

Agradecimentos

Ao Professor Xavier Viegas por aceitar a orientação deste trabalho, pelo interesse que sempre demonstrou, pelas sugestões e ideias que forneceu que contribuíram para a sua realização.

A todo pessoal da ADAI (Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial) cujo contributo foi fundamental para a realização deste trabalho.

À minha mãe, pai e irmã e a todo o resto da minha família que me ajudaram em todos os momentos, bons e maus ao longo da vida. E os meus amigos que estavam lá para me apoiar sempre que precisei.

Cláudia Silva, Cátia Cravo e João, Cláudio Flório, Élio Ferreira, José Lourenço, Wilson Vinagre, Cátia Barnabé, Marco Brásio, Susana Reis, Ana Sílvia, Célio, Carlos Veiga, Carlos Mourão, Vítor Pinheiro Bruno Sousa, Ricardo, Diogo Valente, David, Alexandre, Daniel Fernandes, Zé Manel, Vasco Lagarto, também conhecidos por pessoal do 113 e todos os outros que de uma maneira mais ou menos importante fizeram parte desta minha aventura....

Resumo

Este trabalho de investigação pretende contribuir para o estudo do comportamento do fogo na medida em que se pretende estudar o comportamento de uma frente de chamas na zona de transição de um leito com um combustível florestal para outro com características distintas.

Inicialmente pretende-se compreender de uma forma mais generalizada o comportamento do fogo e os factores que o influenciam, passando de seguida para um estudo mais detalhado e centrado no problema proposto.

Para este estudo foi realizado um trabalho laboratorial onde se estudou a variação de alguns parâmetros no comportamento do fogo.

Procurou-se retirar dados que nos permitissem obter relações e conclusões acerca das variações verificadas ao longo da realização deste trabalho.

Os resultados deste trabalho poderão dar um contributo importante para trabalhos futuros.

Palavras chave: Comportamento do fogo; zona de transição

Abstract

This research work aims to aid the study of fire behaviour, focused on the fire behaviour of a front in a transition zone between a bedstead with combustible forest materials and another zone with different characteristics.

Initially the aim is to generally understand fire behaviour and its influencing factors, moving onto a more detailed study, centred on the problem presented.

For this study, laboratory work was conducted on the study of some parameters of fire behaviour.

Data was retrieved to allow to relate and conclude on the variations verified while this research was conducted.

The results of this research may provide valuable help for future endeavours in this field.

Key words: fire behaviour; transition zone

Índice

Índice de Tabelas	v
Índice de Figuras	vi
1 – Introdução	1
2 – Comportamento do fogo	2
2.1 – Combustão	2
2.2 – Pirólise	3
2.3 – Transmissão de calor	4
2.4 – Combustível	5
2.5 – Topografia e condições meteorológicas	5
3 – Ensaio de combustibilidade	6
3.1 – Descrição da mesa de trabalho	7
3.2 – Descrição dos métodos de ensaio	7
3.3 – Descrição do programa de ensaios de combustibilidade	10
4 – Valores experimentais e resultados	12
4.1 – Perda de massa	13
4.1.1 – Ensaio com os combustíveis palha e caruma	14
4.1.2 – Ensaio com os combustíveis palha e resíduos	17
4.1.3 – Ensaio com os combustíveis caruma e resíduos	20
4.2 – Velocidade de propagação	22
4.3 – Dimensões da chama	28
4.3.1 – Altura da chama	29
4.3.2 – Comprimento da chama	32
4.3.3 – Inclinação da chama	34
5 – Discussão dos trabalhos	37
6 – Possíveis influências negativas nos resultados	41
7 – Conclusão	41
8 – Referências bibliográficas	43

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Massas pesadas	8
Tabela 2 – Sequência de ensaios	11
Tabela 3 – Condições da realização dos ensaios	12
Tabela 4 – Tabela das velocidades	23

Índice de Figuras

Figura 1 – Triângulo do fogo	3
Figura 2 – Mesa de combustibilidade	7
Figura 3 – Balança de humidades	8
Figura 4 – Balança digital	9
Figura 5 – Palha	10
Figura 6 – Caruma	10
Figura 7 – Resíduo florestal	11
Figura 8 – Gráfico típico de perda de massa	13
Figura 9 – Perda de massa correspondente ao ensaio 1	14
Figura 10 – Perda de massa correspondente ao ensaio 2	14
Figura 11 – Perda de massa correspondente ao ensaio 3	15
Figura 12 – Perda de massa correspondente ao ensaio 4	15
Figura 13 – Perda de massa correspondente ao ensaio 5	16
Figura 14 – Perda de massa correspondente ao ensaio 6	16
Figura 15 – Perda de massa correspondente ao ensaio 7	17
Figura 16 – Perda de massa correspondente ao ensaio 8	17
Figura 17 – Perda de massa correspondente ao ensaio 9	18
Figura 18 – Perda de massa correspondente ao ensaio 10	18
Figura 19 – Perda de massa correspondente ao ensaio 11	19
Figura 20 – Perda de massa correspondente ao ensaio 12	19
Figura 21 – Perda de massa correspondente ao ensaio 13	20
Figura 22 – Perda de massa correspondente ao ensaio 14	20
Figura 23 – Perda de massa correspondente ao ensaio 15	21
Figura 24 – Perda de massa correspondente ao ensaio 16	21
Figura 25 – Perda de massa correspondente ao ensaio 17	22
Figura 26 – Perda de massa correspondente ao ensaio 18	22
Figura 27 – Velocidade média palha-caruma	24
Figura 28 – Velocidade instantânea palha-caruma	24
Figura 29 – Velocidade média caruma-palha	25
Figura 30 – Velocidade instantânea caruma-palha	25
Figura 31 – Velocidade média palha-resíduos	25

Figura 32 – Velocidade instantânea palha-resíduos	26
Figura 33 – Velocidade média resíduos-palha	26
Figura 34 – Velocidade instantânea resíduos-palha	26
Figura 35 – Velocidade média caruma-resíduos	27
Figura 36 – Velocidade instantânea caruma-resíduos	27
Figura 37 – Velocidade média resíduos-caruma	27
Figura 38 – Velocidade instantânea resíduos-caruma	28
Figura 39 – Altura palha-caruma	29
Figura 40 – Altura caruma-palha	30
Figura 41 – Altura palha-resíduos	30
Figura 42 – Altura resíduos-palha	30
Figura 43 – Altura caruma-resíduos	31
Figura 44 – Altura resíduos-caruma	31
Figura 45 - Comprimento palha-caruma	32
Figura 46 - Comprimento caruma-palha	32
Figura 47 - Comprimento palha-resíduos	33
Figura 48 - Comprimento resíduos-palha	33
Figura 49 - Comprimento caruma-resíduos	33
Figura 50 - Comprimento resíduos-caruma	34
Figura 51 – Inclinação da chama palha-caruma	35
Figura 52 - Inclinação da chama caruma-palha	35
Figura 53 - Inclinação da chama palha-resíduos	35
Figura 54 - Inclinação da chama resíduos-palha	36
Figura 55 - Inclinação da chama caruma-resíduos	36
Figura 56 - Inclinação da chama resíduos-caruma	37
Figura 57 – Comparação de velocidades médias entre palha e caruma	38
Figura 58 - Comparação de velocidades médias entre resíduos e caruma	38
Figura 59 - Comparação de velocidades médias entre palha e resíduos	39
Figura 60 – Comparação da altura entre palha e caruma	40
Figura 61 - Comparação da altura entre resíduos e caruma	40
Figura 62 - Comparação da altura entre palha e resíduos	40

1 - Introdução

Os incêndios são, desde há milhares de anos, uma parte do ciclo natural do nosso planeta. Mas se no início fazia parte dos ciclos naturais das florestas, com o aparecimento do homem o incêndio florestal ganhou uma nova dimensão, deixando de ser simplesmente parte do equilíbrio natural e passando a ser uma fonte de perturbação que provoca perdas e danos. Estas perdas podem traduzir-se em perdas directas como a de pessoas e bens ou em perdas indirectas como a perda de coberto vegetal que contribuem para a erosão dos solos e a contribuição nas alterações climáticas com a emissão de gases com efeito estufa.

O estudo do comportamento do fogo tornou-se uma necessidade para qualquer sociedade, tanto para os organismos de política, gestão, prevenção e combate a incêndios, como para os sectores que aproveitam o fogo como factor essencial ao seu desenvolvimento. Os conhecimentos adquiridos acerca dos incêndios florestais provêm fundamentalmente do conhecimento empírico resultante da relação natural do Homem com o fogo e do conhecimento adquirido em ensaios científicos.

Na área do estudo do comportamento do fogo em leitos de combustível têm se feito inúmeros estudos. No entanto, uma vez que normalmente os leitos de combustível naturais consistem numa mistura de vários combustíveis, o estudo do comportamento do fogo, resultante de uma mistura de combustíveis, torna-se fundamental uma vez que este afecta o comportamento do fogo, afecta a propagação do mesmo e sua intensidade já que cada combustível tem características e propriedades próprias que tornam difícil a previsão das características acima referidas. Por isso, o entendimento dos mecanismos que regem as zonas de transição entre combustíveis é extremamente importante principalmente por causa da segurança dos bombeiros que devido a acelerações súbitas da frente das chamas podem ser apanhados de surpresa levando a perdas humanas.

Neste sentido, neste trabalho como principal objectivo propõe-se o estudo da transição das propriedades de comportamento de uma frente de chamas de um leito de combustível florestal constituído por partículas com determinadas características, para outro com características distintas. Este estudo insere-se num programa de investigação mais vasto sobre o comportamento dinâmico do fogo, tendo em vista melhorar a capacidade de modelização da propagação do fogo e da emissão de fumos em incêndios florestais.

Será estudada a variação da velocidade de propagação da frente, da taxa de perda de massa durante a combustão e da altura e o ângulo das chamas, antes, durante e após a transição.

Espera-se compreender melhor o grau de validade da hipótese que se faz usualmente na modelização do comportamento, que consiste em admitir que a mudança das propriedades é feita instantaneamente, logo que se passa de um combustível para outro. Espera-se nomeadamente poder quantificar os erros de previsão espaciais ou temporais produzidos pelos simuladores em situações em que haja transições de uns combustíveis para outros, como ocorre frequentemente na realidade.

2 - Comportamento do fogo

Um incêndio florestal pode ser visto como o reflexo do comportamento do fogo. O desenvolvimento de um incêndio, os efeitos no solo e na vegetação por ele provocados, e a dificuldade de controlo por ele demonstrada, dependem do comportamento do fogo. Por definição o comportamento do fogo é a forma como o combustível se inflama, como as chamas se desenvolvem, como o fogo se propaga e exhibe outras características, determinada pela interacção entre os diversos combustíveis, as variáveis meteorológicas e a topografia do terreno.

2.1 - Combustão

Para que uma reacção de combustão ocorra é necessário que se verifique uma interacção entre três componentes: combustível, comburente e energia de activação. É de referir que estes três componentes têm que coexistir para que se dê a combustão, como é representado na figura 1 pelo triângulo do fogo.



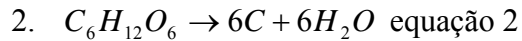
Figura 1 – Triângulo do fogo

Os dois primeiros, combustível e o comburente que normalmente é o oxigénio (O₂), reagem com a obtenção dos produtos de reacção água, dióxido de carbono (CO₂), e/ou monóxido de carbono (CO) para reacções incompletas, entre outros produtos que estão dependentes em grande parte das características do combustível. O calor surge como uma energia de activação essencial à referida reacção. Embora numa primeira fase necessite de uma fonte de energia exterior (calor), nessa primeira fase fornece energia para um conjunto de reacções endotérmicas a que se chama de pré-ignição, dando seguidamente a ignição e a combustão propriamente dita, que é uma reacção exotérmica, uma vez que ocorre libertação de uma grande quantidade de energia térmica. Esse calor libertado fornece a energia de activação às partículas imediatamente a jusante alimentando assim a frente da chama.

