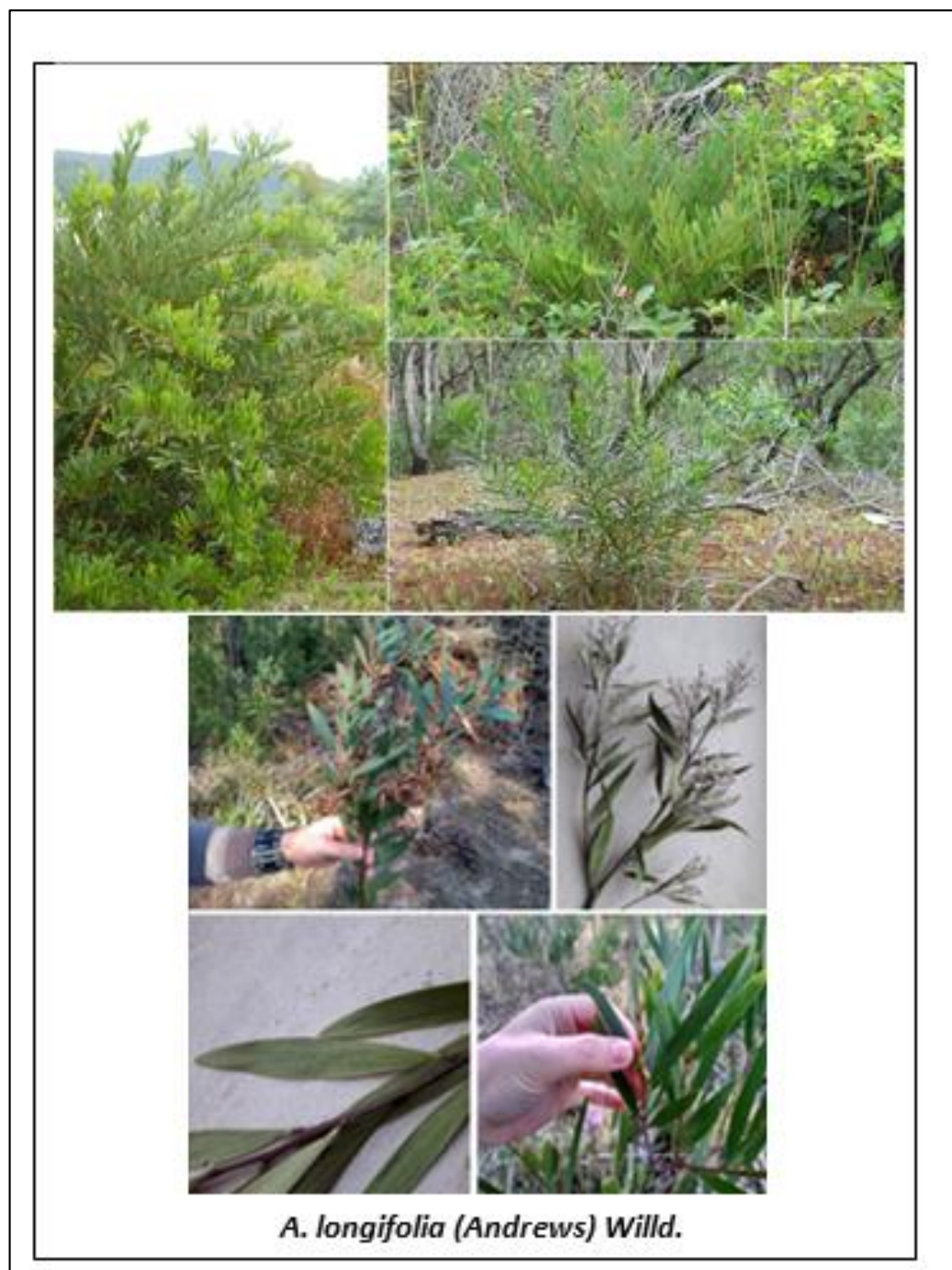
No âmbito das técnicas de controle, têm sido testados, com sucesso, métodos físicos (manual e mecânico) e métodos químicos (herbicidas, como o glifosato), em países como África do Sul, Portugal e Austrália. A introdução de um agente para controle biológico é recente (vespa africana *Trichilogaster acaciaelongifoliae*), onde esse tipo de controle parece ter sucesso na África do Sul e em Portugal.

### **Considerações a respeito das zonas costeiras: as áreas de estudo**

No tocante a estudos regionais, considerando a temática das invasões por *Acacia longifolia*, Marchante (2011), Oliveira-Costa e Pivello (2017), e a I3N Iter-American Biodiversity Information Network (I3N-Brazil) indicam a Região Sul do Brasil e a Região Centro de Portugal como núcleos de invasão biológica dessa espécie, com expressivo grau de invasibilidade e invasividade, e, considerando o *Índice de Invasão* proposto no modelo teórico da invasão (ponto 1.3), constata-se que as regiões em questão se enquadram como áreas suscetíveis à invasão por *A. longifolia*, posto que a espécie apresenta nestas regiões valores de dispersão que ultrapassam espacialmente 100 metros a partir do epicentro da infestação, superando assim o escopo proposto no modelo teórico (ponto 1.3), que utiliza os valores de dispersão das

espécies lenhosas de pelo menos 100 metros do foco de entrada para a identificação das áreas suscetíveis à sua invasão biológica.

**Figura 10 - A espécie Australiana *Acacia longifolia* (Andrews) Willd**



Fonte: arquivo pessoal (2021)



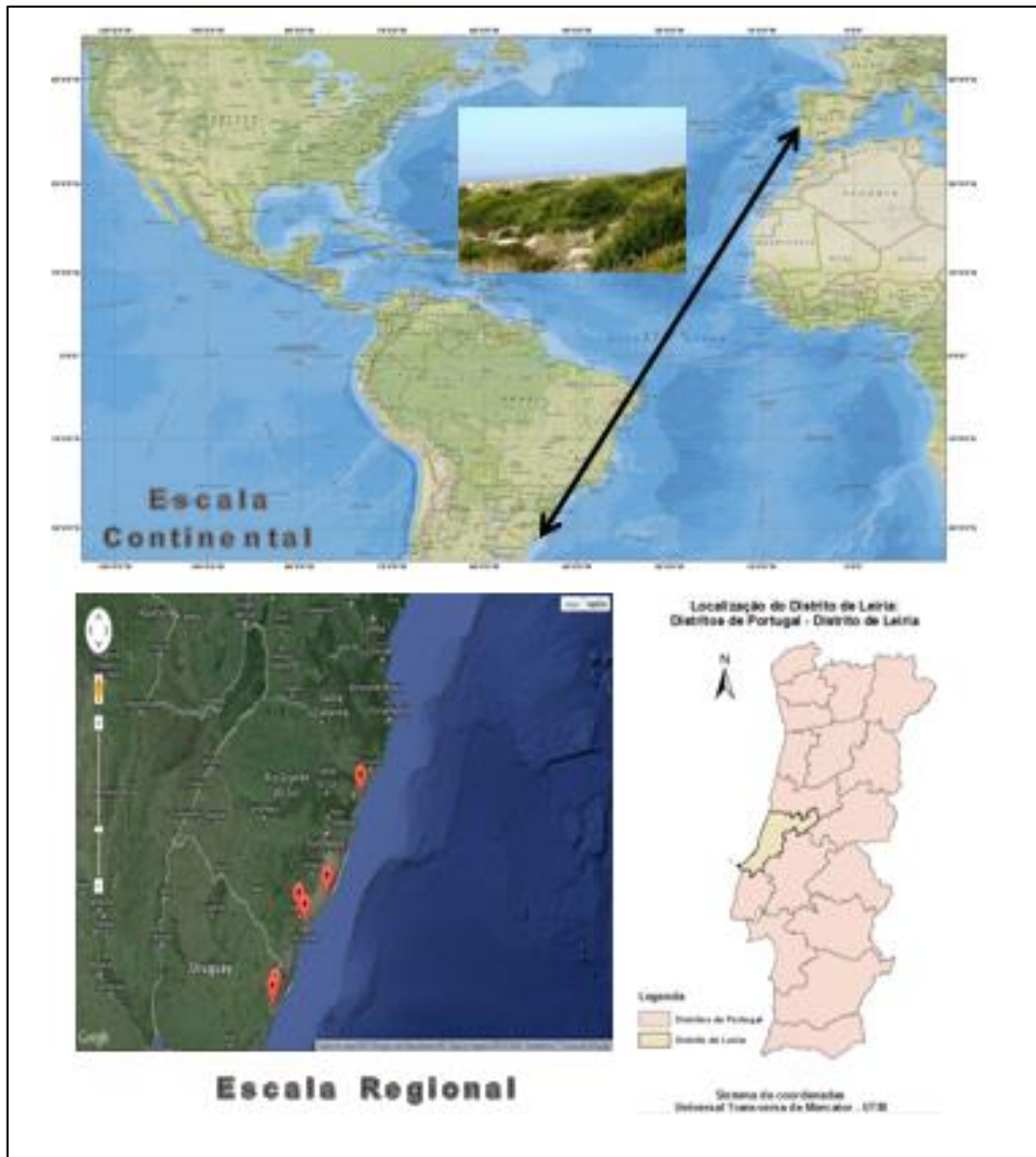
Pautado nessa constatação e nos resultados de Marchante (2011) e Oliveira-Costa e Pivello (2017), que indicam do ponto de vista ecológico (condições do solo, fixação de N<sub>2</sub>) que as áreas dunares portuguesas e brasileiras são suscetíveis à invasão por *Acacia* (com diferentes graus de invasibilidade), optou-se pelo estudo dos núcleos de invasão por *A. longifolia* da **Região Centro de Portugal** e da **Região Sul do Brasil**, objetivando uma avaliação cuidadosa da relação entre o risco físico e biológico da invasão da espécie, que denotam a invasibilidade e a invasividade efetivas, considerando uma análise multitemporal.

