

# **Modelação da Potência Radiativa do Fogo em Savanas Tropicais do Norte da Austrália**

**Laura dos Santos Batista**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais**

Orientador: Doutor José Miguel Oliveira Cardoso Pereira

Co-orientador: Doutora Ana Cristina Lopes de Sá

**Júri:**

Presidente: Doutor Manuel Lameiras de Figueiredo Campagnolo, Professor Associado,  
Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogal: Doutor José Miguel Oliveira Cardoso Pereira, Professor Catedrático, Instituto  
Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor João Manuel das Neves Silva, Bolseiro Pós-doutoramento, Fundação para a Ciência  
e a Tecnologia

Lisboa, 2017

Este texto não foi escrito ao abrigo do Novo Acordo Ortográfico

## **Agradecimentos**

A realização desta tese só foi possível devido ao contributo de várias pessoas, pelas quais sem o seu apoio não conseguiria acabá-la.

Em primeiro lugar, queria agradecer ao meu Orientador Professor José Miguel Cardoso Pereira por me permitir a realização deste trabalho e pelos conhecimentos transmitidos e incentivação ao longo do trabalho.

À minha Co-orientadora Doutora Ana Cristina Lopes de Sá, pelo apoio e disponibilidade total e críticas justificadas, pelas quais este trabalho seria difícil de concretizar.

Ao Akli Benali pelos dados fornecidos através do Matlab.

Aos meus colegas e amigos, especialmente à Sara Lopes, agradeço imenso o apoio total e palavras encorajadoras, pelas quais seria difícil encontrar a motivação para continuar a tese.

Por último, aos meus pais e ao meu irmão, pela paciência infinita e apoio incondicional. Agradeço por todas as horas perdidas a lerem e reverem o trabalho.

## **Resumo**

Neste trabalho pretende-se modelar a potência radiativa do fogo, que está relacionada com a intensidade do fogo. O trabalho tem um carácter exploratório e pretende explorar a dinâmica espacial e temporal da intensidade do fogo em função de um conjunto de variáveis ambientais, que poderão estar potencialmente relacionadas com a intensidade do fogo. Explorar quais as variáveis que poderão estar associadas a valores baixos e elevados da potência radiativa do fogo poderá apoiar a tomada de decisões num contexto de fogos controlados que poderá permitir responder a questões de quando e onde se deverá queimar. Os dados referem-se ao ano de 2011.

Para cumprir o objectivo proposto utilizaram-se árvores de decisão, implementadas no programa CART. As árvores de decisão foram usadas para modelar a potência radiativa do fogo. Através deste método determinou-se quais as variáveis que exibem uma maior influência na intensidade do fogo.

**Palavras-chave:** potência radiativa do fogo, intensidade do fogo, árvores de decisão

## **Abstract**

This paper intends to model the fire radiative power, which is directly related to fire intensity. This paper has an exploratory character and intends to explore the spatial and temporal dynamic of fire intensity in function of a set of environmental variables, which could potentially be related to fire intensity. Exploring which variables might be associated to low and high values of fire radiative power might assist in the decision making in a context of prescribed burning, which might allow answering the questions of when and where to burn. The data refers to the year of 2011.

To achieve the proposed goal, decision trees were used, implemented in the program CART. These decision trees were used to model fire radiative power. Through this method it was determined which variables exhibit a greater influence in fire intensity.

**Key words:** fire radiative power, fire intensity, decision trees

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Lista de quadros.....  | 1  |
| Lista de figuras.....  | 2  |
| Lista de abreviaturas.....   | 4  |
| 1. Introdução.....   | 5  |
| 2. Objectivos do trabalho.....   | 7  |
| 3. Caracterização da área de estudo.....                                       | 8  |
| 3.1 Localização.....   | 8  |
| 3.2 Vegetação.....   | 11 |
| 3.3 Condições climáticas.....  | 13 |
| 3.3.1 Clima tropical de Queensland.....  | 17 |
| 3.3.2 Clima tropical do Território do Norte.....                               | 19 |
| 3.3.3 Clima tropical da Austrália Ocidental.....                               | 20 |
| 3.4 Gestão tradicional do fogo <i>versus</i> gestão contemporânea do fogo..... | 21 |
| 3.4.1 Gestão tradicional.....  | 22 |
| 3.4.2 Gestão contemporânea.....  | 26 |
| 4. Dados e métodos.....  | 28 |
| 4.1 Satélite.....  | 28 |
| 4.2 Variáveis.....   | 29 |
| 4.3 Árvore de decisão.....   | 32 |
| 5. Resultados e discussão.....   | 37 |
| 5.1 Análise exploratória dos dados.....  | 37 |
| 5.2 Potência radiativa do fogo.....  | 49 |
| 6. Conclusões.....   | 63 |
| 7. Referências bibliográficas.....   | 64 |
| 8. Anexos.....   | 70 |

## Lista de quadros

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Designações tradicionais para a estação seca e para a estação húmida dos Aborígenes da Terra de Arnhem..                         | 22 |
| Quadro 2 - Variáveis da base de dados.  | 29 |
| Quadro 3 - Interpretação das classes do FWI e dos seus componentes  | 31 |
| Quadro 4 - Parametrização da árvore de classificação para a base completa, percentil 50, 90, 95 e 99.                                       | 36 |
| Quadro 5 - Número populacional para Austrália Ocidental, Território do Norte e Queensland para o ano de 2016.                               | 37 |
| Quadro 6 - Interpretação das classes do número de anos desde o último incêndio  | 42 |
| Quadro 7 - Interpretação das classes de ocupação do solo definidas para a figura 37.  | 50 |
| Quadro 8 - Curva do erro relativo da árvore de classificação para a base completa, percentil 50 e percentil 90                              | 52 |
| Quadro 9 - Curva do erro relativo da árvore de classificação para o percentil 95 e percentil 99.  | 53 |
| Quadro 10 - Número de nós terminais e importância das variáveis para a árvore de classificação da base completa e percentis 50, 90, 95 e 99 | 54 |
| Quadro 11 - Diagramas de bigodes para a base completa (a), percentil 50 (b), percentil 90 (c), percentil 95 (d) e percentil 99 (e).         | 58 |
| Quadro 12 - Distribuição da base de dados completa, de percentil 50, 90, 95 e 99.   | 59 |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Localização das savanas tropicais do Norte da Austrália. ....  | 8  |
| Figura 2 - Mapa cadastral da região Norte, que mostra as grandes propriedades que existem na Austrália Ocidental, Território do Norte e a oeste de Queensland. .... | 9  |
| Figura 3 - Mapa de uso do solo na região Norte da Austrália. ....   | 10 |
| Figura 4 - Vegetação das savanas tropicais do Norte da Austrália. ....  | 11 |
| Figura 5 – Distribuição da cobertura do solo da região em estudo. ....  | 12 |
| Figura 6 - Classificação climática de Köppen da Austrália. ....   | 13 |
| Figura 7 - Temperatura diária média durante a estação húmida. ....  | 14 |
| Figura 8 - Temperatura diária média durante a estação seca. ....  | 15 |
| Figura 9 - Precipitação anual média. ....   | 15 |
| Figura 10 - Precipitação anual média em Queensland. ....  | 17 |
| Figura 11 - Temperatura média anual. ....   | 18 |
| Figura 12 - Precipitação média anual no Território do Norte. ....   | 19 |
| Figura 13 - Precipitação média anual na Austrália Ocidental. ....   | 20 |
| Figura 14 - Mapa da Terra de Arnhem, Território do Norte. ....  | 22 |
| Figura 15 - Arvore de classificação com 12 nós terminais, com classificação de "superfície queimada", "superfície não-queimada" e "nuvens" ....                     | 33 |
| Figura 16 - Distribuição de fogos pelos estados da Austrália Ocidental, Território do Norte e Queensland. ....  | 37 |
| Figura 17 - Densidade populacional da Austrália para o ano de 2010. ....  | 38 |
| Figura 18 - Incidência de fogos na classe de vegetação da Austrália Ocidental. ....   | 39 |
| Figura 19 - Incidência de fogos na classe de vegetação do Território do Norte. ....   | 39 |
| Figura 20 - Incidência de fogos na classe de vegetação de Queensland. ....  | 39 |
| Figura 21 - Distribuição da frequência relativa de valores de FRP pelos meses do ano de 2011. ....  | 40 |
| Figura 22 - Distribuição da frequência de valores de FRP pelos meses fora da estação seca do ano de 2011. ....  | 41 |
| Figura 23 - Dispersão do mês do ano de 2011 pelos dados de FRP. ....  | 41 |
| Figura 24 - Frequência relativa de fogos na EDS e na LDS em relação ao ano de 2011 na época seca. ....  | 42 |
| Figura 25 - Distribuição da frequência relativa do número de anos desde o último incêndio. ....   | 43 |
| Figura 26 - Número de anos desde o último incêndio em Queensland. ....  | 44 |
| Figura 27 - Número de anos desde o último incêndio no Território do Norte. ....   | 44 |
| Figura 28 - Número de anos desde o último incêndio na Austrália Ocidental. ....   | 44 |
| Figura 29 - Incidência de fogos na classe de ocupação de solo. ....   | 44 |
| Figura 30 - Distribuição da frequência relativa da incidência de fogos por ocupação de solo em cada território. ....  | 45 |
| Figura 31 - Gráfico de dispersão das horas pelo FRP. ....   | 46 |
| Figura 32 - Incidência de fogos pelas classes de horas. ....  | 46 |
| Figura 33 – Distribuição das detecções do FWI por classes de risco. ....  | 47 |
| Figura 34 - Distribuição da frequência relativa da detecção das classes de FWI pela ocupação do solo. ....  | 48 |
| Figura 35 - Distribuição da frequência relativa das classes de FRP pelas classes de risco do FWI. ....  | 48 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 36 - Distribuição da frequência relativa das classes de FRP. ....   | 49 |
| Figura 37 - Diagrama de bigodes para os dados de FRP.....  | 50 |
| Figura 38 - Gráfico de dispersão do FRP pelas classes de ocupação do solo.....   | 51 |
| Figura 39 - Histograma para a base completa.....   | 59 |
| Figura 40 - Histograma para a base de percentil acima do percentil 50 (a),<br>percentil 90 (b), percentil 95 (c) e percentil 99 (d).....   | 60 |
| Figura 41 - Distribuição das classes de FRP para as diferentes bases de dados.....   | 61 |
| Figura 42 - Mapas de distribuição dos percentis de FRP na área de estudo:<br>percentil 50 (a), percentil 90 (b), percentil 95 (c) e percentil 99 (d). ....   | 62 |
| Figura 43 - Árvore de classificação para a base completa.....  | 71 |
| Figura 44 - Árvore de classificação para a base de percentil 50.....   | 72 |
| Figura 45 - Árvore de classificação para a base de percentil 90.....   | 73 |
| Figura 46 - Árvore de classificação para a base de percentil 95.....   | 73 |
| Figura 47 - Árvore de classificação para a base de percentil 99.....   | 73 |
| Figura 48 - Estrutura do sistema FWI.....  | 74 |
| Figura 49 - Representação dos combustíveis pelos indicadores de humidade do<br>sistema FWI. ....   | 74 |
| Figura 50 - Mapa do número de anos desde o último incêndio. Painel a) ardeu em 2010,<br>painel b) ardeu em 2009, painel c) ardeu em 2008 e painel d) ardeu em 2007.. ....                          | 76 |
| Figura 51 - Mapa do número de anos desde o último incêndio. Painel a) ardeu em 2006,<br>painel b) ardeu em 2005, painel c) ardeu em 2005 e painel d) não ardeu durante o<br>período 2004-2011..... | 77 |

## **Lista de abreviaturas**

FRP – fire radiative power (potência radiativa do fogo)

FWI – fire weather index (índice de perigo meteorológico)

EDS – early dry season (início da estação seca)

LDS – late dry season (fim da estação seca)

Tslf – time since last fire (número de anos desde o último incêndio)

Ntb – number of times burned (número de vezes que ardeu)

TPW – total precipitation water (coluna de vapor de água)

Lat – latitude

Long – longitude

T – temperatura

CCS – classes de cobertura de solo

MPS – momento de passagem do satélite

W – woodlands

OW – open woodlands

OF – open forests

CF – closed forests

G – grasslands

OT – others

SW – sandstone woodlands

## 1. Introdução

Todos os anos, a Austrália é assolada por fogos intensos em áreas extensas, com um elevado impacte ambiental, especialmente na região Norte. A época de fogos ocorre entre Maio e Novembro, que tem dois períodos distintos, o início da estação seca (EDS), compreendida entre Maio e Julho e o fim da estação seca (LDS), entre Agosto e Novembro (Oliveira *et al.* 2015). Esta distinção baseia-se nas diferentes condições meteorológicas existente em cada um dos períodos. A EDS caracteriza-se por ser a parte mais fresca da estação, na qual a vegetação não se encontra totalmente seca, enquanto a LDS corresponde à parte mais quente da estação, na qual a vegetação encontra-se totalmente curada. A principal diferença entre ambas as estações inclui a temperatura e o grau de secura da vegetação anual (Oliveira *et al.* 2015). O clima da Austrália é caracterizado por uma estação húmida e seca, criando uma distinta sazonalidade de fogo, resultando numa variabilidade em relação à actividade/frequência do fogo e à sua intensidade (AGO 2007).

A actividade do fogo é mais severa no SE e SO da Austrália e no Sul de Darwin, localizado no Norte da Austrália. Apesar dos fogos serem politicamente e economicamente mais relevantes no Sul da Austrália, devido à proximidade das áreas arbustivas com a população humana (Russel-Smith *et al.* 2003), o Norte da Austrália é a região com fogos maiores e mais frequentes (Dyer *et al.* 2001).

Estudos têm sido feitos sobre as diferenças entre a actividade do fogo e a sua intensidade nas savanas tropicais do Norte da Austrália através da potência radiativa do fogo. Estes estudos, realizado por Oliveira *et al.* (2015), mostraram que a intensidade do fogo é maior na LDS do que na EDS devido aos elevados níveis de acumulação da carga de combustível, à secura dos combustíveis e às condições meteorológicas na LDS (Williams *et al.* 1998). Uma forma de combater os fogos é através de fogos controlados, no qual se queima a vegetação num determinado local, reduzindo desta forma a carga de combustível susceptível ao começo e propagação dos fogos (Dyer *et al.* 2001).

Os fogos controlados são realizados na EDS devido às moderadas condições meteorológicas, permitindo um melhor controlo destes fogos, criando fogos de baixa intensidade com o objectivo de mitigar os impactes na biodiversidade e as emissões de gases do efeito de estufa (Oliveira *et al.* 2015). Estes fogos, ao fragmentarem a paisagem no início da estação seca, permitem à população queimar parcelas isoladas de vegetação para usos mais específicos no fim da estação seca, uma vez que saberão que o fogo será parcialmente contido pelas parcelas que foram queimadas no início da estação seca (Laris, 2002). A prática de queimadas anuais em forma de mosaico, realizada pelos Aborígenes,

reduz os fogos abrangentes e destrutivos e aumenta a biodiversidade (Russell-Smith *et al.* 1997). O padrão das queimadas é composto por fogos de pequena extensão, tipicamente com fogos de baixa intensidade a serem deflagrados na vegetação mal ela esteja suficientemente seca, progressivamente e sistematicamente ao longo de toda a duração da estação seca. As queimadas começam no início ou a meio da estação seca com o objectivo principal de limpar a região, incluindo a preparação de aceiros para serem usados mais tarde na estação, para a caça e para outros fins (Russell-Smith *et al.* 1997). Os Aborígenes argumentam que a razão pela qual existem demasiados fogos na LDS com danos elevados é a falta de queimadas na EDS devido à política florestal (Lewis, 1989).

## 2. Objectivos do trabalho

O objectivo deste trabalho consiste em saber se existe um padrão temporal e espacial na intensidade dos fogos e se este padrão pode ser modelado por variáveis ambientais. Explorar quais as variáveis potencialmente associadas a valores baixos e elevados da potência radiativa do fogo poderá permitir apoiar a tomada de decisões num contexto de fogos controlados que poderá permitir responder a questões de quando e onde se deverá queimar. Para isso utiliza-se a potência radiativa do fogo, uma medida física relacionada com a intensidade do fogo (Oliveira *et al.* 2015). É necessário tomar medidas que reduzam a intensidade dos fogos e os impactos ecológicos, económicos e sociais provocados anualmente por estes, nomeadamente no Norte da Austrália.

### 3. Caracterização da área de estudo

#### 3.1 Localização

A área em estudo localiza-se nas savanas tropicais do Norte da Austrália, na qual pertencem parte dos territórios de Queensland, do Território do Norte e da Austrália Ocidental (Figura 1). Uma savana consiste numa formação tropical constituída por pastagens de ervas altas entre as quais existem alguns arbustos dispersos ou árvores isoladas, com o estrato herbáceo a ser formado essencialmente por gramíneas. Cada um dos territórios apresenta atributos que devem ser considerados, visto poderem afectar a gestão do território de forma particular.

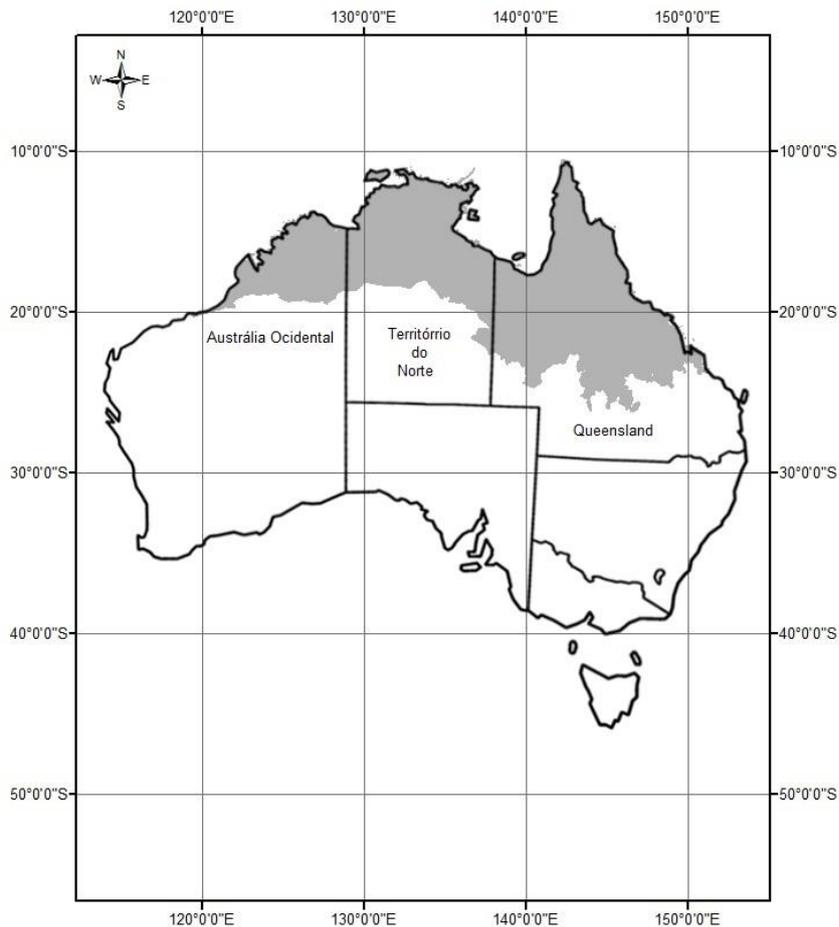


Figura 1 - Localização das savanas tropicais do Norte da Austrália.

Queensland é o estado com a maior proporção de terrenos geridos por negócios agrícolas, principalmente cultivos e pastagens (Oliveira *et al.* 2015), especificamente de gado bovino e de ovelhas na zona oeste de Queensland (Russell-Smith e Yates, 2007). A dimensão das propriedades, quando comparada com a dos outros estados (Figura 2), é mais baixa (Oliveira *et al.* 2015). Ao contrário de Queensland, o Território do Norte tem a menor proporção de terrenos geridos para fins agrícolas (Oliveira *et al.* 2015).

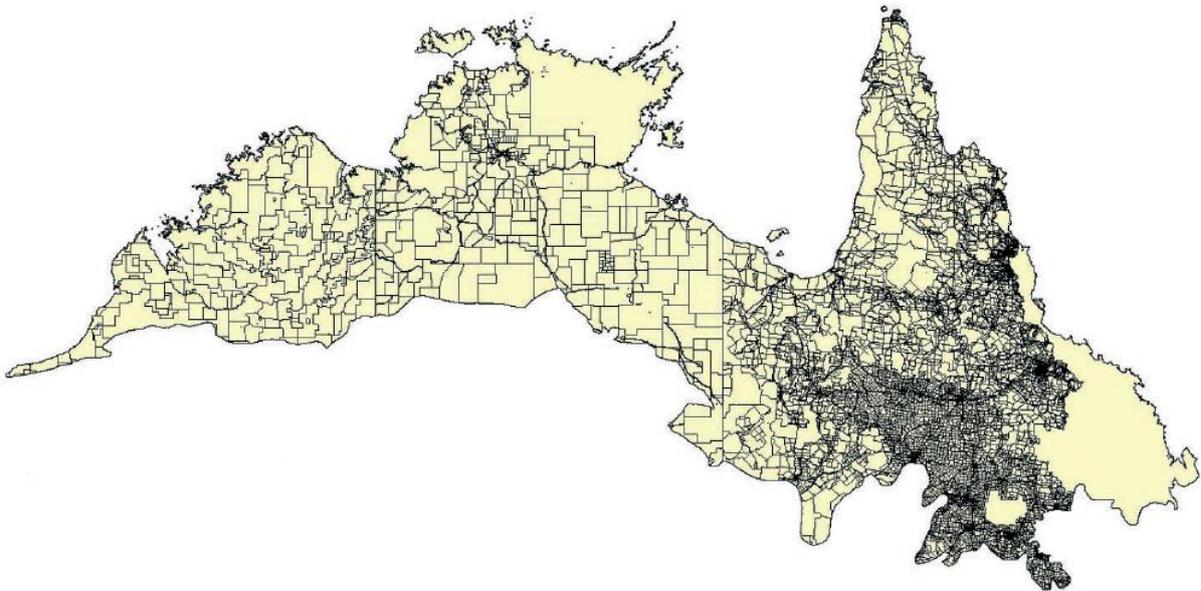


Figura 2 - Mapa cadastral da região Norte, que mostra as grandes propriedades que existem na Austrália Ocidental, Território do Norte e a oeste de Queensland. Dyer *et al.* 2001.

A maior parte da região consiste em terrenos possuídos pelos Aborígenes (Figura 3), para usos pastorícios, mineração e turismo. Para além disto, existem terrenos dispostos para fins de conservação que estão incluídos na “*Aboriginal freehold tenure*” (Russell-Smith e Yates, 2007). Por fim, a Austrália Ocidental possui principalmente terrenos governamentais não atribuídos (Russell-Smith e Yates, 2007). Tanto na Austrália Ocidental como no Território do Norte, a maior parte das suas reservas ocupadas pertencem aos Aborígenes (Figura 3) (Oliveira *et al.* 2015). A maior parte das áreas do Norte da Austrália incluídas na conservação da biodiversidade são possuídas ou geridas pelos Aborígenes (Figura 3), que no Território do Norte, têm título exclusivo de cerca de 45% da terra e 85% da linha costeira. Para além disso, eles também detêm direitos de títulos nativos não exclusivos sobre grande parte da terra restante e das zonas costeiras. Como a população a identificar-se como Aborígene e a ocupar zonas aborígenes em regiões remotas tem aumentado significativamente, o país precisa do apoio dos proprietários Indígenas e dos

gestores de recursos para ir ao encontro dos compromissos regionais, nacionais e internacionais para a manutenção da diversidade biológica (Whitehead *et al.* 2003).

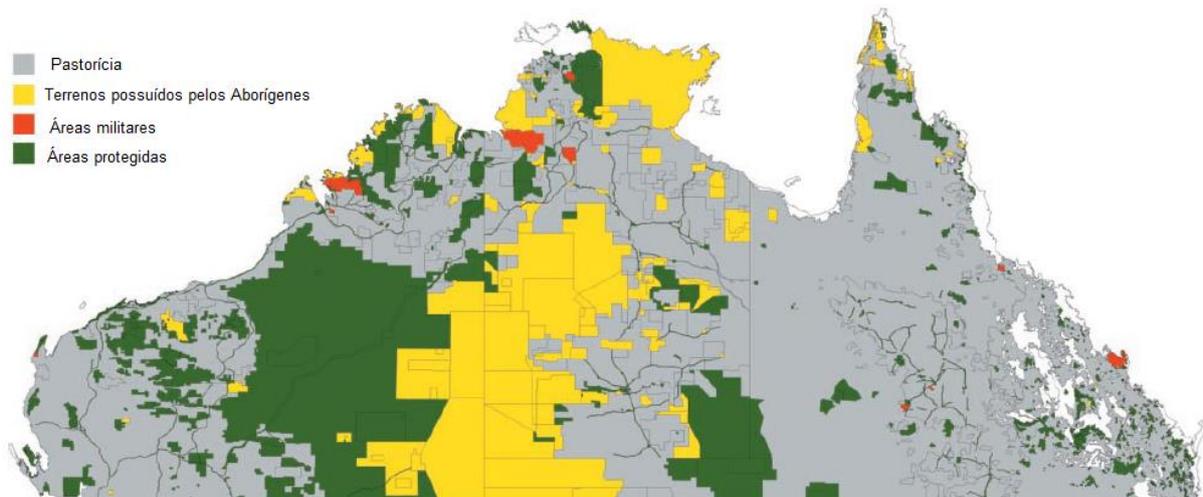


Figura 3 - Mapa de uso do solo na região Norte da Austrália. A maior parte da região pertence a zonas pastorícias e a terrenos possuídos pelos Aborígenes. Existem algumas áreas protegidas, que estão ao abrigo dos Aborígenes e algumas áreas militares. Dyer *et al.* 2001.

Estes atributos têm relevância ao nível da actividade do fogo e da sua intensidade, uma vez que os fogos são usados para diferentes fins e em diferentes momentos (Oliveira *et al.* 2015). O facto de cada estado ter diferentes proporções de terrenos atribuídos aos Aborígenes e à população não-Aborígene, tem impacto ao nível da forma como é realizada a gestão do fogo. Cada população tem diferentes razões e processos para aplicar o fogo controlado, tendo objectivos diferentes a atingir com esta prática.

### 3.2 Vegetação

O coberto vegetal do Norte da Austrália consiste majoritariamente numa floresta dominada por eucaliptos, desenvolvidos em solos tipicamente pobres em nutrientes, levando eventualmente à formação de copas abertas e baixas em altura com a diminuição da precipitação (Russel-Smith e Yates, 2007). O coberto vegetal abrange também florestas abertas, bosques abertos e savanas arbustivas dominadas por eucaliptos, com a estrutura da vegetação determinada pela humidade sazonal e drenagem dos solos (Figura 4) (Wilson *et al.* 1990). Em associação com os eucaliptos ocorrem arbustos altos. A densidade do copado das árvores ou dos arbustos pode variar entre menos que 1% e 60-70% e a densidade das árvores pode ser superior a 100 árvores por hectare (Williams e Cook, 2001).