2.2 - Pirólise

Com o crescente aumento da temperatura, as partículas de combustível vão sofrer pirólise que pode considerado um processo de degradação térmico. Os produtos da reacção da pirólise serão os reagentes que combinados com o oxigénio darão origem aos produtos da combustão.

A pirólise é constituída essencialmente por dois mecanismos cujos produtos são essencialmente os mesmos, dióxido de carbono e água. A grande diferença surge nas reacções intermédias. No primeiro caso a molécula de combustível, (glucose), decompõe-se em monóxido de carbono e hidrogénio. No segundo caso, o combustível decompõe-se em carbono e água. Em ambos os casos estes compostos reagem com o oxigénio e os produtos resultantes são os referidos anteriormente, dióxido de carbono e água.



2.3 - Transmissão de calor

Sendo a temperatura um processo importante no fogo será importante fazer referência à transmissão de calor. Fala-se em transmissão de calor quando ocorre diferença ou um gradiente de temperatura. Normalmente consideram-se três mecanismos: condução, convecção e radiação.

A condução é um mecanismo principal de transmissão de calor nos sólidos e consiste essencialmente na propagação de energia cinética de vibração das moléculas, que ocorre aquando o aquecimento de uma partícula de combustível que por condução transmite energia para a partícula seguinte.

A convecção é o mecanismo de transferência dominante nos fluidos e corresponde ao transporte de energia térmica pelo movimento do próprio fluido. Há dois tipos de convecção: forçada e natural. Convecção forçada ocorre por acção do vento que aumenta a taxa de entrada de oxigénio na combustão e provoca a inclinação das chamas que por sua vez aumenta a temperatura. Já a convecção natural surge devido às forças de impulsão resultantes da diferença de densidades em relação aos fluidos na vizinhança. Os produtos da combustão tendem a subir, formando uma coluna de convecção por cima do incêndio. Esta coluna de convecção induz movimento do ar circundante para o centro da zona em combustão produzindo ventos locais que podem ser bastantes fortes. Estes dois mecanismos podem ocorrer num incêndio existindo até uma certa competição entre os dois mecanismos podendo por vezes um vento forte dificultar a formação de uma coluna de convecção.

A radiação é um processo de transmissão de energia por ondas electromagnéticas. As chamas e as brasas imitem na gama próximo do ultravioleta, visível e infravermelho e não necessitam de qualquer meio intermédio para a sua propagação. A radiação emitida depende da temperatura a que se encontra a fonte emissora. A radiação das chamas é emitida pelos gases quentes mas principalmente pelas partículas incandescentes de carbono presentes na chama.

Dos três mecanismos, a convecção e a radiação são os principais transportando calor libertado por uma partícula de combustível para longe da mesma, enquanto que a

condução é relevante aquando do aquecimento de uma partícula cujo calor é transferido por condução para o interior do mesmo.

2.4 - Combustível

O combustível como é um factor determinante na caracterização de um incêndio torna-se essencial a compreensão, o conhecimento e a caracterização das propriedades físico-químicas da combustão.

Uma partícula de combustível pode ser caracterizada por um conjunto de propriedades que influenciam a sua acção num incêndio. A relação superfície-volume interfere no aquecimento da partícula, que por sua vez influencia as características de condutibilidade térmica que é essencial para que se verifique reacção em cadeia. Partículas em que esta relação assume valores baixos (volume elevado) apresentam um aquecimento mais lento, já para valores elevados (volumes baixos) o aquecimento dá-se de forma mais rápida até a inflamação. O teor de humidade é uma característica que varia conforme as condições atmosféricas e a maneira que afecta o combustível é bastante simples, quanto mais húmido está o combustível mais difícil se torna a sua inflamação, porque parte do calor transferido será utilizado para evaporar a água.

Além das propriedades das partículas individuais também são relevantes as propriedades do leito, profundidade, espessura do complexo, densidade aparente e porosidade do mesmo. Estas propriedades intervêm na composição da vegetação presente no leito que por sua vez afecta o tipo de combustível presente nesse mesmo leito, que irá determinar a propagação do fogo nesse local.

2.5 - Topografia e condições meteorológicas

É evidente que a topografia e o tempo influenciam o comportamento do fogo. As principais variáveis meteorológicas que influenciam um incêndio são a precipitação, temperatura, humidade do ar e vento. Como é óbvio, a precipitação aumenta a humidade no ar e no combustível dificultando assim a sua inflamação, a temperatura conjugada com a humidade do ar facilita ou dificulta a inflamação, temperaturas elevadas conjugadas com humidades baixas facilita a inflamação do combustível enquanto que temperaturas baixas e humidades elevadas têm o efeito oposto, dificultando a inflamação do combustível. O

vento introduz oxigénio no sistema de combustão e promove a mistura turbulenta aumentando a transferência de calor por convecção forçada, por radiação aumentando a inclinação da chama, que aumenta a velocidade de progressão e a intensidade da chama.

As características da topografia normalmente influenciam indirectamente o fogo no que toca a combustíveis e meteorologia. A influência nos combustíveis surge através da altitude, que condiciona a temperatura e a precipitação podendo o próprio tipo de combustível e a sua humidade variar com a topografia. A influência no estado do tempo tem a ver com as alterações nos padrões do vento em altitude que são causadas pelo aquecimento e arrefecimento do terreno por radiação o que causa troca de calor com a camada de ar imediatamente acima. Já no relevo a influência assume diversos aspectos, dependendo da topografia que se verifica, como um terreno inclinado, que por aumento da radiação incidente devido ao ângulo formado com o terreno, aumenta a taxa de aquecimento dos combustíveis.

3 - Ensaios de combustibilidade

Nos ensaios de combustibilidade procedeu-se à queima dos combustíveis numa mesa de trabalho, simulando a progressão do fogo num incêndio real num plano horizontal, na ausência de vento.

Um dos objectivos do trabalho de dissertação é o estudo da alteração do comportamento do fogo mediante a variação de combustíveis no leito na zona de transição entre eles. Neste sentido, constituiu-se o leito com dois de três combustíveis utilizados, realizando uma sequência de ensaios em que se fez variar a carga mássica em cada um dos dois combustíveis e a ordem de queima, analisando o comportamento do fogo perante estas alterações.

A sequência de ensaios inicia-se envolvendo palha e caruma, passando para os ensaios envolvendo palha e resíduos e acaba com os ensaios envolvendo caruma e resíduos.

Cada sequência envolve seis ensaios, três em que a ignição é efectuada num dos dois combustíveis e nos outros três inverte-se a ordem dos combustíveis. Dentro dos três ensaios de cada série varia-se a carga de combustível. A carga corresponde ao peso de combustível por área do leito e considera-se três cargas: 0.4, 0.6, e 0.8.

Considerou-se como parâmetros mais relevantes para a caracterização do comportamento do fogo, a perda de massa, a velocidade de propagação da chama, as dimensões da chama que envolve altura da chama, comprimento da chama e ângulo da

chama. Como tal, a medição das variáveis experimentais foi realizada tendo em vista a obtenção destes parâmetros.

3.1 - Descrição da mesa de trabalho

Os ensaios realizados, no desenvolvimento deste trabalho, foram efectuados nas instalações do Laboratório de Aerodinâmica Industrial (LAI) pertencente, assim como todo o material utilizado, à Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial – Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (ADAI – CEIF) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra. Os ensaios foram elaborados numa mesa de combustibilidade (figura 2).



Figura 2 – Mesa de combustibilidade

A mesa é composta por uma plataforma com 1 m² (1 metro por 1 metro), onde se realizaram os ensaios, com a ligação a uma balança electrónica com precisão de 0,001 g, sendo o sentido de propagação da chama da esquerda para a direita.

3.2 - Descrição dos métodos de ensaio

De seguida procede-se à descrição de todos os procedimentos para a realização dos ensaios.

1 - Precedendo cada ensaio analisou-se o teor de humidade do combustível, por intermédio de uma balança electrónica de secagem.



Figura 3 – Balança de humidades

A humidade do combustível, m_w , foi usada para calcular a quantidade de massa que se tinha de adicionar à quantidade previamente pesada para termos cargas em peso seco. Esta análise de humidade foi efectuada uma vez por cada sequência de ensaios.

2 - De seguida procedeu-se à pesagem dos combustíveis dependendo da carga. Como temos três cargas: 0.4, 0.6, 0.8 kg/m² e temos 1 m² de área dividida pelos dois combustíveis, vamos ter a pesagem de:

$$CARGA \times \acute{A}REA = MASSA \text{ equação 3}$$

Para cada combustível em cada ensaio:

Carga	Massa (kg)
0,4	0,2
0,6	0,3
0,8	0,4

Tabela 1 – Massas pesadas

A estas massas adiciona-se um valor a mais por causa da humidade que foi determinada com a balança de humidades.

Como exemplo do cálculo efectuado, para uma humidade de 10% em m_w corresponde a 11,11% em m_f . De seguida calcula-se o peso a adicionar:

$$\frac{0,2 \times 11,11}{100} = 0,022 \text{ kg}$$

Com este cálculo determinamos que o peso a ser adicionado é de 0,022 kg e tornando o peso final de 0,222 g, sendo este processo repetido para todos os ensaios. Esta massa é pesada com uma balança com precisão de 0,001 (figura 4).



Figura 4 – Balança digital

3 - Após pesagem procedemos à colocação do combustível na plataforma com o auxílio de uma tábua separadora para garantir que não há mistura dos combustíveis na zona de transição como se mostra na figura 2 dividindo o leito em dois, com dois combustíveis a que se refere como combustível A e combustível B.

4 - Ao longo de cada ensaio mediu-se a velocidade de propagação pelo método dos fios de algodão, que consiste na colocação de fios de algodão, de cor contrastante com o combustível, unindo os pinos de 4 em 4 cm e de 2 em 2 cm na zona de transição e

cronometrando o tempo em que eles quebravam para de seguida proceder-se ao cálculo da velocidade.

5 - A perda de massa foi obtida por intermédio do dispositivo de aquisição de massa que por intermédio de um computador nos dava a perda de massa ao longo do tempo.

6 - Todos os ensaios foram filmados para que posteriormente fossem medidas as dimensões da chama.

3.3 - Descrição do programa de ensaios de combustibilidade

Nos ensaios efectuados foram usados três combustíveis:

- Herbáceas (palha – figura 5)
- Caruma de pinheiro bravo (figura 6)
- Vegetação arbustiva (resíduos florestais constituídos por urze e carqueja – figura 7)



Figura 5 - Palha



Figura 6 - Caruma



Figura 7 – Resíduo florestal

No desenvolvimento deste trabalho foram realizados 18 ensaios, apresentados de seguida e resumidos na tabela seguinte:

Ensaio	Combustível A	Combustível B	Carga	Código
1	Palha	Caruma	0,4	PC04
2	Palha	Caruma	0,6	PC06
3	Palha	Caruma	0,8	PC08
4	Caruma	Palha	0,4	CP04
5	Caruma	Palha	0,6	CP06
6	Caruma	Palha	0,8	CP08
7	Palha	Resíduo	0,4	PR04
8	Palha	Resíduo	0,6	PR06
9	Palha	Resíduo	0,8	PR08
10	Resíduo	Palha	0,4	RP04
11	Resíduo	Palha	0,6	RP06
12	Resíduo	Palha	0,8	RP08
13	Caruma	Resíduo	0,4	CR04
14	Caruma	Resíduo	0,6	CR06
15	Caruma	Resíduo	0,8	CR08
16	Resíduo	Caruma	0,4	RC04
17	Resíduo	Caruma	0,6	RC06
18	Resíduo	Caruma	0,8	RC08

Tabela 2 – Sequência de ensaios

Para facilitar a apresentação de todos os resultados apresenta-se um código simples que fará referência ao ensaio, combustíveis utilizados e a carga correspondente. Esta notação será utilizada para identificar tabelas e gráficos que serão apresentados nos resultados.