As regiões climáticas a serem analisadas nesta pesquisa são classificadas de acordo com Köppen como mesotérmicas e úmidas (*Csa/Cfb*), com estação seca indefinida e chuvas de inverno, correspondendo ao clima *temperado mediterrânico* e *subtropical temperado*, respectivamente, localizando-se nas faixas climáticas de médias latitudes. Estas abrangem todo o território português, parte do Brasil central e toda sua porção sul. Médias latitudes são marcadas pelo clima temperado, com as quatro estações bem definidas, sob influência de massas de ar quente provenientes das regiões tropicais, assim como das correntes de ar frio advindas dos polos. As temperaturas médias anuais são menores que 18°C, a precipitação, superior a 30mm de chuva. Como referências hídrico-climáticas nestas regiões, escolhemos os sistemas litorais do **Distrito de Leiria**, na Região Centro de Portugal, e do **Estado do Rio Grande do Sul**, na Região Sul do Brasil (Figura 11).

Leiria, a capital do Distrito de Leiria, situa-se a 39°46' de latitude norte e 53° de longitude oeste, inserida na Região Centro de Portugal e Sub-região de Leiria; Porto Alegre, a capital do Estado do Rio Grande do Sul, situa-se a 30°01' de latitude sul e 51°13' de longitude oeste, dentro da Mesorregião da Grande Porto Alegre, Microrregião de Porto Alegre.



**Figura 11 - Áreas de estudo: Leiria e Rio Grande do Sul**



Fonte: Organizado pelos autores (2021).

O clima das regiões caracteriza-se por ter influência oceânica, estações do ano bem caracterizadas, verão e inverno bem definidos, sendo o inverno mais marcado em Leiria. Durante o primeiro semestre, em Leiria, o clima é frio e úmido, com a média das temperaturas entre 15° e 7°C, podendo as mínimas baixarem aos 0°C. Elevadas precipitações ocorrem neste período, nos meses de abril a junho. No segundo semestre, são registradas as temperaturas altas,

o clima é quente e úmido, com temperaturas médias entre 25 e 12°C, com chuvas de outono.

Em Porto Alegre, no primeiro semestre, o clima é quente e úmido, com a média das temperaturas entre 25° e 17°C. As elevadas precipitações são concentradas nesse período, nos meses de janeiro a março. No segundo semestre, são registradas as temperaturas mais baixas, com temperaturas médias entre 17° e 12°C.

O presente estudo contempla os sistemas costeiros de Leiria, na Região Centro de Portugal, e de Porto Alegre, na Região Sul do Brasil. Para efeito do enquadramento das áreas de análise, estas duas regiões são eleitas como áreas amostra em Portugal e no Brasil. Outras porções das regiões Centro de Portugal e Sul do Brasil também tem sido avaliadas, sobretudo para efeito da validação dos dados e outros testes de confirmação das variáveis analisadas.

A porção sul dos sistemas costeiros da Região Centro de Portugal é caracterizada por formações sedimentares, solos arenosos, com costões, contrafortes rochosos, e falésias, entretanto é na sua porção norte, local escolhido para efeito da presente investigação, de solos mais compactos, onde encontram-se sistemas costeiros significativamente mais invadidos/perturbados por *A. longifolia*.

No Brasil a *A. longifolia* está presente em todos os estados da Região Sul: Paraná (Curitiba), Santa Catarina (Florianópolis/Ponta das Aranhas/Parque Estadual do Rio Vermelho/Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição; Itapema/Restinga; Laguna; Ararnaguá), e no Rio Grande do Sul (Pelotas/Estrada para Praia do Laranjal/Loteamento das Acácias/Vila Assunção II; Santa Vitória do Palmar/Hermenegildo/Barra do Chuí; Chuí; Rio Grande/Praia do Cassino; Mostardas/Parque Nacional da Lagoa do Peixe; Torres/Restinga; Tramandaí/Horto Florestal do Litoral Norte/SEMA) (I3N-Brazil).

Tomando o município de Leiria como exemplo no contexto da Região Centro de Portugal, Leiria atualmente possui aproximadamente 127.000 habitantes, de acordo com o INE (2011); Porto Alegre, como exemplo no

contexto da Região Sul do Brasil, possui atualmente aproximadamente 1.500.000 habitantes, de acordo com o IBGE (2018).

As populações de Leiria e Porto Alegre tiveram um aumento de quase 100% em 100 anos, o que se reflete nas mudanças do uso e ocupação da terra. Leiria possui densidade populacional de 225 hab/km<sup>2</sup>, e Porto Alegre 3.000 hab/km<sup>2</sup>, com mais de 90% da população ocupando a área urbana – 565km<sup>2</sup> e 300,00 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Segundo o censo PNUD (dados de 2010), Porto Alegre, no Sul do Brasil abriga índice IDH de 0,8, 3º maior do Brasil e classificado como “muito elevado” na escala global de comparabilidade, com PIB per capita de 68,1 reais (IBGE, 2015); Leiria, no Centro de Portugal, abriga índice IDH de 0,9, semelhante aos demais distritos portugueses, todos com IDH elevado (acima de 0,8), e PIB per capita de 103,18 euros, valor considerado acima da média nacional de Portugal.

Este é o quadro geral da zona costeira da Região Centro de Portugal e da Região Sul do Brasil, onde os estudos mais detalhados poderão mostrar a dinâmica natural e os impactos ambientais dos territórios, devendo, no caso da presente pesquisa, ser entendida como um detalhamento das potencialidades e limitações para gerenciamento dos recursos naturais e formas de utilização das áreas, na ótica das invasões biológicas. No Distrito de Leiria e no Estado do Rio Grande do Sul, devido às características físicas e socioeconómicas já referidas, o problema das invasões não pode ser desconsiderado no projeto de ordenamento do território e conservação da natureza locais.

Nas últimas décadas tem havido uma busca permanente por uma maior ocupação do espaço costeiro destas regiões, com modificações, sobretudo, nos sistemas litorais, devido às transformações mais amplas que atingem toda a sociedade, tais como os processos de urbanização e demanda de serviços. Entretanto, o que se verifica nas duas regiões é a total falta de conscientização e adequação do uso e da ocupação da terra nestas

áreas, com raras exceções, às condições ecológico-geográficas, tendo como resultado territórios geograficamente e ecologicamente mais susceptíveis às invasões biológicas.