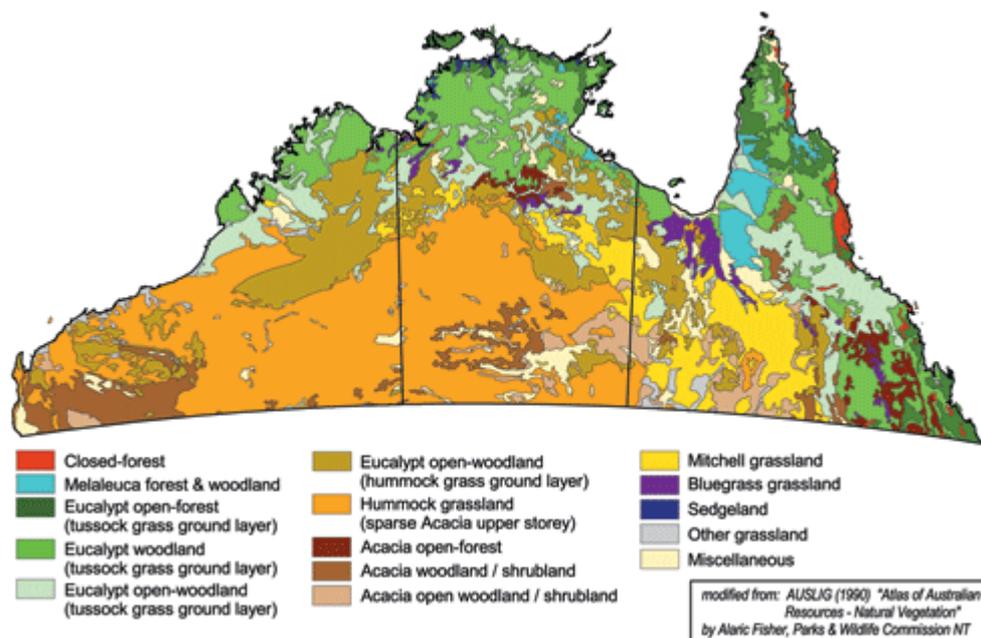


Figura 4 - Vegetação das savanas tropicais do Norte da Austrália. Williams e Cook, 2001.

Neste estudo, agregaram-se as classes de vegetação apresentadas na figura anterior em sete classes de vegetação: open forests (OF), closed forests (CF), grasslands (G), open woodlands (OW), woodlands (W), sandstone woodlands (SW) e others (OT) (Figura 5).

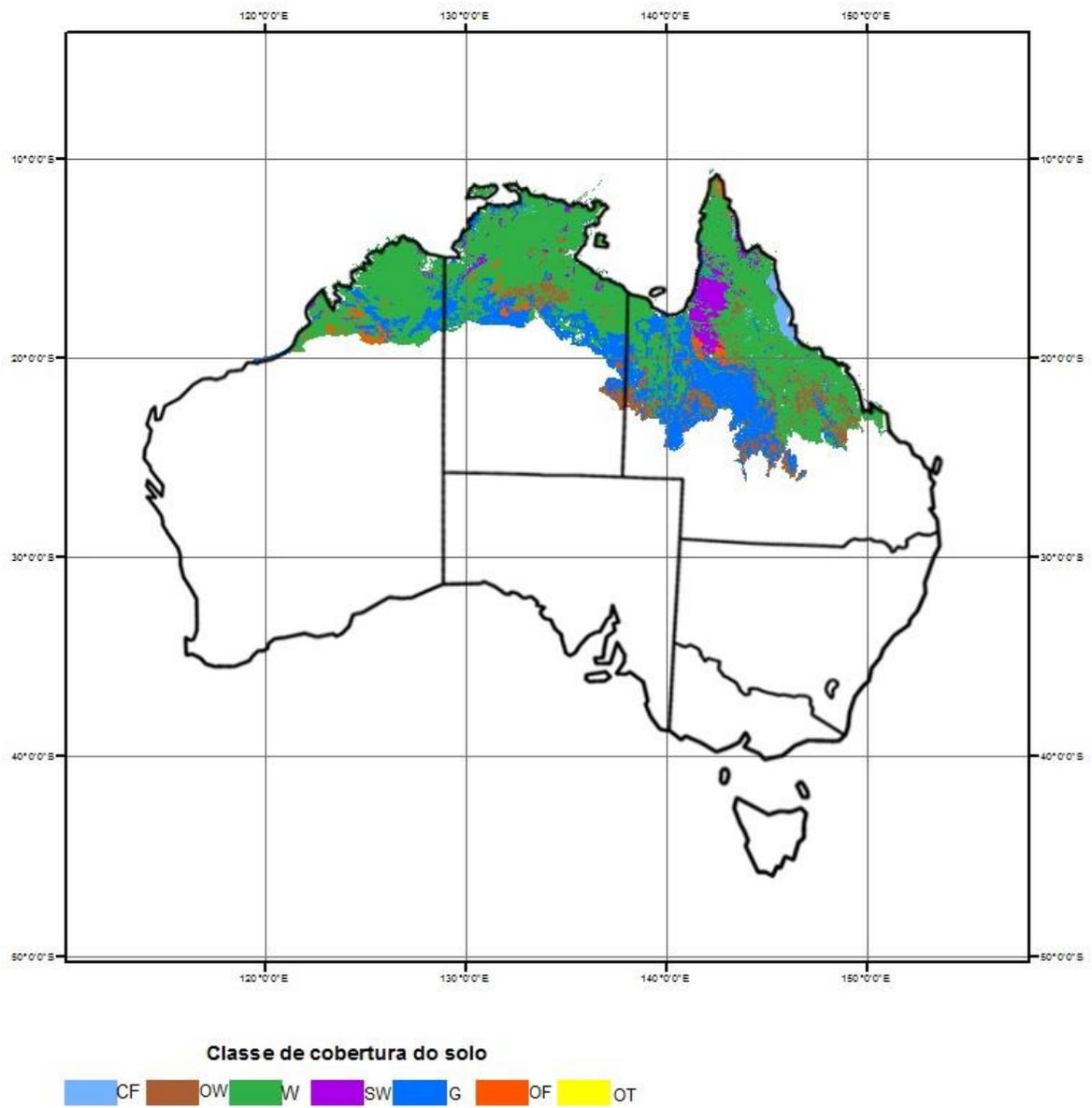


Figura 5 – Distribuição da cobertura do solo da região em estudo.

### 3.3 Condições climáticas

Devido à grande dimensão da Austrália, não existe um único calendário sazonal para todo o continente. A Austrália apresenta 6 grandes grupos e 27 sub-grupos de zonas climáticas, definidas de acordo com a classificação de Köppen (<http://www.bom.gov.au>) e como consequência existem dois padrões sazonais, o padrão de Verão/Outono/Primavera/Inverno que afecta a zona temperada, zona desértica e as pradarias e o padrão Seco/Húmido da zona tropical norte, incluindo as zonas equatoriais, tropicais e subtropicais (<http://www.australia.gov.au/>) (Figura 6).

A classificação de Köppen baseia-se no conceito de que a vegetação nativa é a melhor forma de expressar o clima de uma área. As 6 grandes classes foram identificadas através do tipo da vegetação nativa, com os sub-grupos a terem em consideração a distribuição sazonal da temperatura e da precipitação.

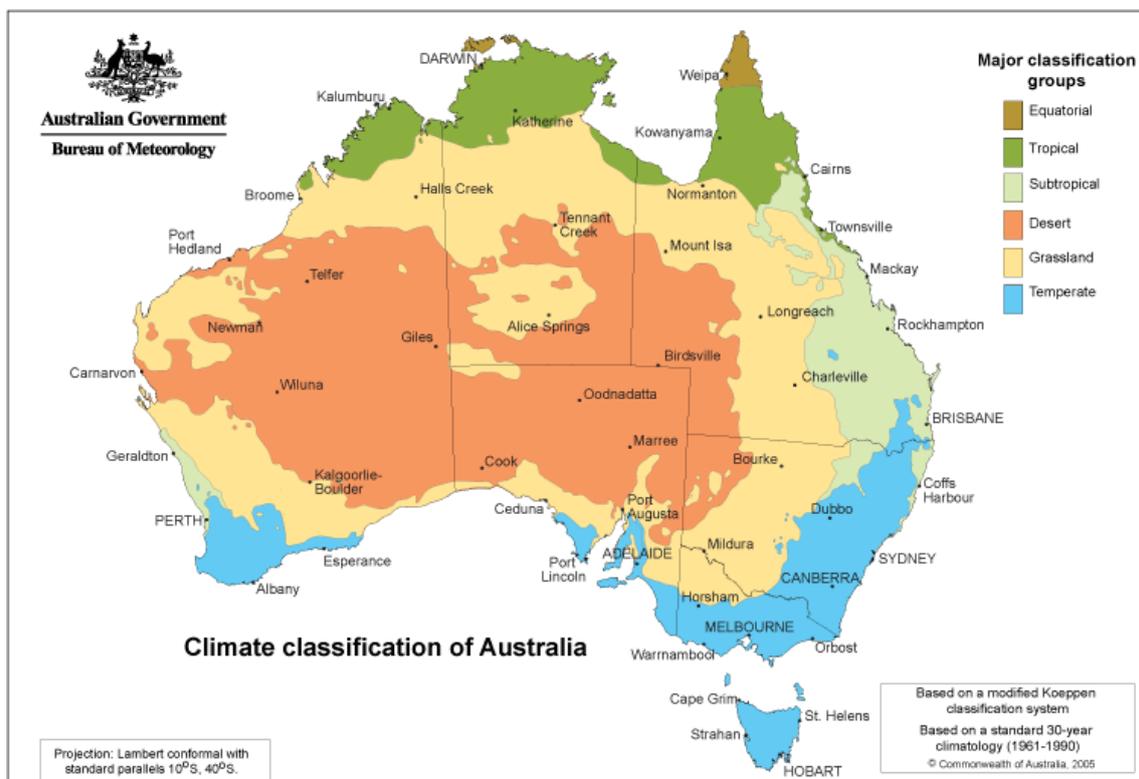


Figura 6 - Classificação climática de Köppen da Austrália.

A estação húmida nos trópicos da Austrália, também designada estação chuvosa, dura cerca de seis meses, entre Novembro e Março. Esta estação é mais quente que a estação seca, com temperaturas entre os 30°C e os 39°C (figura 7), devido à elevada humidade da estação húmida, que é causada pelas grandes quantidades de água no ar. Durante esta estação existe uma enorme quantidade de precipitação, frequentemente causando cheias.

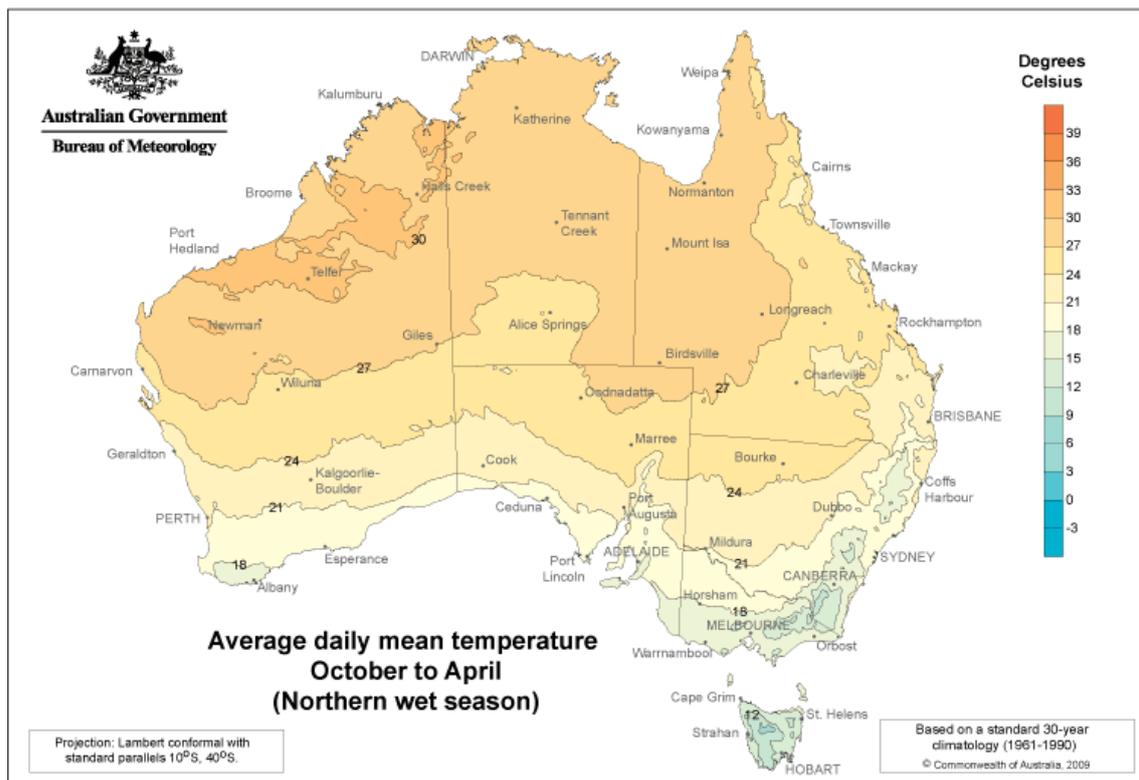


Figura 7 - Temperatura diária média durante a estação húmida da Austrália.

A estação seca, com duração de cerca de seis meses, geralmente entre Abril e Outubro, apresenta temperaturas mais baixas, com a temperatura média a rondar os 20°C (Figura 8).

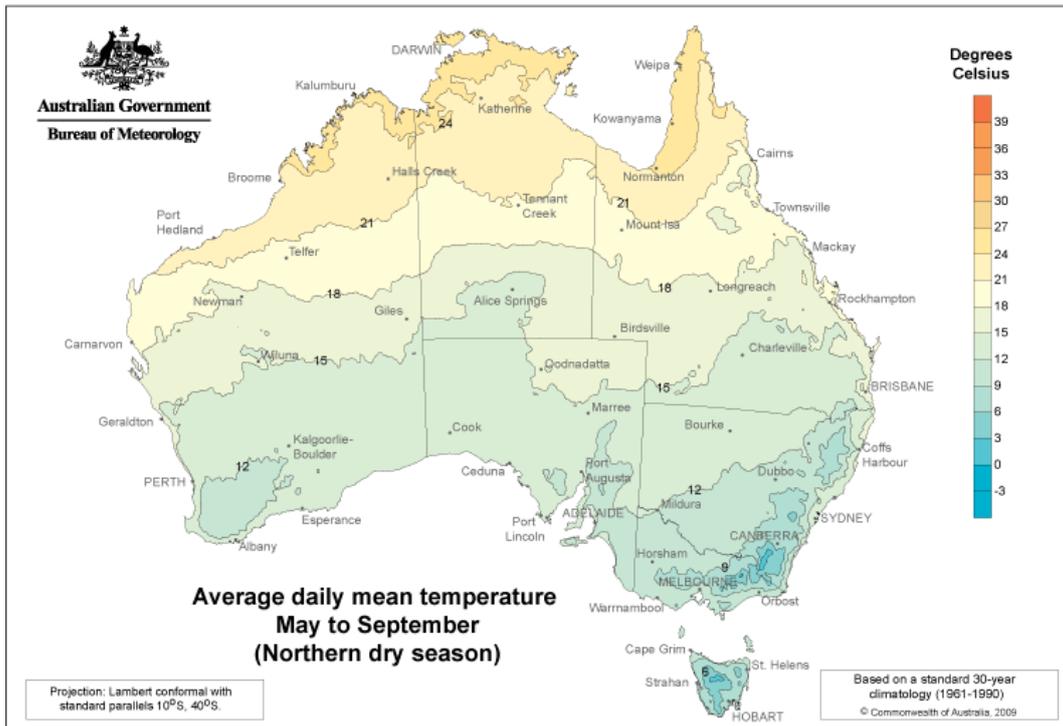


Figura 8 - Temperatura diária média durante a estação seca da Austrália.

Nas regiões das savanas da Austrália, a precipitação ocorre principalmente entre Outubro a Março, sob influência da monção Asiática, diminuindo rapidamente à medida que se desloca para o interior (Russell-Smith e Yates, 2007), de superior a 2000 mm por ano para cerca de 500 mm por ano em algumas regiões costeiras da Austrália Ocidental e Queensland (Figura 9) (Russell-Smith *et al.* 2003).

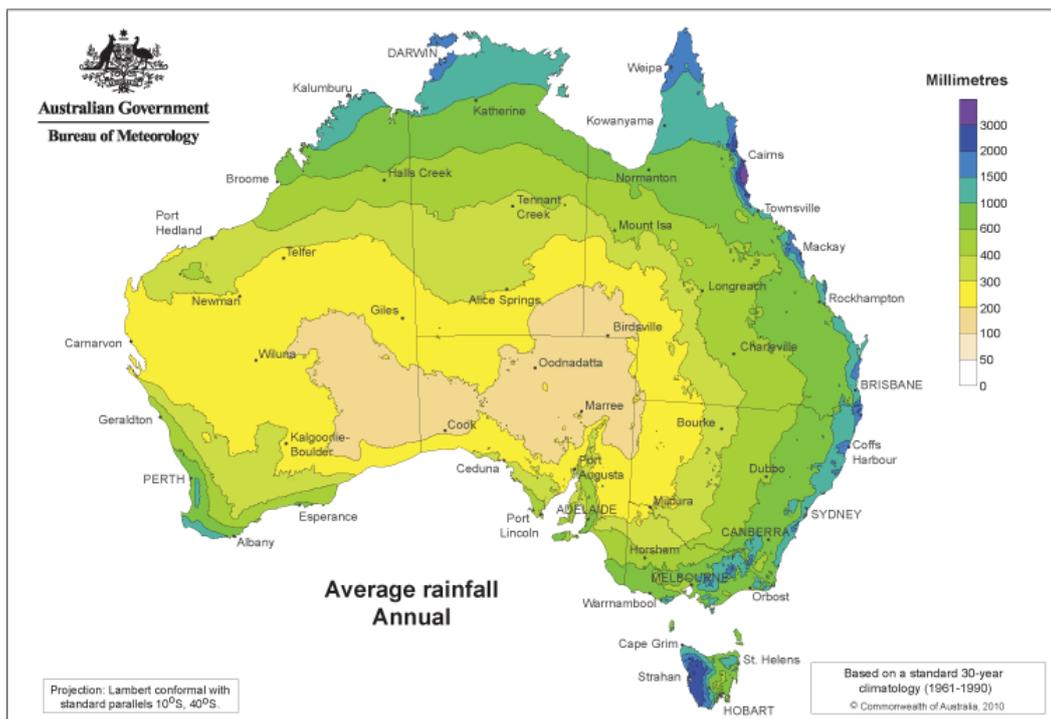


Figura 9 - Precipitação anual média na Austrália.

A precipitação geralmente aumenta à medida que se aproxima da costa, devido ao aumento da humidade. A elevação também é um factor importante na influência que tem na precipitação, com as áreas montanhosas do nordeste de Queensland a receber uma elevada quantidade de precipitação. No Norte da Austrália, a maior parte da precipitação está associada à monção e ocorre nos meses de Verão (<http://www.bom.gov.au>).

A monção estando associada a condições de nublado, períodos de precipitação intensa, com tempestades ocasionais e ventos fracos a fortes, causa frequentemente dilúvios nas zonas afectadas. Para além disso, os regimes de fogo do Norte da Austrália sofrem influência da monção, resultando numa ocorrência frequente de fogos de baixa intensidade (Murphy *et al.* 2013).

Apesar de haver uma certa variabilidade na precipitação entre os anos (Taylor e Tulloch, 1985), esta tem implicações na secura da erva, produção biomassa combustível e por isso na variabilidade inter e intra-anual, e conseqüentemente no regime de fogo (Russell-Smith *et al.* 2003). As condições climáticas conduzem a uma suficiente produção de combustíveis finos, para originar fogos de superfície, influenciados pela intensidade de precipitação (Walker 1981).

### 3.3.1 Clima tropical de Queensland

Devido ao tamanho de Queensland, o clima neste estado varia bastante. O extremo norte de Queensland está sujeito a verões quentes e húmidos (estação húmida) e a Invernos amenos. Na zona norte tropical, as temperaturas de Verão podem atingir os 31°C durante o dia (<http://www.environment.gov.au/>). Os ciclones tropicais são um perigo natural, que surgem de Novembro até Maio nas regiões costeiras. Os ciclones trazem ventos devastadores, precipitação forte e a ameaça de inundações de marés altas. Apesar de serem uma ameaça para as comunidades costeiras, os ciclones tropicais são uma enorme fonte de precipitação para as zonas interiores secas. A precipitação média anual ronda desde os 1200 mm a mais de 4000 mm, com algumas zonas a serem sujeitas a precipitações ainda mais elevadas (Figura 10).

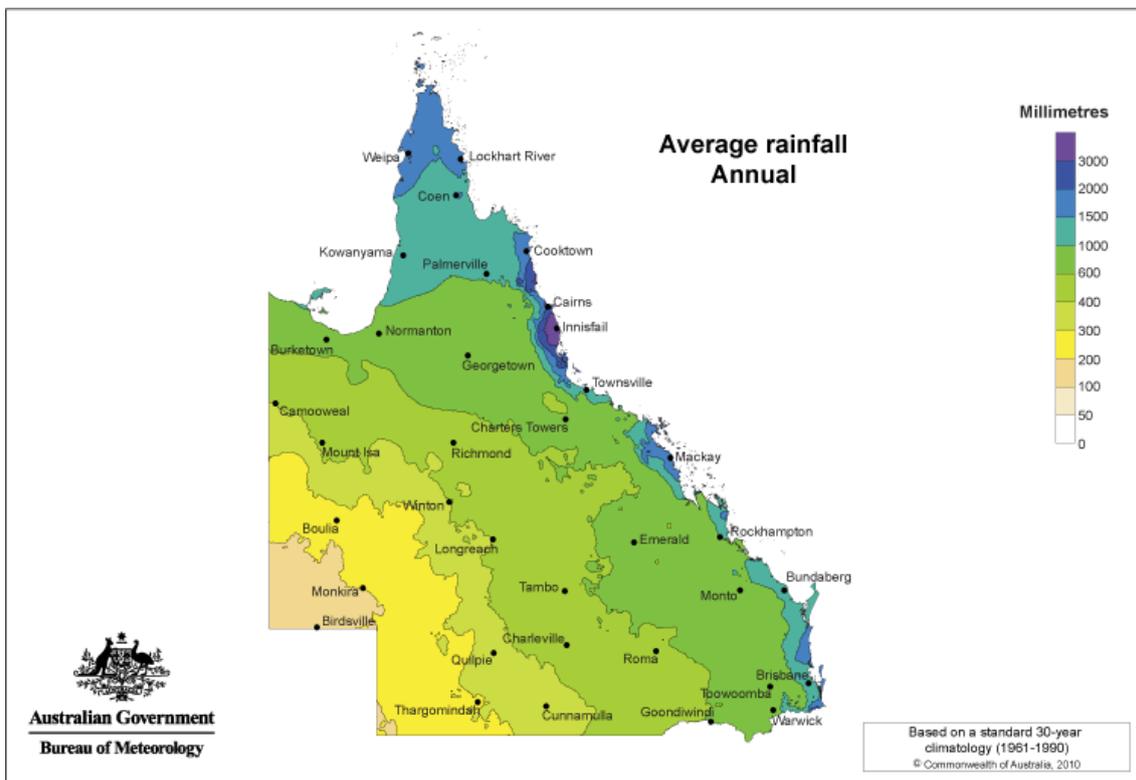


Figura 10 - Precipitação anual média em Queensland.

Na costa, as temperaturas médias variam entre 23°C e 31°C (Figura 11). Durante o Verão, as temperaturas médias diárias variam desde um máximo de 28°C a um mínimo de 17°C. Durante o Inverno, a temperatura média diária máxima atinge os 22°C, enquanto a temperatura mínima é cerca de 9°C.

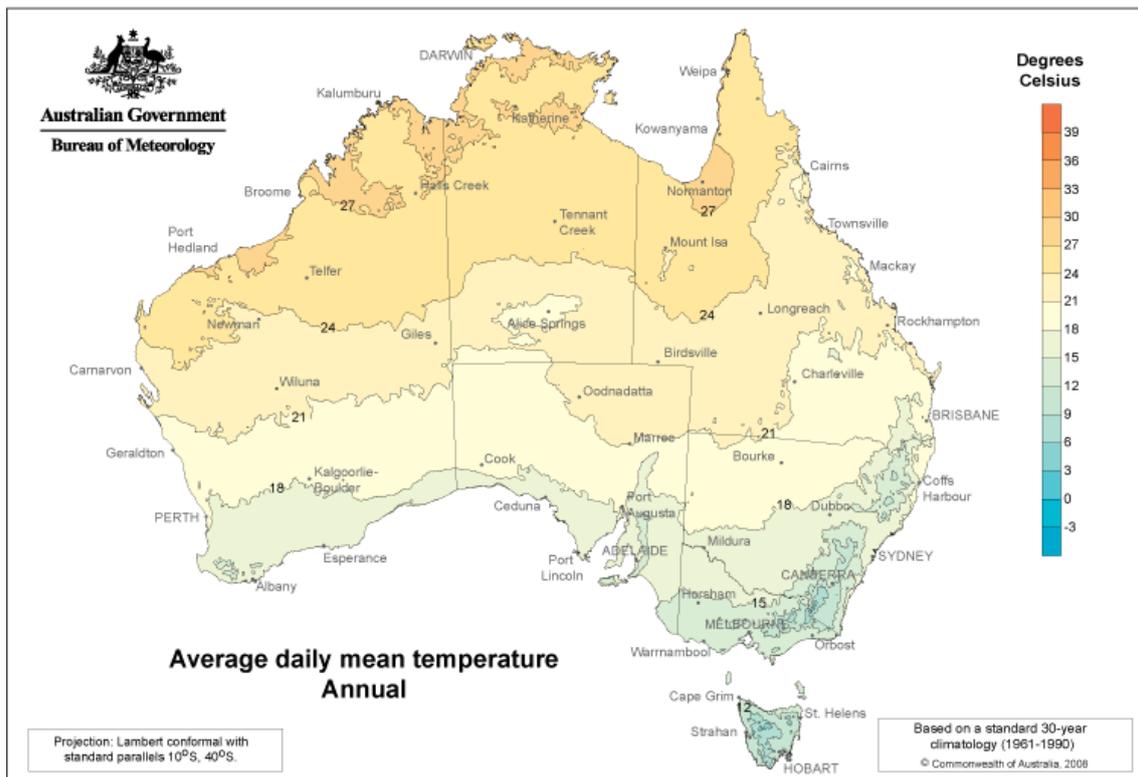


Figura 11 - Temperatura média anual da Austrália.

### 3.3.2 Clima tropical do Território do Norte

O Território do Norte tem uma zona tropical norte, com distintas estações secas e húmidas (<https://www.environment.gov.au/>). Durante a estação seca (Inverno), ocorre pouca precipitação. A estação húmida (Verão) está associada às chuvas derivadas da monção e dos ciclones tropicais. As temperaturas médias rondam os 32°C (Figura 11) e a precipitação média anual encontra-se perto dos 1500 mm (Figura 12).