No decorrer destes ensaios foram também tirados dados relacionados com as condições em que foram realizados os ensaios, apresentando-os de seguida:

Ensaio	Código	T(°c)	Hr (%) ar	Hm Comb A (cm)	Hm Comb B (cm)
1	PC04	26	47	4,8	4
2	PC06	22,2	48	5,7	5,2
3	PC08	24,8	50	9,75	6,125
4	CP04	23,8	69	3,5	5,875
5	CP06	24,8	67	4,5	6,375
6	CP08	25,5	64	5,5	6,75
7	PR04	24,5	48	4,5	4,5
8	PR06	24,4	44	6,375	6,4
9	PR08	23,6	39	8,5	9,375
10	RP04	22,7	39	4,75	4,2
11	RP06	21,7	43	6,1	6,5
12	RP08	21,6	43	8,2	8,5
13	CR04	22	46	3,5	4,5
14	CR06	21,3	52	5,2	5,3
15	CR08	21,5	52	6,2	8,1
16	RC04	21,7	50	4,2	3,8
17	RC06	22,2	47	6	5,4
18	RC08	22,5	46	9,125	6,375

Tabela 3 – Condições da realização dos ensaios

Na tabela 3 estão representadas a temperatura medida (T) antes de se iniciar cada ensaio, a humidade relativa (Hr) do ar e a altura média (Hm) do combustível A e B que variou no decorrer dos ensaios (como está demonstrado na tabela 2) que é a média de quatro valores medidos no leito em cada combustível.

4 - Valores Experimentais e Resultados

Os resultados directamente obtidos em laboratório, derivados da planificação do ensaio e da sua realização, são os seguintes:

- carga de combustível (definido pelo operador na planificação do ensaio);
- altura do leito (registado e medido pelo operador com o auxílio de uma fita métrica);
- humidade do combustível (valor fornecido por uma balança electrónica de secagem);
- evolução da massa de combustível ao longo do ensaio (obtida informaticamente);
- tempo para que a chama percorra todo o comprimento do leito de combustível (registado pelo operador com o auxílio de um cronómetro pelo método dos fios de algodão);

- inclinação da chama, altura e comprimento da chama (registados pelo operador).

4.1 - Perda de massa

A balança electrónica de aquisição de massa regista o valor da massa de combustível pousado sobre a sua superfície. Naturalmente à medida que a chama percorre o leito este valor diminui até um valor sensivelmente constante referente à massa da cinza, definindo assim uma linha que representa no gráfico a perda de massa. A figura 8 representa o gráfico típico de perda de massa.

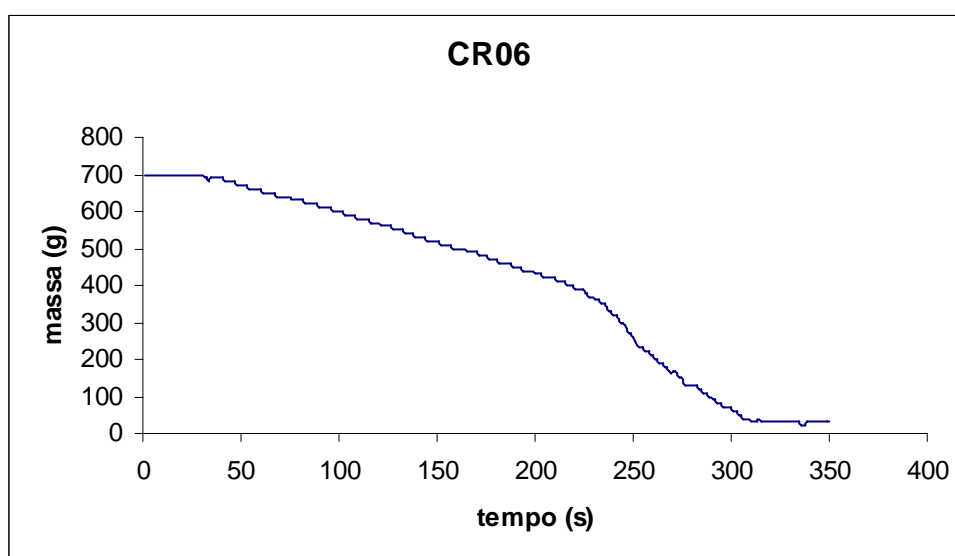


Figura 8 – Gráfico típico de perda de massa

A linha correspondente a um gráfico de evolução de perda de massa poderá ser dividida em 5 fases, descritas de seguida:

- Fase I – a massa mantém-se inalterada uma vez que ainda não se procedeu à ignição do leito, logo não há combustão do combustível sobre a balança;
- Fase II – inicia-se quando há combustão do combustível A, que à medida que a chama progride há um decaimento da massa;
- Fase III – esta fase é das mais importantes e ocorre quando a chama chega à zona de transição entre os dois combustíveis, onde ocorre uma alteração do declive da recta;
- Fase IV – ocorre quando a chama deixa a zona de transição e passa a desenvolver-se totalmente no combustível B;

- Fase V – quando a chama tiver percorrido todo o leito e já não se verificar reacção de combustão a massa já não sofre grande alteração, apresentando uma recta horizontal que pode sofrer pequenas alterações.