As atividades de controle e monitoramento de plantas invasoras destinadas às áreas de estudo, na maioria dos casos, tem procurado apenas resolver o problema da infestação e proliferação populacional existente, sem considerar as questões relacionadas com a qualidade dos ambientes envolvidos, as condições socioambientais locais, e com o sistema litorâneo como um todo, que é resultado dos fluxos e interações na escala regional. Por este motivo esta investigação analisa os núcleos ambientais ocupados e perturbados por *A. longifolia*, desde núcleos com baixo grau de ocupação pela espécie (muito comum em algumas porções nas regiões de estudo com presença de indivíduos isolados).

Algumas atividades de controle e monitoramento vem sendo desenvolvidas nas regiões de estudo o que não altera o desenvolvimento do presente trabalho. Entretanto, dependendo da atividade desenvolvida (há áreas em Leiria onde estão sendo testados métodos avançados de controle biológico, e no Sul do Brasil alguns núcleos da espécie estão controlados, como é o caso de Florianópolis), os núcleos de invasões por *A. longifolia* em áreas controladas poderão apresentar resultados diferentes, gerando um modelo de invasão local diferenciado, como poderá ser comprovado por esta investigação.

Este trabalho pretende, também, contribuir para o estudo de indicadores de sustentabilidade ambiental dos territórios às invasões biológicas, combinado, mais especificamente, com estudo de propostas de gestão. O estabelecimento de parâmetros ecológico-geográficos que avaliem a susceptibilidade ambiental e o desempenho de espécies invasoras nas áreas de estudo e orientem os tomadores de decisão em relação às melhores soluções económicas, sociais e ecológicas para o problema das invasões, é um trabalho que, com certeza, contribuirá para a melhoria das

condições ambientais dos espaços invadidos e para uma maior conservação da natureza, considerando o grau de severidade da invasão com o qual as áreas em análise convivem.

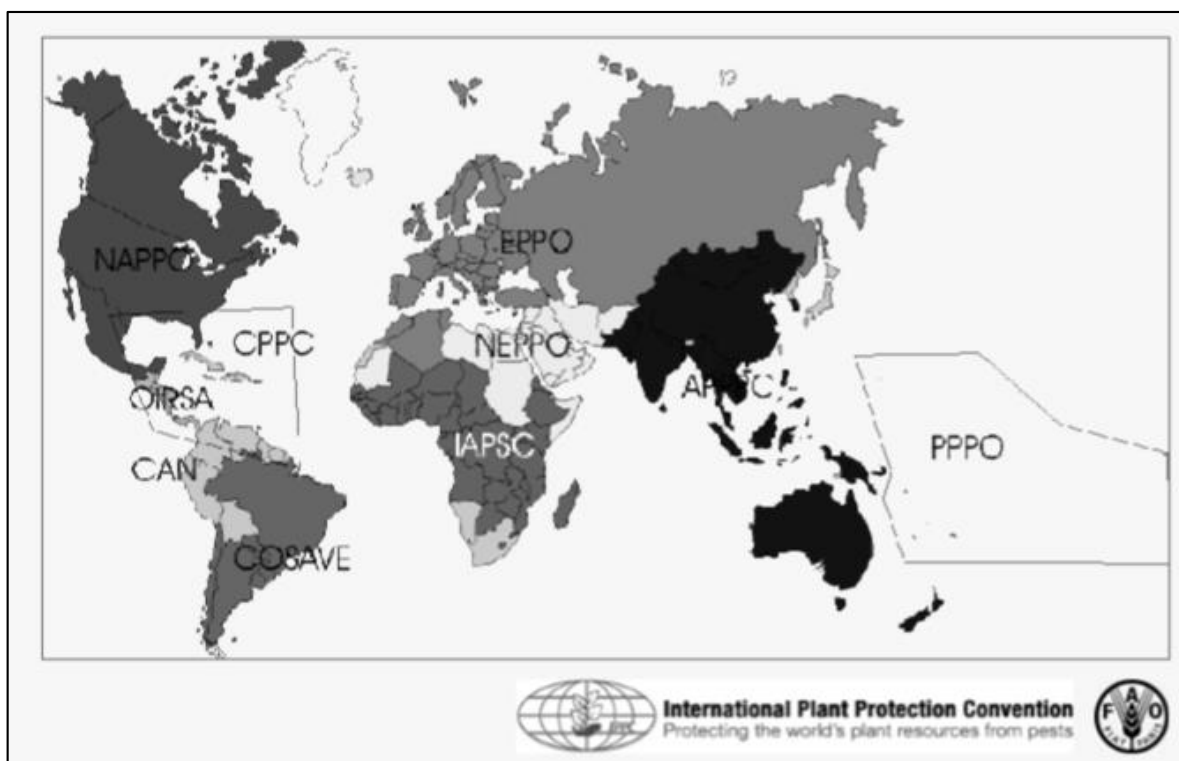
Os dados ISPM (*International Standards for Phytosanitary Measures*), *Plant Resources Protection – From Harmful Pests* (Pest Risk Analysis), e *International Trade and Invasive Alien Species*, da *International Plant Protection Convention* (IPPC, 1951) e apoio da *FAO's Plant Protection Service*, *World Trade Organization* e do *Council of Europe* (COE), são três dos mais importantes documentos e publicações internacionais que estabelecem as diretrizes para as áreas invadidas por plantas exóticas, a partir de um zoneamento que agrupa o conjunto da flora global segundo as exigências de conservação para cada região.

O zoneamento, chamado *Regional Plant Protection Organizations*, divide o globo em 8 zonas: **EPPO (União Europeia); COSAVE (Mercosul); NAPPO (NAFTA); OIRSA (Caribe); CAN (América do Sul); IAPSC (África Subsaariana); NEPPO (Norte de África e Oriente Médio); APPPC (Oriente e Oceania)** (Figura 12). Para cada região, são apresentadas diretrizes para as espécies mais invasoras (Red List; Alert List; Observation List), recomendações para pestes (Pest Recommended Regulation), os habitats e o uso da terra, a vida e as formas de crescimento das espécies. No caso de Portugal, seu território está inserido na EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*), sendo um dos 50 países da *Regional Plant Protection Organization for Europe* (RPPO). Quanto ao território brasileiro, este está inserido na COSAVE REGION (Figura 12).

O Projeto Millenium (*Millennium Ecosystems and Human-Being Assessment*) e seus alvos (os projetos independentes *Millennium Development Goals/MDGs* e *Sustainable Development Goals/SDGs*), propostos sob declaração de 191 países durante reuniões das Nações Unidas em 2000 e outra em 2015 (*United Nations Millennium Declaration*), apresenta diretrizes para avaliar e gerir os ecossistemas (condições abióticas) e as condições

bióticas, socioambientais e socioeconômicas, utilizando um conjunto de indicadores de sustentabilidade para combate da pobreza, fome, degradação ambiental, doenças, e do analfabetismo, sob a meta de 2030 de encerramento do acordo.

**Figura 12 - Localização das áreas de influência da EPPO e COSAVE**



Fonte: Google imagens (2021).

Alguns desses alvos partem da definição dos objetivos da sustentabilidade ambiental e conservação da natureza, e fazem o detalhamento desses objetivos numa estrutura que relaciona os objetivos com os indicadores e seus significados. Os indicadores podem ser validados através de várias técnicas e métodos, através de análises multivariadas, revisão de trabalhos publicados, sistema de informações geográficas (SIG), e trabalhos em laboratórios e campo. Os indicadores de sustentabilidade do Millennium constituem numa importante base teórica para diagnósticos dos



ecossistemas, tomada de decisões acerca dos problemas ambientais e monitoramento de ações a longo prazo.

Os 17 indicadores SDGs (Figura 13) visam promover mudanças nos processos de produção, consumo, conservação e sustentabilidade, em contextos de países desenvolvidos, subdesenvolvidos e em desenvolvimento, reduzindo os problemas ambientais, utilização dos recursos naturais, verificação da adequação do ambiente às condições locais, informando sobre a qualidade de vida dos espaços.

É dentro desta linha, com foco sobretudo dos alvos **11 (sustainable cities and communities)**, **13 (climate action)**, e **15 (life on land)**, que se insere esta pesquisa e, mais especificamente, no eixo de análise das invasões biológicas em espaços costeiros, que, na Europa, trata-se de aproximadamente 500 espécies de plantas vasculares, de acordo com estudo de Pyšek *et. al.* (2004) (*Handbook of Alien Species in Europe*).