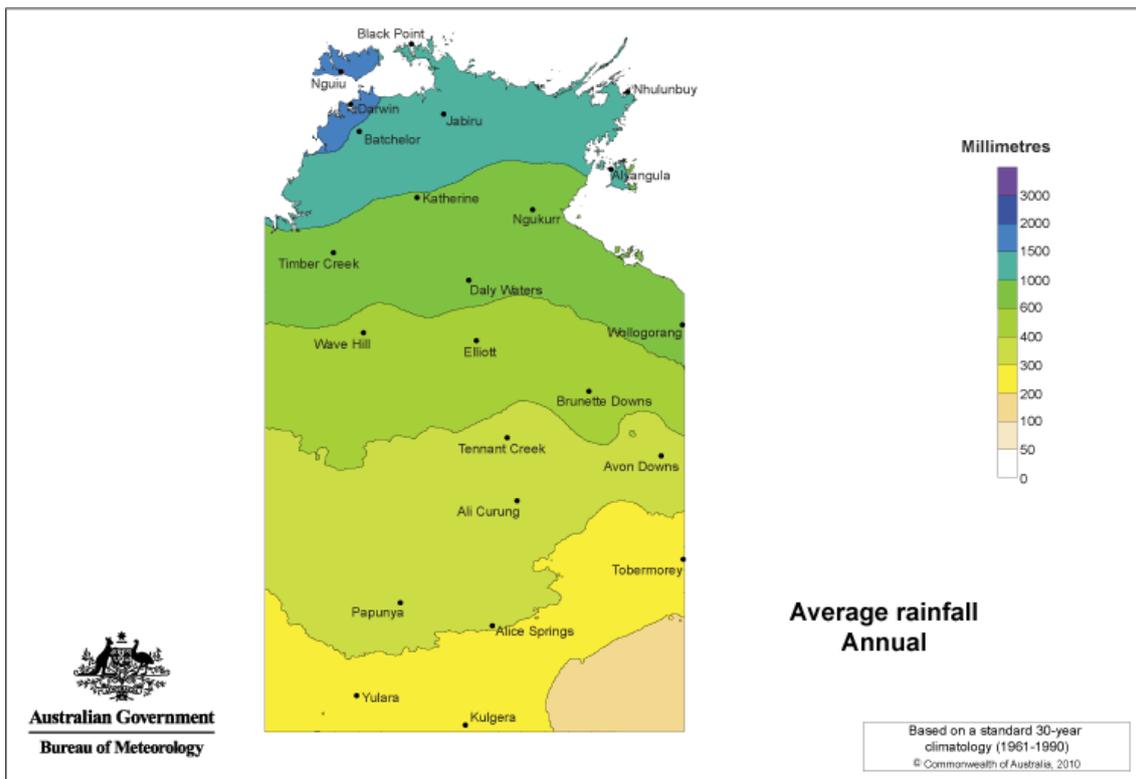


Figura 12 - Precipitação média anual no Território do Norte.

### 3.3.3 Clima tropical da Austrália Ocidental

Devido à sua elevada dimensão, o clima deste estado é bastante variado, desde as zonas tropicais norte, às regiões desérticas centrais e à zona temperada a sudoeste nas zonas costeiras. Na zona tropical a estação seca é caracterizada por ter dias quentes e noites amenas. A estação húmida está sujeita a humidades elevadas, precipitações intensas e tempestades. A precipitação pode variar entre os 500 mm e os 1500 mm (Figura 13) e a temperatura média atinge os 30°C (figura 11).

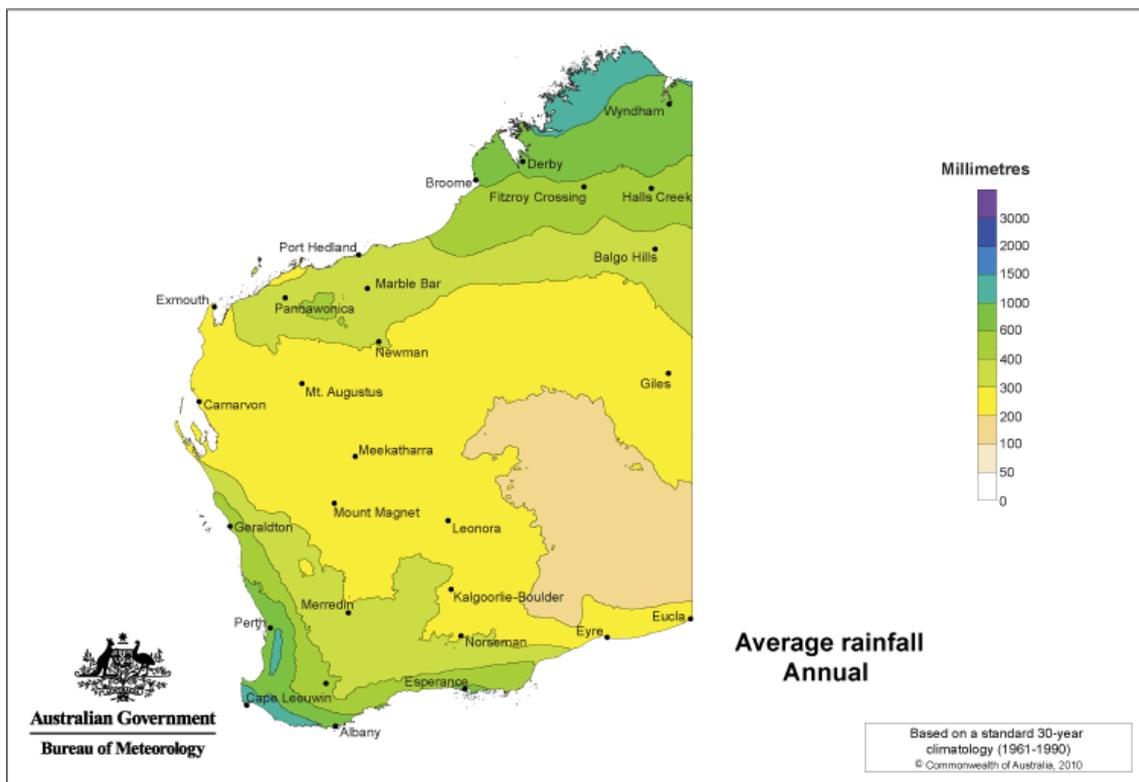


Figura 13 - Precipitação média anual na Austrália Ocidental.

### **3.4 Gestão tradicional do fogo *versus* gestão contemporânea do fogo**

A grande maioria dos fogos é iniciada por ignição humana, no entanto os fogos com ignições em trovoadas associadas com o início das condições monçónicas (tipicamente em Novembro-Dezembro) podem ser uma fonte significativa de ignições em alguns locais (Russell-Smith *et al.* 2003).

O fogo, sendo uma das ferramentas mais eficientes em diferentes fins, é frequentemente aplicado como um instrumento de gestão pelos aborígenes do Norte da Austrália, entre outros (Whitehead *et al.* 2003). No Norte da Austrália, o fogo é aplicado de várias maneiras para gerir as propriedades, tendo vários objectivos em mente, tais como o pastoreio, a conservação da biodiversidade, a gestão de parques nacionais e reservas, a protecção da vida e propriedade e a manutenção e acessibilidade e outros recursos valorizados pelos Aborígenes (Dyer *et al.* 2001). As queimadas, ocorrem tipicamente nas savanas tropicais, de forma desigual, ocorrendo principalmente nas zonas costeiras do Norte e nas zonas subcosteiras caracterizadas por serem pouco habitadas e terem uma elevada precipitação (NO de Kimberley, Top End do Território do Norte e à volta do Golfo de Carpentária) sobre uma grande variedade de usos do solo (pastorícia e conservação Indígena). As queimadas realizadas de forma mais limitada são realizadas em regiões com solos produtivos que suportam uma gestão pastorícia mais intensiva, particularmente em Queensland.

### 3.4.1 Gestão tradicional

#### Quando

Os Aborígenes consideram várias estações ao longo do ano. Os nomes tradicionais e o seu significado diferem entre os estados e entre cada etnia. Para exemplificar faz-se referência ao grupo pertencente ao planalto da Terra de Arnhem, localizada no canto nordeste de Top End do Território do Norte (Figura 14). O método pelo qual os Aborígenes da Terra de Arnhem organizam as estações encontra-se no quadro 1.



Figura 14 - Mapa da Terra de Arnhem, Território do Norte.

Quadro 1 - Designações tradicionais para a estação seca e para a estação húmida dos Aborígenes da Terra de Arnhem. Adaptado de Garde (2009).

| Estação seca           |                     |                       | Estação húmida                  |                |                                  |
|------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Yekke                  | Wurrkeng            | Kurrung               | Kunumeleng                      | Kudjewk        | Bangkerreng                      |
| Início da estação seca | Estação seca e fria | Estação quente e seca | Primeiras tempestades da monção | Estação húmida | Últimas chuvas da estação húmida |

É no início da estação seca (Yekke) que as queimadas começam a surgir, a partir do momento em que a vegetação começa a secar. No entanto como ainda existem zonas com vegetação demasiado húmida o resultado consiste numa paisagem composta por zonas queimadas e por manchas de vegetação não queimada (Garde, 2009). A Kurrung corresponde à época mais quente, acompanhada com elevada humidade do ar. Devido à extensa queima que ocorre durante as estações secas anteriores, a vegetação combustível disponível é reduzida, tornando mais baixa a probabilidade de ocorrência pelo menos de grandes incêndios (Garde, 2009).

As queimadas, quando possível, começam no fim da estação húmida e continuam através da estação seca até à chegada da precipitação da seguinte monção, com a população a tentar controlar a intensidade e a extensão dos fogos em diferentes estações e em diferentes habitats ecológicos e paisagens (Garde, 2009). Na estação húmida existe bastante combustível disponível, mas devido à precipitação intensa e à saturação do solo pela água, os fogos ou não chegam a ser iniciados ou não se propagam facilmente. No início da estação húmida, como o combustível fino encontra-se húmido, as temperaturas são baixas, as manhãs com presença de orvalho e os ventos são fracos, os fogos que ocorrem, formam manchas e geralmente extinguem-se à noite.

Na estação seca tardia, o combustível torna-se extremamente seco e inflamável e os dias são tipicamente quentes e secos. Os fogos podem propagar-se rapidamente e queimam durante a noite e sob condições de clima severas, podendo tornar-se em incêndios florestais intensos e extensivos. As queimadas no início da estação seca permitem quebrar a paisagem e tornam mais difícil a propagação de grandes incêndios devido à descontinuidade espacial da vegetação combustível dos incêndios florestais através dos aceiros criados ao longo do ano (Laris, 2011).

### Objectivos

Os Aborígenes recorrem ao fogo por várias razões, entre elas a limpeza de locais para permitir o alojamento, a redução de combustível e a colheita de frutos, entre outros (Garde, 2009). O fogo também tem sido usado para a gestão dos habitats e dos recursos alimentares ao longo do Norte da Austrália, bem como para outras funções, que abrangem a sinalização, a caça e cozinha e outros compromissos religiosos e sociais (Dyer *et al.* 2001).

### Implementação

A antiga prática tradicional de queimadas tem sido usada para uma variedade de objectivos, mencionados acima, cujos métodos se têm mantido relativamente estáveis em relação à prática actual da gestão tradicional. No entanto, esta prática sofreu um abandono

devido à chegada de colonizadores europeus e subsequente diminuição da população Indígena, causada principalmente pela introdução de doenças. O êxodo rural da população Aborígene perturbou a relação tradicional que se mantinha com a região, incluindo o uso do fogo. Apesar da interrupção da prática tradicional a uma escala maior, actualmente a população Indígena restante, ainda recorre ao fogo como uma ferramenta vital para o seu modo de vida (David Ritchie, 2009). As queimadas no início da estação seca reduzem a extensão do fogo durante a parte mais seca e quente do ano (Garde, 2009).

Para a gestão do fogo, os Aborígenes consideram aspectos pertinentes para o bom uso do fogo, nomeadamente a temperatura, a carga de combustível, a vegetação, o habitat, a intensidade e direcção do vento e as planícies de inundação. Em relação à vegetação, esta é examinada de acordo com a sua facilidade em arder, tendo atenção à sua humidade para evitar que ela arde demasiado (Dyer *et al.* 2001). A direcção do vento é observada para ter a certeza da direcção que o fogo irá seguir é a desejada.

Em muitas regiões, excepto a Nordeste da Terra de Arnhem e a Este de Cape York, os fogos controlados são concentrados no início ou a meio da estação, começando em zonas de elevadas altitudes e zonas de escoamento, estendendo-se geralmente para zonas mais baixas e zonas húmidas há medida que a secura aumenta. As queimadas são concentradas em regiões de elevada precipitação, localizadas perto de regiões costeiras e subcosteiras, em função da disponibilidade dos recursos e da densidade populacional.

Na prática tradicional, pequenas parcelas de vegetação são queimadas ao longo do ano, à medida que a população migra pelo país (Dyer *et al.* 2001). Fogos pequenos e menos intensos permitem manter habitats mais diversos ao contrário de fogos maiores iniciados mais tarde na estação (Dyer *et al.* 2001).

#### Situação actual da gestão tradicional

O controlo do fogo pelos Aborígenes no Norte das savanas australianas tem diminuído (Bowman 1998), resultando num aumento da necessidade de queima de grandes extensões de vegetação tardiamente na época seca (Russel-Smith *et al.* 2003) e levando a uma frequência de queima que coloca a estrutura e a composição da vegetação (Williams *et al.* 2002), bem como a fauna que suportam em risco (Franklin 1999).

Um padrão de incêndios frequente relativamente ao tempo necessário para o restabelecimento das comunidades sensíveis ao fogo e grande relativamente à área total do ecossistema afectado, coloca em risco a dinâmica do ecossistema, conduzindo a uma posição de instabilidade e em risco de colapso (Turner *et al.* 1993). Devido à quebra da

gestão tradicional, as cargas de combustível poderão ser maiores, resultando em fogos extensos e mais intensos (Whitehead *et al.* 2003).

No entanto, nas poucas áreas onde a gestão conduzida pelos Aborígenes ainda é praticada, verifica-se que a intensidade dos fogos é baixa, reduzindo desta forma o seu impacto na vegetação (Williams *et al.* 1999), dado que a carga de combustível herbáceo é mais baixa (Williams *et al.* 1998) e que outros tipos de vegetação sensíveis ao fogo não são adversamente afectadas pelo fogo (Whitehead *et al.* 2003). Sob condições contemporâneas, a prática tradicional é capaz de ir ao encontro de uma vasta gama de objectivos de biodiversidade (Whitehead *et al.* 2003).

### **3.4.2 Gestão contemporânea**

#### Quando

Nas regiões tropicais, as queimadas controladas são aplicadas desde Janeiro a Junho, ou seja, entre a estação húmida e o início da estação seca. Neste momento, os ventos são mais fáceis de prever e é quando a vegetação não se encontra totalmente curada, produzindo-se fogos de intensidade baixa, que fazem uma paisagem formada por um mosaico de manchas de queimado e de vegetação, e onde as condições nocturnas ajudam a extinção dos incêndios (<https://www.dpaw.wa.gov.au/>).

#### Objectivos

As queimadas controladas são realizadas tendo vários objectivos, entre eles a manutenção da biodiversidade, a mitigação da severidade dos incêndios florestais, a protecção de vidas e de propriedades através da redução da acumulação da carga de combustível, bem como a reabilitação da vegetação após incêndios (<https://www.dpaw.wa.gov.au/>).

#### Implementação

A realização de fogos controlados envolve um plano claro, compreendendo a determinação da vegetação que necessita de ser ou não queimada, criando desta forma um mosaico na paisagem, a intensidade e a estação na qual irá ser aplicada esta ferramenta de gestão. Há que se considerar a história e a variedade de eventos relacionados com o fogo que ocorreram na paisagem em gestão, a quantidade e a humidade dos combustíveis, as condições climáticas para iniciar uma queimada, a melhor altura do dia para iniciar um fogo controlado num padrão específico e numa sequência que permita atingir os resultados pretendidos e prevenir o fogo de se descontrolar. A monitorização dos resultados da queimada permite determinar como a operação atingiu os objectivos determinados e o uso do conhecimento adquirido e as lições aprendidas para melhorar as queimadas controladas a serem usadas no futuro.

#### Situação actual da gestão contemporânea

O maior desafio para os gestores do fogo no Norte da Austrália é a capacidade de implementarem efectivamente qualquer regime (Whitehead *et al.* 2003). A principal causa de falha na gestão do fogo é a falta de capacidade de influenciar a frequência do fogo, a sua intensidade e extensão sobre grandes áreas (Russell-Smith *et al.* 1997). A presença

substancial de Aborígenes em partes remotas do Norte da Austrália, especializados no uso do fogo, deve ser encarada como um apoio essencial (Whitehead *et al.* 2003).

Exemplo disto ocorre a oeste do planalto da Terra de Arnhem, onde a combinação dos métodos tradicionais com o conhecimento das práticas científicas e tecnológicas, permite a criação de pequenas manchas queimadas através das práticas tradicionais, ajudando os Aborígenes a estabelecer aceiros ao longo de vários quilómetros com a ajuda de meios aéreos, tais como helicópteros e aviões (<http://www.landmanager.org.au>).

## 4. Dados e métodos

### 4.1 Satélite

Os dados das detecções de fogos foram obtidos através do MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), instrumento instalado a bordo dos satélites Terra (EOS AM) e Aqua (EOS PM), que têm a função de obter dados oceânicos, atmosféricos e terrestres (<http://aqua.nasa.gov/> e <http://terra.nasa.gov/about/terra-instruments>). O instrumento MODIS, lançado em 1999 pela NASA, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de modelos validados, interactivos e globais sobre o sistema Terra, capazes de fazer previsões sobre alterações globais com rigor. O instrumento permite obter informação sobre a vegetação, cobertura da superfície da terra, fluorescência da clorofila no oceano e propriedades das nuvens e dos oceanos, ocorrência de incêndios, cobertura de neve na terra e cobertura de gelo nos oceanos (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>).

O MODIS *active fire product* é um produto que foi criado para responder à procura crescente de dados sobre o fogo espacialmente explícitos para parametrizar e validar vários modelos regionais e globais, com recurso aos sistemas NOAA-AVHRR e GOES. (Justice *et al.* 2006). A informação fornecida pelo MODIS *active fire product* é usada para monitorizar a distribuição espacial e temporal dos fogos activos em diferentes ecossistemas, detectar alterações na distribuição do fogo e o poder radiativo instantâneo, identificar incêndios florestais e detectar alterações na frequência de fogos. O MODIS está equipado com canais espectrais infravermelhos, projectado especificamente para detectar e caracterizar os fogos e a energia termal emitida. Para isso recorre aos canais de 4  $\mu\text{m}$  e 11  $\mu\text{m}$  com uma resolução de 1 km, que foram concebidos para serem sensíveis a temperaturas que atinjam cerca de 450K e 400K, respectivamente. O MODIS monitoriza a actividade global do fogo duas vezes durante o dia e duas vezes durante a noite (Kaufman *et al.* 1998). A potência radiativa do fogo pode ser adquirida através de comprimentos de onda da radiação infravermelha média e fornece dados razoavelmente precisos da estimativa da taxa de combustível consumido quando as taxas de combustíveis são baixas (Wooster *et al.* 2005). A potência radiativa do fogo, obtida através da detecção de fogos activos só está disponível através de condições relativamente livres de nuvens no momento da passagem do satélite (Roberts and Wooster, 2008). A potência radiativa do fogo é definida apenas para fogos activos que tenham tamanho suficiente e temperaturas que permitam a sua detecção (Giglio *et al.* 2003) e varia instantaneamente devido às alterações das condições de queima, por exemplo, o vento, e por isso as medidas da potência radiativa do fogo durante a passagem do satélite não são representativas da potência radiativa do fogo durante o evento (Boschetti and Roy, 2009).

## 4.2 Variáveis

Uma base de dados foi construída e a partir desta escolheu-se as variáveis para explorar a dinâmica temporal e espacial da potência radiativa do fogo (quadro 2).

Quadro 2 - Variáveis da base de dados.

| Variável | Unidades     | Descrição  |
|----------|--------------|--|
| FRP      | Megawatts    | Potência radiativa do fogo                                     |
| Mês      | -            | Mês de ocorrência do incêndio                                  |
| CCS      | -            | Classes de cobertura do solo onde se detectou o incêndio       |
| Tslf     | Numérico     | Número de anos desde o último incêndio (2004-2011)             |
| MPS      | Hora         | Momento de passagem do satélite, que foi transformado em horas |
| FWI      | Numérico     | Índice de perigo meteorológico                                 |
| Data     | Ano/mês/dia  | Data de ocorrência do incêndio                                 |
| Lat      | Grau decimal | Latitude   |
| Long     | Grau decimal | Longitude  |
| T        | °C           | Temperatura do incêndio  |
| TPW      | mm           | Coluna de vapor de água  |
| Ntb      | Numérico     | Número de vezes que ardeu entre 2004-2011                      |

A libertação de energia termal do fogo propaga-se pelo espaço e por isso, os satélites conseguem detectar o número de fogos activos durante o momento de passagem (actividade do fogo) e a energia produzida dum incêndio (intensidade do fogo). Em áreas remotas e extensivas, a potência radiativa do fogo (FRP) é a única forma possível de estimar a intensidade do fogo (Oliveira *et al.* 2015). A potência radiativa do fogo é uma medida da energia radiante libertada por unidade de tempo da vegetação em combustão, expresso em Joule por segundo, equivalente a Megawatts, relacionado com a taxa de

queima do combustível e da volatilização do carbono (Roberts *et al.* 2005). Para facilitar a análise do FRP, este foi dividido em classes com recurso ao histograma (Figura 39). A 1ª classe corresponde a uma intensidade baixa, sendo inferior a 150 MW, a segunda entre os 150 MW e os 650 MW pertence a uma intensidade média e a última para valores de FRP acima de 650 MW corresponde a uma intensidade elevada (Figura 36). A divisão do FRP em classes facilita o seu uso como forma de gestão, tornando a sua interpretação mais intuitiva.

Para determinar se existe um padrão temporal na intensidade dos fogos incluiu-se a variável mês que corresponde ao mês em que foi detectado um fogo activo. O mês representa a importância da sazonalidade, uma vez que nesta estão implícitas as alterações climáticas que induzem menores ou maiores intensidades dos incêndios. Estas alterações referem-se à precipitação, humidade e temperatura que afectam o grau de secura da estação e consequentemente da vegetação.

O momento de passagem do satélite, transformado em horas, tenta caracterizar a actividade diária dos fogos e foi usada para tentar explicar a relação entre os períodos de maior intensidade dos fogos e os picos de secura/temperatura do ar.

Outra variável, o número de anos desde o último incêndio, poderá ser crítico na modelação da intensidade do fogo já que condiciona a quantidade de vegetação disponível para arder. Quanto maior o número de anos entre incêndios, maior a carga de combustível promovendo a propagação de fogos de elevada intensidade.

A cobertura do solo é outra variável que pode ter um impacto considerável na intensidade do fogo. O tipo de vegetação, bem como a sua distribuição e organização influenciam a propagação do fogo.

A fim de perceber se existe uma relação entre a intensidade do fogo e factores meteorológicos, foi considerada uma variável meteorológica. Visto que não existem dados meteorológicos locais experimentou-se incluir o FWI. O FWI (Fire Weather Index) é um sub-índice do CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System), que depende somente de leituras meteorológicas, fornecendo uma medida geral do perigo de incêndio em zonas florestais e rurais (<http://www.nrcan.gc.ca>). O CFFDRS é um sistema nacional que avalia o risco de incêndio no Canadá. Apesar disso, o CFFDRS é implementado a nível internacional devido à sua simplicidade e capacidade de adaptação a vários ambientes. (<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca> e <http://www.nrcan.gc.ca>).

O FWI é um índice numérico que consiste em seis componentes relacionados com os efeitos da humidade do combustível e do vento no comportamento do fogo (Figura 49). As

primeiras três componentes referem-se aos indicadores da humidade do combustível. Estas componentes são numéricas e correspondem ao teor de humidade da folhada e de outros combustíveis finos, o teor de humidade médio da camada orgânica e o teor de humidade médio das camadas orgânicas mais profundas (Figura 50). Os valores destes componentes aumentam à medida que o teor de humidade do combustível diminui. As restantes três componentes incorporam os indicadores de comportamento do fogo, que representam a velocidade de progressão, a carga de combustível consumida e a intensidade do fogo. Há medida que estes valores aumentam, o perigo de incêndio também aumenta (<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca>). Apesar das escalas dos seis componentes serem diferentes, elas são estruturadas de modo que a valores elevados correspondam a condições de queima mais severas (De Groot, 1998).

### Fire Weather Index (FWI)

O FWI resulta da combinação do ISI (índice de propagação inicial) e do BUI (índice de combustível disponível), correspondendo a um índice numérico da intensidade da frente de chamas (De Groot, 1998). O FWI relaciona-se mais directamente com a probabilidade de ocorrência de incêndios e com a severidade do seu comportamento, indicando a intensidade do fogo ao combinar a taxa de propagação do incêndio com a quantidade de combustível consumido (De Groot, 1998). O FWI é usado para antecipar o potencial da ignição diária através da paisagem através de duas categorias: incêndios humanos e fogos com origem em trovoadas. No quadro 3 encontra-se a interpretação do FWI, bem como dos seus componentes. Para valores abaixo de 10,5 o índice de perigo é considerado moderado ou baixo e acima de 18,5 reflecte um índice de perigo muito elevado ou extremo quando ultrapassa os 29,5.

Quadro 3 - Interpretação das classes do FWI e dos seus componentes.

| <b>Classificação de perigo</b> | <b>FFMC</b><br>Índice de teor de humidade dos combustíveis finos | <b>DMC</b><br>Índice de teor de humidade da camada orgânica em decomposição | <b>DC</b><br>Índice de secura | <b>ISI</b><br>Índice de propagação inicial | <b>BUI</b><br>Índice de combustível disponível | <b>FWI</b><br>Índice de perigo |
|--------------------------------|--|---|-------------------------------|--|--|--------------------------------|
| <b>Baixo</b>                   | 0-76   | 0-21  | 0-79                          | 0-1.5                                      | 0-24   | 0-4.5                          |
| <b>Moderado</b>                | 77-84  | 22-27   | 80-189                        | 2-4  | 25-40  | 4.5-10.5                       |
| <b>Elevado</b>                 | 85-88  | 28-40   | 190-299                       | 5-8  | 41-60  | 10.5-18.5                      |
| <b>Muito elevado</b>           | 89-91  | 41-60   | 300-424                       | 9-15                                       | 61-89  | 18.5-29.5                      |
| <b>Extremo</b>                 | 92+  | 61+   | 425+                          | 16+  | 90+  | 29.5+                          |

### 4.3 Árvore de decisão

Esta dissertação focou-se no método da árvore de decisão, um dos métodos mais usados na inferência indutiva (Tom M. Mitchel, 1997), que pretende detectar padrões nos dados de variada complexidade (Breiman *et al.* 1984). As árvores de decisão são um conjunto de regras determinadas por um procedimento recursivo, através do qual um conjunto de observações é sucessivamente dividido em subconjuntos de indivíduos com características menos heterogêneas (Breiman *et al.* 1984). As árvores podem ser de classificação ou de regressão, consoante a variável a modelar seja discreta ou contínua, respectivamente.