4.1.1 - Ensaios com os combustíveis Palha e Caruma

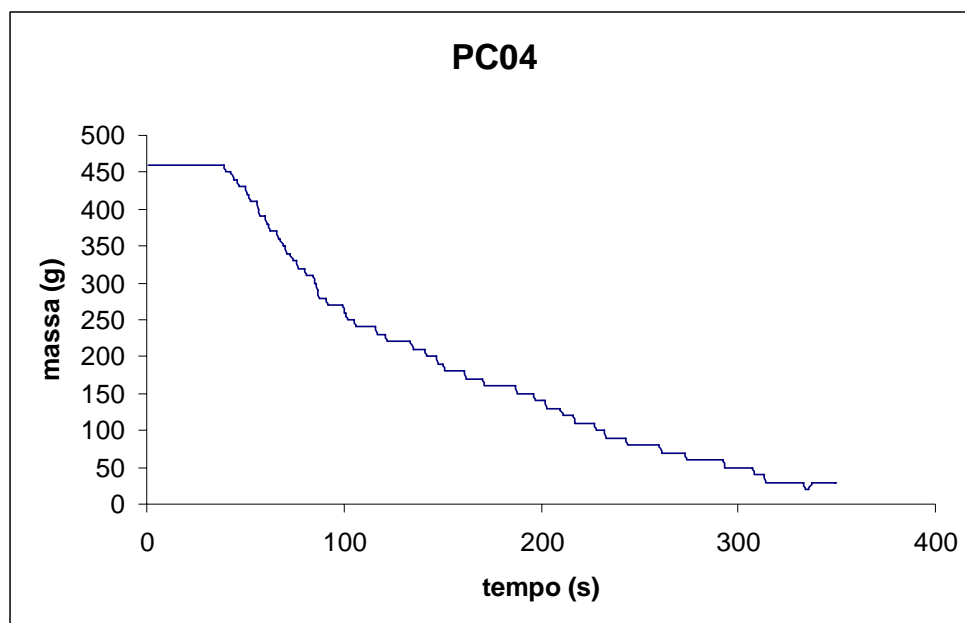


Figura 9 – Perda de massa correspondente ao ensaio 1

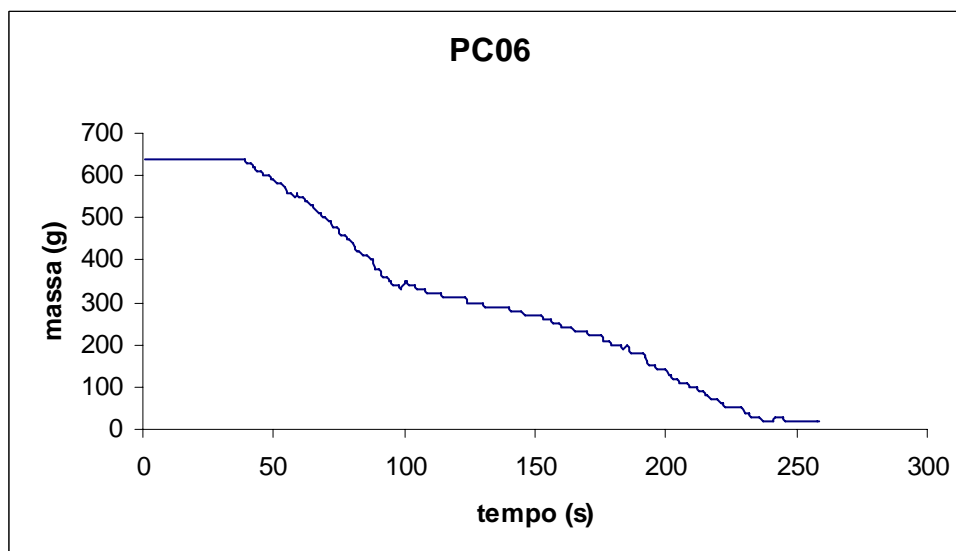


Figura 10 - Perda de massa correspondente ao ensaio 2

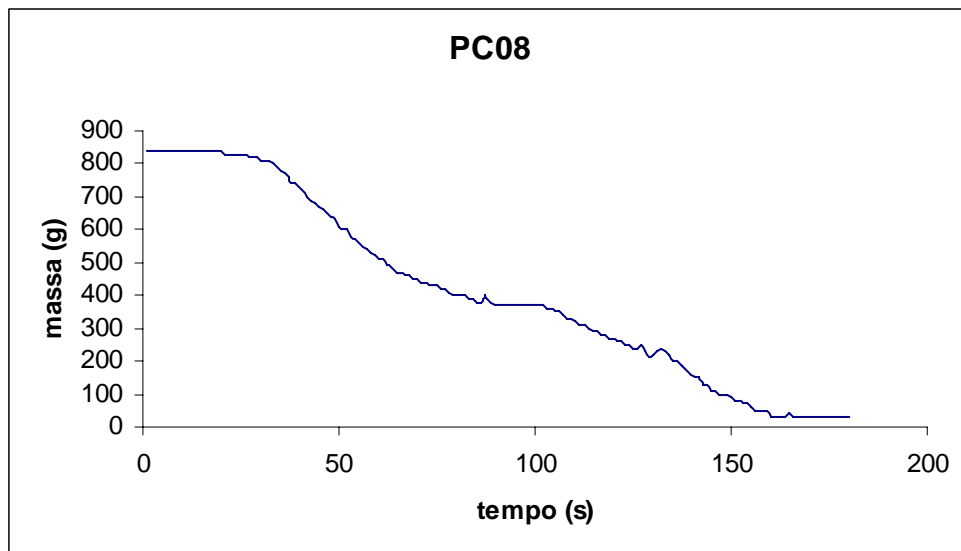


Figura 11 - Perda de massa correspondente ao ensaio 3

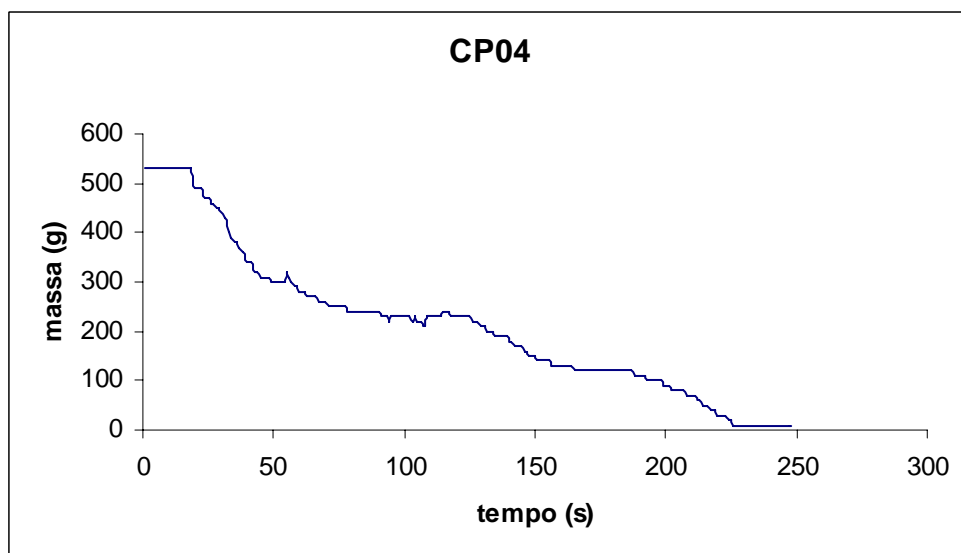


Figura 12 - Perda de massa correspondente ao ensaio 4

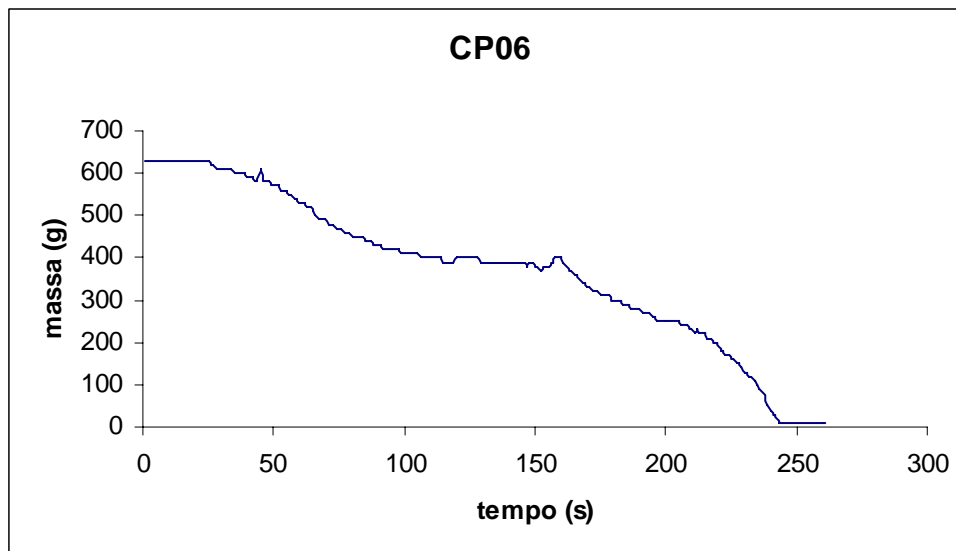


Figura 13 - Perda de massa correspondente ao ensaio 5

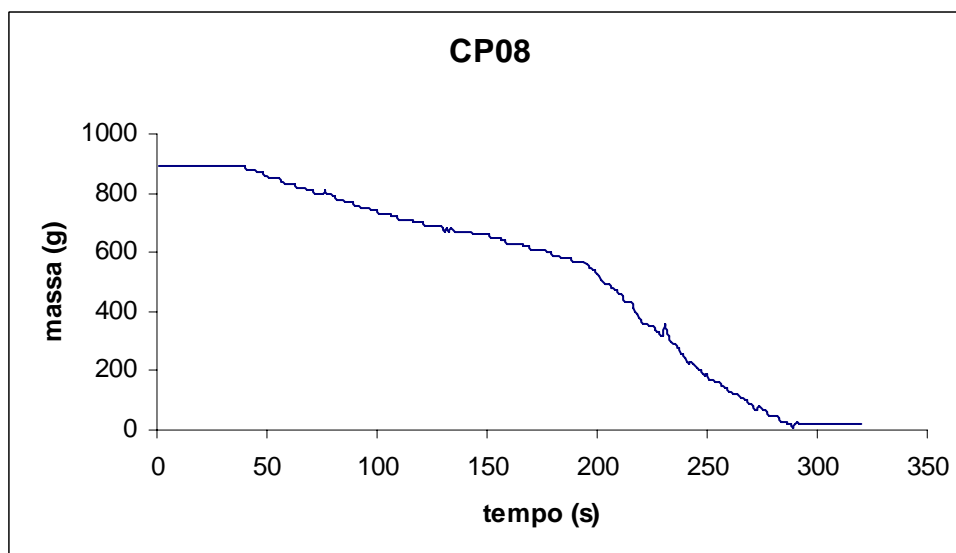


Figura 14 - Perda de massa correspondente ao ensaio 6

Nesta primeira sequência de ensaios, onde os combustíveis usados foram a caruma e palha, verifica-se com excepção dos ensaios com carga 0,4 que, de uma maneira geral, os gráficos apresentam as 5 fases bem distintas e verifica-se claramente que quando o combustível a ser queimado é a palha, temos um declive mais acentuado do que quando se queima a caruma, sendo que isto demonstra que a taxa de perda de massa é diferente nestes dois combustíveis. Este facto não se altera com a inversão da ordem dos combustíveis verificando-se na mesma as 5 fases e os dois declives. O mais importante a reter é o ponto de inflexão verificado nos gráficos que indica a região onde se deu a passagem de um combustível para outro, verificando-se um retardamento da taxa de perda de massa quando a chama se aproxima da transição e depois um aceleração da taxa quando a mesma se

desenvolve no segundo combustível. Essa aceleração depende do segundo combustível, sendo por isso mais evidente na sequência caruma-palha que se verifica claramente pelos declives verificados. Verifica-se também que se estivéssemos perante um leito só com um combustível a perda de massa se daria de forma mais ou menos constante e perante estarmos num leito em que não temos declive e vento essas alterações na taxa de perda terão de ser atribuídas ao facto de termos dois leitos com combustíveis distintos.