Nesse âmbito, sob a ótica dos objetivos do Millennium e SDGs, a CBD (*Convention on Biological Diversity*), em parceria com o SCOPE, estabeleceram para as invasões biológicas, que:

- (i) as espécies invasoras e seus vetores devem ser identificados e priorizados
- (ii) espécies prioritárias devem ser controladas e erradicadas, e seus vetores devem ser mensurados para prevenir a introdução e estabelecimento de novas espécies
- (iii) deve-se estabelecer instrumento regulador dedicado às invasões, para prevenção e manejo da introdução e expansão de espécies invasoras
- (iv) deve-se elaborar políticas de combate a invasão através do desenvolvimento de instrumento legislativo dedicado para tal
- (v) deve-se encorajar governantes a considerar, onde necessário, colocar em prática mecanismos para manejo das espécies



Figura 13 - Sustainable Development Goals SDG's



Fonte: Google imagens (2021).

## MODIAL-PTBR | MODELO DE DISTRIBUIÇÃO E INVASIVIDADE DA ACACIA LONGIFOLIA. ANÁLISE ECO-GEOGRÁFICA COMPARATIVA ENTRE PORTUGAL E BRASIL

### Considerações gerais acerca da proposta teórico-metodológica

É neste panorama que se insere esta pesquisa. Procuramos, como enfoque, a susceptibilidade ambiental, e, em especial, a dos territórios com presença de espécies invasoras, abordando questões levantadas pelo SCOPE, como a melhoria da qualidade ambiental e as condições ecológicas dos territórios, e incentivo a busca de novas estratégias sustentáveis de manejo e conservação dos ecossistemas.

Este projeto, sob o título “**MoDIAL-PTBR - Modelo de Distribuição e Invasividade da *Acacia longifolia*. Análise eco-geográfica comparativa entre Portugal e Brasil**”, corresponde à tese de Doutorado do curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Coimbra – UC, com co-

orientação pela Pós-Graduação em Ecologia da Universidade de São Paulo – USP, onde será possível desenvolver estudos e pesquisas nas áreas da Geografia e da Ecologia, com pesquisadores de diferentes setores no âmbito do tema das invasões biológicas.

Com a visão interdisciplinar efetivada durante o percurso da pesquisa, com experiências prévias em Portugal e no Brasil, poderão ser ampliadas a atuação profissional e desenvolver novos métodos de investigação, direcionados ao uso, planejamento, manejo e gestão das espécies e dos territórios.

As investigações prévias tiveram por objetivo obter resultados e dados no âmbito das espécies e dos ambientes, primários e secundários, incluindo a busca por um estreitamento das relações entre os pesquisadores e as instituições de pesquisa envolvidas no projeto, potencialmente vindo a criar uma rede de estudos sobre *Acacia*.

Os dados preliminares da parte teórica do estudo foram apresentados na *15th International Conference on Ecology and Management of Alien Plant Invasions*, realizada em Praga, na República Checa, e já estão publicados (Oliveira-Costa, Ferreira & Pivello, 2020).

Neste projeto de pesquisa, é eleita como espécie focal a australiana *Acacia longifolia* Andrews (Willd.), leguminosa de ampla distribuição geográfica, e teremos como áreas de análise alguns locais por ela invadidos em Portugal e no Brasil (Leiria e Rio Grande do Sul, respectivamente).

Os sistemas costeiros de Portugal e do Brasil, e suas circunvizinhanças, nas regiões centro de Portugal e sul do Brasil, apresentam uma das maiores concentrações, até hoje conhecida, de Acácias Australianas nos continentes europeu e americano. Espécies de *Acacia* distribuem-se por mais de 28.000 km<sup>2</sup> de área em Portugal, e 550.000 km<sup>2</sup> de área no Brasil.

São encontradas espécies de Acácias invasoras em solos da orla sedimentar costeira com abundância de dunas litorais (*A. cyanophylla*, *A. longifolia*, *A. pycnantha*, *A. podalyrialefolia*, *A. retinoides*), em solos calcários

marítimos (*A. cyclops*, *A. farnesiana*, *A. karroo*), em solos derivados de granitos alcalinos ou xistos carbônicos de fácies marítma (*A. dealbata*, *A. mearnsii*), além das áreas de solos sedimentares das planuras sublitorais e solos das vertentes atlânticas (*A. melanoxyton*).

*Acacia longifolia* é considerada como uma das espécies invasoras mais agressivas em Portugal, pelo Decreto-Lei nº 565/99. No Brasil, a *A. longifolia* é considerada invasora no Paraná (Resolução IAP nº 192/05), em Santa Catarina (Resolução COSEMA nº 08/12), e no estado do Rio Grande do Sul (Resolução SEMA nº 79/13).

As pesquisas com *Acacia longifolia* em Portugal foram inicialmente focadas no comportamento da espécie. Estudos sistemáticos continuam sendo realizados para o estabelecimento de estratégias de manejo, na tentativa de monitoramento e controle das populações.

Os dados obtidos em aproximadamente 20 anos de pesquisas em Portugal com *A. longifolia* revelam sinais da presença da espécie há 200 anos no país. A opção da área de pesquisa pelas zonas costeiras portuguesa e brasileira deve-se ainda a sua significativa importância ecológica e econômica. Estas zonas apresentam invasões pouco estudadas, tanto sob a ótica das espécies, quanto dos ambientes.

Inexistem trabalhos específicos que tenham como foco a susceptibilidade à invasão e os impactos geo-ecológicos à luz de ampla abordagem eco-geográfica comparativa entre diferentes situações de invasão da *Acacia longifolia*. A proposta desta pesquisa é fornecer dados que contribuam para o entendimento da evolução dos ambientes invadidos e as respectivas táxones, contribuindo para a contextualização eco-geográfica de uma espécie invasora de ampla distribuição geográfica, com translocação da Austrália desde pelo menos 200 anos.

## **Justificação e enquadramento do trabalho**

As condições ecológico-geográficas existentes no interior das zonas costeiras possibilitam a ocorrência nessas zonas da maior concentração da produtividade biológica do planeta, e influenciam diretamente as condições de sustentabilidade ao longo de uma faixa relativamente estreita, formada pelas plataformas continentais e limites das planícies costeiras. Nos Sistemas Costeiros encontram-se os habitats mais produtivos e diversos do planeta, vitais para a proteção da costa e fornecedora de recursos para uma variedade de espécies. A *Acacia longifolia*, a espécie em estudo, apresenta uma elevada capacidade de colonizar diferentes ambientes costeiros quando avaliada a sua distribuição potencial, tanto na sua área de origem como nas suas áreas invadidas.

Na utilização dos recursos fornecidos pelo ambiente costeiro, com o intuito de suprimir suas necessidades biológicas, combinada a simultânea degradação da qualidade do meio ambiente, passado o período das introduções da *Acacia longifolia* em Portugal e no Brasil, certamente o meio físico não permaneceu constante, e a espécie terá adaptado-se as necessidades advindas das mudanças ecológicas, tendo desenvolvido novos mecanismos que possibilitaram a sua adequabilidade aos ambientes.

Estes mecanismos compreendem desde similaridades biológicas e fisiológicas com as espécies nativas, até alterações no funcionamento dos ecossistemas, onde foram consideradas as necessidades das espécies na integração às condições locais.

Além da perspectiva eco-geográfica de como as populações invasoras de *Acacia longifolia* têm se relacionado com o ambiente costeiro no tempo e no espaço, este projeto de pesquisa parte de uma necessidade básica para a compreensão do processo da invasão: *a influência das condições ambientais vigentes e as modificações pré e pós estabelecimento dos elementos invasores.*

Os impactos ambientais induzidos pelas atividades humanas são extremamente significativos para as invasões biológicas, no geral, e tem

significativa importância nas áreas costeiras, no específico, trazendo sérios problemas para ambos os casos (geral e local).

As condições socioeconômicas desses territórios são um importante indicador dessa dinâmica, pelo fato de um significativo contingente populacional habitar as áreas costeiras, com a capacidade de suporte dos recursos locais sendo excedida, muitas vezes superior a capacidade dos sistemas naturais, afetando diretamente o caráter do desenvolvimento dos impactos sobre o meio natural.