As principais propriedades que tornam este método de classificação interessante são:

- Fácil compreensão e interpretação;
- Necessitam de pouca preparação de dados;
- Permitem incorporar dados numéricos e categóricos, ao contrário de alguns métodos que se especializam num determinado tipo de dados;
- São robustos;
- Têm bom desempenho com grandes bases de dados num tempo razoável;
- Permitem tirar relações entre os dados de natureza progressivamente mais local à medida que se avança para os nós terminais.

Um exemplo do uso de árvores de classificação inclui o seu uso para desenvolver um algoritmo para produzir mapas de áreas ardidas para as savanas do Norte da Austrália através de dados do SPOT VGT (Stroppiana *et al.* 2003). Foram criadas três classes para o mapa: “superfície queimada”, “superfície não queimada” e “nuvens”. Como consequência, as variáveis preditoras tinham de ser aquelas que permitiriam uma melhor discriminação para estas classes, usando-se por isso as bandas espectrais do NIR e SWIR VGT e três índices espectrais, o GEMI (Global Environment Monitoring Index), NDWI (Normalized Difference Water Index) e o albedo. O resultado traduziu-se numa árvore de classificação com 12 nós terminais (Figura 15).

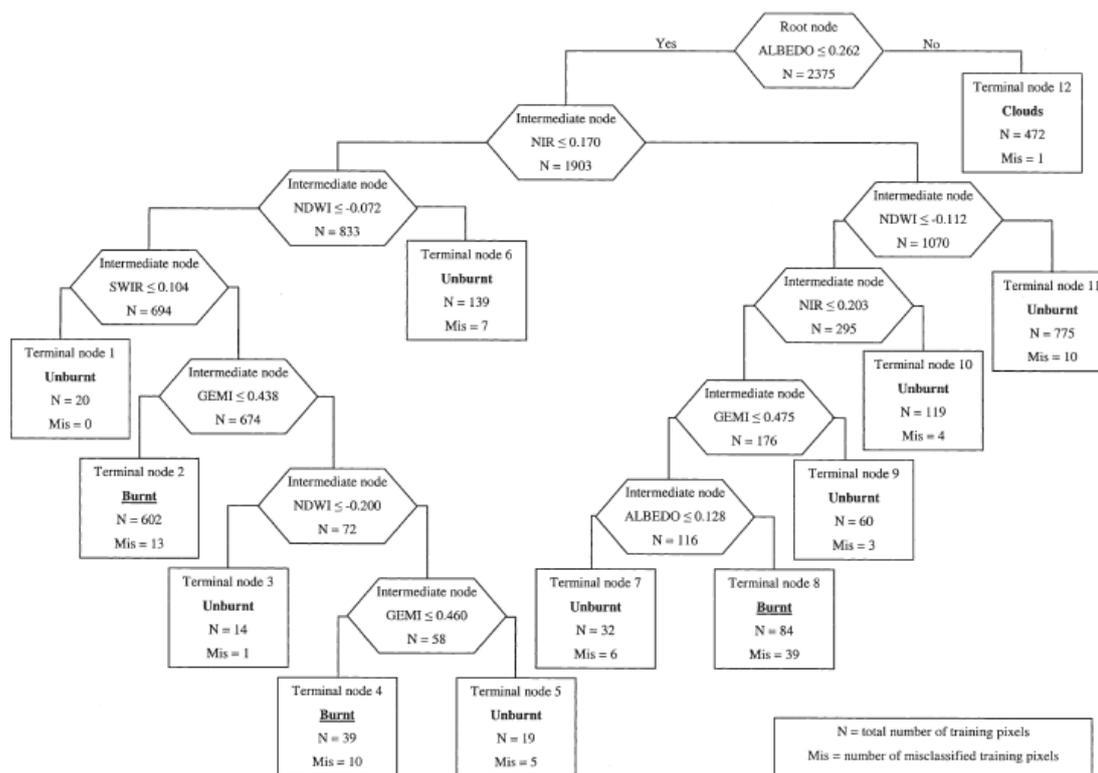


Figura 15 - Árvore de classificação com 12 nós terminais, com classificação de "superfície queimada", "superfície não-queimada" e "nuvens". (Stroppiana *et al.* 2003).

A divisão dos diferentes subconjuntos e a dimensão final da árvore, bem como a sua qualidade é determinada por vários factores. Entre eles estão a existência de indivíduos com atributos idênticos; de indivíduos de um determinado conjunto pertencerem à mesma classe; pela informação disponível não permitir a divisão em subconjuntos mais puros ou pela imposição de determinadas condições de paragem à divisão dos subconjuntos de indivíduos (Breiman *et al.* 1984).

Para se obter uma árvore de decisão, deve-se começar pelo nó principal, denominado nó raiz, percorrendo-se até aos diferentes nós terminais, designados folhas, que são desenvolvidos de acordo com determinadas regras ou critérios de divisão de nós. As observações que satisfazem as regras são agrupadas no nó da esquerda e as restantes observações no nó da direita. Ocorre uma divisão sucessiva de subconjuntos cada vez menos heterogêneos (nós intermédios) e com cada vez menos indivíduos, até que se imponha a paragem da divisão ou seja impossível realizar-se mais divisões e atribuir uma classe a cada um dos subconjuntos finais (nós terminais) (Breiman *et al.* 1984).

Associado às regras de divisão dos nós existe o conceito de impureza do nó, que está associada a uma medida da heterogeneidade do mesmo, que pode por exemplo ser

obtida através do cálculo da proporção de cada classe da variável resposta em cada nó. A qualidade de uma regra de divisão de um dado nó está relacionada com o decréscimo da função de impureza, quando o nó é subdividido em dois nós. Portanto, quando se considera um nó, procura-se todas as potenciais regras à divisão desse nó de modo a determinar qual a regra que produz o maior decréscimo na impureza desse nó (Breiman *et al.* 1984).

Existem vários algoritmos para a construção de modelos baseados em árvores de decisão. Neste trabalho usou-se o modelo de árvores de classificação e regressão desenvolvido por Breiman *et al.* (1984), implementado no programa CART (Classification and Regression Trees), desenvolvido por Steinberg e Philip (1997). O programa automaticamente procura padrões e relações relevantes, encontrando estruturas escondidas em dados extremamente complexos.

Uma árvore de classificação é um classificador binário, cuja variável resposta é categórica, ou seja, que se encontra em classe ou grupo, sendo estimada a partir de variáveis preditoras contínuas e/ou categóricas (Mitchell, 1997).

Para a árvore de classificação recorreu-se ao critério de Twoing. O critério é usado para problemas que tenham mais que duas classes, onde se separa em cada nó o conjunto de todas as classes em superclasses de modo a obter o máximo decréscimo na impureza desse nó. Através deste procedimento, o critério de Twoing fornece informação sobre a semelhança entre classes, i.e., em cada nó as classes são separadas nos grandes grupos de classes que apresentam a maior dissemelhança. Este critério agrupa perto dos nós do topo uma grande quantidade de classes que são semelhantes em algumas características, separando-as perto dos nós terminais. O critério de Twoing tende a beneficiar as regras que procuram equilibrar a distribuição das observações por ambos os nós descendentes, sendo mais utilizado em problemas de classificação quando o número de classes da variável resposta é elevado (Breiman *et al.* 1984).

Para estimar o erro das árvores, decidiu-se seleccionar ao acaso 25% dos dados da base de dados. Para a regra de desvio-padrão, escolheu-se a árvore com menor número de nós terminais, ou seja, uma árvore menos complexa, entre todas as árvores com um erro de classificação de uma unidade de desvio-padrão em torno do valor mínimo.

Inicialmente, usou-se a base de dados completa para construir a árvore de classificação. No entanto, houve dificuldade em modelar os dados de FRP, como se pode observar pelo erro da árvore (quadro 8). Uma vez que estes dados estão associados a um enorme número de observações (quadro 12) e por uma substancial quantidade desde dados (91%) se concentrarem num FRP baixo (Figura 36), resolveu-se separar apenas os valores

de FRP mais elevados. Experimentou-se então modelar os valores de FRP acima do percentil 50 e os valores elevados de FRP com valores acima dos percentis 90, 95 e 99, que quando comparado com a base de dados completa, têm um menor número de observações, que poderá ajudar a perceber melhor qual a relação das variáveis com o FRP. As opções usadas para a construção das árvores de decisão encontram-se no quadro 4.

Para a base completa e para os percentis 50, 90 e 95, decidiu-se não separar o nó caso a amostra seja menor que 1500 e não criar um nó terminal menor que 1000. No entanto, quando se aplicou estes parâmetros para o percentil 99, foi impossível criar uma árvore de classificação. Como resultado, os valores em relação a estes parâmetros são diferentes dos das outras bases de dados.

Quadro 4 - Parametrização da árvore de classificação para a base completa, percentil 50, 90, 95 e 99.

|                                | Base de dados | Parametrização            |                                       |                                 |   |   |                       |
|--------------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|---|-----------------------|
|                                |               | Método de divisão dos nós | Não separar nó caso amostra menor que | Não criar nó terminal menor que | Fracção de casos seleccionados ao acaso | Regra de desvio-padrão                                  | Variáveis predictoras |
| <b>Árvore de classificação</b> | Base completa | Twoing                    | 1500                                  | 1000                            | 25%                                     | Escolher a melhor árvore dentro do desvio-padrão mínimo | 5                     |
|                                | Percentil 50  | Twoing                    | 1500                                  | 1000                            | 25%                                     | Escolher a melhor árvore dentro do desvio-padrão mínimo | 5                     |
|                                | Percentil 90  | Twoing                    | 1500                                  | 1000                            | 25%                                     | Escolher a melhor árvore dentro do desvio-padrão mínimo | 5                     |
|                                | Percentil 95  | Twoing                    | 1500                                  | 1000                            | 25%                                     | Escolher a melhor árvore dentro do desvio-padrão mínimo | 5                     |
|                                | Percentil 99  | Twoing                    | 10                                    | 1                               | 25%                                     | Escolher a melhor árvore dentro do desvio-padrão mínimo | 5                     |

## 5. Resultados e discussão

### 5.1 Análise exploratória dos dados

A grande maioria dos incêndios ocorreu no Território do Norte (43%), com a Austrália Ocidental a ter o menor número de incêndios (Figura 16).

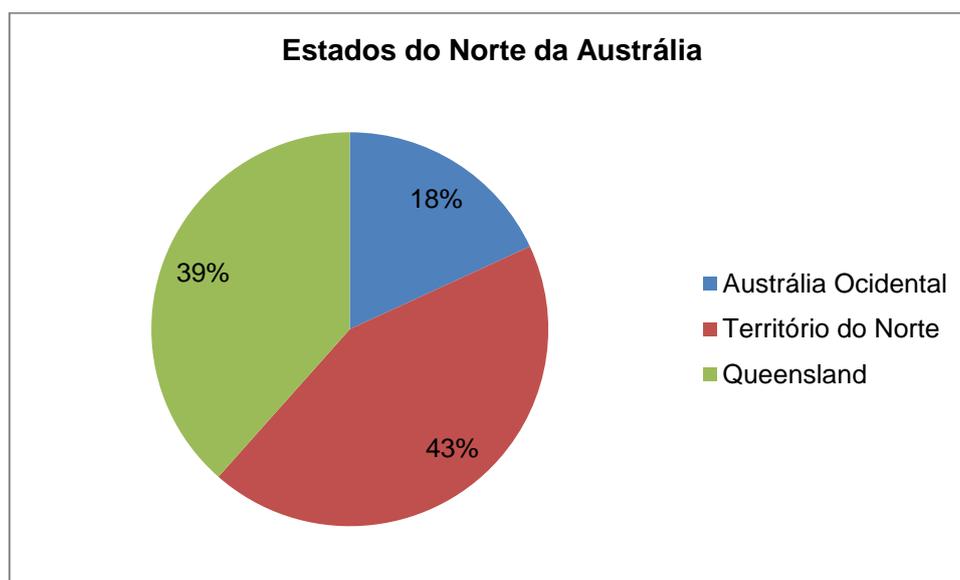


Figura 16 - Distribuição de fogos pelos estados da Austrália Ocidental, Território do Norte e Queensland.

Entre os três estados em estudo, Queensland é o que tem o maior número populacional, seguindo-se a Austrália Ocidental e por fim o Território do Norte. Estes valores são dados preliminares que se referem ao ano de 2016 durante o mês de Junho (quadro 5).

Quadro 5 - Número populacional para Austrália Ocidental, Território do Norte e Queensland para o ano de 2016.

| Estado              | População |
|---------------------|-----------|
| Queensland          | 4844 500  |
| Austrália Ocidental | 2617 200  |
| Território do Norte | 244 900   |

O facto de o Território do Norte ter um menor número populacional e menor densidade populacional (Figura 17) pode significar uma menor eficiência na detecção de incêndios, devido à falta de recursos, mão-de-obra e comunicação em áreas remotas (Dyer *et al.* 2001). Para além disso, o Território do Norte tem uma população Aborígine de cerca de 56 766 habitantes, de acordo com um censo de 2011 (<http://www.censusdata.abs.gov.au/>). Como é prática tradicional o uso do fogo para o seu modo de vida e visto a maioria da população Aborígine possuir mais terrenos no Território do Norte (Figura 3), é possível que seja esta a razão pela qual haja maior incidência de incêndios neste território.

Queensland tem o maior número populacional e uma população Indígena com cerca de 155 825 pessoas de acordo com o censo de 2011 (<http://www.censusdata.abs.gov.au/>). Queensland tem o maior número de propriedades pastorais (Figura 3), que precisam de funcionar de forma eficiente através de baixo capital e com pouca mão-de-obra. Visto isto, o fogo pode ser uma ferramenta eficaz nestas propriedades com queimadas estratégicas a serem usadas para prevenir incêndios, melhorar a pastorícia, a gestão do pasto e o controlo de infestantes (Dyer *et al.* 2001).

Por fim, a Austrália Ocidental com uma população de 69 664 Aborígenes (<http://www.censusdata.abs.gov.au/>) e um número populacional razoável, tem uma menor incidência de incêndios. Neste território, a maior parte das propriedades pertencem a áreas protegidas, com algumas áreas a pertencerem aos Militares, pastorícia e poucas a pertencerem ao Aborígenes (Figura 3). Dada a baixa frequência de propriedades pastorícias, nas quais o fogo é uma ferramenta bastante usada, a incidência de fogos irá ser mais baixa.

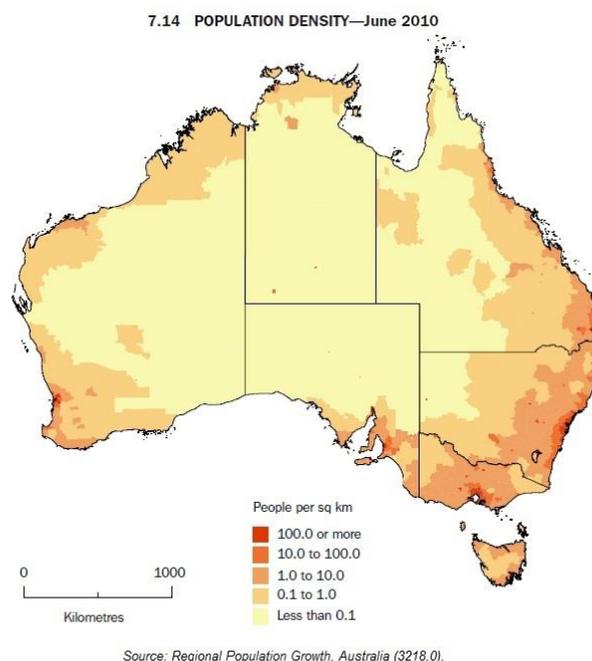


Figura 17 - Densidade populacional da Austrália para o ano de 2010.

Na Austrália Ocidental, a maior parte dos incêndios ocorreu nas W e o menor número de incêndios ocorreu nas CF (Figura 18).

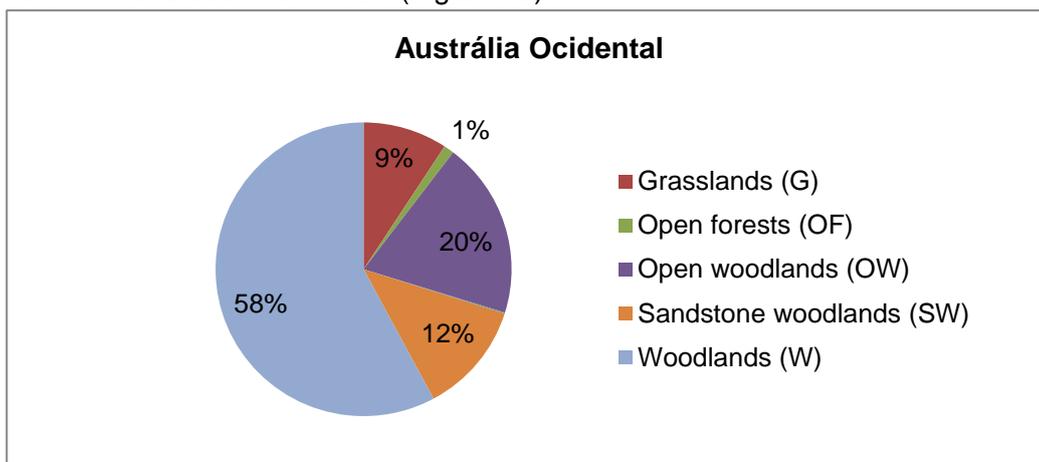


Figura 18 - Incidência de fogos na classe de vegetação da Austrália Ocidental.

No Território do Norte, a maior parte dos incêndios ocorreu nas W e o menor número de incêndios ocorreu nas CF (Figura 19).

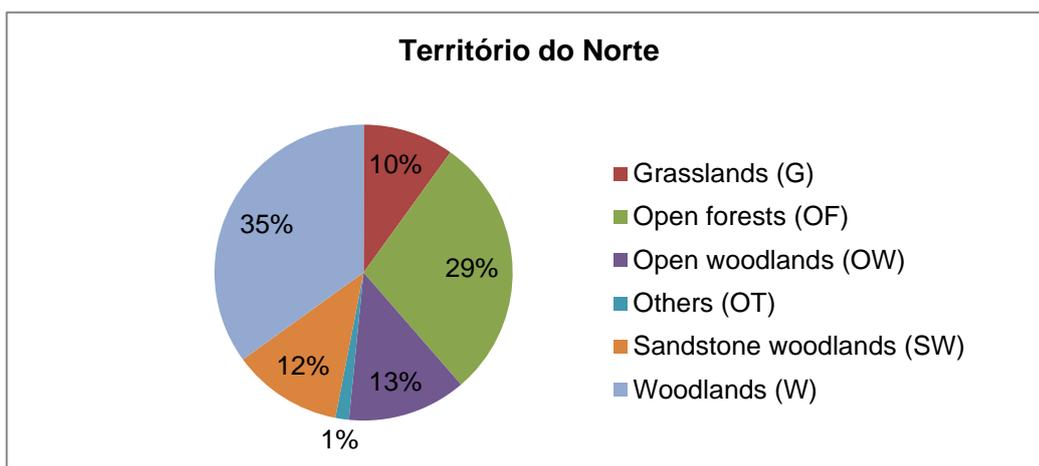


Figura 19 - Incidência de fogos na classe de vegetação do Território do Norte.

Em Queensland, a maior parte dos incêndios ocorreu nas W e o menor número de incêndios ocorreu nos OT (Figura 20).

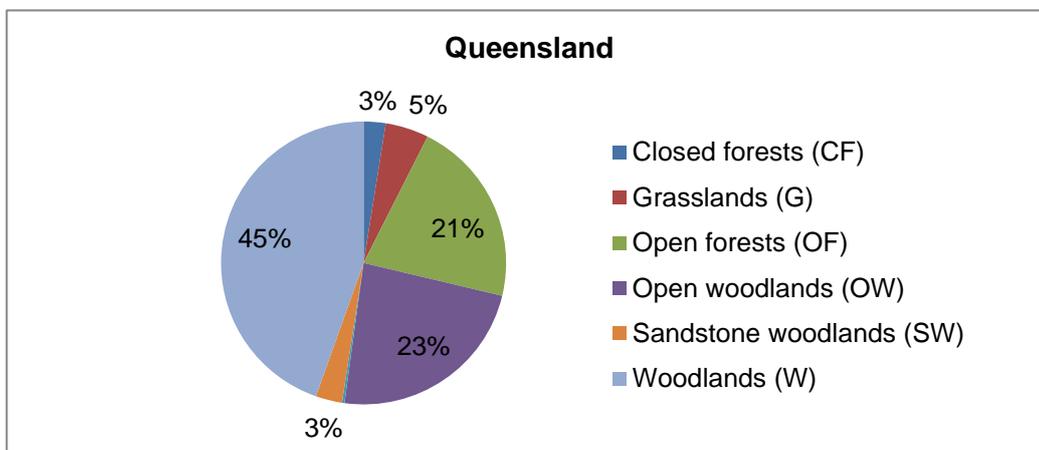


Figura 20 - Incidência de fogos na classe de vegetação de Queensland.

Uma vez que as W compreendem a maior parte da área de estudo (figura 5), é de esperar que, para qualquer estado, esta seja a cobertura de solo com maior incidência de incêndios. As CF e os OT, pela mesma razão, visto serem as classes de vegetação de solo com menor ocupação, foram aquelas nas quais houve menor detecção de incêndios.

Os incêndios encontram-se distribuídos ao longo do ano, mas nota-se que existe uma predominância de incêndios nos meses de Setembro e Outubro, seguido por Julho e Agosto (Figura 21). Analisando a frequência de incêndios por mês, observa-se que existe uma menor frequência de incêndios em Março (0,07%) e uma maior frequência em Setembro (22%) (Figura 21). Os meses referidos estão incluídos na estação seca, fazendo sentido a sua predominância em relação aos outros meses, visto que o período crítico de incêndios encontra-se nesta estação. Na figura 23 observa-se a dispersão do FRP pelos meses, verificando-se uma variação temporal dos dados. Não existem muitos valores de FRP para os meses fora da estação seca (Figura 22), tal como se pode constatar na figura 21. Na figura 23 também se observa uma tendência de aumento dos valores de FRP, com um aumento dos valores de Agosto para Setembro, atingindo o máximo em Novembro, acabando por diminuir drasticamente em Dezembro. Esta variabilidade na frequência dos valores de FRP ao longo do ano, evidência a potencial influência que poderá ter a variável mês na modelação do FRP.

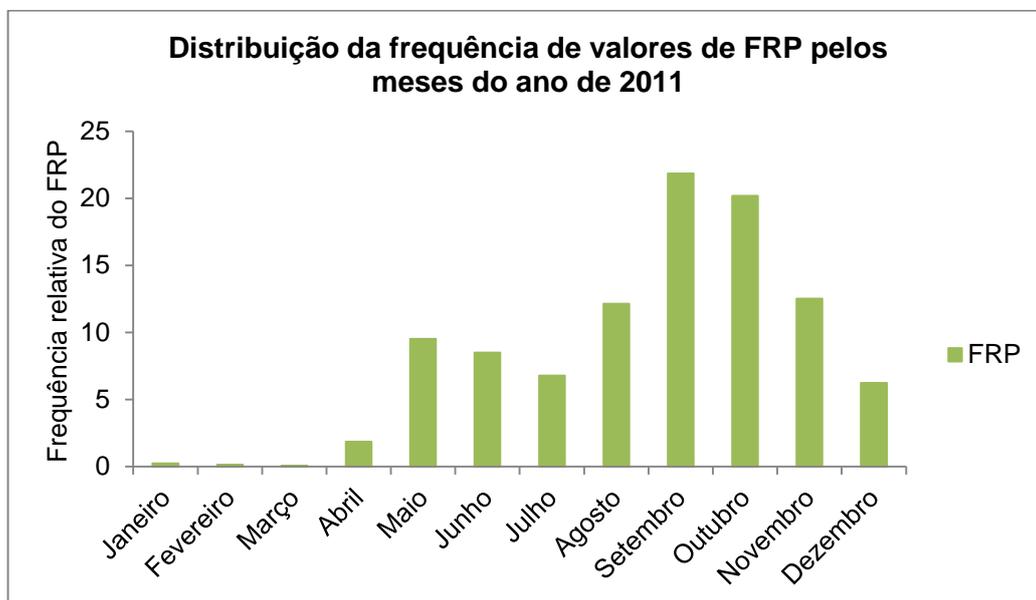


Figura 21 - Distribuição da frequência relativa de valores de FRP pelos meses do ano de 2011. Observa-se um aumento significativo da frequência relativa do FRP quando se atinge Setembro.

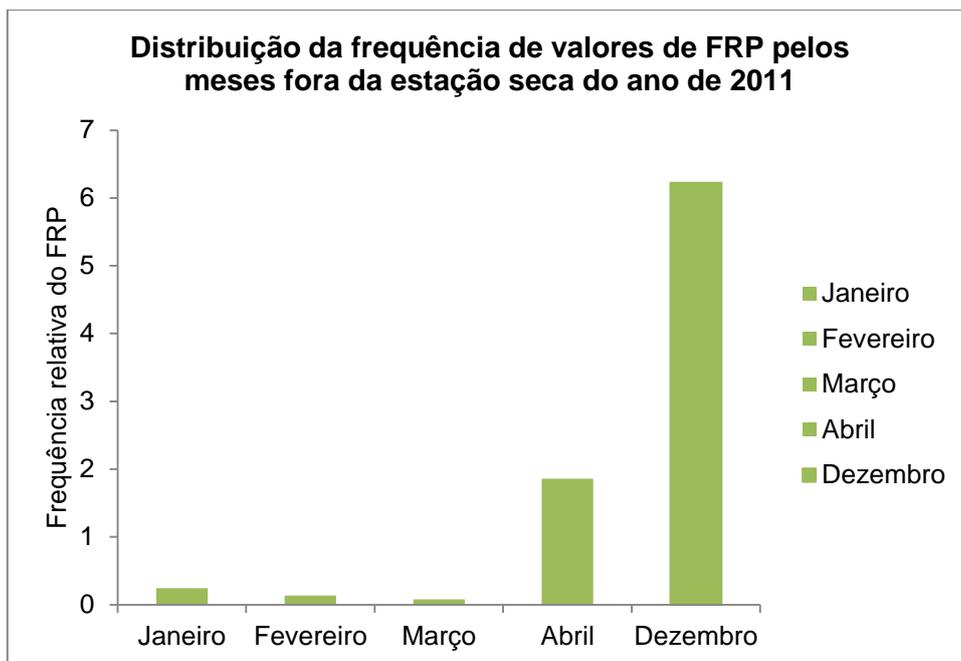


Figura 22 - Distribuição da frequência de valores de FRP pelos meses fora da estação seca do ano de 2011. Observa-se que existem poucos dados para estes meses, uma vez que fora da estação seca não existem muitos incêndios.