4.1.2 - Ensaio com os combustíveis Palha-Resíduos

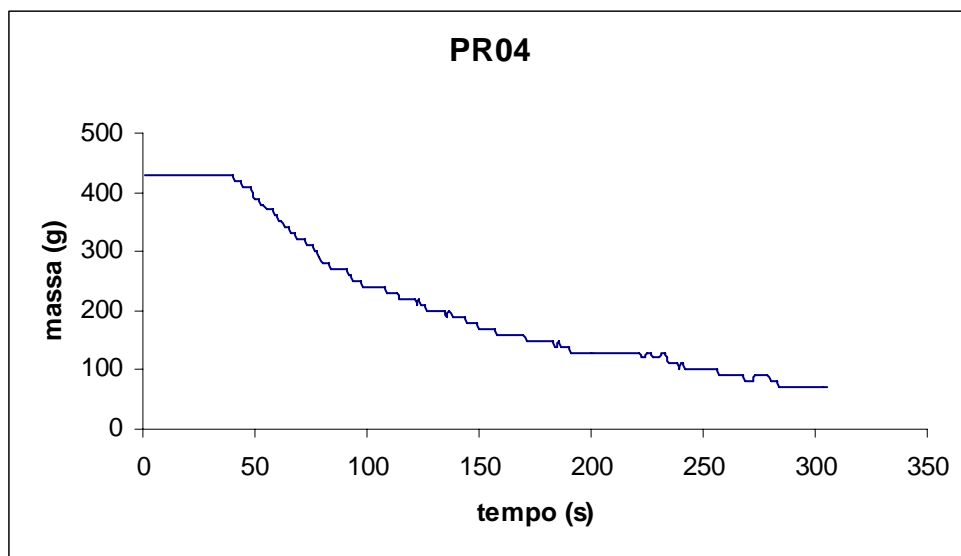


Figura 15 - Perda de massa correspondente ao ensaio 7

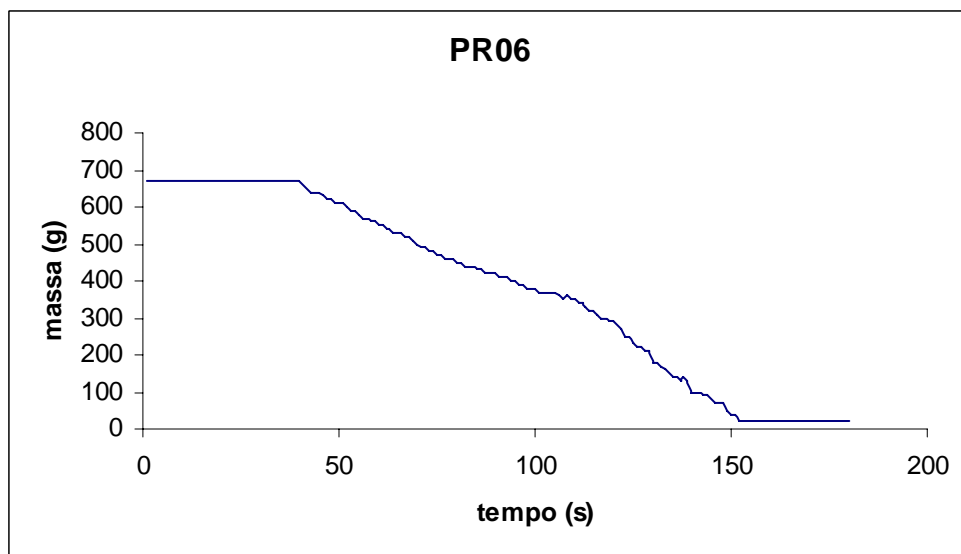


Figura 16 - Perda de massa correspondente ao ensaio 8

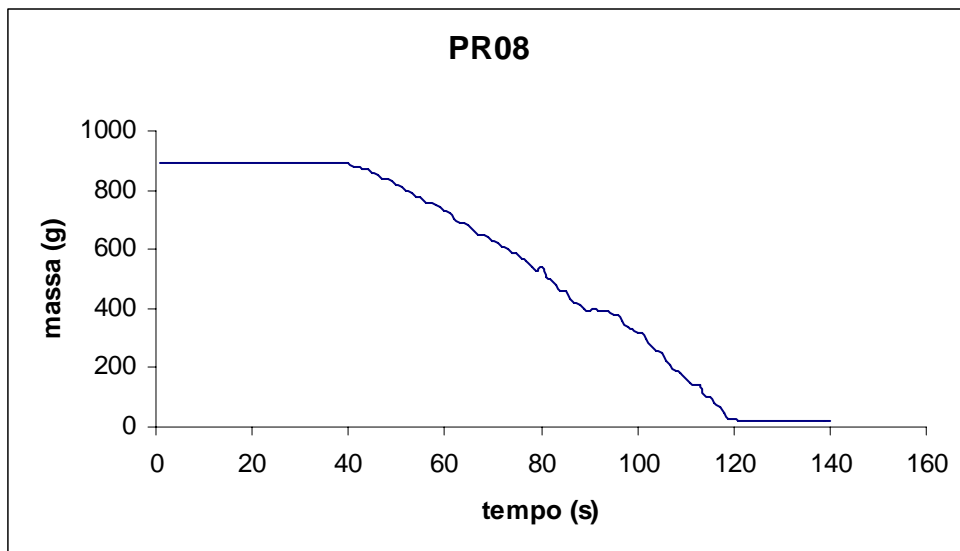


Figura 17 - Perda de massa correspondente ao ensaio 9

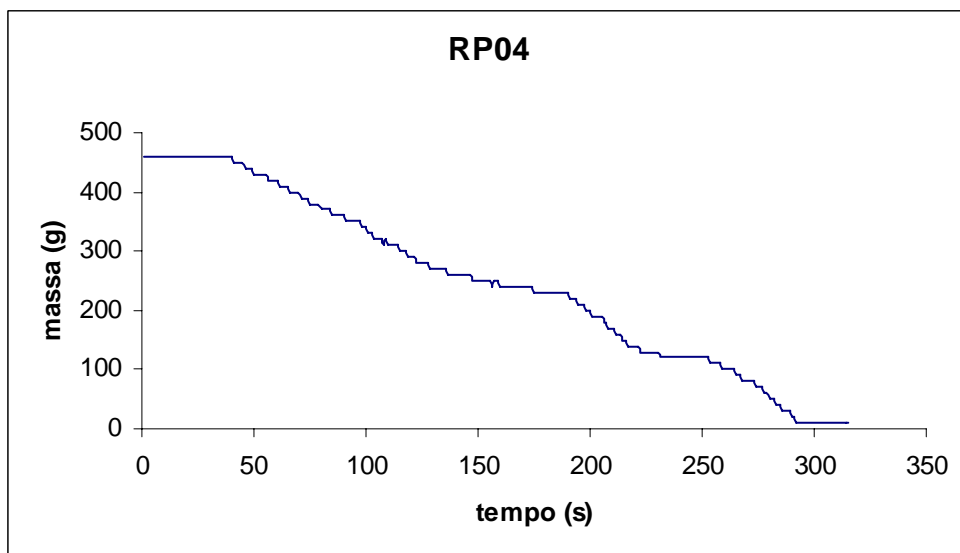


Figura 18 - Perda de massa correspondente ao ensaio 10

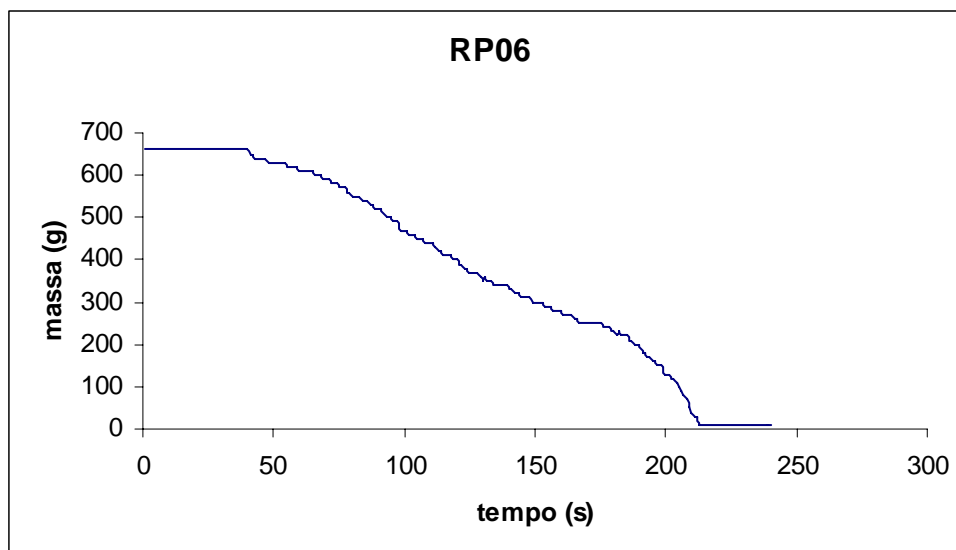


Figura 19 - Perda de massa correspondente ao ensaio 11

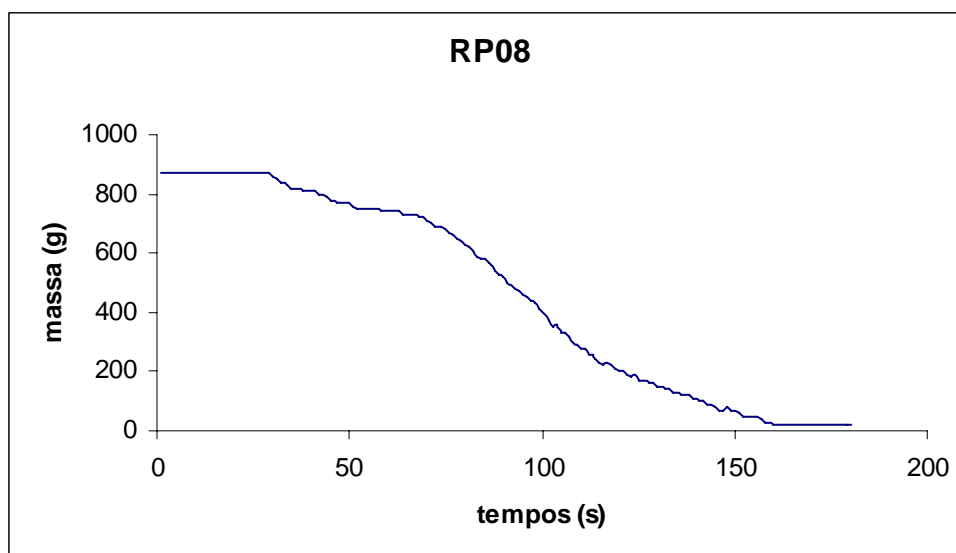


Figura 20 - Perda de massa correspondente ao ensaio 12

Nesta segunda sequência de ensaios os combustíveis usados foram a palha e resíduos florestais (urze e carqueja). Como na primeira sequência, verificam-se as 5 fases em todos os ensaios mas como a taxa de perda de massa é semelhante nos dois combustíveis, a percepção da zona de transição é um pouco mais difícil como se verifica na figura 17, estando em falta um ponto de inflexão claramente perceptível, que nos indique a passagem de um combustível para outro. Este facto indica que a taxa de perda não só é semelhante como o efeito que provoca na zona de transição não é tão significativa como na primeira sequência.