Algumas espécies de *Acacia* são modelos globais da Ciência da Invasão (Richardson *et al.*, 2011) com destaque para a *Acacia longifolia* que é reconhecida como espécie invasora em Portugal e no Brasil.

As atividades humanas interferem nos seus processos de estabelecimento na zona costeira, e, conseqüentemente, na proteção do sistema ambiental costeiro. Nos Sistemas Costeiros (praias, campo de dunas, planícies fluviais, planícies fluviomarinhas, planícies flúvio-lacustres, tabuleiros costeiros) os ambientes terrestres e marinhos são sistemas integrados e suas partes estão inter-relacionadas, onde a alteração de um componente influi em outras partes e na disfunção do sistema como um todo. O impacto acumulativo devido as pressões exercidas pela presença de espécies invasoras, produz vários resultados negativos, provocando mudanças no potencial hidrológico, no suporte da estrutura, e modificação do escoamento superficial.

A identificação dos problemas teóricos é uma questão que decorre de situações específicas da área, estando relacionada aos fenômenos ou variáveis que serão investigadas. Um diagnóstico a partir do reconhecimento das condições existentes, da análise dos recursos naturais com a integração das características biológicas das espécies e as condições socioeconômicas dos territórios, permitirão a tomada de decisões sobre a espécie e a capacidade de suporte do meio.

Entre as principais problemáticas locais, foram identificados:

1. Transformação do território, experimentada ao longo do processo histórico de ocupação das terras e atividades antropogênicas, responsáveis pelas introduções das espécies exóticas, transformações dos fluxos de energia e matéria, e modificações na estrutura e funcionamento do ambiente costeiro e de seus componentes;

2. Redução da biodiversidade, com aumento da competição, diminuição da variedade de habitats e do potencial genético das espécies (genótipos);

3. Modificações no meio abiótico, com interferências no balanço hídrico, processos sucessionais, estrutura da paisagem, e produtividade;

4. Intensificação da ocupação da terra, com crescimento dos núcleos populacionais e mudanças na dinâmica socioeconômica.

Algumas questões específicas são analisadas neste trabalho, levando-se em conta a região climática onde as espécies invasoras estão inseridas (escalas global e regional), as condições dos solos (escala regional e local), as diferenças taxonômicas da espécie (escala da espécie e subespécie), a distribuição potencial e atual da espécie nos domínios Australiano e Extra-Australiano.

É inquestionável a relação existente entre as condições dos ambientes à escala continental dos sistemas costeiros, e as encontradas no interior desses sistemas, à escala regional/local, o que também justifica a investigação. Alguns dos problemas que norteiam esta pesquisa:

1. Por que as invasões biológicas geram impactos diferenciados nos Sistemas Costeiros?
2. Os territórios dos Sistemas Costeiros podem ser considerados susceptíveis às invasões?
3. Quais características estruturais dos sistemas costeiros tornariam essas áreas mais susceptíveis às invasões?
4. Quais atributos biológicos das espécies exóticas desses ambientes tornariam essas espécies potencialmente invasoras?

5. Quais são as alternativas a serem empregadas nos sistemas costeiros para que possam garantir as condições mínimas de sustentabilidade ambiental, na ótica do problema das invasões?
6. Quão importante é a similaridade das características das espécies e dos territórios invadidos por *Acacia longifolia* em Portugal e no Brasil para explicar a susceptibilidade desses territórios?
7. Como as espécies e os ambientes diferem? A diversificação é esperada? Há um padrão de distribuição? Quais os fatores bióticos e abióticos que mediam essa diversificação?

Por esse motivo, este trabalho investiga a susceptibilidade à invasão gerada no interior dos sistemas costeiros portugueses e brasileiros, destinados à invasão por espécies de *Acacia*, e os impactos geo-ecológicos de suas áreas externas, considerando as situações de perturbação presentes na grande maioria dessas zonas.

Investigações comparadas entre Portugal e Brasil, dado o contexto de tradição do tema na Europa, pode ser uma mais valia, na medida em que podem ser comparados dados desde a fase de diagnóstico até o estabelecimento de ações de manejo, passando pela caracterização da espécie, das comunidades e dos habitats invadidos.

A espécie *Acacia longifolia* (Andrews) Willd. é invasora agressiva em vários estados brasileiros, porém, pouco se sabe sobre sua invasividade, além de dados dos ecossistemas susceptíveis ao seu domínio. A carência de conhecimento sobre o comportamento e os impactos da *A. longifolia*, são fatos justificáveis para que estudos sobre esta espécie sejam desenvolvidos.

A introdução mais antiga parece ter ocorrido em Portugal, com registro que data até 200 anos (Marchante *et al.*, 2008). Apesar de ser objeto de vários estudos, a espécie é pouco conhecida no Brasil, onde a preocupação com a invasão por Acácias Australianas é recente (Attias *et al.*, 2013). Ao congregarmos dois dos seus alcances invasores (Portugal e Brasil), o presente estudo da *Acacia longifolia* busca o entendimento dos fatores facilitadores da invasão



pela espécie e pelo ambiente, estabelecendo uma rede de esforços conjuntos, que constitui numa oportunidade singular a fim de se comparar as características e o comportamento dessa espécie em diferentes situações de invasão.

Devido a complexidade natural e a intensidade da intervenção do homem na organização do espaço costeiro, a identificação de variantes fenotípicas sob o efeito de diferentes climas e pressões humanas irá contribuir para a avaliação global do impacto ecológico e funcional, e possibilitar um estudo da adaptação ecológica de uma das espécies invasoras mais agressivas que se conhece.

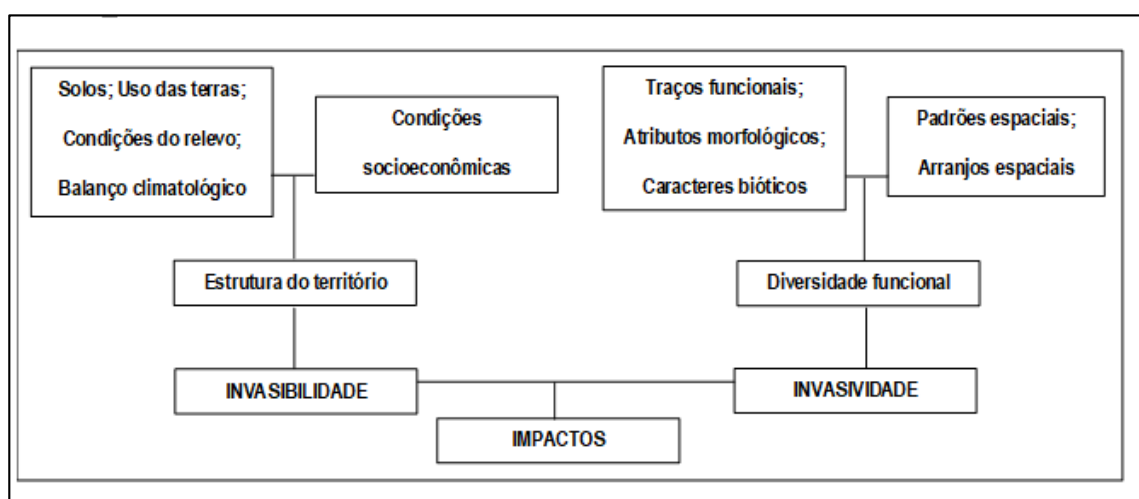
A rede de locais estabelecida foi definida dada a diferença das situações da invasão entre Portugal e Brasil, o que nos ajudará a avaliar se a invasão entre os dois países é, sobretudo, uma questão espácio-temporal. Justifica-se esta pesquisa pelo fato de:

- Estabelecer critérios técnicos e científicos entre os atributos bióticos e abióticos, considerando uma abordagem metodológica que atravessa escalas geográficas, visando um planejamento coerente com o clima regional, as condições dos solos, a escala taxonômica, o alcance global e regional das espécies, a legislação ambiental, com as perspectivas políticas e administrativas regionais, e com a dinâmica socioeconômica;
- Fornecer uma análise de caráter eco-geográfico, proporcionando subsídios teóricos e metodológicos para a abordagem da susceptibilidade dos territórios às invasões, avaliação de impactos geo-ecológicos por espécies exóticas invasoras, e elaboração de prognóstico de invasões biológicas em sistemas costeiros litorais, com a validação dos modelos vigentes de susceptibilidade ambiental aplicados às invasões biológicas, e proposição de um modelo para *A. longifolia*.
- Propor medidas objetivas ao planejamento dos territórios invadidos por *Acacia* em zonas costeiras litorais, estabelecendo critérios para seu pleno desenvolvimento e efetivação, com base nas condições de susceptibilidade

ambiental dos territórios, sobretudo, à luz das diferenças dos habitats e entre as características biológicas das espécies dos núcleos invadidos por *Acacia* em Portugal e no Brasil.