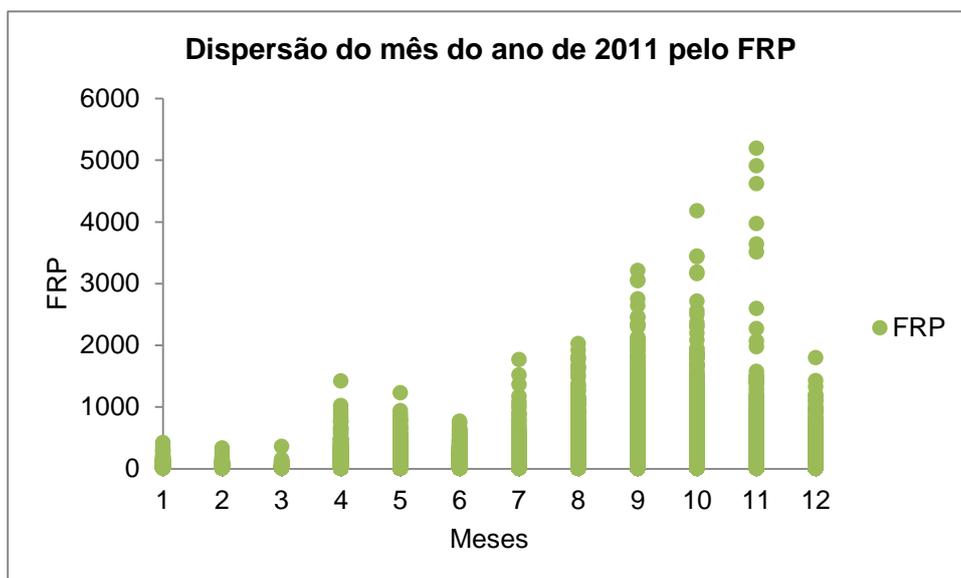


Figura 23 - Dispersão do mês do ano de 2011 pelos dados de FRP. Verifica-se que existe um aumento progressivo dos valores de FRP à medida que se avança para a estação seca.

Comparando o número de detecções na EDS com os da LDS (Figura 24), verifica-se que houve claramente uma maior frequência na LDS (73%), tal como foi referenciado por Oliveira *et al.* 2015. No total da estação seca, ocorreram 168.121 incêndios, com os restantes 15.699 incêndios a ocorrer ao longo do ano.

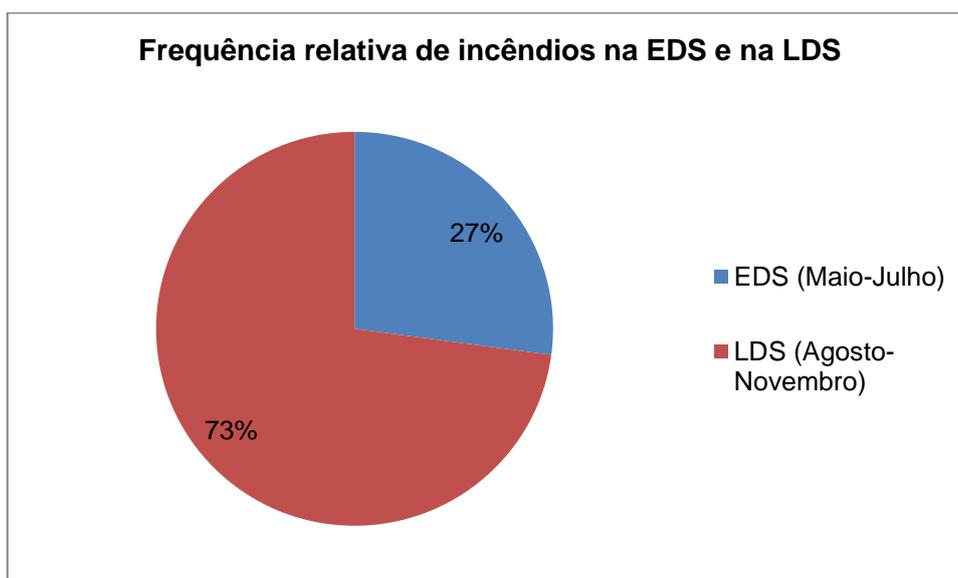


Figura 24 - Frequência relativa de fogos na EDS e na LDS em relação ao ano de 2011 na época seca.

Comparando o número de anos desde o último incêndio, verifica-se que existe uma maior proporção de detecções em locais onde não ocorram fogos há 7 anos (34%), seguindo-se por fogos que não ocorreram entre 2004 e 2011 (33%) (Figura 25). No quadro 6 encontra-se a interpretação das classes do número de anos desde o último incêndio.

Quadro 6 - Interpretação das classes do número de anos desde o último incêndio.

| Número de anos desde o último incêndio | Interpretação                         |
|--|---------------------------------------|
| 1                                      | Ardeu em 2010                         |
| 2                                      | Ardeu em 2009                         |
| 3                                      | Ardeu em 2008                         |
| 4                                      | Ardeu em 2007                         |
| 5                                      | Ardeu em 2006                         |
| 6                                      | Ardeu em 2005                         |
| 7                                      | Ardeu em 2004                         |
| 8                                      | Não ardeu durante o período 2004-2011 |

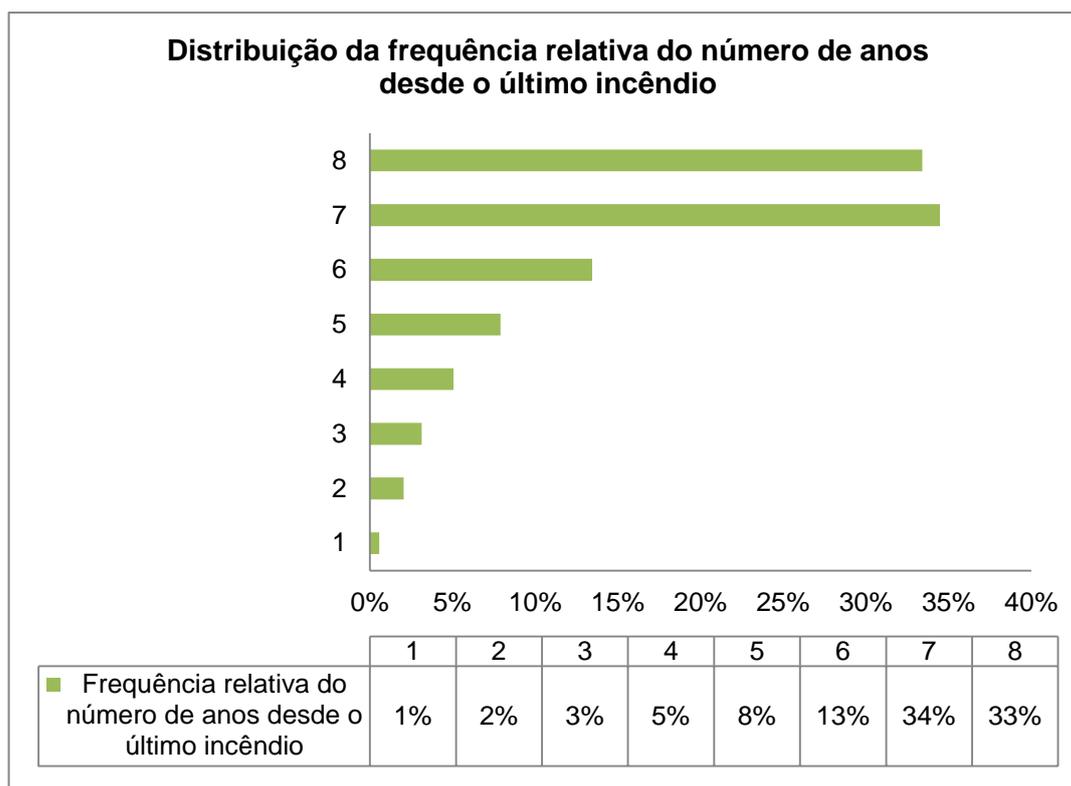


Figura 25 - Distribuição da frequência relativa do número de anos desde o último incêndio. Para cada detecção contabilizou-se o número de anos em que o respectivo local não ardeu.

Comparando o número de anos desde o último fogo por cada estado (Figura 26, 27 e 28) observa-se que com excepção de Queensland, a maior parte dos estados da Austrália Ocidental e do Território do Norte não teve incêndios durante 7 anos. Uma das razões pode ser pelo facto da época de fogos entre 2010 e 2011 ter sido notável devido à falta de incêndios a Este da Austrália, causado pelo efeito da La Ninã. Este efeito contribuiu para a ocorrência de cheias severas, particularmente em Queensland, durante o mesmo período (<http://www.bom.gov.au>). Uma possível interpretação da ausência de fogo entre 2004 e 2011 na Austrália Ocidental e no Território do Norte pode ser o facto de ambos os territórios terem regiões consideráveis pertencentes a áreas protegidas. Em anexo encontram-se os mapas para cada classe desta variável (Figura 50 e 51). Estas figuras mostram que para o ano de 2010 e 2009, ardeu mais em Queensland do que para os outros territórios. Há medida que se recua para os anos de 2008 e 2007, observa-se que os outros territórios vão tendo um aumento no número de incêndios, enquanto Queensland tem um menor número de incêndios (Figura 50). Quando se recua até ao ano de 2004 (Figura 51), nota-se que Queensland é o território com menor número de incêndios, enquanto a Austrália Ocidental e o Território do Norte são vítimas de incêndios. Quando se considera o período de 2004 e 2011, repara-se que Queensland é o território com que sofreu menos incêndios (Figura 28).

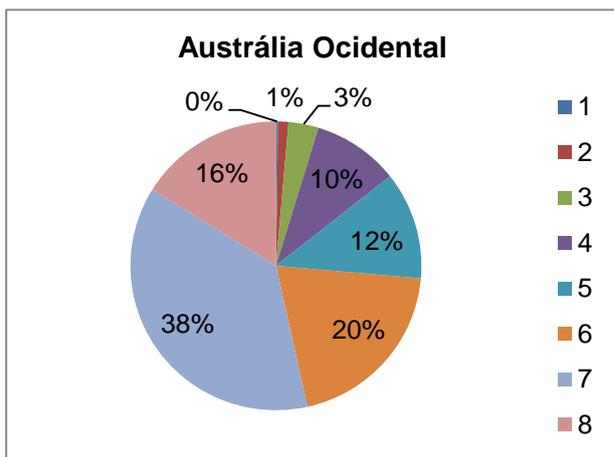


Figura 27 - Número de anos desde o último incêndio na Austrália Ocidental.

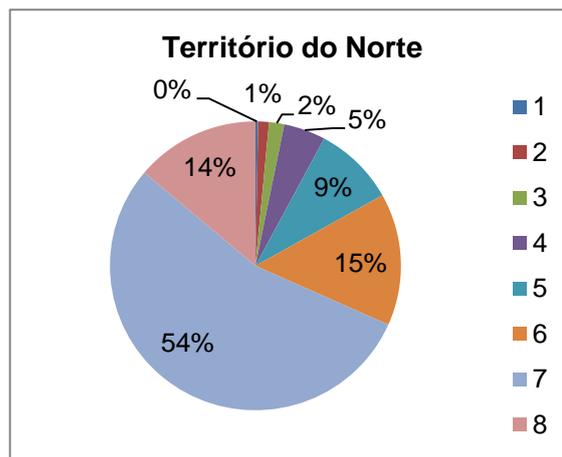


Figura 26 - Número de anos desde o último incêndio no Território do Norte.

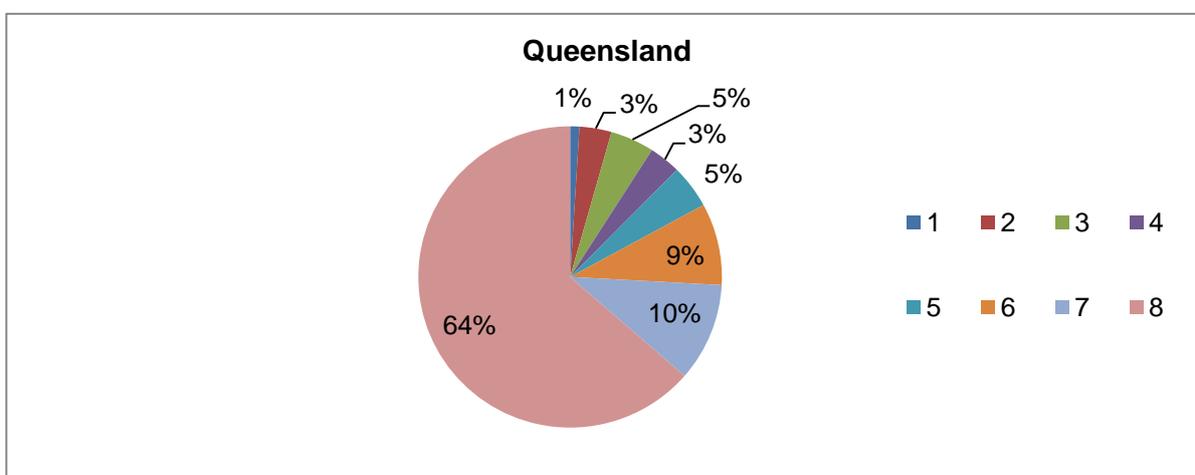


Figura 28 - Número de anos desde o último incêndio em Queensland.

Quanto às detecções de fogos na classe de ocupação de solo, verifica-se que quase metade das detecções ocorreu unicamente nas W (43%), com as restantes detecções distribuídas pelas outras classes de cobertura do solo. No entanto, destaca-se também as outras principais classes de cobertura do solo na qual houve maior detecção de incêndios, OF e OW (Figura 29).

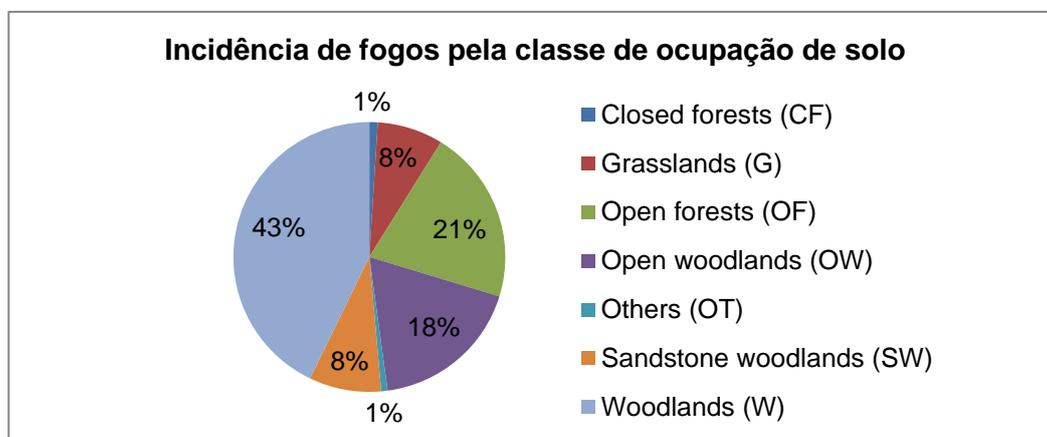


Figura 29 - Incidência de fogos na classe de ocupação de solo.

Estes resultados são ligeiramente diferentes dos descritos por Oliveira *et al.* (2015), no qual houve um maior número de incêndios detectados nas OF e uma menor detecção de incêndios nas OW. Esta ocorrência pode ser explicada pelo facto da incidência de fogos na Austrália estar fortemente influenciada pela estrutura de vegetação e do combustível, bem como da variação sazonal da precipitação. A frequência de incêndios e a extensão dos incêndios aumenta com a sazonalidade da precipitação, resultando num aumento da precipitação há medida que se avança para as zonas tropicais do Norte da Austrália, no qual existem paisagens dominadas por OF e OW, que são mais prováveis de queimarem (Russell-Smith *et al.* 2007). Daí que seja esperado que as OF e W tenham maior actividade que as OW (Oliveira *et al.* 2015). Ao contrário dos resultados referidos, as W tiveram maior incidência de incêndios. Esta razão pode ser pelo facto dos dados se concentrarem num único ano, enquanto os resultados do estudo indicado concentram-se no período entre 2004 e 2011. Para além disso, as regiões que consistem em OW estão sujeitas à actividade pastoral, sendo assim menor a frequência com que são queimadas (Russell-Smith *et al.* 2003).

Comparando a incidência de fogos em cada classe de cobertura de solo tendo em conta o território (Figura 30), verifica-se que tanto as W como as OW tiveram maior incidência de fogos no estado de Queensland e menor incidência na Austrália Ocidental. Nas OF também se observou que houve menor incidência na Austrália Ocidental e maior incidência no Território do Norte.

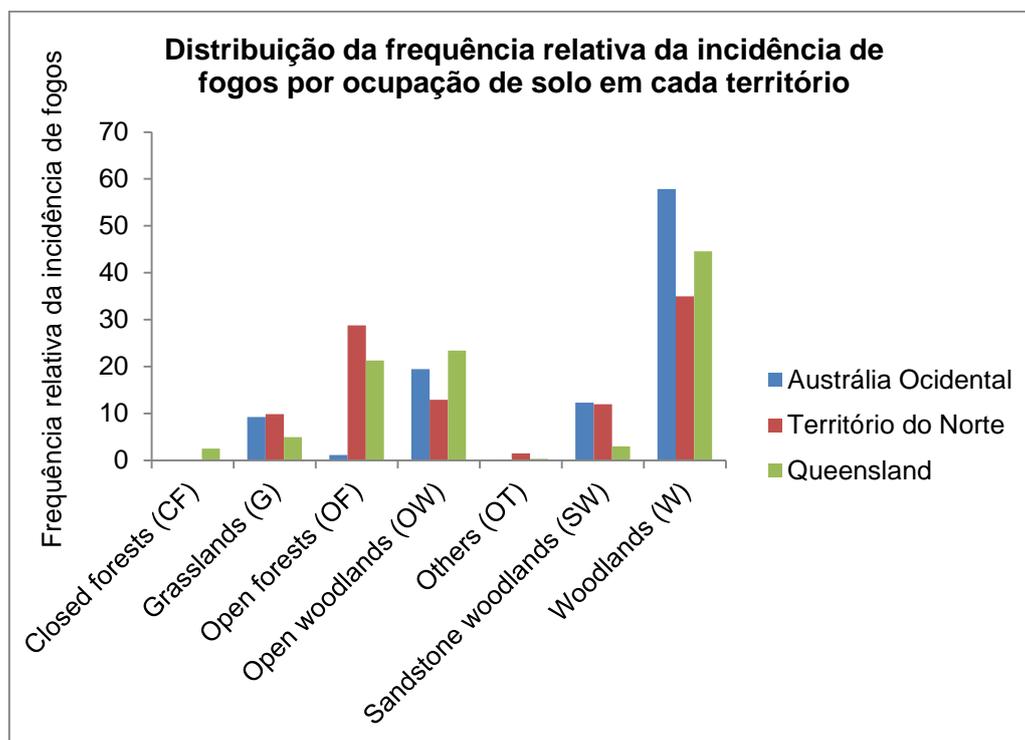


Figura 30 - Distribuição da frequência relativa da incidência de fogos por ocupação de solo em cada território.

Em relação ao momento de passagem de satélite, que se relaciona com a hora de detecção do incêndio, criaram-se 3 classes de horas: a primeira classe encontra-se entre as 21h e as 4h, a segunda classe entre as 8h e as 11h, correspondendo ao período entre o início da manhã e o final da manhã e por fim, a última classe entre as 11h e as 16h, período entre o fim da manhã e o final da tarde. Estas classes foram criadas através da observação da dispersão desta variável pelo FRP (Figura 31).

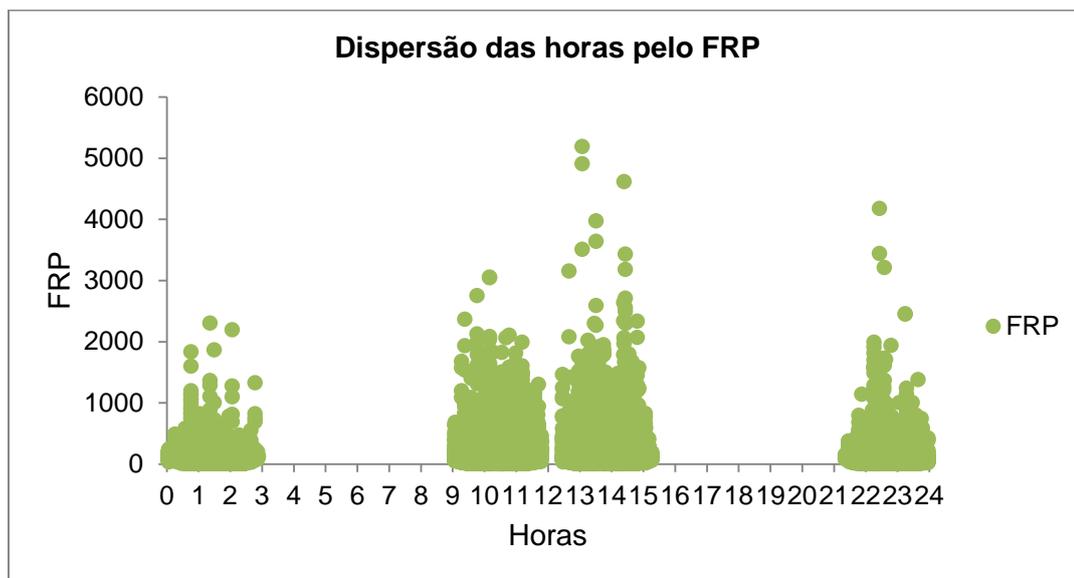


Figura 31 - Gráfico de dispersão das horas pelo FRP. Verifica-se que os valores concentram-se entre a meia-noite e as 4 da manhã, entre as 8h e as 16h e por fim, entre as 21h e a meia-noite.

Comparando as classes de intervalos de horas, houve uma maior incidência de detecções entre as 11h e as 16h, enquanto o período entre as 21h e as 4h teve a menor detecção de incêndios (Figura 32). Estes valores estão de acordo com o esperado, visto que o período entre o fim da manhã e o início da tarde corresponder ao período de maior calor, ou seja, de temperaturas mais elevadas. Pelo contrário, o período entre o final da tarde e o início da noite está sujeito a temperaturas mais frias e humidades mais elevadas que durante o dia, levando como tal a uma menor frequência de incêndios.

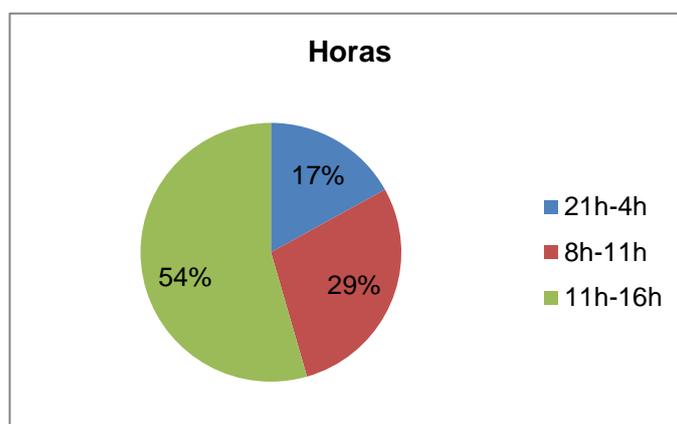


Figura 32 - Incidência de fogos pelas classes de horas.

O FWI foi dividido em classes com base nas classes de risco do quadro 3, com a 1ª classe a corresponder ao risco baixo, 2ª classe ao risco moderado, 3ª classe pertence ao risco elevado, 4ª classe ao risco muito elevado e a última classe ao risco extremo, cuja distribuição se encontra na figura 33. Esta agregação permite uma melhor observação da distribuição do FWI pelos dados, fornecendo informação sobre o índice de risco na área de estudo.

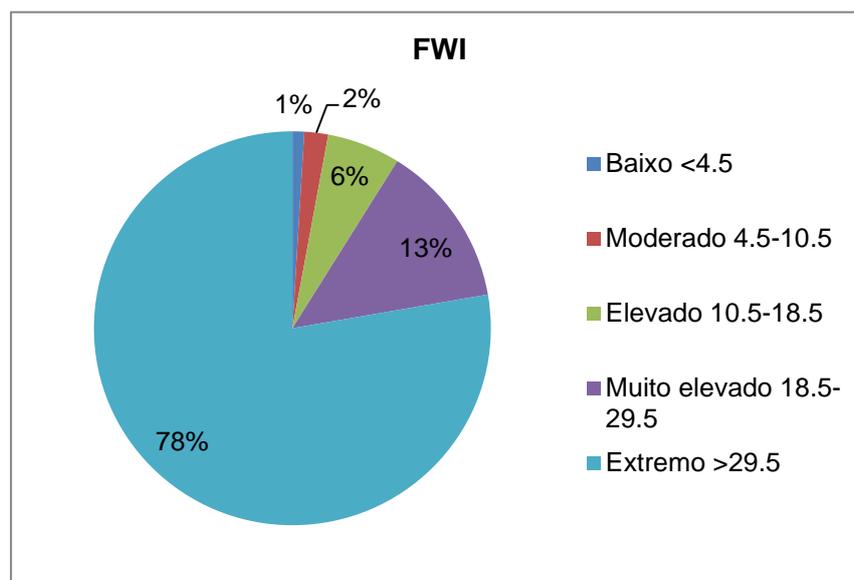


Figura 33 – Distribuição das detecções do FWI por classes de risco.

O FWI encontra-se maioritariamente distribuído na 5ª classe (78%), correspondendo a um índice de perigo de fogo extremo, enquanto somente 3% encontra-se abaixo do risco elevado (Figura 33). Esta análise reflecte o perigo que o Norte da Austrália está sujeito todos os anos. Através da figura 5 e da figura 34, repara-se que o índice de perigo extremo ocorre principalmente nas W, seguindo-se as OF e OW. Estes dados correspondem aos da figura 29, no qual a vegetação descrita corresponde ao maior perigo de incêndio.

A figura 35 mostra a distribuição da frequência relativa das classes de FRP pelas classes de risco do FWI. Esta figura, em conjunto com a figura 33 evidencia o risco que o Norte da Austrália é sujeito todos os anos. Os valores de FRP elevados coincidem com as áreas submetidas a um risco extremo de incêndio (Figura 35). O índice extremo de incêndio, que se estende por uma grande parte da área de estudo, revela os elevados impactes ambientais e socio-económicos que esta região pode sofrer todos os anos.