4.1.3 - Ensaios com os combustíveis Caruma-Resíduos

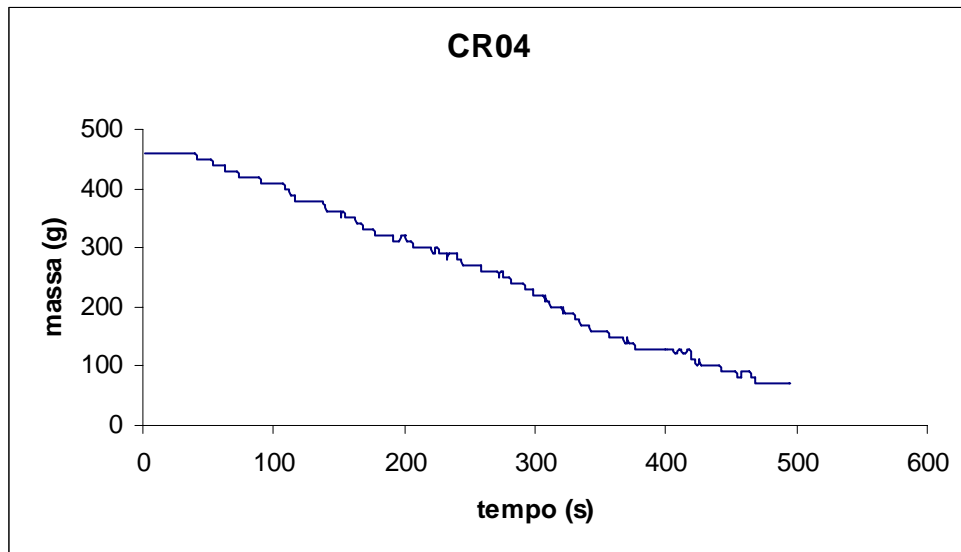


Figura 21 - Perda de massa correspondente ao ensaio 13

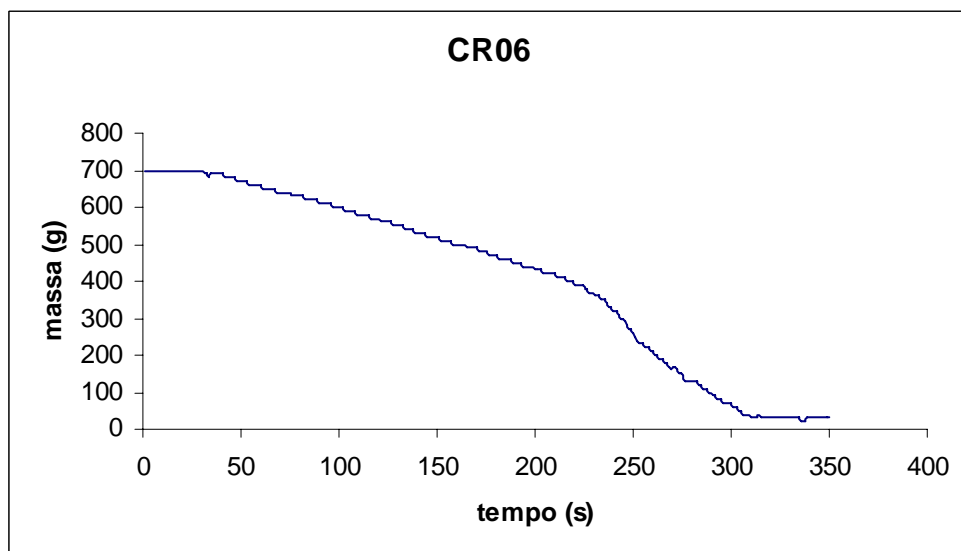


Figura 22 - Perda de massa correspondente ao ensaio 14

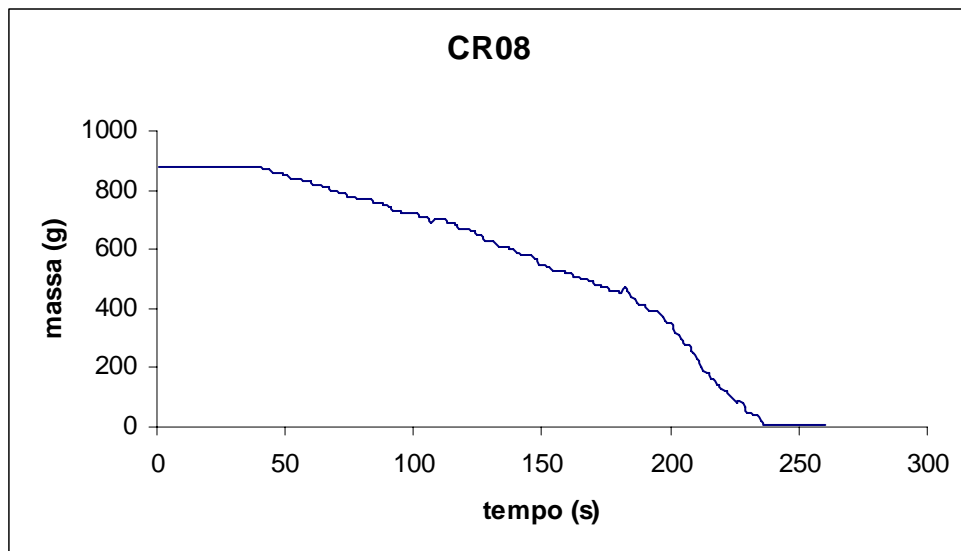


Figura 23 - Perda de massa correspondente ao ensaio 15

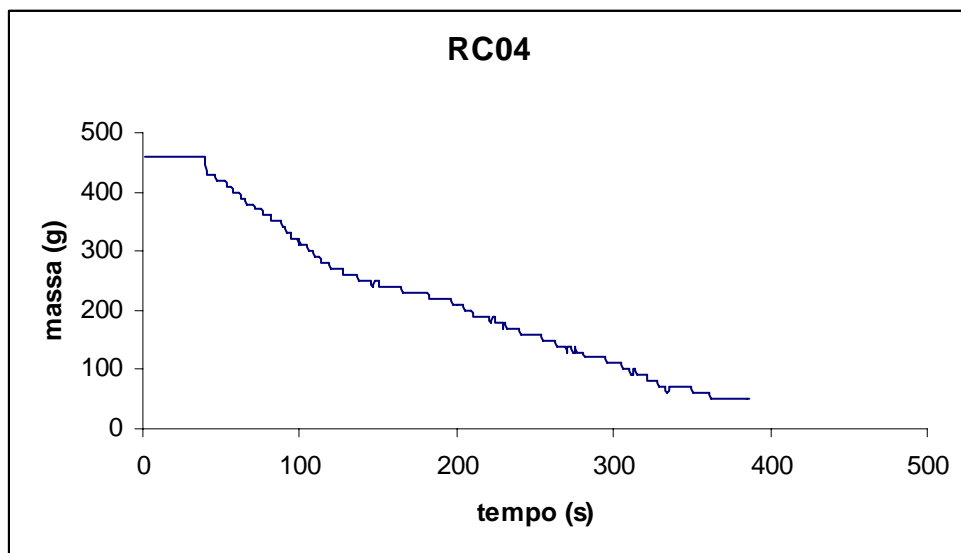


Figura 24 - Perda de massa correspondente ao ensaio 16

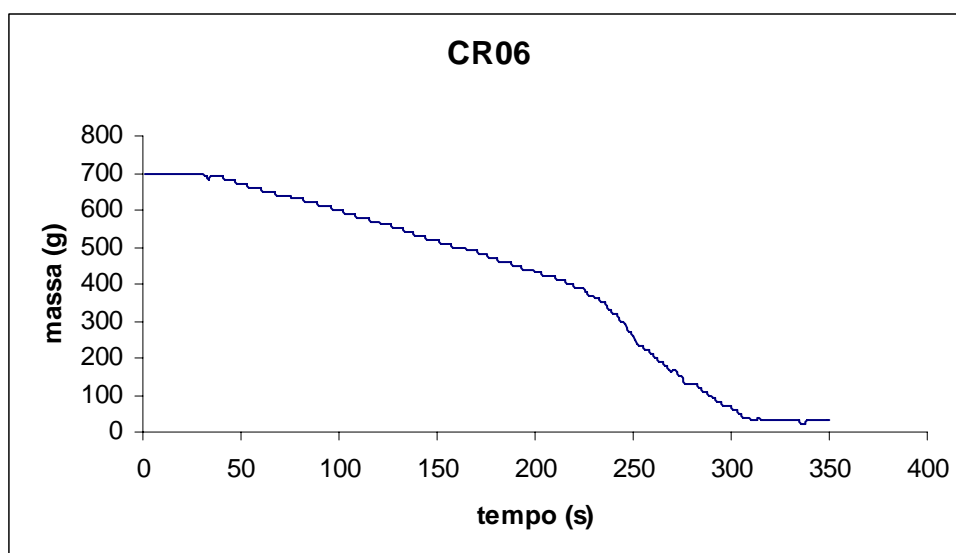


Figura 25 - Perda de massa correspondente ao ensaio 17

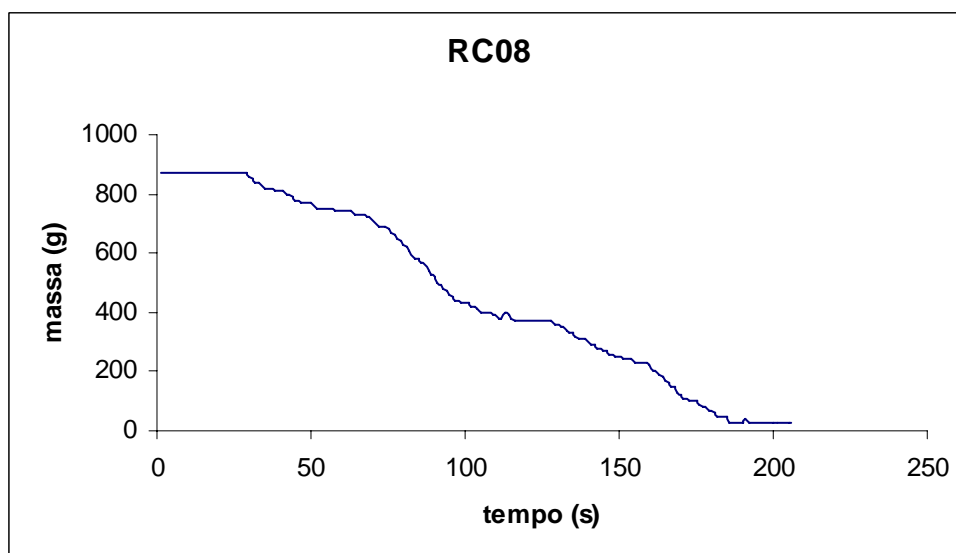


Figura 26 - Perda de massa correspondente ao ensaio 18

Na última sequência de ensaios usou-se caruma e resíduos florestais. Os resultados são em tudo muito semelhantes aos da primeira sequência com as 5 fases e os declives distintos entre os dois combustíveis devido à diferença da taxa de perda dos dois combustíveis.

4.2 - Velocidade de propagação

A velocidade de propagação é, a par com a probabilidade de ignição, o factor mais importante para a prevenção e combate a um incêndio (Molina e Berdají, 1998).

No cálculo da velocidade foi usado o método dos fios de algodão descrito anteriormente e com esses tempos foram calculadas duas velocidades:

1. velocidade média que é a média do quociente entre a distância total percorrida em cada ponto e o tempo total decorrido em cada ponto;
2. velocidade instantânea que é a média do quociente entre a distância percorrida entre dois pontos e o tempo decorrido entre dois pontos.

Na tabela 4 apresenta-se um exemplo de como se procedeu para organizar todos os dados calculados que de seguida serão apresentados em gráficos.

PC04				
Fio	Tempo (s)	Distância (m)	Vmed (m/s)	Vinst (m/s)
1	0	0,08	0	0
2	4,24	0,12	0,02830	0,00943
3	9,30	0,16	0,01720	0,00790
4	12,53	0,20	0,01596	0,01238
5	21,06	0,24	0,01140	0,00468
6	26,73	0,28	0,01048	0,00705
7	35,12	0,32	0,00911	0,00476
8	40,94	0,36	0,00879	0,00687
9	49,71	0,40	0,00805	0,00456
10	56,29	0,42	0,00746	0,00304
11	76,21	0,44	0,00577	0,00100
12	79,46	0,46	0,00579	0,00615
13	80,42	0,48	0,00597	0,02083
14	99,07	0,50	0,00505	0,00107
15	102,07	0,52	0,00509	0,00666
16	111,07	0,54	0,00486	0,00222
17	140,23	0,56	0,00399	0,00068
18	141,06	0,58	0,00411	0,02409
19	154,51	0,60	0,00388	0,00148
20	155,51	0,64	0,00412	0,04000
21	168,93	0,68	0,00403	0,00298
22	196,63	0,72	0,00366	0,00144
23	210,23	0,76	0,00362	0,00294
24	221,66	0,80	0,00361	0,00350
25	245,39	0,84	0,00342	0,00168
26	265,29	0,88	0,00332	0,00201
27	289,52	0,92	0,00318	0,00165
28	302,08	0,96	0,00318	0,00318

Tabela 4 – Tabela das velocidades

As cores apresentadas na tabela servem para diferenciar as diferentes zonas dos dois leitões. A zona de transição é representada a amarelo e a vermelho está representada a distância a que se dá a transição de um combustível para outro.

Apresenta-se seguidamente os resultados das velocidades médias e instantâneas. Em cada gráfico apresenta-se a variação da velocidade ao longo da distância para cada uma das três cargas utilizadas repetindo-se o mesmo processo para os outros identificados com o respectivo código.