Trata-se, portanto, de um estudo ecológico-geográfico que procura desenvolver um modelo das relações entre os sistemas físicos e biológicos, tendo como ponto fundamental a dinâmica natural e os impactos provenientes das interferências humanas, sob a ótica da ciência geográfica e ecológica (Figura 14).

**Figura 14 - Principais parâmetros para desenvolvimento desta pesquisa**



Fonte: Organizado pelos autores (2021).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas da presente pesquisa em invasões biológicas expressam relações entre vários atributos e variáveis, implicando na possibilidade de inúmeros testes, com vistas a obtenção de evidências reais sobre a complexidade própria das relações de invasão, seguindo os pressupostos teóricos tanto dos estudos geográficos como dos estudos ecológicos. Na formulação das ideias para a contextualização das hipóteses de um trabalho em invasão biológica, algumas dificuldades tornam-se significativas, dado que o resultado de uma interpretação em termos de invasividade e

invasibilidade dependerá da amplitude das mudanças ambientais ocorridas durante um dado período de tempo e efeitos das atividades humanas antes das fases citadas, durante e depois da ocupação da área.

Estas hipóteses deverão ser trabalhadas com a utilização de documentos, tais como mapas, fotografias aéreas, cartas temáticas e imagens orbitais, que estabeleçam os padrões de mudanças em um passado recente, a situação atual, e cenários futuros das invasões, aliada a disponibilidade de estudos específicos e técnicas adequadas (laboratório e campo) para verificação e confirmação dos dados.

Seguindo estes procedimentos, pode-se testar algumas hipóteses relacionadas as invasões biológicas nas zonas costeiras portuguesa e brasileira, a partir:

- Do papel exercido pela introdução de espécies invasoras como ponto de redimensionamento da interação homem-natureza em zonas costeiras litorais;
- Do relacionamento entre os núcleos de invasão biológica e as características naturais em função do solo, clima, usos da terra;
- Do poder dos impactos das invasões biológicas exercidos sobre as unidades ambientais dos sistemas litorais, em função das interferências humanas.

O redimensionamento da interação homem-natureza sob efeito das invasões biológicas, refere-se a zona costeira dentro de seus limites atuais e capacidade de suporte, definidos como os condicionantes estruturadoras e unidades ambientais compreendidos entre os níveis da máxima preamar e a mínima baixa-mar, acrescida no continente a área influenciada pelas forças marinhas, havendo, após a introdução das espécies invasoras, distúrbios e perturbações advindas das necessidades de adaptação e sobrevivência dessas espécies.

A relação entre os núcleos de invasão biológica e as características naturais das unidades ambientais nos sistemas costeiros, refere-se ao

posicionamento dos núcleos das invasões no contexto regional e a dinâmica natural, através das ações que intervêm as características dos solos, o balanço hídrico, a dinâmica climatológica, os tipos de uso e ocupação da terra, o contexto socioeconómico regional, como estímulos responsáveis pelo cenário da invasão biológica atual.

A geração dos impactos das invasões biológicas através das interferências antrópicas, refere-se ao diagnóstico e avaliação com um sistemático processo de conservação da natureza. A confirmação destas ideias é importante para avaliar o papel da diversidade funcional da planta e da estrutura do território como características para prever a susceptibilidade de ambientes para serem invadidos.

As hipóteses específicas que serão investigadas pela pesquisa, em relação aos sistemas costeiros, as invasões biológicas, e a relação Portugal-Brasil, são as seguintes:

- a) os sistemas costeiros são susceptíveis às invasões no contexto global e regional, em função do arranjo espacial, relação entre o arranjo e as condições do solo, percentagem de intervenções antrópicas, e demais características do suporte físico como o balanço hídrico-climatológico;
- b) em um mesmo núcleo de invasão, as espécies invasoras de *Acacia longifolia* não têm o mesmo desempenho, e por isso podem haver diferentes situações de invasão;
- c) a estrutura dos núcleos de invasão por *Acacia longifolia* nas zonas costeiras de Portugal e do Brasil no período corrente é diferente do período passado, o que influenciará cenários futuros de invasão.

A partir dos desenvolvimentos deste projeto de pesquisa espera-se:

- que a *Acacia longifolia* ocorra em uma ampla gama de ambientes, mais ampla em Portugal do que no Brasil, devido os ecossistemas mediterrâneos estarem mais inclinados às invasões que os neotropicais,

além do fato das introduções em Portugal possuírem história mais antiga que no Brasil;

- que haja associação entre os traços biológicos/funcionais das espécies com a distribuição das populações e/ou com as características do ambiente;
- que as condições ambientais para *A. longifolia* no Brasil sobrepuje as condições ambientais em Portugal, em termos, sobretudo, das condições hídrico-climáticas e dos usos do solo, apresentando uma menor susceptibilidade do que em Portugal – o que poderá indicar que a estrutura dos territórios tem um papel importante nas invasões biológicas por *Acacia longifolia*.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. D.; FREITAS, H. Exotic naturalized flora of continental Portugal – a reassessment. **Botanica Complutensis**. n. 30, p 117-130, 2006.

ALMEIDA, J. D.; FREITAS, H. Exotic flora of continental Portugal – a new assessment. **Boccone**. n. 24, p. 231-237, 2012.

ATTIAS, N. *et al.* Acácias Australianas no Brasil: histórico, formas de uso e potencial de invasão. **Biodiversidade Brasileira**, v.3, n. 2, p. 74-96, 2013.

BARRETT, S. *et al.* **Invasion Genetics: The Baker and Stebbins Legacy**. Wiley-Blackwell, 2016.

BAKER, R; STEBBINS, L. **The Genetics of Colonizing Species**. New York, Academic Press, 1965.

BERTALANFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BENTHAM, G. Revision of the suborder mimosae. Transactions of the Linnaean **Society of London**, n. 30, p. 335-664, 1875.

BROENNIMANN, O. *et al.* Evidence of climatic niche shift during biological invasion. **Ecology letters**. n.10, p. 701-709, 2007.

CADOTTE, M. W; MCMAHON, S. M; FUKAMI, T. **Conceptual ecology and invasion biology: reciprocal approaches to nature**. Springer, 2006.

CARTER, B. **Coastal Environments**: An Introduction to the Physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines. Academic Press, 1988.

CARVALHO, L. M. *et al.* Disturbance influences the outcome of plant–soil biota interactions in the invasive *Acacia longifolia* and in native species. **Oikos**, n.119, p. 1172–1180, 2010.

CATFORD, J. *et al.* Quantifying levels of biological invasion: towards the objective classification of invaded and invulnerable ecosystems. **Global Change Biology**, n. 18, p. 44-62, 2012.

CHURCHMAN, C. W. **Introdução à teoria de sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1972.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. **Modelos integrados em Geografia**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos, 1974.

COLAUTTI, R. I; MACISAAC, H. J. A neutral terminology to define invasive species. **Diversity Distribution**. n.10, p. 135-141, 2004.

CRALL, A. W. *et al.* Using habitat suitability models to target invasive plant species surveys. **Ecological Applications**. N. 23, p. 60-72, 2013.

CRONK, Q.; FULLER, J. L. **Plant Invaders**: the threat to natural ecosystems. Springer, 1995.

CZECH, B; KRAUSMAN, P. Distribution and causation of species endangerment in the United States. **Science**. v. 277, n. 5329, p. 1116-1117, 1997.

D'ANTONIO, C. *et al.* Biological invasions as global environmental change. **American Scientist**, v. 84, n. 5, 1996.

DAVIS, M. Invasion biology 1958-2005: The pursuit of science and conservation. *In: Conceptual ecology and invasions biology*: reciprocal approaches to nature. London: Springer, 2006.

DI CASTRI, F. On invading species and invaded ecosystems: the interplay of historical chance and biological necessity. *In: Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.