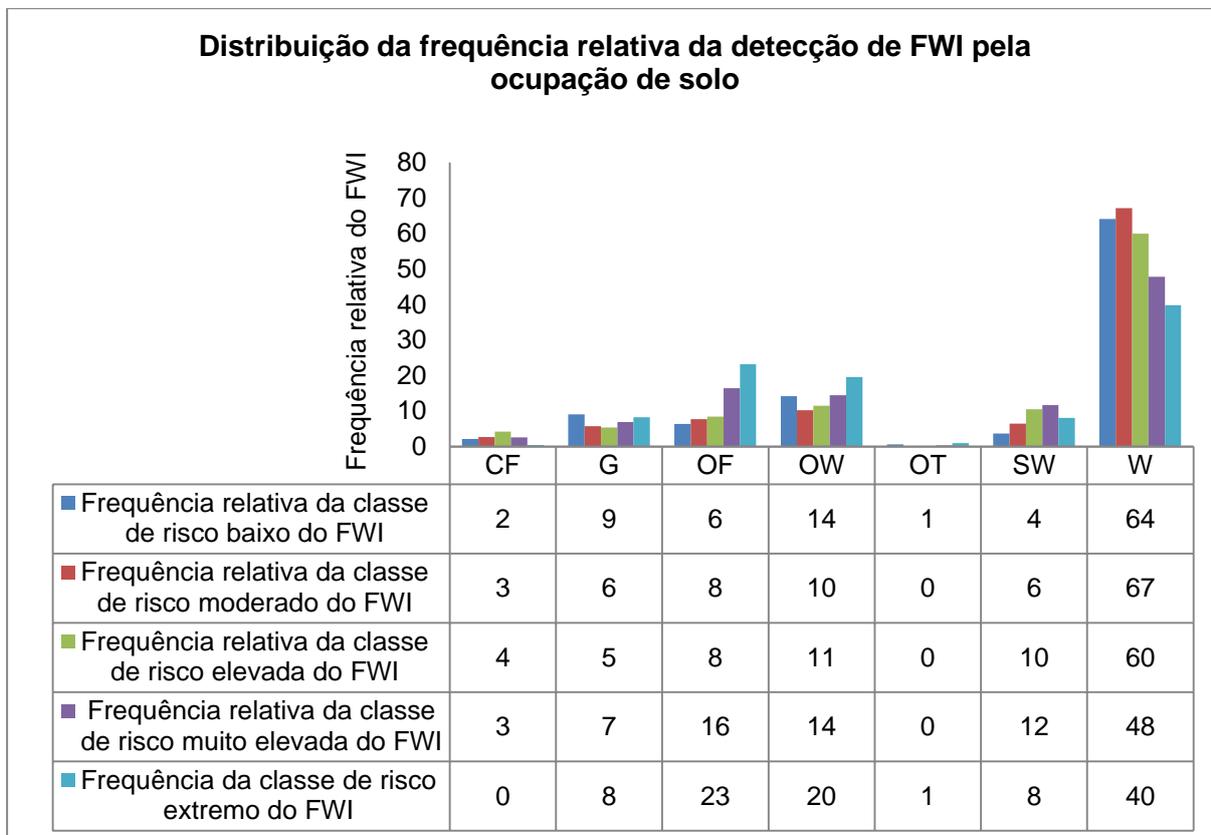


Figura 34 - Distribuição da frequência relativa da detecção das classes de FWI pela ocupação do solo.

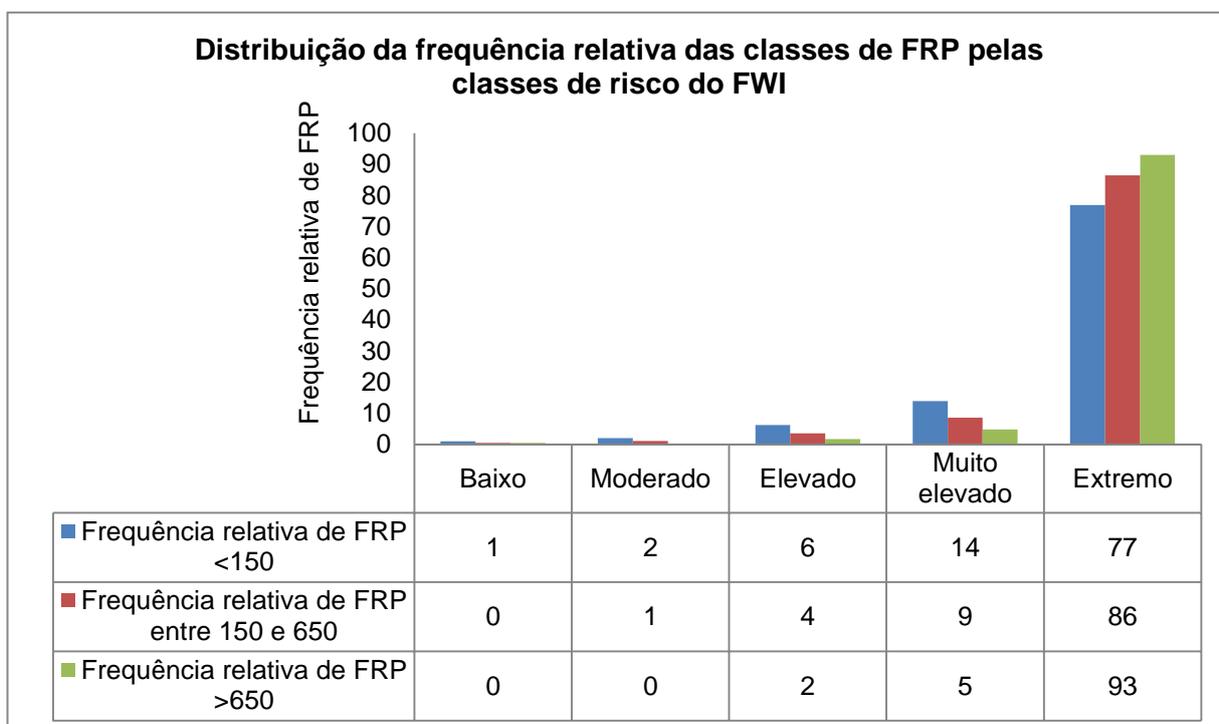


Figura 35 - Distribuição da frequência relativa das classes de FRP pelas classes de risco do FWI. Observa-se que as classes de FRP encontram-se mais distribuídas pelas classes de risco elevado, muito elevado e extremo, com destaque para a última.

## 5.2 Potência radiativa do fogo

O FRP foi dividido em classes com base num histograma (Figura 39), de modo a facilitar a sua análise. Cada classe corresponde também a uma classificação da intensidade do FRP. Portanto, a primeira classe, que corresponde a uma intensidade baixa, encontra-se abaixo do valor 150 MW, a segunda classe, definida como sendo uma intensidade média, está compreendida entre os 150 e os 650 MW e por fim, a última classe que corresponde a uma intensidade elevada, abrange os valores superiores a 650 MW (Figura 36). Observa-se que existe uma maior quantidade de fogos na primeira classe (91%), com menos incêndios a ocorrerem nas restantes classes.

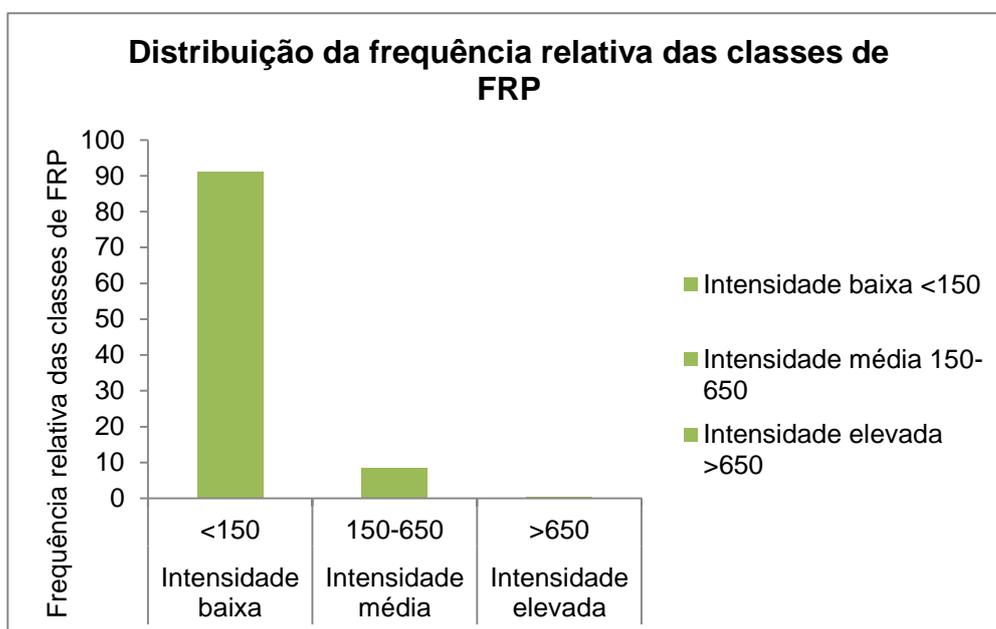


Figura 36 - Distribuição da frequência relativa das classes de FRP. A primeira classe corresponde à classe de intensidade baixa, com valores de FRP inferior a 150 MW. A classe de intensidade média compreende valores entre os 150 MW e os 650 MW e a classe de intensidade elevada tem valores de FRP superiores a 650 MW.

A figura 37 mostra a distribuição dos dados de FRP. Verifica-se o quão extremo são os dados, com um mínimo bastante baixo e um máximo bastante elevado. Os dados encontram-se enviesados à esquerda, com uma quantidade significativa acumulados junto de valores baixos de FRP. No quadro 12 observa-se a distribuição dos dados.

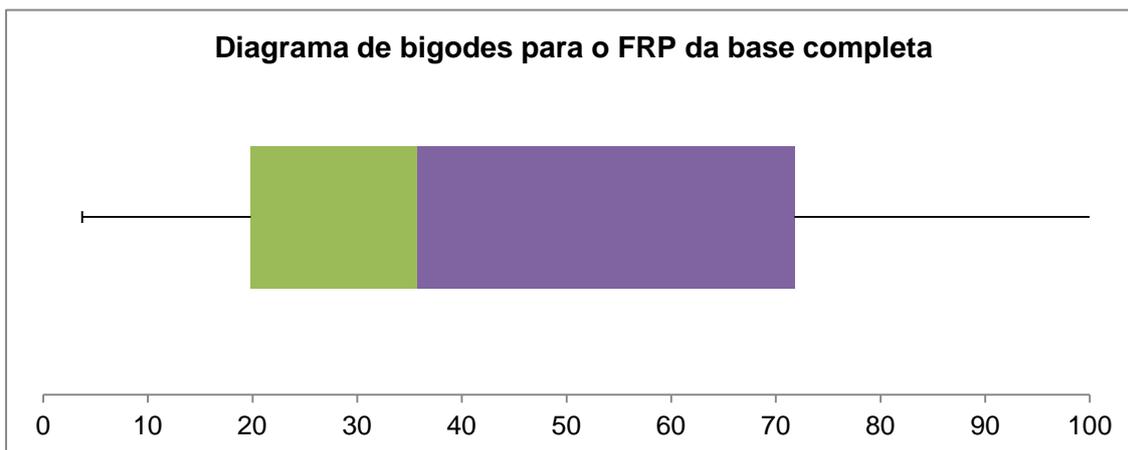


Figura 37 - Diagrama de bigodes para os dados de FRP. Para se poder observar o diagrama, definiu-se um outro eixo dos x. O mínimo é de 3,7, o Q1 atinge o valor de 19,8, a mediana o valor 35,7, o Q3 é de 71,2 e por fim o máximo atinge os 5189,2. Repara-se os dados são bastante extremos, com valores bastante baixos e valores muito elevados.

Na figura 38 encontra-se a distribuição do FRP pelas classes de ocupação de solo. No quadro 7 encontra-se a interpretação das classes de ocupação definidas para a figura 37. Nota-se que existe maiores picos de intensidade nas G, OW e nas W (Figura 38).

Quadro 7 - Interpretação das classes de ocupação do solo definidas para a figura 37.

| Classes de ocupação de solo |   |
|-----------------------------|---|
| Closed forests (CF)         | 1 |
| Grasslands (G)              | 2 |
| Open forests (OF)           | 3 |
| Open woodlands (OW)         | 4 |
| Others (OT)                 | 5 |
| Sandstone woodlands (SW)    | 6 |
| Woodlands (W)               | 7 |

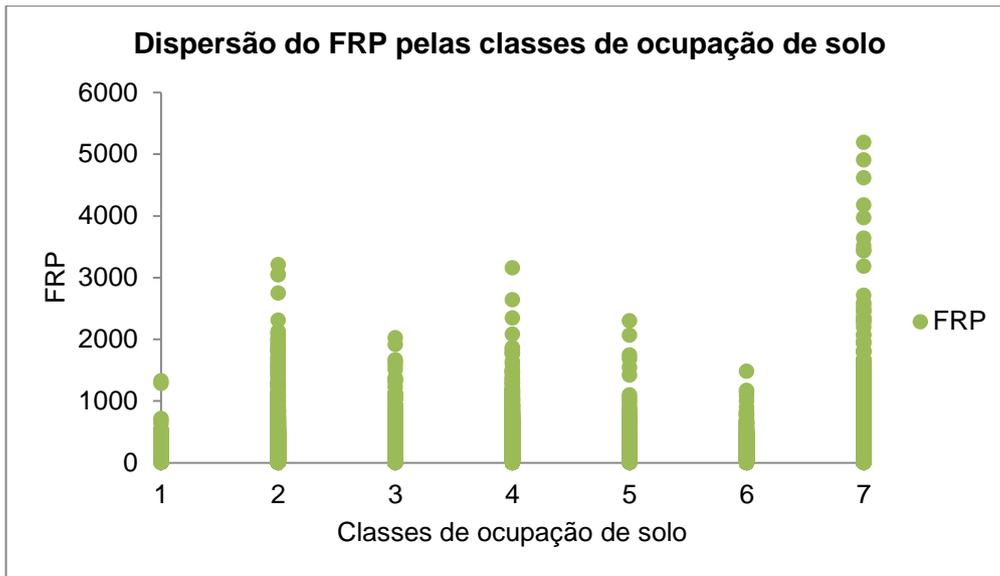
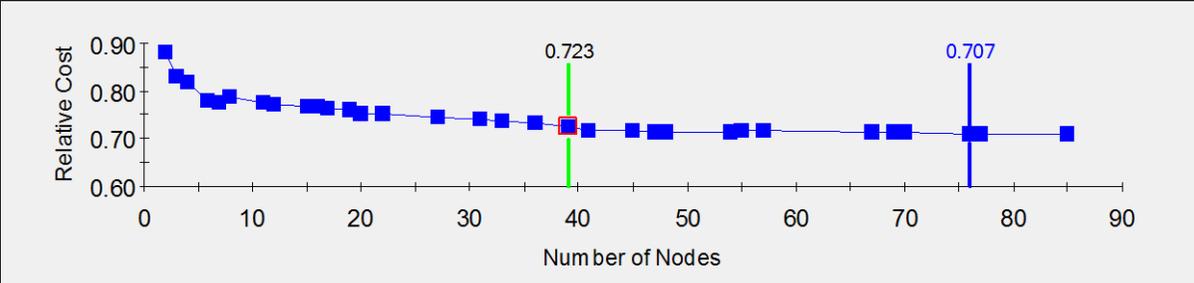
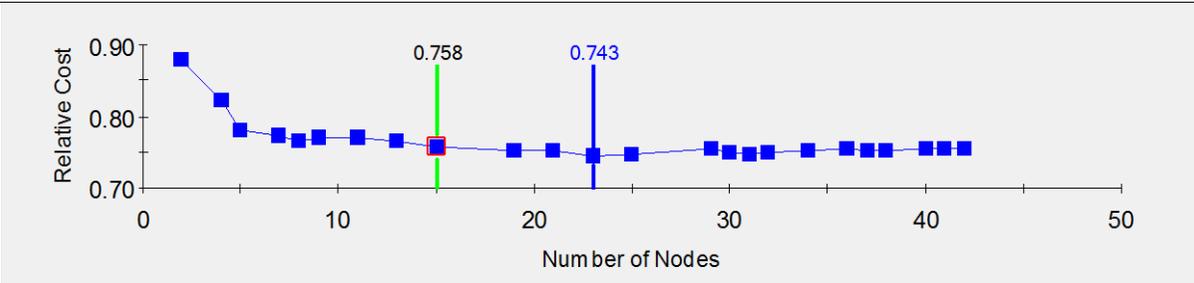
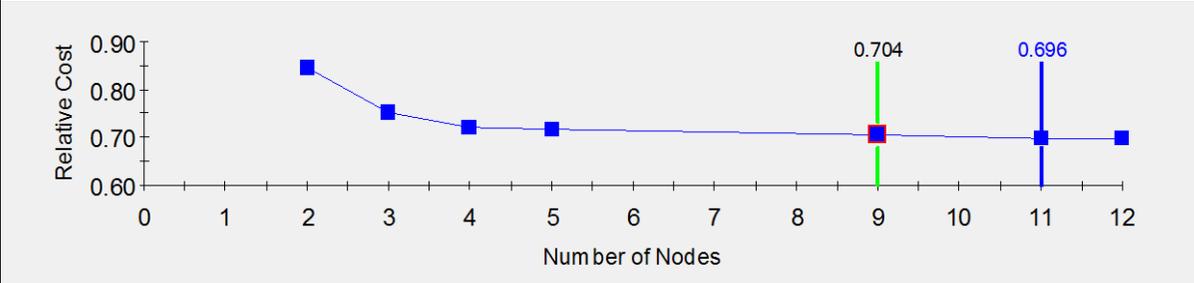


Figura 38 - Gráfico de dispersão do FRP pelas classes de ocupação do solo

Os resultados das árvores de classificação encontram nos quadros 8 a 10. Nos anexos observa-se as árvores de classificação (Figura 43 a 47).

Quadro 8 - Curva do erro relativo da árvore de classificação para a base completa, percentil 50 e percentil 90

|                         | Base de dados | Erro relativo  |
|-------------------------|---------------|--|
| Árvore de classificação | Base completa |  <p>Relative Cost vs Number of Nodes for Base completa. The graph shows a decreasing trend in relative cost as the number of nodes increases. A red square marks the minimum cost at 40 nodes (0.723). A blue vertical line indicates a cost of 0.707 at 75 nodes.</p> |
|                         | Percentil 50  |  <p>Relative Cost vs Number of Nodes for Percentil 50. The graph shows a decreasing trend in relative cost as the number of nodes increases. A red square marks the minimum cost at 15 nodes (0.758). A blue vertical line indicates a cost of 0.743 at 23 nodes.</p> |
|                         | Percentil 90  |  <p>Relative Cost vs Number of Nodes for Percentil 90. The graph shows a decreasing trend in relative cost as the number of nodes increases. A red square marks the minimum cost at 9 nodes (0.704). A blue vertical line indicates a cost of 0.696 at 11 nodes.</p> |

Quadro 9 - Curva do erro relativo da árvore de classificação para o percentil 95 e percentil 99

|                         |                 | Base de dados   | Erro relativo   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
|-------------------------|-----------------|---|---|-----------------|---------------|-------|------|------|-------|------|-------|---|------|
| Árvore de classificação | Percentil 95    |   | <table border="1"> <caption>Data for Percentil 95</caption> <thead> <tr> <th>Number of Nodes</th> <th>Relative Cost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>0.84</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.752</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.742</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.74</td> </tr> </tbody> </table> | Number of Nodes | Relative Cost | 2     | 0.84 | 3    | 0.752 | 4    | 0.742 | 6 | 0.74 |
|                         | Number of Nodes | Relative Cost   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| 2                       | 0.84            |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| 3                       | 0.752           |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| 4                       | 0.742           |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| 6                       | 0.74            |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| Percentil 99            |                 | <table border="1"> <caption>Data for Percentil 99</caption> <thead> <tr> <th>Number of Nodes</th> <th>Relative Cost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.662</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>0.78</td> </tr> <tr> <td>180</td> <td>0.67</td> </tr> </tbody> </table> | Number of Nodes   | Relative Cost   | 1             | 0.662 | 40   | 0.78 | 180   | 0.67 |       |   |      |
| Number of Nodes         | Relative Cost   |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| 1                       | 0.662           |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| 40                      | 0.78            |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |
| 180                     | 0.67            |   |   |                 |               |       |      |      |       |      |       |   |      |

Quadro 10 - Número de nós terminais e importância das variáveis para a árvore de classificação da base completa e percentis 50, 90, 95 e 99

|                                | Base de dados        | Número de nós terminais | Importância das variáveis              |             |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|--|-------------|
|                                |                      |                         | Variáveis                              | Importância |
| <b>Árvore de classificação</b> | <b>Base completa</b> | 39                      | FWI                                    | 100         |
|                                |                      |                         | Mês                                    | 82,32       |
|                                |                      |                         | Cobertura do solo                      | 45,07       |
|                                |                      |                         | Hora                                   | 26,44       |
|                                |                      |                         | Número de anos desde o último incêndio | 9,58        |
|                                | <b>Percentil 50</b>  | 15                      | Mês                                    | 100         |
|                                |                      |                         | FWI                                    | 90,62       |
|                                |                      |                         | Cobertura do solo                      | 75,91       |
|                                |                      |                         | Número de anos desde o último incêndio | 0,27        |
|                                |                      |                         | Hora                                   | 0,09        |
|                                | <b>Percentil 90</b>  | 9                       | Cobertura de solo                      | 100         |
|                                |                      |                         | Mês                                    | 89,76       |
|                                |                      |                         | FWI                                    | 55,20       |
|                                |                      |                         | Número de anos desde o último incêndio | 0,37        |
|                                |                      |                         | Hora                                   | 0,01        |
|                                | <b>Percentil 95</b>  | 3                       | FWI                                    | 100         |
|                                |                      |                         | Cobertura de solo                      | 78,38       |
|                                |                      |                         | Mês                                    | 17,25       |
|                                | <b>Percentil 99</b>  | 3                       | FWI                                    | 100         |
|                                |                      |                         | Cobertura de solo                      | 18,03       |
| Mês                            |                      |                         | 2,03                                   |             |

Para a árvore de classificação da base completa, houve dificuldade em modelar os dados de FRP, como se pode observar pelo erro da árvore (quadro 8). No entanto, os resultados confirmam a importância das variáveis escolhidas para integrarem o modelo (quadro 10).

Na árvore de classificação, o FWI foi considerada a variável mais relevante (quadro 8). Estes resultados indicam o FWI, ou seja, o índice de perigo como variável importante na modelação do FRP, reflectindo a influência da meteorologia na intensidade de um fogo. Factores como a temperatura, humidade relativa, velocidade do vento e precipitação irão influenciar a intensidade do fogo. O mês reflecte a importância da variação temporal na intensidade dos incêndios, com fogos mais intensos a ocorrerem na LDS. A cobertura do solo também se relaciona com a intensidade do fogo. Consoante o tipo de vegetação e consequentemente o tipo de combustível e a sua composição, estes afectam a susceptibilidade de propagação do fogo e a sua intensidade. A hora a que o incêndio é detectado ajuda a determinar a intensidade do fogo, uma vez que de acordo com a hora do dia, o incêndio atinge determinadas intensidades, de maneira que durante o período do fim da manhã e início da tarde é que se atingem maiores intensidades de FRP (Oliveira *et al.*, 2015). Por último, o número de anos desde o último incêndio traduz-se na carga de combustível existente num determinado local. Quanto maior o número de anos desde o último incêndio, maior a carga de combustível, influenciando a predisposição de se iniciar um fogo e a sua propagação, bem como a intensidade do fogo.

Os valores de FRP acima do percentil 50 são diferentes aos dos resultados anteriores que consideravam a base completa, visto a distribuição dos dados ser diferente (quadro 11 e 12). No entanto, tal como os dados da base completa, o FRP acima do percentil 50 concentra-se nos valores baixos (Figura 40 e 41). Neste caso, para a árvore de classificação (quadro 10), o mês foi a variável considerada com maior relevância. Apesar de haver ligeiras diferenças, as outras variáveis têm uma relevância semelhante, com ênfase no FWI e na cobertura do solo, mas com o número de anos desde o último incêndio e as horas a terem menor relevância ou sendo quase irrelevantes.

Para os valores de FRP acima do percentil 90, os resultados são ligeiramente diferentes. Isto é espectável quando se observa a distribuição dos dados correspondentes a este percentil (quadro 11 e 12). Como os valores acima do percentil 90 abrangem valores extremos de FRP, a sua distribuição pelas classes de FRP são diferentes. A distribuição também é enviesada à esquerda (Figura 40), mas encontra-se ligeiramente mais distribuída, com a diferença que o FRP concentra-se na 2<sup>o</sup> classe de intensidade (Figura 41).

O nível de importância das variáveis também sofre ligeiras diferenças (quadro 10). Neste caso, a cobertura do solo ganha importância, seguindo-se o mês e por fim o FWI. Tanto a hora como o número de anos desde o último incêndio são praticamente insignificantes para explicar a variabilidade do FRP. Tendo em conta que os valores de FRP acima do percentil 90 incluem valores extremos, ou seja, incêndios com maior intensidade do fogo (Figura 40 e 41), a vegetação, o FWI e o mês serão variáveis que irão melhor explicar a sua intensidade, de modo que a qualquer intensidade elevada que estes incêndios ardem, a hora a que o incêndio ocorra ou o número de anos desde o último incêndio não vão fazer muita diferença, visto que estes incêndios irão continuar a arder e a propagar-se pela região.

Tal como nas árvores do percentil 90, no percentil 95 as variáveis hora e número de anos desde o último incêndio, apesar de estarem incluídas, não são muito relevantes para a construção da árvore de classificação ou nem sequer estão incluídas (quadro 10). O próprio mês, apesar de ser importante, não adquire uma função tão substancial, enquanto a cobertura de solo e o FWI correspondem às variáveis mais importantes para a modelação do FRP (quadro 10). Esta interpretação sugere que a vegetação e o FWI são variáveis que têm maior impacto na intensidade dos fogos, logo nos valores observados de FRP. No caso deste percentil, a distribuição do FRP é semelhante à do percentil 90, com uma abundância de valores na 2ª classe. A diferença é que existe maior quantidade de dados de FRP mais intenso (Figura 41).

Considerando os valores de FRP acima do percentil 99, esta base inclui valores ainda mais extremos. A árvore de classificação resultante dos valores de FRP acima deste percentil sugere que, apesar da influência da vegetação e do mês, o FWI é aquela com maior impacto na intensidade do fogo (quadro 10). A este nível os fogos são sobretudo dominados por factores meteorológicos, que podem apoiar ou não a progressão do incêndio. Devido ao carácter extremo do FRP neste percentil, existe uma baixa frequência de valores de FRP baixos, com aproximadamente um terço dos dados a compreenderem FRP extremo (Figura 40 e 41).

Analisando a distribuição de todas as bases usadas para modelar o FRP (quadro 11 e 12), observa-se que todas têm um mínimo bastante baixo para um máximo bastante elevado. Através do Q1 verifica-se que 25% dos dados da base completa encontram-se abaixo de aproximadamente 20, enquanto somente 75% estão abaixo de um FRP de 72. Estes valores mostram a distribuição enviesada à esquerda dos dados, que dificultou a modelação do FRP. No caso do percentil 50 e 90, o Q1 nunca atinge valores superiores de 150, o limite pelo qual se definiu a classe de intensidade média, ao contrário do percentil 95

e 99. Em relação ao Q3, observa-se que o percentil 50 não atinge o valor de 150, enquanto os restantes percentis possuem valores superiores a 150, com o percentil 99 a atingir valores superiores a 650, o limite da classe de intensidade elevada. Isto sugere que para os percentis com dados extremos de FRP (percentil 90, 95 e 99) somente 25% dos dados atingem valores elevados de FRP.