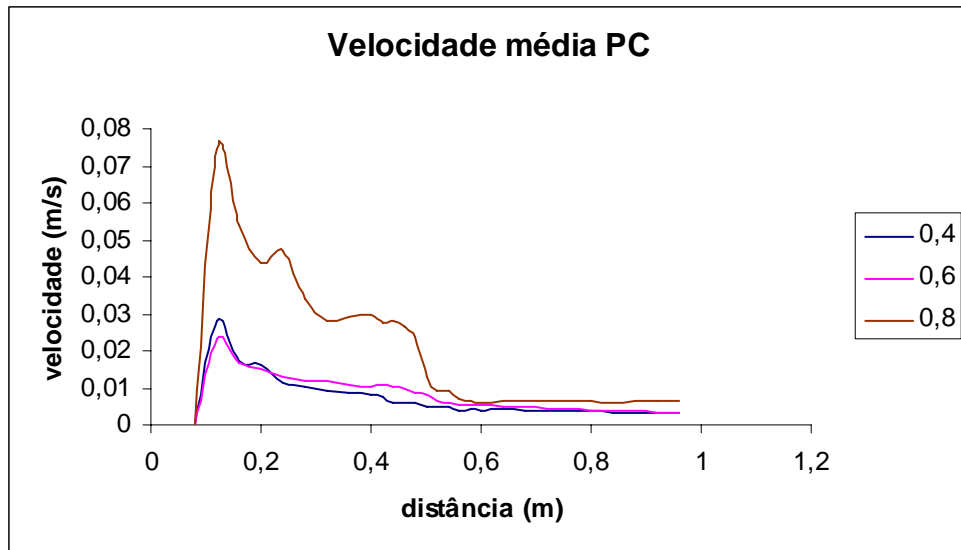


Figura 27 – Velocidade média palha-caruma

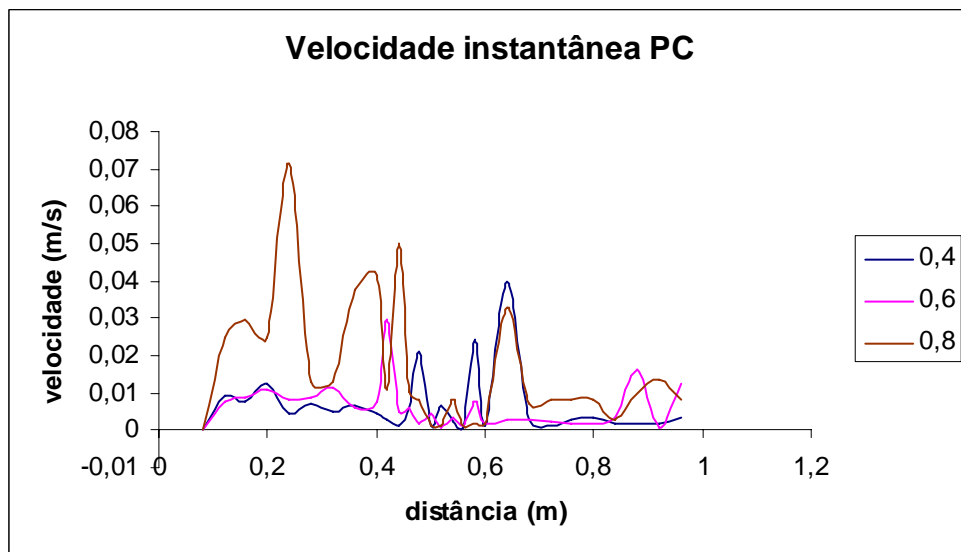


Figura 28 – Velocidade instantânea palha-caruma

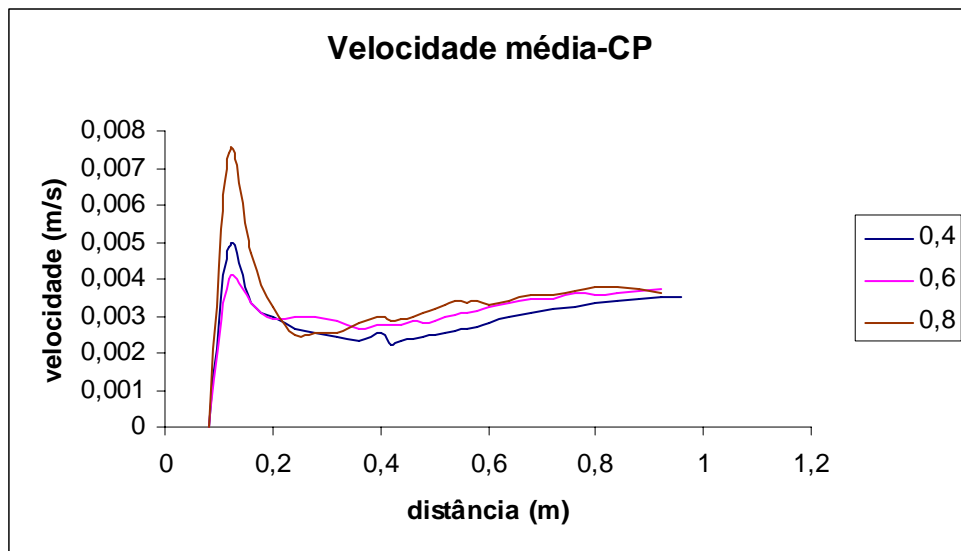


Figura 29 – Velocidade média caruma-palha

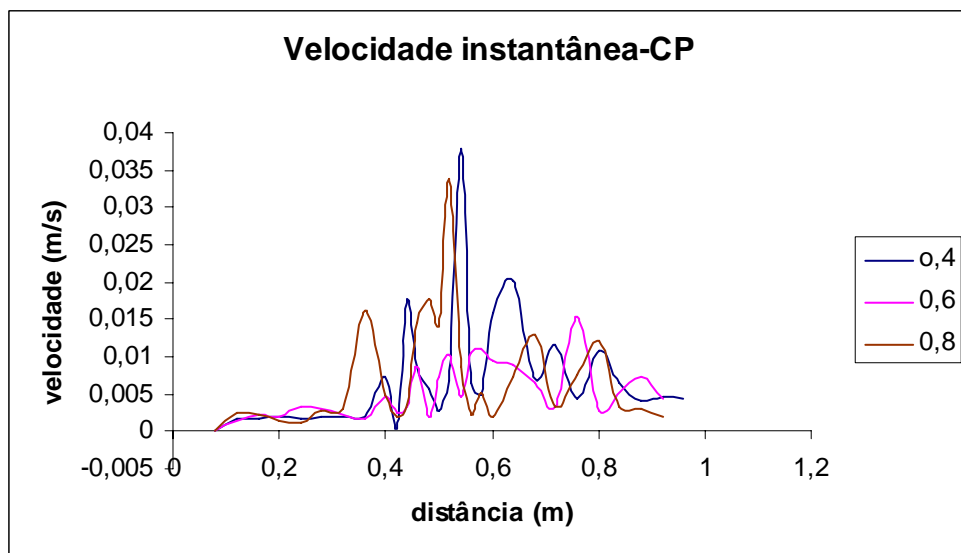


Figura 30 – Velocidade instantânea caruma-palha

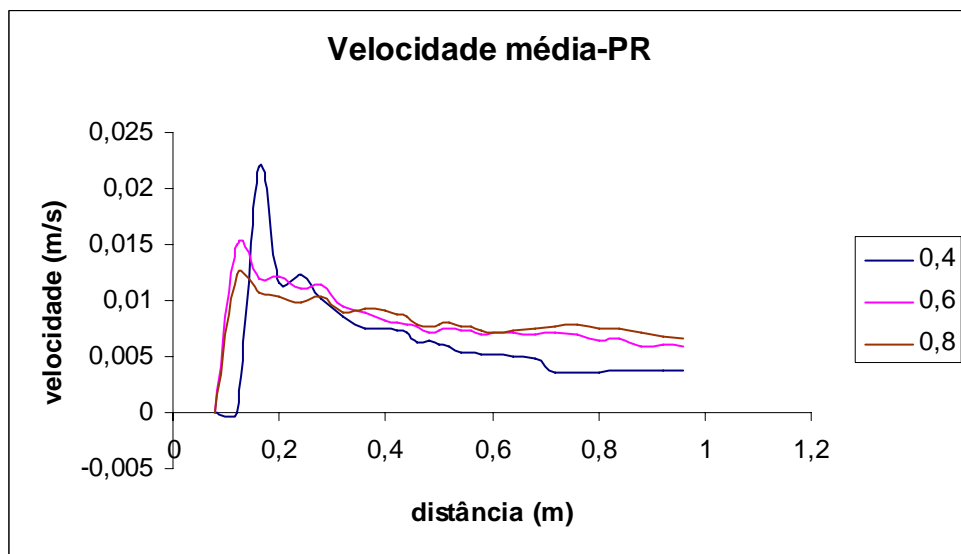


Figura 31 – Velocidade média palha-resíduos

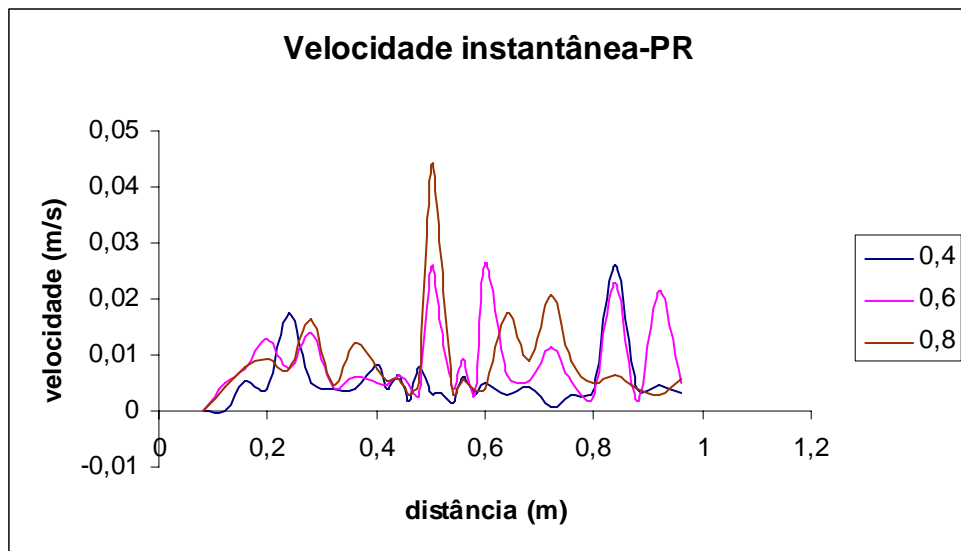


Figura 32 – Velocidade instantânea palha-resíduos

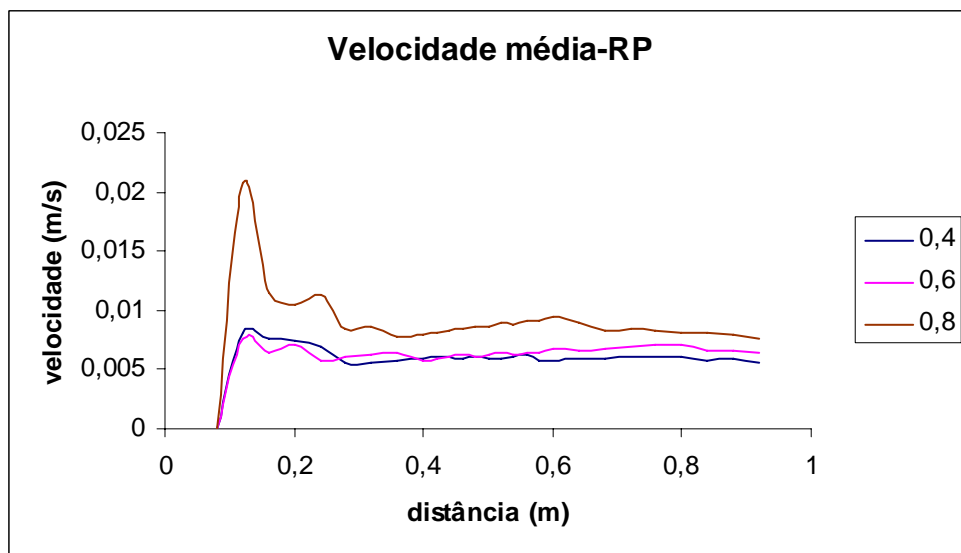


Figura 33 – Velocidade média resíduos-palha

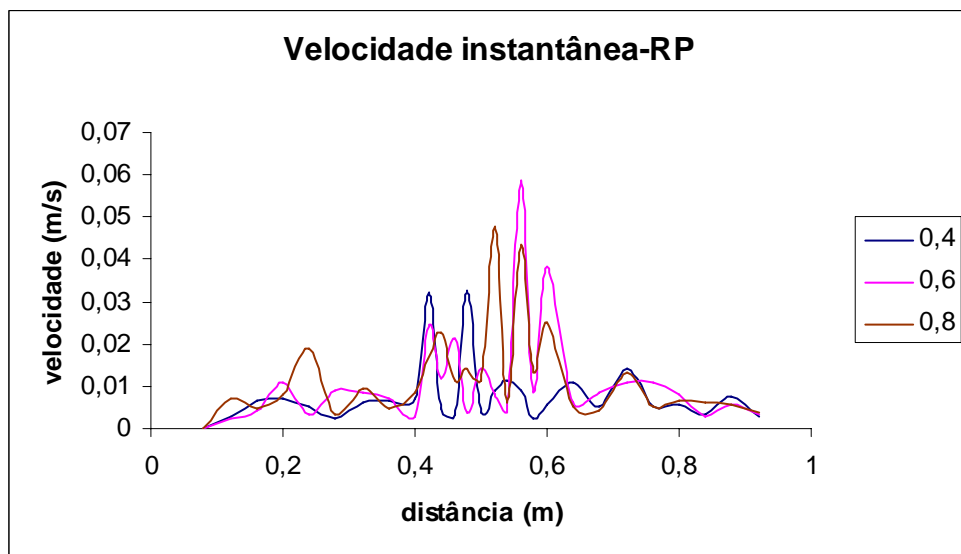


Figura 34 – Velocidade instantânea resíduos-palha

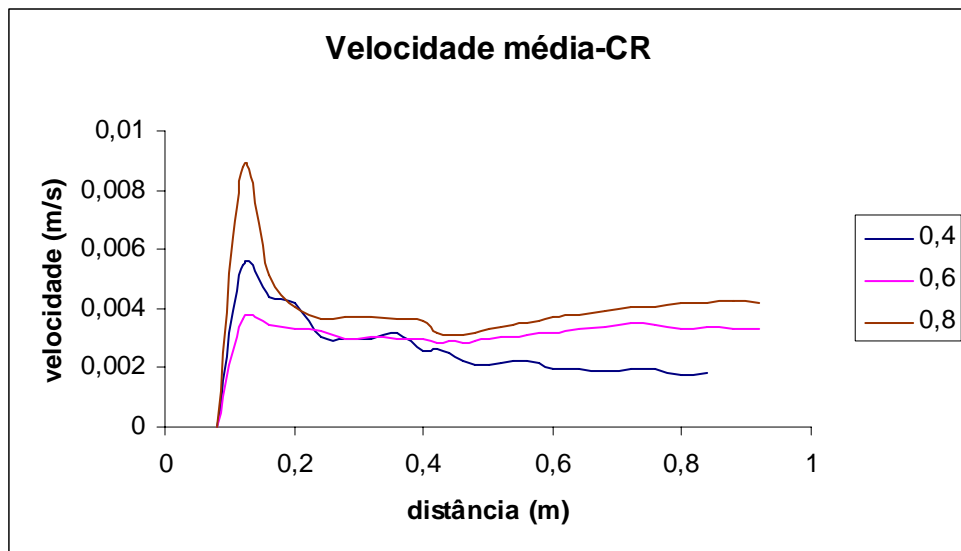


Figura 35 – Velocidade média caruma-resíduos

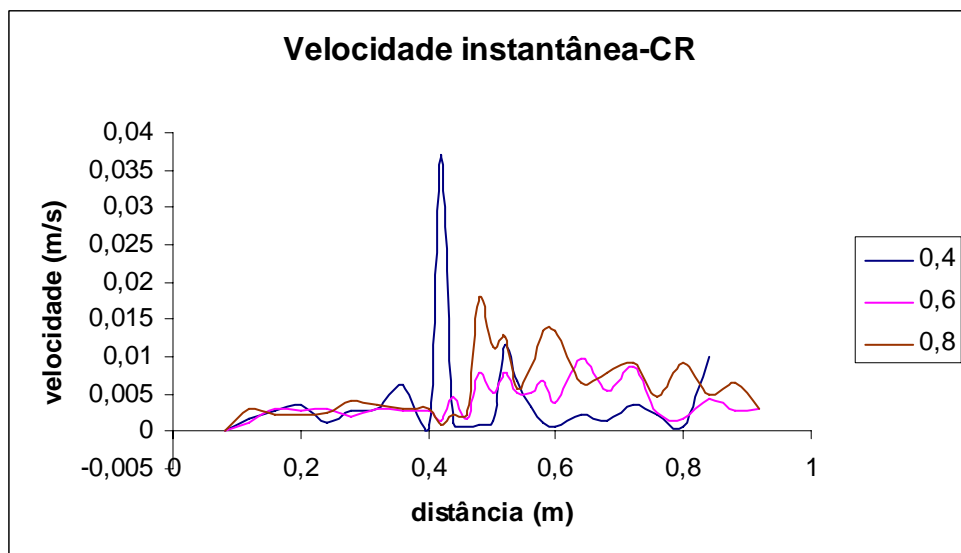


Figura 36 – Velocidade instantânea caruma-resíduos

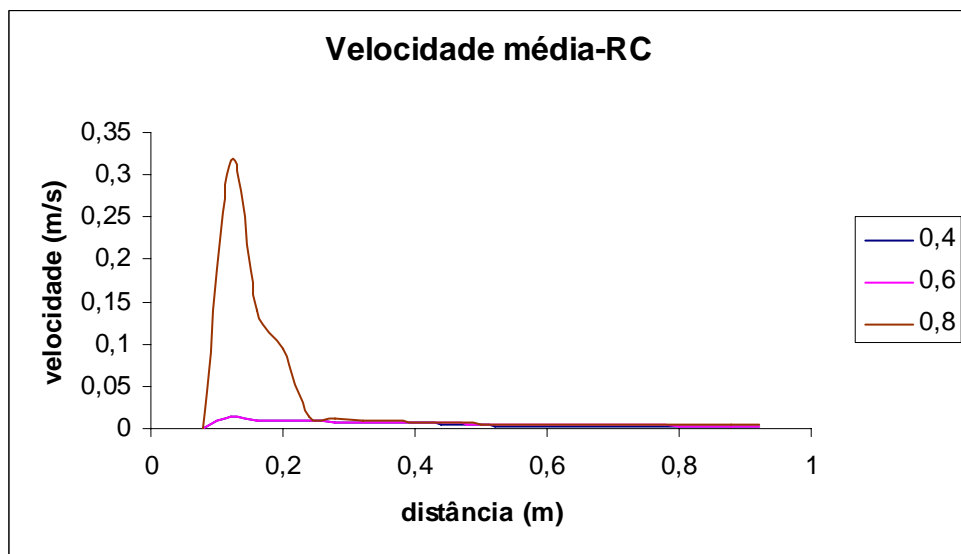


Figura 37 – Velocidade média resíduos-caruma

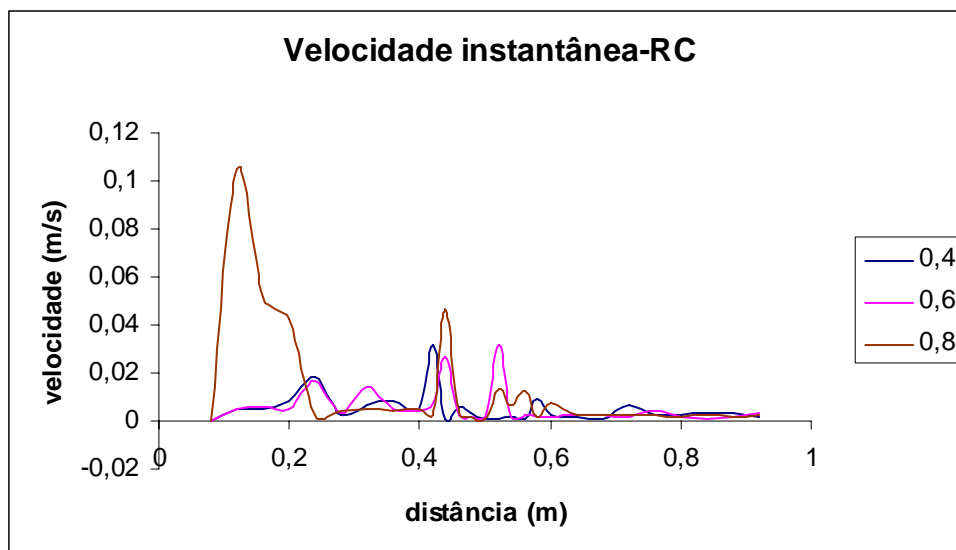


Figura 38 – Velocidade instantânea resíduos-caruma

Verifica-se que em todos os ensaios da velocidade média existe um pico que corresponde à ignição do combustível no início de cada ensaio. Nestes ensaios, a velocidade da caruma é inferior à da palha e à dos resíduos como mostram as figuras 29 e 35, que são os ensaios onde a caruma é o combustível inicial e onde se verifica que após a transição a velocidade média aumenta. Isto está em plena concordância com os resultados da perda de massa onde a mesma relação também se verificava.

No que diz respeito à velocidade instantânea, esta teve uma grande variabilidade nas diferentes cargas e combustíveis. Essa mesma variação parece não estar dependente de qualquer variação, quer da carga, quer do tipo de combustível, sendo que os resultados apresentam-se diferentes em quase todos os ensaios, com vários picos em diferentes distâncias, o que impossibilita o retirar de conclusões úteis no estudo do comportamento.