DI CASTRI, F; MOONEY, H. **Mediterranean type ecosystems**: origin and structure. Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, 1973.

DRAKE, J. A. *et al.* **Biological invasions**: A global perspective. SCOPE, 1989.

DRENOVSKY, R; JAMES, J. **Designing invasion-resistant plant communities**: the role of plant functional traits. Society for Range Management, 2010.

ESPÍNOLA, L. A; FERREIRA, H. Espécies invasoras: conceitos, modelos e atributos. **Interciencia**, v. 32, n. 9, p. 580-585, 2007.

ELTON, C. **The ecology of invasions by animals and plants**. London: Methuen, 1958.

FALK-PETERSEN, J. *et al.* On the Numerous Concepts in Invasion Biology. **Biological Invasions**. v. 8, n. 6, p.1409-1424, 2006.

FERNANDES, M. M. Acácias e geografia histórica: rotas de um percurso global. **Cadernos do curso de doutoramento em Geografia**, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto, p. 23-40, 2012.

FIGUEIREDO, A. **Assessing impacts from future climatic scenarios on the distribution of flora and vegetation at Madeira Island**. 2013. Tese (Doutoramento). Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013.

FRIDLEY, J. D. Invasibility of communities and ecosystems. *In: Encyclopedia of Biological Invasions*. University of California Press, London, 2011.

GALLIEN, L. *et al.* Predicting potential distributions of invasive species: where to go from here? **Diversity and Distribution**, n.16, p. 331-342, 2010.

GONZÁLES-MORENO, P. *et al.* Una visión a escala de paisaje de las invasiones biológicas. **Ecosistemas**. v. 24, n. 1, p. 84-92, 2015.

GONZÁLES-MORENO, P. *et al.* Landscape context modulates plant invasions in Mediterranean forest edges. **Biological Invasions**. n. 15, p. 547–557, 2013.

GONZÁLES-MORENO, P. *et al.* Quantifying the landscape influence on plant invasions in Mediterranean coastal habitats. **Landscape Ecology**, n. 28, p. 891–903, 2013.

GUO, Q. F. Intercontinental biotic invasions: what can we learn from native populations and habitats? **Biological Invasions**. n. 8, p. 1451-1459, 2006.

GALVANI, F; GAERTNER E. Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de Nitrogênio Total e Proteína Bruta. **Circular Técnica**. p. 1-9, 2006.

GROVES, R. H; DI CASTRI, F. **Biogeography of Mediterranean Invasions**. London: Springer, 1991.

HAGGETT, P. Prediction and predictability in geographical systems. **Transactions of the Institute or British Geographers**. v.1, n.1, 1994.



HEYWOOD, J. Spatial Analysis of Genetic Variation in Plant Populations. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 22, p. 335-355, 1991.

HENDERSON, S. *et al.* Progress in invasive plants research. **Progress in Physical Geography**. n. 30, p. 25-46, 2006.

HIJMANS, R. *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, n. 25, p.1965-1978, 2005.

HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formations from simple climatic data. **Science**, n. 105, p. 367–368, 1947.

HOOPER, S; MASLIN, B. Phytogeography of Acacia in Western Australia. **Australian Journal of Botany**, n. 26, p. 63-78, 1978.

HUGGETT, R. **Systems analysis in Geography**. Oxford Clarendon Press, 1987.

I3N BRASIL. Acacia longifolia. *In: Red de Información sobre Especies Invasoras*. IABIN International. Disponível em: <http://www.institutohorus.org>. Acesso em: 18 Jan. 2019.

ISSG. Acacia longifolia. *In: Global Invasive Species Database*. ISSG Internacional. Disponível em: <http://www.issg.org/database/welcome>. Acesso em: 18 Jan. 2019.

INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE - IUCN. Guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological **invasion**. **Species**, n. 31-32, p. 28-42, 1999.

JOHNSTON, R. J. **Geografia e geógrafos: a Geografia humana anglo-americana desde 1945**. São Paulo: DIFEL, 1986.

KLINK, H. **Geoecology and natural regionalization - bases for environmental research**. Tübingen: Institute for Scientific Cooperation, Applied Sciences and Development, 1974.

KÖPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nachihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geographische Zeitschrift**, n. 6, p. 593–611, 657–679, 1900.

LE MAITRE, D. *et al.* Impacts of invasive Australian acacias: implications for management and restoration. **Diversity and Distributions**, v.17, n.5, p. 1015-1029, 2011.

LEE, C. Evolutionary genetics of invasive species. **Trends in Ecology & Evolution**, n. 17, p. 386-39, 2002.

LEVINE, J. *et al.* Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions. **Proceedings Biological Sciences**, v. 270, n. 1517, p. 775–781, 2003.

LOCKWOOD, J. L. *et al.* **Invasion Ecology**. Blackwell Publishing, 2007.

LONSDALE, W. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. **Ecology**, v. 80, n.5, p. 1522-1536, 1999.

LOURENÇO, D. C. G. R. **Avaliação de áreas invadidas por espécies de Acácia na paisagem protegida da arriba fóssil da Costa de Caparica**, 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

MACDONALD, G. **Biogeography: introduction to space, time, and life**. John Wiley & Sons Inc, 2003.

MARCHANTE, H. *et al.* The potential role of seed banks in the recovery of dune ecosystems after removal of invasive plant species. **Application Vegetation Science**. n. 14, p. 107-119, 2011.

MARCHANTE, E. *et al.* Short and long-term impacts of *Acacia longifolia* invasion on the belowground processes of a Mediterranean coastal dune ecosystem. **Applied Soil Ecology**, n. 40, p. 210217, 2008.

MARCHANTE, H. *et al.* **Guia prático para a identificação de plantas invasoras em Portugal**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014.

MARCHANTE, E. **Invasion of Portuguese coastal dunes by *Acacia longifolia*: impacts on soil ecology**. 2007. Tese (Doutoramento). Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.

MARCHANTE, H. **Invasão dos ecossistemas dunares portugueses por *Acacia*: uma ameaça para a biodiversidade nativa**. 2001. Tese (Doutoramento). Universidade de Coimbra, Coimbra, 2001.

MARQUES, D. N. **Influência espacial da invasora *Acacia longifolia* (Andrews) Willd. num ecossistema dunar português**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.

MCNELLY, J. Invasive species: a costly catastrophe for native biodiversity. **Land Use Water Resource**. n.1, p. 1-10, 2001.

MALAVASI, M. *et al.* Landscape fragmentation, land-use legacy and propagule pressure promote plant invasion on coastal dunes: a patch-based approach. **Landscape Ecology**. n. 29, p. 1541–1550, 2014.

MASLIN, B. *et al.* Overview of the generic status of *Acacia* (Leguminosae: Mimosoideae). **Australian Systematic Botany**. n.16, p. 1-18, 2003.

MEINERS, S. *et al.* Effects of plant invasions on the species richness of abandoned agricultural land. **Ecography**. v. 24, n.6, p. 633-644, 2001.

MENESES, P. **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília: Editora UnB, 2001.

MILLER, P. **The Gardeners Dictionary**. 4. ed. London: Self-published, 1754.

MYERS, J; Bazely, D. **Ecology and Control of Introduced Plants**. Cambridge: University Press, 2010.

MOONEY, H. A; HOBBS, R. J. **Invasive Species in a Changing World**. Washington DC: Island Press, 2000.

NEI, M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, n. 70, p. 3321-3, 1973.

NORDSTROM, K. **Recuperação de Praias e Dunas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

O'DOWD, D; GILL, A. Seed dispersal syndromes of Australian acacia. *In*: **Seed Dispersal**. Academic Press, New York, 1986.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P; FIGUEIREDO, R. F; PIVELLO, V. R. A Invasora Acacia longifolia Andrews (Willd.) em Portugal e no Brasil: Investigação Preliminar Integrando Registros GBIF com Dados da Literatura e Condicionantes Ambientais e Regionais. **Espaço em Revista**, v. 22, p. 165-202, 2020.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P; FIGUEIREDO, R. F; PIVELLO, V. R. Determinants and Impacts of Acacia longifolia Andrews (Willd.) Spread: A Comparative Study Between Portugal and Brazil. *In*: BIENNIAL CONFERENCE INTERNATIONAL BIOGEOGRAPHY SOCIETY, 9., 2019, Málaga – Spain, **Book of Abstracts** [...]. Málaga – Spain, 2019.