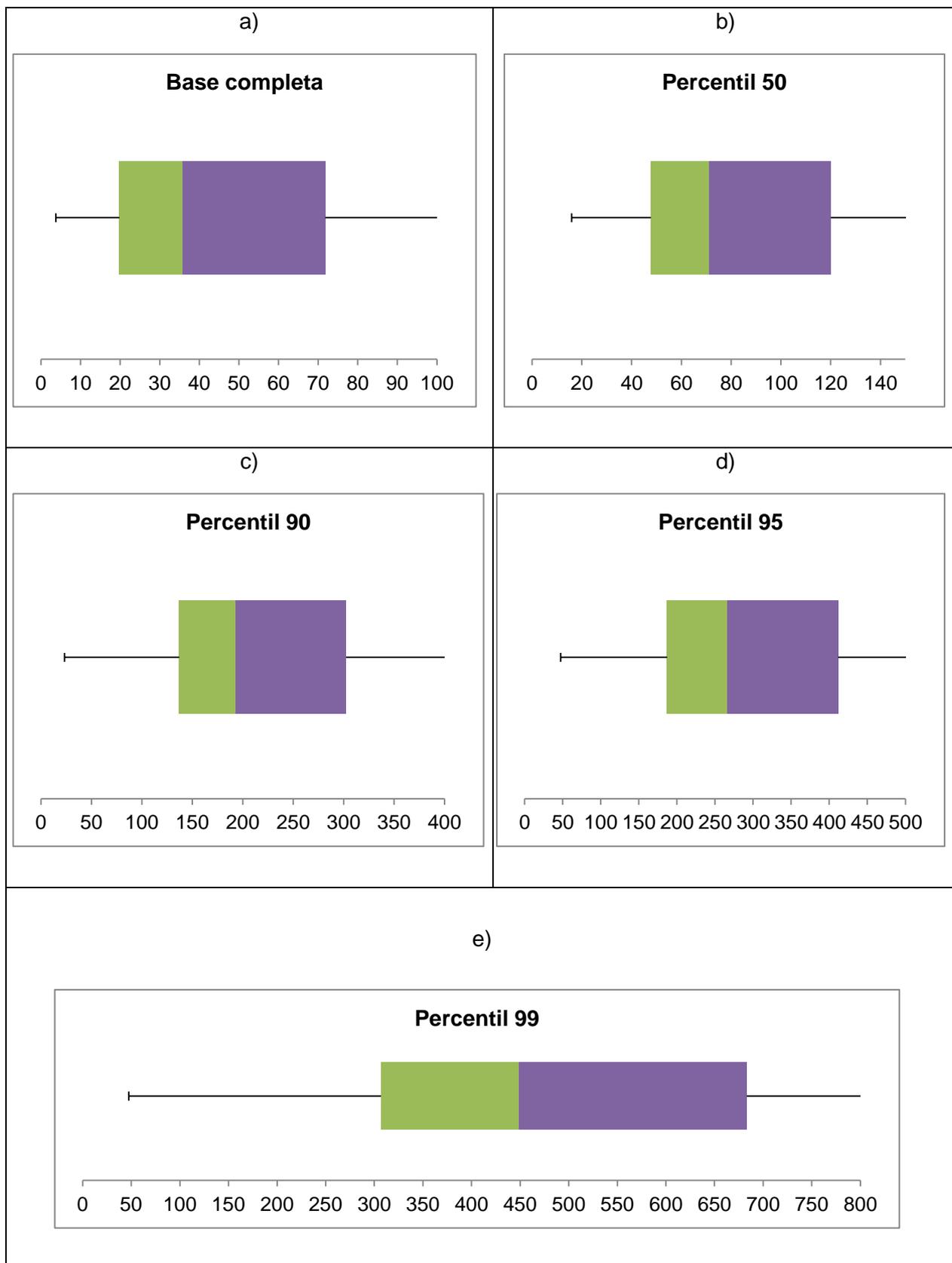
Em relação à mediana, o quadro 12 mostra que, 50% dos dados da base completa têm valores baixos. A base de percentil 50 também tem uma mediana baixa (quadro 12), indicando que para estas bases, a maior parte dos dados têm uma intensidade baixa (Figura 41). No entanto, os outros percentis têm medianas mais altas (quadro 12), indicando que uma grande quantidade dos dados tem uma intensidade média de FRP (Figura 41).

No caso da média, esta é bastante baixa para um elevado número de observações (quadro 12). A média indica também que a maior parte dos dados apresenta valores baixos para o caso da base completa e da base cujos valores de FRP encontram-se acima do percentil 50 (Figura 41). No caso das restantes bases, a média apresenta um valor mais elevado, mostrando que nestes casos, o FRP concentra-se em valores intermédios (Figura 41).

No caso da base completa o desvio-padrão indica nos que os dados se encontram aglomerados perto da média que é um valor baixo. Para o caso da base de valores de FRP acima do percentil 50 faz-se a mesma interpretação, onde se verifica que os valores de FRP adquirem valores abaixo de 150 (Figura 41). Para as restantes bases, o desvio-padrão apresenta um valor mais elevado (quadro 12), sugerindo que os dados se encontram tenuemente mais distribuídos. Pela observação da Figura 41, repara-se que os dados, apesar de estarem concentrados na classe de intensidade média de FRP, estão mais espalhados pela base de dados.

O coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa em relação à média, permitindo a comparação de dados de distribuições diferentes. Quanto menor o coeficiente de variação, menor será a dispersão em torno da média, ou seja, os dados são mais homogêneos. Observando o quadro 12, verifica-se que esta medida de dispersão é bastante baixa. Através da figura 41, repara-se que os dados encontram-se bastante aglomerados a intensidades baixas de FRP (base completa e base de percentil 50) ou acumulados nas intensidades médias de FRP (base de percentil 90, 95 e 99).

Quadro 11 - Diagramas de bigodes para a base completa (a), percentil 50 (b), percentil 90 (c), percentil 95 (d) e percentil 99 (e). O eixo dos x foi modificado para permitir a observação dos diagramas. Os valores correspondentes aos diagramas encontram-se no quadro 12.



Quadro 12 - Distribuição da base de dados completa e dos percentis 50, 90, 95 e 99. O quadro mostra o número de observações, o mínimo, quartil inferior, mediana, quartil superior, máximo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Através destes dados observa-se que a distribuição enviesada do FRP condiciona a modelação desta variável.

|                         | Base completa | Percentil 50 | Percentil 90 | Percentil 95 | Percentil 99 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Nº observações          | 183820        | 91989        | 18504        | 9248         | 1923         |
| Mínimo                  | 3.7           | 15.9         | 23.2         | 47.5         | 47.5         |
| <b>Q1</b>               | <b>19.8</b>   | <b>47.7</b>  | <b>136.9</b> | <b>187.3</b> | <b>306.8</b> |
| Mediana                 | 35.7          | 71.3         | 193.6        | 266.1        | 448.9        |
| Q3                      | 71.7          | 120          | 302.5        | 411.7        | 683.1        |
| Máximo                  | 5189.2        | 5189.2       | 5189.2       | 5189.2       | 5189.2       |
| Média                   | 66.3          | 110.9        | 264.4        | 353.8        | 584.3        |
| Desvio-padrão           | 108.1         | 138.8        | 241.1        | 300.9        | 473.9        |
| Coeficiente de variação | 1.6           | 1.3          | 0.9          | 0.8          | 0.8          |

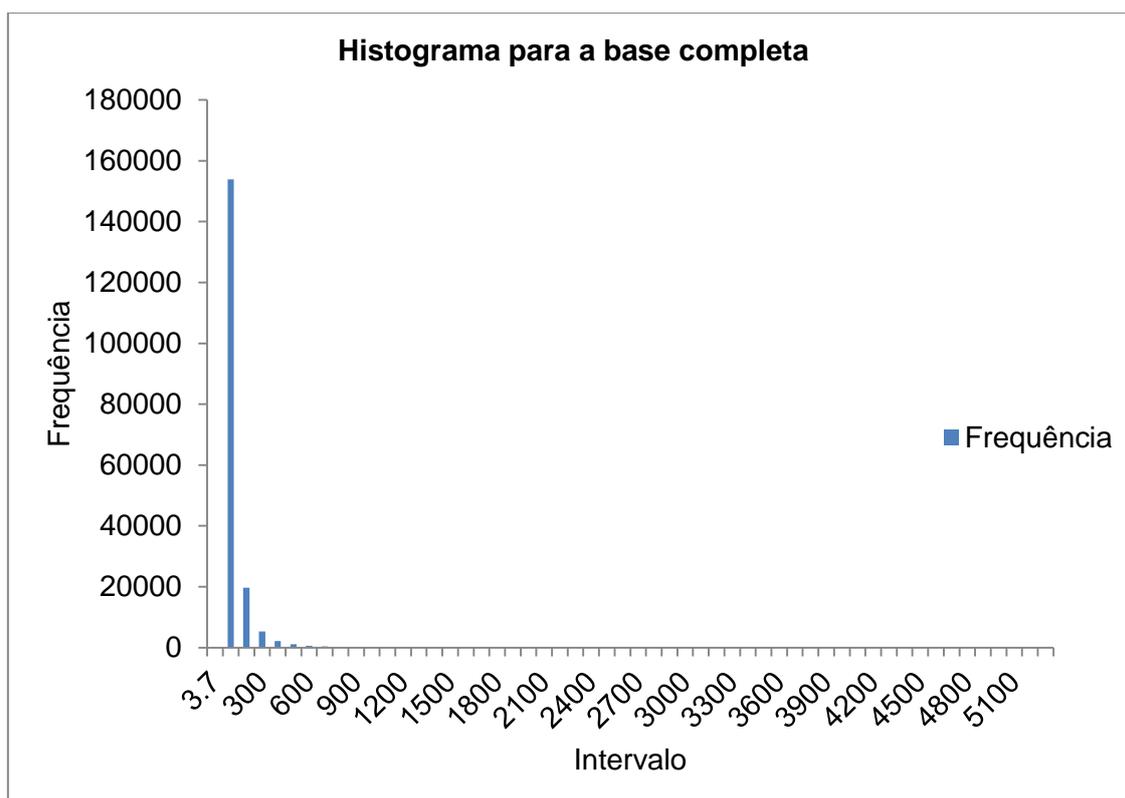


Figura 39 - Histograma para a base completa. Observa-se que os dados encontram-se enviesados à esquerda.

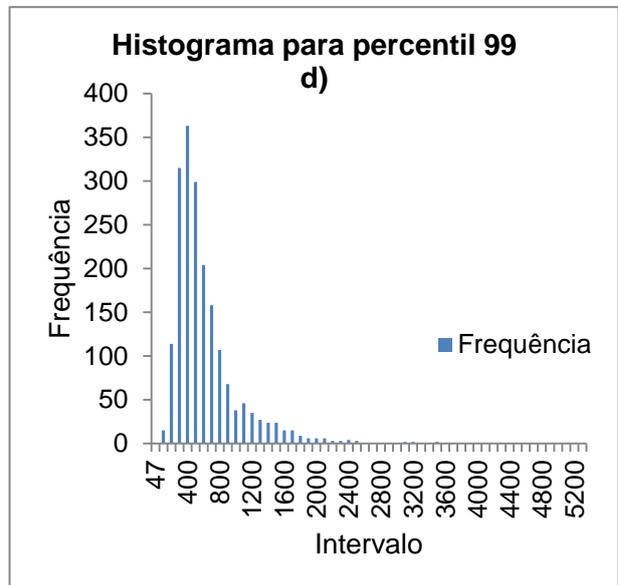
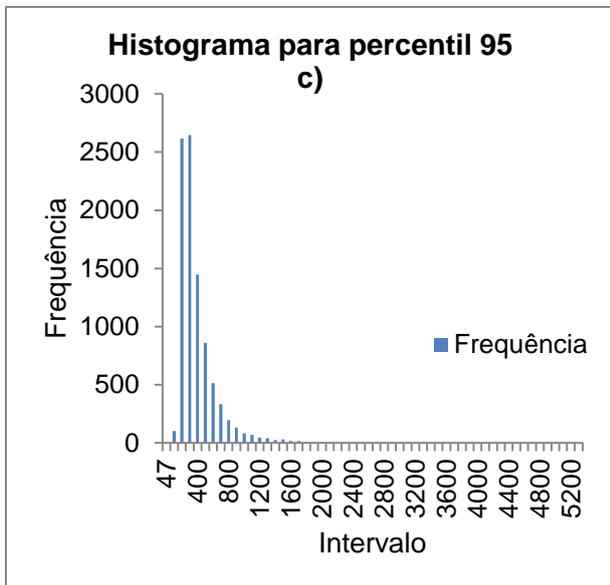
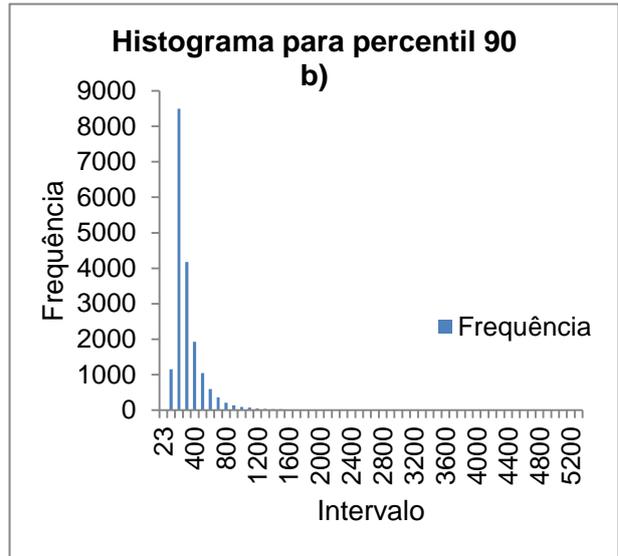
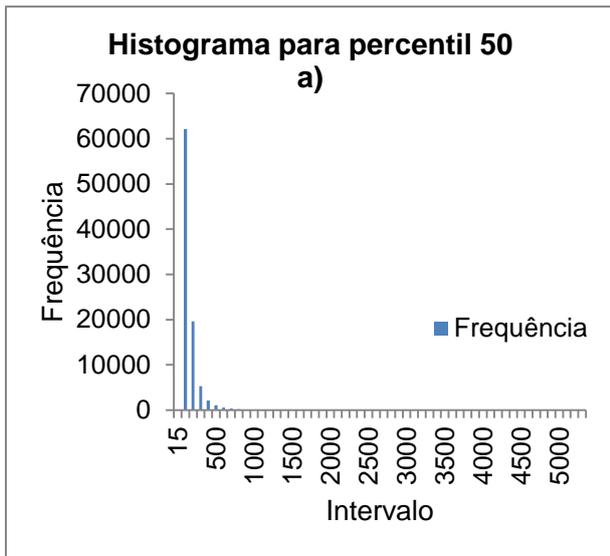


Figura 40 - Histograma para a base de percentil acima do percentil 50 (a), percentil 90 (b), percentil 95 (c) e percentil 99 (d). Observa-se que em todos os percentis existem dados com valores baixos, causando um enviesamento à esquerda.

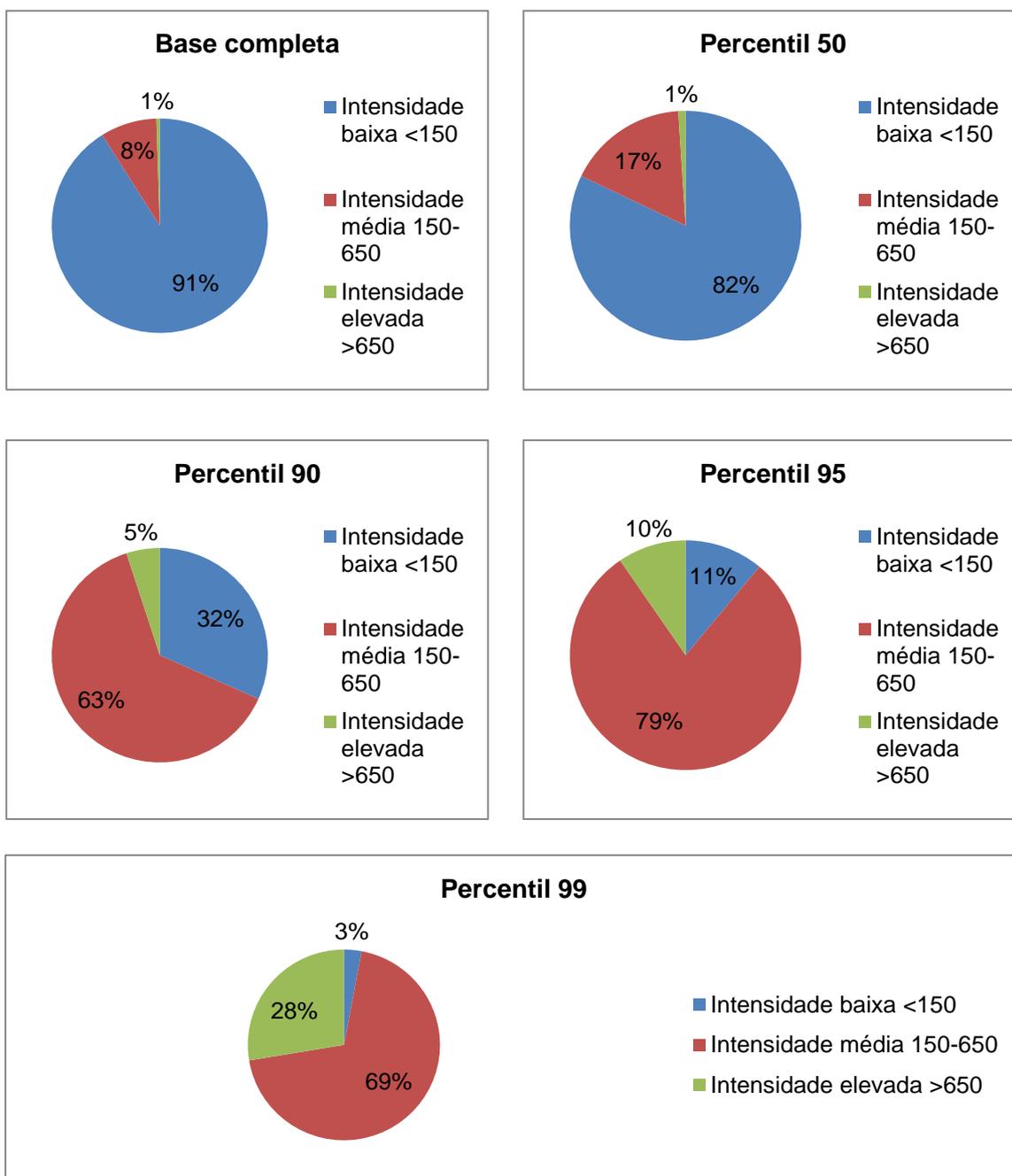


Figura 41 - Distribuição das classes de FRP para as diferentes bases de dados.

A figura 42 mostra a distribuição dos percentis 50, 90, 95 e 99 numa grelha de 0,5°. A grelha foi usada para extrair os percentis para garantir a variabilidade das variáveis ao longo da área de estudo. Desta forma, conseguiu-se ter uma representação geográfica dos percentis para cada célula da grelha. Nota-se que existe uma progressão de FRP elevados a Sul da área de estudo. Uma possível razão desta progressão pode ser devido ao facto dos

picos de intensidade ocorrerem nas W. Comparando a figura 5 com a figura 42, os picos de intensidade coincidem nas poucas áreas a Sul que correspondem a W.

Como se observa na figura 29, as W são a vegetação com maior incidência de fogo. Associado a isto, está também o caso de que o FWI extremo surge precisamente com maior frequência nas W (Figura 34). E como evidenciado pelos resultados das árvores de classificação aos valores extremos de FRP, a vegetação é um factor determinante para a origem de intensidades elevadas do fogo.

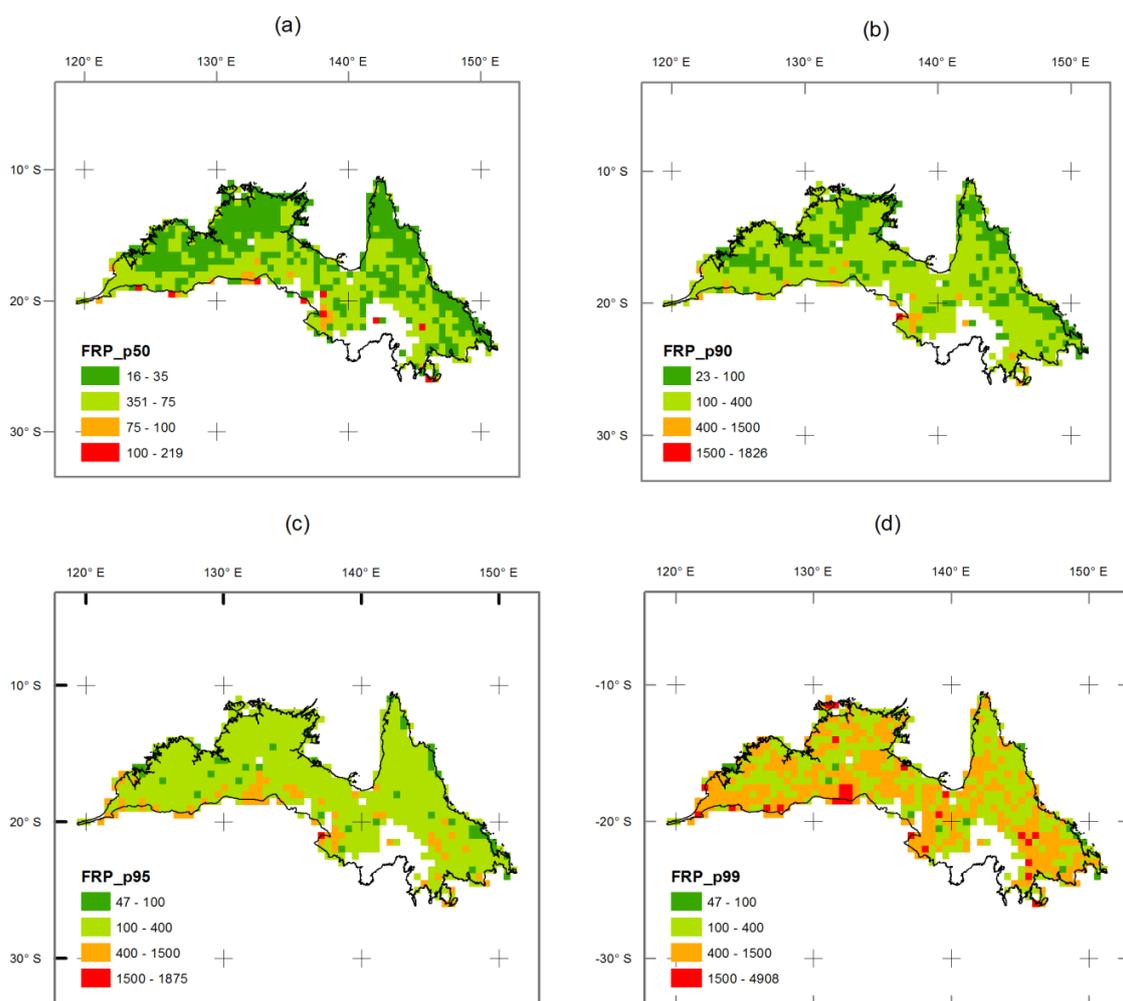


Figura 42 - Mapas de distribuição dos percentis de FRP na área de estudo: percentil 50 (a), percentil 90 (b), percentil 95 (c) e percentil 99 (d). No painel a) observa-se que existem muitos valores de FRP abaixo de 35, com poucos acima de 100. Para os painéis b) e c) existe maioritariamente valores de FRP entre os 100 e 400. Por último, no painel d) observa-se principalmente valores de FRP acima de 400, com maior frequência de valores superiores a 1500. Repara-se que para todos os painéis existe uma progressão dos valores elevados de FRP para Sul da área de estudo.

## 6. Conclusões

O Norte da Austrália é alvo de fogos intensos, com impactes ambientais severos, necessitando de meios para os controlar. Uma das formas de combater este problema é através de fogos controlados. Estes permitem controlar a vegetação, principalmente a carga de combustível, de modo que com a diminuição desta, se consiga reduzir a intensidade dos fogos e conseqüentemente os seus impactes ecológicos e sócio-económicos. Uma das formas de se estudar a intensidade dos fogos através de imagens de satélite é estudar a sua potência radiativa (FRP), a única variável capaz de estimar a intensidade dos incêndios.

Com o objectivo de explorar os factores ambientais que potencialmente controlam a intensidade dos fogos, modelaram-se os valores de FRP para a região Norte da Austrália durante o ano de 2011 em função de variáveis ambientais. Para tal usaram-se classificadores em árvore. Este método permitiu identificar as variáveis mais importantes para a modelação da variável em estudo. No entanto, a elevada variabilidade dos dados e o facto da distribuição se encontrar enviesada à esquerda causou alguns problemas na modelação da variável e conseqüentemente na qualidade das classificações. Uma das vantagens da utilização das árvores reside na informação de natureza exploratória das relações que se pretende modelar.

Deste modo, conseguiu-se estabelecer quais os factores que influenciam a intensidade dos fogos, tanto a valores baixos como nos valores extremos. A valores baixos, o FRP encontra-se principalmente dependente do FWI, mês, classe de cobertura do solo e da hora. Há medida que os valores de FRP vão aumentando, a hora vai perdendo relevância, bem com o número de anos desde o último incêndio. Nestas condições, os factores que têm maior impacto no FRP incluem o mês, o FWI e a cobertura de solo, com destaque para as duas últimas variáveis. Para os valores de FRP mais extremos, o FWI é considerada como a variável mais relacionada com a intensidade dos fogos, uma vez que esta variável estabelece uma relação com factores meteorológicos.

Dadas as dificuldades em modelar dados com uma distribuição tão enviesada como os valores de intensidade do fogo, claramente enviesados para valores baixos de FRP, é necessário explorar outros métodos e distribuições capazes de lidar com este problema. Uma sugestão poderá ser utilizar a regressão quantílica ou mesmo explorar as árvores de regressão quantílica.

## 7. Referências bibliográficas

AGO (Australian Greenhouse Office). 2007. "National Greenhouse Gas Inventory 2005". AGO: Canberra, ACT.

Amatulli, G., Lovreglio, R., Rodrigues, M.J., Trombetti, M. (2006). Assessing long-term fire risk at local scale by means of decision tree technique. *Journal of Geophysical Research* **111**, G04S05. doi: 10.1029/2005JG000133.

Boschetti, L., Roy, D.P. (2009). Strategies for the fusion of satellite fire radiative power with burned area data for fire radiative energy derivation. *Journal of Geophysical Research* **114**, D20302. doi: 10.1029/2008JD011645.

Bowman, D. M. (1998). The impact of Aboriginal landscape burning on the Australian biota. *New Phytologist*, *140*(3), 385-410.

Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., & Olshen, R. A. (1984). *Classification and regression trees*. CRC press.

De Groot, W.J. Interpreting the Canadian Forest Fire Weather (FWI) Index System. 1998. *Proc. of the Fourth Central Region Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar*.

Dyer, R., Jacklyn, P., Grice, T., Russell-Smith, J., Williams, D. 2001. Introduction. In Dyer, R., Jacklyn, P., Russell-Smith, J., Partridge, I., Williams, D (Eds.), *Savanna Burning: understanding and using fire in northern Australia*. *Tropical Savannas Cooperative Research Centre: Darwin*. Pp. 1

Dyer, R., Cooke, P., Grice, T., McGuffog, T., Russell-Smith, J., Yibarbuk, D. 2001. Using fire to manage savanna. In Dyer, R., Jacklyn, P., Russell-Smith, J., Partridge, I., Williams, D (Eds.), *Savanna Burning: understanding and using fire in northern Australia*. *Tropical Savannas Cooperative Research Centre: Darwin*. Pp. 50, 69-72

Franklin, D. C. (1999). Evidence of disarray amongst granivorous bird assemblages in the savannas of northern Australia, a region of sparse human settlement. *Biological Conservation*, *90*(1), 53-68.

Garde, M. 2009. The language of fire: seasonality, resources and landscape burning on the Arnhem Land Plateau, *Culture, Ecology and Economy of Fire Management in North*

*Australian Savannas: Rekindling the Wurrk Tradition*. CSIRO Publishing. Melbourne. Pp. 106-152

Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., Kaufman, Y.J. (2003). An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment* **87**, 273-282.

Justice, C., Boschetti, L., Csiszar, I., Giglio, L., Morisette, J., Kaufman, Y. (2006). MODIS FIRE PRODUCTS.

Kaufman, Y.J., Flynn, L., Giglio, L., Justice, C., Kendall, J., Menzel, P., Prins, E., Setzer, A., Ward, D.E. (1998). Potential Global Fire Monitoring from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research*, *103*, 32215-32238.

Laris, P. (2002). Burning the seasonal mosaic: preventative burning strategies in the wooded savanna of southern Mali. *Human Ecology*, *30*(2), 155-186.

Laris, P. (2011). Humanizing Savanna Biogeography: Linking Human Practices with Ecological Patterns in a Frequently Burned Savanna of Southern Mali.

Lewis, H. T. (1989). Ecological and technological knowledge of fire: Aborigines versus park rangers in northern Australia. *American Anthropologist*, *91*(4), 940-961.

Mitchell, T. M. (1997). Machine learning. 1997. McGraw Hill, Singapore.

Murphy, B.P., Russell-Smith, J. 2010. Fire severity in a Northern Australia savanna landscape: the importance of time since previous fire. *International Journal of Wildland Fire* **19**, 46-51. doi: 10.1071/WF08202

Murphy, B.P., Bradstock, R.A., Boer, M.M., Carter, J., Cary, G.J., Cochrane, M.A., Fensham, R.J., Russell-Smith, J., Williamson, G.J., Bowman, D.M.J.S. 2013. Fire regimes of Australia: a pyrogeographic model system. *Journal of Biogeography* **40**, 1048-1058. doi:10.1111/jbi.12065

Oliveira, S.L.J., Maier, S.W., Pereira, J.M.C., Russell-Smith, J. 2015. Seasonal differences in fire activity and intensity in tropical savannas of northern Australia using satellite measurements of fire radiative power. *International Journal of Wildlife Fire*. doi: 10.1071/WF13201

Roberts, G., Wooster, M. J., Perry, G. L., Drake, N., Rebelo, L. M., & Dipotso, F. (2005). Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power

observations: Application to southern Africa using geostationary SEVIRI imagery. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D21).

Roberts, G.J., Wooster, M.J. (2008). Fire Detection and Fire Characterization Over Africa Using Meteosat SEVIRI. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **46** (4).

Russell-Smith, J., Lucas, D., Gapindi, M., Gunbunuka, B., Kapirigi, N., Namingum, G., Lukas, K, Chaloupka, G. (1997). Aboriginal resource utilization and fire management practice in western Arnhem Land, monsoonal northern Australia: notes for prehistory, lessons for the future. *Human Ecology*, 25(2), 159-195.

Russell-Smith J., Yates C., Edwards A., Allan G.E., Cook G.D., Cooke P., Craig R., Heath B., Smith R. 2003. Contemporary fire regimes of northern Australia, 1997-2001: change since Aboriginal occupancy, challenges for sustainable management. *International Journal of Wildland Fire* **16**, 361-377. doi: 10.1071/WF03015

Russell-Smith, J., Whitehead, P.J., Williams, R.J., Flannigan, M. 2003. Fire and savanna landscapes in northern Australia: regional lessons and global challenges. *International Journal of Wildland Fire*. **12**(4),v-ix.doi:10.1071/WF03074

Russell-Smith, J., e C.P. Yates. 2007. Australian savanna fire regimes: context, scales, patchiness. *Fire ecology* 3(1): 48-63.

Russell-Smith J., Yates, C.P., Whitehead, P.J., Smith, R., Craig, R., Allan, G.E., Thackway, R., Frakes, I., Cridland, S., Meyer, M.C.P., Gill, A.M. 2007. Bushfires "Down Under": patterns and implications of contemporary Australian landscape burning. *International Journal of Wildland Fire* **16**, 316-377.doi: 10.1071/WF07018

Stroppiana D., Grégoire J.M., Pereira J.M.C. 2003. The use of SPOT VEGETATION data in a classification tree approach for burnt area mapping in Australian savana. *International Journal of Remote Sensing* **24**:10, 2131-2151. doi: 10.1080/01431160210154911

Taylor, J.A., e Tulloch, D. 1985. Rainfall in the wet-dry tropics: extreme events at Darwin and similarities between years during the period 1870-1973. *Australian Journal of Ecology* **10**, 281-295.

Turner, M. G., Romme, W. H., Gardner, R. H., O'Neill, R. V., & Kratz, T. K. (1993). A revised concept of landscape equilibrium: disturbance and stability on scaled landscapes. *Landscape Ecology*, 8(3), 213-227.

Walker, J. (1981). Fuel dynamics in Australian vegetation. *Fire and the Australian biota*, 101-127.

Wilson, B.A., Brocklehurst, P.S., Clark, M.J., Dickinson, K.J.M. 1990. Vegetation survey of the Northern Territory, Australia. Technical Report No. 49. Pp.1-222. Conservation Commission of the Northern Territory. Darwin, NT.

Williams, R. J., Gill, A. M., & Moore, P. H. R. (1998). Seasonal changes in fire behaviour in a tropical savanna in northern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 8(4), 227-239.

Williams, R. J., Gill, A. M., & Moore, P. H. R. (1998). Seasonal changes in fire behaviour in a tropical savanna in northern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 8(4), 227-239.

Wooster, M.L., Roberts, G., Perry, G.L.W., Kaufman, Y.J. (2005). Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release, *Journal of Geophysical Research*, 110, D24311, doi: 10.1029/2055JD006318.

Whitehead, P., Woinarski, J., Jacklyn, P. Fell, D., Williams, D. 2000. Defining and measuring the health of savanna landscapes: A north Australian perspective. Tropical Savannas CRC Discussion Paper.

Whitehead, P. J., Bowman, D. M. J. S., Preece, N., Fraser, F., & Cooke, P. (2003). Customary use of fire by indigenous peoples in northern Australia: its contemporary role in savanna management. *International Journal of Wildland Fire*, 12(4), 415-425.

<http://www.abs.gov.au> Acedido: 8 de Junho de 2016

<http://www.agriculture.gov.au/> Acedido: 3 de Setembro de 2016

<http://www.australia.gov.au/> Acedido: 16 de Setembro de 2016

<http://aqua.nasa.gov/> Acedido: 8 de Fevereiro de 2016

<http://www.bom.gov.au/> Acedido: 3 de Setembro de 2016, 14 de Setembro de 2016, 17 de Setembro de 2016, 17 de Abril de 2017

<http://www.censusdata.abs.gov.au/> Acedido: 8 de Junho de 2016, 11 de Setembro de 2016

<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca> Acedido: 2 de Janeiro de 2016

<https://www.dpaw.wa.gov.au/> Acedido: 20 de Setembro de 2016

<http://www.environment.gov.au/> Acedido: 17 de Setembro de 2016

<http://www.landmanager.org.au/> Acedido: 20 de Setembro de 2016

<https://modis.gsfc.nasa.gov/> Acedido: 8 de Fevereiro de 2016

<http://www.nrcan.gc.ca> Acedido: 2 de Janeiro de 2016

<http://www.pfes.nt.gov.au/> Acedido: 20 de Setembro de 2016

<https://www.qld.gov.au/> Acedido: 20 de Setembro de 2016

<https://www.salford-systems.com/> Acedido: 8 de Abril de 2016

<http://www.savanna.org.au> Acedido: 11 de Outubro de 2016

<http://terra.nasa.gov/about/terra-instruments> Acedido: 8 de Fevereiro de 2016

<https://www.wa.gov.au/> Acedido: 20 de Setembro de 2016

Figura 6 - Classificação climática de Köppen da Austrália <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 7 - Temperatura diária média durante a estação húmida . <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 8 - Temperatura diária média durante a estação seca <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 9 - Precipitação anual média <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 10 - Precipitação anual média em Queensland <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 11 - Temperatura média anual <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 12 - Precipitação média anual no Território do Norte <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 13 - Precipitação média anual na Austrália Ocidental <http://www.bom.gov.au> Acedido: 3 de Setembro de 2016

Figura 14 - Mapa da Terra de Arnhem, Território do Norte <http://www.savanna.org.au/>  
Acedido: 10 de Outubro de 2016

Figura 17 - Densidade populacional da Austrália para o ano de 2010 <http://www.abs.gov.au/>  
Acedido: 10 de Outubro de 2016

Figura 49 – Estrutura do sistema FWI <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca> Acedido: 2 de Janeiro de 2017

Quadro 5 - Número populacional para Austrália Ocidental, Território do Norte e Queensland para o ano de 2016 <http://www.abs.gov.au> Acedido: 8 de Junho de 2016

## **8. Anexos**





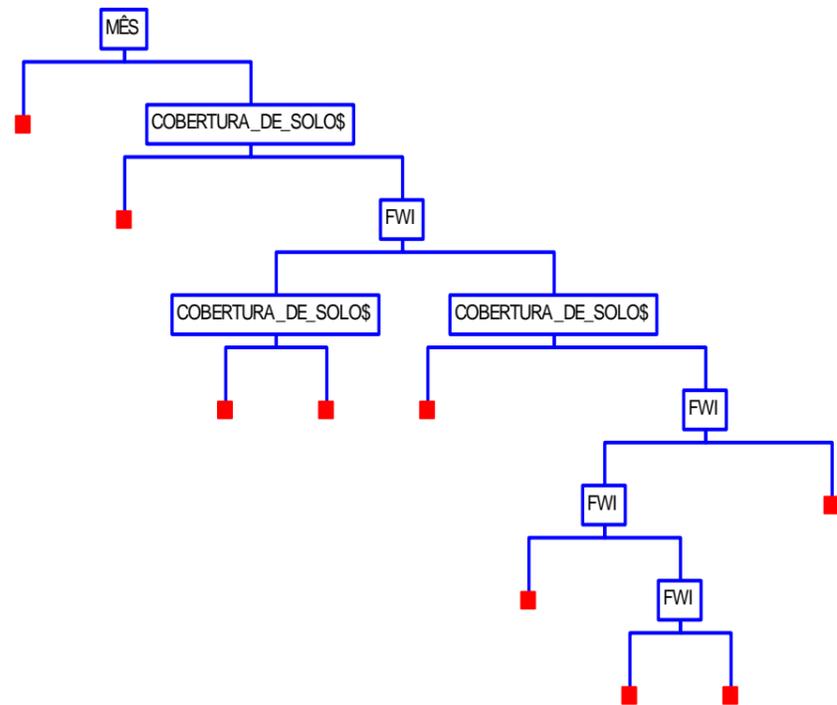


Figura 47 - Árvore de classificação para a base de percentil 90

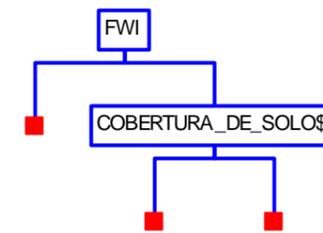


Figura 45 - Árvore de classificação para a base de percentil 95

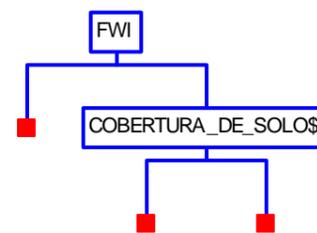


Figura 46 - Árvore de classificação para a base de percentil 99

## Estrutura do sistema FWI

O cálculo das componentes do FWI é baseado em observações diárias da temperatura, humidade relativa, velocidade do vento e precipitação nas 24h antecedentes. (<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca>).

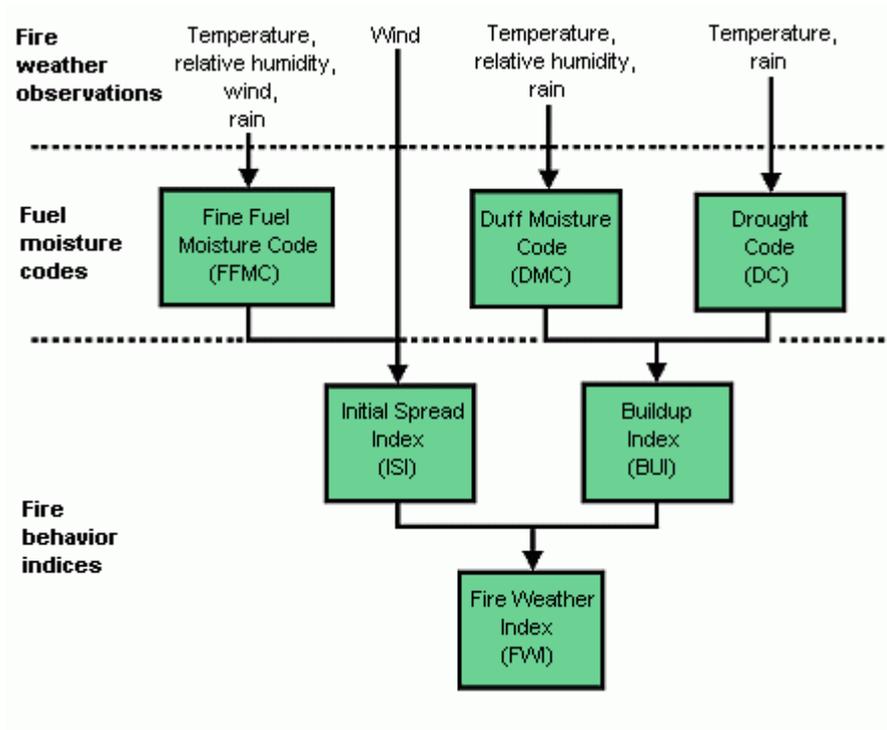


Figura 48 - Estrutura do sistema FWI.

## Indicadores de humidade

O FWI avalia o teor de humidade dos combustíveis e do comportamento do fogo através do efeito passado e presente da meteorologia nos combustíveis.

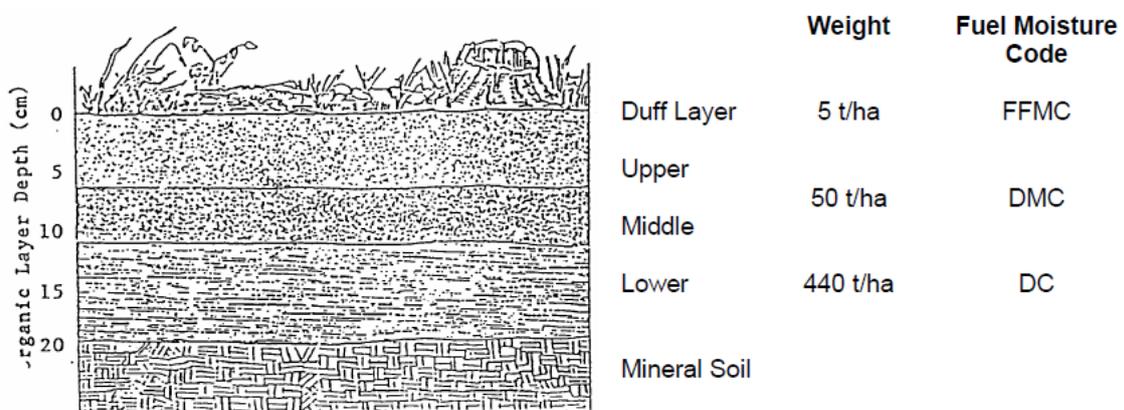


Figura 49 - Representação dos combustíveis pelos indicadores de humidade do sistema FWI. De Groot, 1998.

### **Fine Fuel Moisture Code (FFMC)**

Representa o índice de teor de humidade dos combustíveis finos, tais como agulhas, musgos, galhos com diâmetro inferior a 1 cm. Este índice representa a camada superficial com menos de 1-2 cm de profundidade. Estes combustíveis são afectados pela temperatura, velocidade do vento, humidade relativa e precipitação. Como os valores dos FFMC alteram-se rapidamente, eles somente reflectem as condições climáticas que ocorreram nos últimos três dias. Como os incêndios geralmente começam e propagam-se nos combustíveis finos, o FFMC é usado como indicador da facilidade de ignição e inflamabilidade do combustível fino (De Groot, 1998).

### **Duff Moisture Code (DMC)**

Representa o índice do teor de humidade da camada orgânica em decomposição que se encontra a uma profundidade entre os 5-10 cm. Estes combustíveis estão sujeitos aos efeitos da precipitação, temperatura e humidade relativa. O DMC fornece informação sobre o consumo de combustível na camada em questão e nos materiais lenhosos de dimensão média (De Groot, 1998).

### **Drought Code (DC)**

Representa o índice de secura, sendo representativo do défice de água no solo nas camadas orgânicas profundas com cerca de 10-20 cm. É um bom indicador dos efeitos da seca sazonal nos combustíveis florestais e nos materiais lenhosos de grandes dimensões. Este indicador é afectado pela temperatura e pela precipitação.

## **Indicadores do comportamento do fogo**

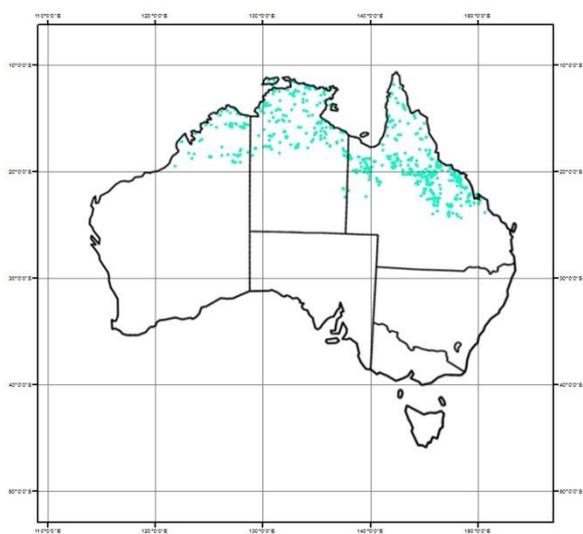
### **Initial spread index (ISI)**

Representa o índice de propagação inicial, combinando o índice de teor de humidade dos combustíveis finos (FFMC) e os efeitos do vento.

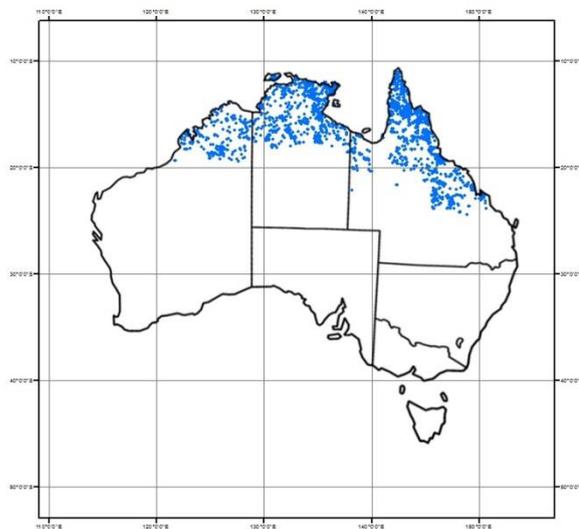
### **Buildup index (BUI)**

Representa o índice de combustível disponível através da combinação do DMC e do DC, para obter uma estimativa da proporção da vegetação disponível que irá participar na propagação do fogo. Para este índice, o DMC é aquele que tem maior impacto no BUI, de maneira que um valor nulo de DMC resulta num valor nulo de BUI, independentemente do valor do DC. A influência do DC é maior quando existem valores elevados de DMC (De Groot, 1998).

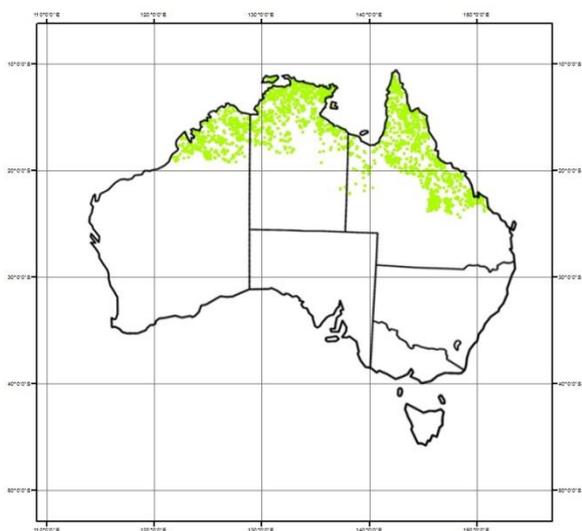
a)



b)



c)



d)

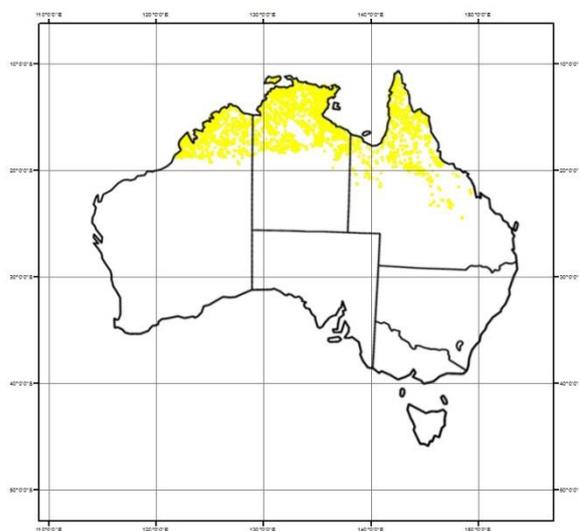
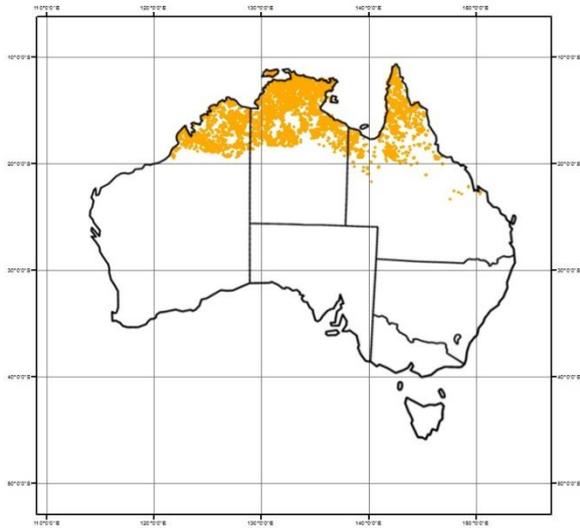
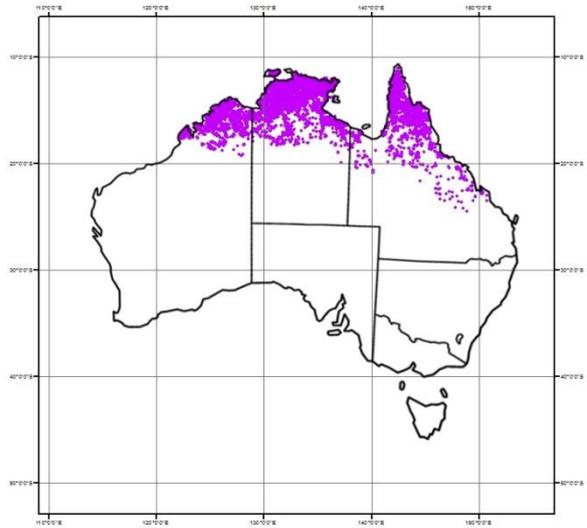


Figura 50 - Mapa do número de anos desde o último incêndio. Paineis a) ardeu em 2010, painel b) ardeu em 2009, painel c) ardeu em 2008 e painel d) ardeu em 2007. Repara-se que com o recuar dos anos, Queensland vai tendo uma menor detecção dos anos, ao contrário dos outros territórios.

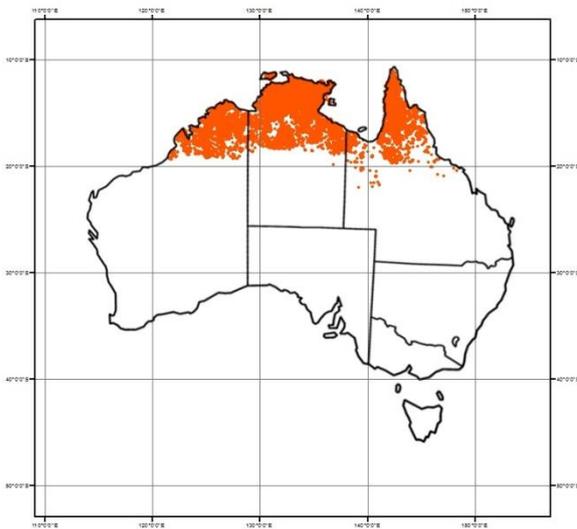
a)



b)



c)



d)

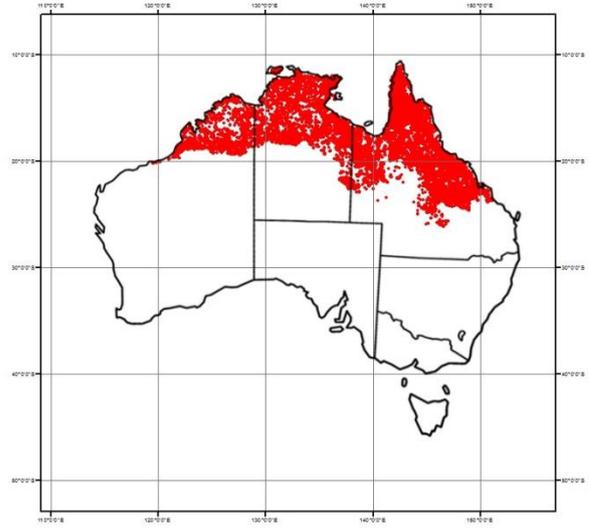


Figura 51 - Mapa do número de anos desde o último incêndio. Painel a) ardeu em 2006, painel b) ardeu em 2005, painel c) ardeu em 2004 e painel d) não ardeu durante o período 2004-2011. Verifica-se que a maior parte dos territórios não arde há mais de 7 anos.