OLIVEIRA-Costa, J. L. P; PIVELLO, V. R. Acacia Ecology on Brazilian Dune Systems - First Data on The Ecology of Australian Acacia Longifolia (Fabaceae) Across Coastal Dunes of Florianopolis, Santa Catarina, South Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOLOGY AND MANAGEMENT OF ALIEN PLANT INVASIONS, EMAPI, 14., 2017, Lisbon - Portugal. **Book of Abstracts** [...], Lisbon - Portugal, 2017.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P. *et al.* Caracterizando as invasões por Acácias Australianas na Bacia Hidrográfica do Rio Arouce desde 1960 usando a distribuição das espécies, a história do uso do solo e as condicionantes físicas – implicações a invasibilidade. **GOT - Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v.9, 2016.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P. *et al.* Organização geossistêmica e invasões por *Acacia* sp. (Fabaceae: Mimosoideae) na Bacia Hidrográfica do Rio Arouce. Uma visão das invasões biológicas à escala do Geossistema. **GOT - Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 8, 2015.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P. **Os Caminhos da Invasão do Género *Acacia* Mill na Bacia do Rio Arouce**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 2014.

ORIAN, G; MILEWSKI, A. Ecology of Australia: the effects of nutrient-poor soils and intense fires. **Biological Reviews**. n. 82, p. 393-423, 2007.

PAUCHARD, A. *et al.* Comparing alien plant invasions among regions with similar climates: where to from here? **Diversity and Distributions**. n.10, p 371-375, 2004.

PEACOCK, L; WORNER, S. Biological and ecological traits that assist establishment of alien invasive insects. **New Zealand Plant Protection**. n. 61, p. 1-7, 2008.

PEDLEY, L. A revision of *Acacia* Mill. **Queensland. Austrobaileya**. n.1, p. 75-234, 1978.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. **Quarterly Review of Biology**, n. 78, p. 419-43, 2003.

PIMENTEL, D. *et al.* Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, n. 84, p. 1-20, 2001.

PYSEK, P. Past and future of predictions in plant invasions: a field test by time. **Diversity and Distribution**. n. 7, p. 145-151, 2001.

PYŠEK, P.; PRACH, K.; REJMÀNEK, M.; WADE, M. **Plant invasions: general aspects and special problems**. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1995.

RASCHER, K. *et al.* *Acacia longifolia* invasion impacts vegetation structure and regeneration dynamics in open dunes and pine forests. **Biological Invasions**. v.13, n. 5, p. 1099-1113, 2011.

REJMÀNEK, M. *et al.* Plant invasions and invasibility of plant communities. **Vegetation Ecology**. n. 2, p. 387-424, 2013.

REJMÀNEK, M.; RICHARDSON, D.; PYŠEK, P. Plant invasions and invasibility of plant communities. **Vegetation Ecology**. n. 13, p. 332-355, 2005.

REJMÀNEK, M; RICHARDSON, D. Trees and shrubs as invasive alien species – 2013 update of the global database. **Diversity and Distributions**. n.19, p 1903-1904, 2013.

REJMÀNEK, M. Invasive plants and invulnerable ecosystems. *In: Invasive Species and Biodiversity Management*. Boston: Kluwer, 1999.

REJMÀNEK, M. Invasiveness. *In: Encyclopedia of Biological Invasions*. Berkeley & Los Angeles: SPB Academic Publishing, 2011.

RICHARDSON, D. M. **Fifty years of invasion ecology**: The legacy of Charles Elton. Wiley-Blackwell, Oxford, 2011.

RICHARDSON, D. M. *et al.* Human-mediated introductions of Australian Acacias – a global experiment in biogeography. **Diversity and Distribution**. v. 17, n. 5, p. 771-787, 2011.

RICHARDSON, D; PYSEK, P. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. **Progress in Physical Geography**. v. 30, n.409, 2006.

RICHARDS, C. *et al.* Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. **Ecology Letters**. v. 9, n. 8, p. 981-99, 2006.

RICHLING, A. **Typology and regionalisation as two independent systems of grouping geocomplexes**. Bratislava: International Geographical Union, 1981.

ROBINSON, J; HARRIS, S. A plastid DNA phylogeny of the genus *Acacia* Miller (Acaciaeae, Leguminosae). **Botanical Journal of The Linnean Society**, n. 132, p. 195-222, 2000.

RODRÍGUES-ECHEVERRÍA, S. Rhizobial hitchhikers from down under: invasional meltdown in a plant-bacteria mutualism? **Journal of Biogeography**, n. 3, p. 1611-1622, 2010.

SEEBENS, H. *et al.* No saturation in the accumulation of alien species worldwide. **Nature Communications**, n. 8, p. 14435, 2017.

SHIGESADA, N; KAWASAKI, K. **Biological Invasions**: Theory and Practice. Oxford University Press, 1997. (Oxford Series in Ecology and Evolution).

SIMBERLOFF, D; REJMÀNEK, M. **Encyclopedia of Biological Invasions**. University of California Press, California: Berkeley and Los Angeles, 2011.

SMITH, T. M; SHUGART, H. H; WOODWARD, F. I. **Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change**. Great Britain: Cambridge University Press, 1997.

THEOHARIDES, K; DUKES, J. Plant invasion across space and time: factors affecting nonindigenous species success during four stages of invasion. **New Phytologist**. n. 176, p. 256-273, 2007.

TURNBULL, J. Australian acacias in developing countries: proceedings of an international workshop held at the Forestry Training Centre, Gympie, Qld., **ACIAR Proceedings**, Australia, n. 16, 1987.

TIVY, J. **Biogeography: a study of plants in the ecosphere**. Oliver & Boyd Inc, 1971.

VAVILOV, N. I. **Origin and geography of cultivated plants**. Great Britain: Cambridge University express, Cambridge, 1992.

VILÀ, M; HULME, P. **Impact of Biological Invasions on Ecosystem Services**. Springer, 2017. (Springer Series in Invasion Ecology).

VAN KLEUNEN, M. *et al.* Global exchange and accumulation of non-native plants. **Nature**. n. 525, p 100-103, 2015.

VICENTE, S. *et al.* Genetic diversity and differentiation of invasive *Acacia longifolia* in Portugal. **Web Ecology**. v. 18, n. 1, p. 91-103, 2018.

VITOUSEK, P. Biological invasions and ecosystem processes: towards an integration of population biology and ecosystem studies. **Oikos**. n. 57, p. 7-13, 1990.

VILÀ, M. *et al.* Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. **Ecology Letters**. v. 14, n. 7, p. 702-8, 2011.

ZENNI, R; ZILLER, S. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**. v.34, n. 3, p.431-446, 2011.

KOIKE, F. *et al.* **Assessment and Control of Biological Invasion Risks**. Shoukadoh Book Sellers, Kyoto, Japan and IUCN, Gland, Switzerland, 2008.

KOLAR, C; LODGE, D. Progress in invasion biology: predicting invaders. **Trends in Ecology and Evolution**. v.16, n. 4, p. 199-204, 2001.

KOWARIC, I. Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. *In: Plant Invasions – General Aspects and Special Problems*. Amsterdam, The Netherlands: Academic Publishing, 1995.

WATTS, D. **Principles of Biogeography**: an introduction to the functional mechanisms of ecosystems. McGraw-Hill Publishing Co., 1971.

WILLIAMSON, M. **Biological Invasions**. Chapman & Hall Publishing. London, 1996.

WILSON, J. *et al.* Biological invasions and natural colonisations are different – the need for invasion science. **NeoBiota**. n. 31, p. 87–98, 2016.

WOLFGANG, N. **Biological Invasions (Ecological Studies)**. Springer, 2006.

## AGRADECIMENTOS

Esse trabalho foi desenvolvido no Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), e apoiado pelo 'European Regional Development Funds', através do programa COMPETE 2020 – Operational Programme “Competitiveness and Internationalization”, projeto 'POCI-01-0145-FEDER-006891'; e por Fundos Nacionais de Portugal através da Fundação Nacional para a Ciência e Tecnologia (FCT), projeto 'UID/GEO/04084/2013'.



Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

POCI-01-0145-FEDER-006891