4.3 - Dimensões da chama

O estudo das dimensões da chama torna-se bastante importante na compreensão do comportamento do fogo uma vez que, numa situação de incêndio, poderão facilmente ser estimadas no terreno. Estes parâmetros foram estimados com o auxílio de filmagens dos ensaios, através da análise e com a ajuda de um programa informático de onde os mesmos foram retirados.

Nesta dissertação são estimadas três variáveis dimensionais: altura (H), comprimento (L) e ângulo de inclinação da chama (α). O comprimento de uma chama

corresponde à distância entre a base da chama e o ponto mais alto da mesma. Medindo a distância perpendicular à propagação entre o ponto mais alto da chama e a sua base, obtém-se a altura da chama. O ângulo de inclinação da chama é o ângulo que esta descreve com a linha de propagação

Com a análise do ângulo de inclinação espera-se estudar a influência na transferência de calor na propagação da chama e também a influência do vento ou declive do terreno na sua propagação. O comprimento da chama está directamente relacionado com a velocidade de propagação e a carga dos combustíveis e é muito importante pois é um parâmetro facilmente calculado nos locais de incêndio, ajudando assim a ter uma noção de outros parâmetros que contribuem para o estudo e previsão de incêndios.

4.3.1 - Altura da chama

Apresentam-se os resultados da altura da chama em gráficos que representam a variação da altura da chama ao longo da distância percorrida. Em cada gráfico mostram-se as alturas de cada uma das cargas para uma das sequências de combustível utilizadas no ensaio.

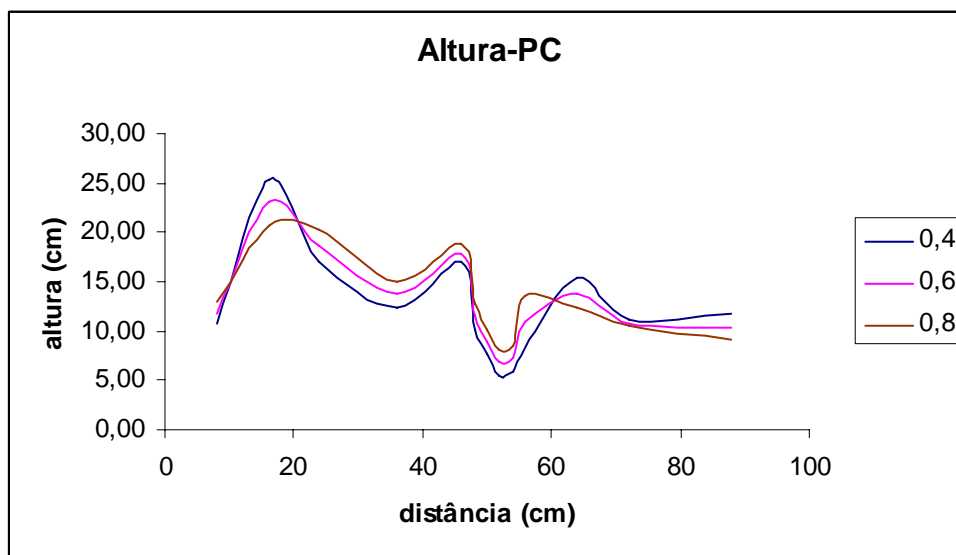


Figura 39 – Altura palha-caruma

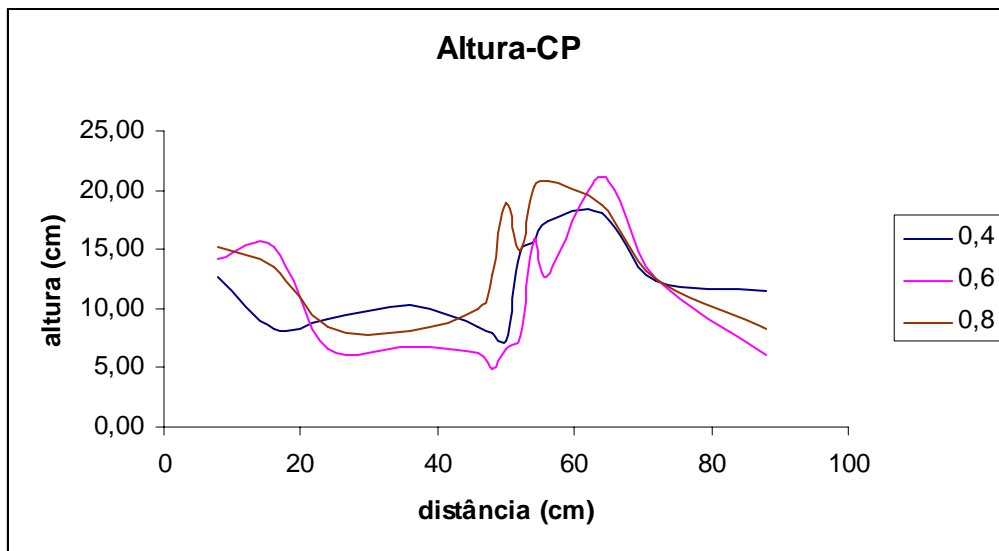


Figura 40 – Altura caruma-palha

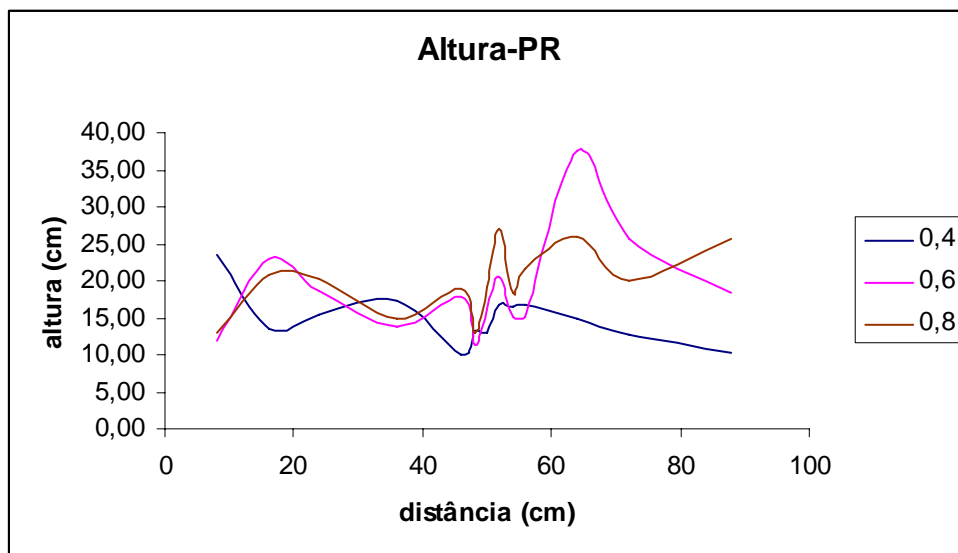


Figura 41 – Altura palha-resíduos

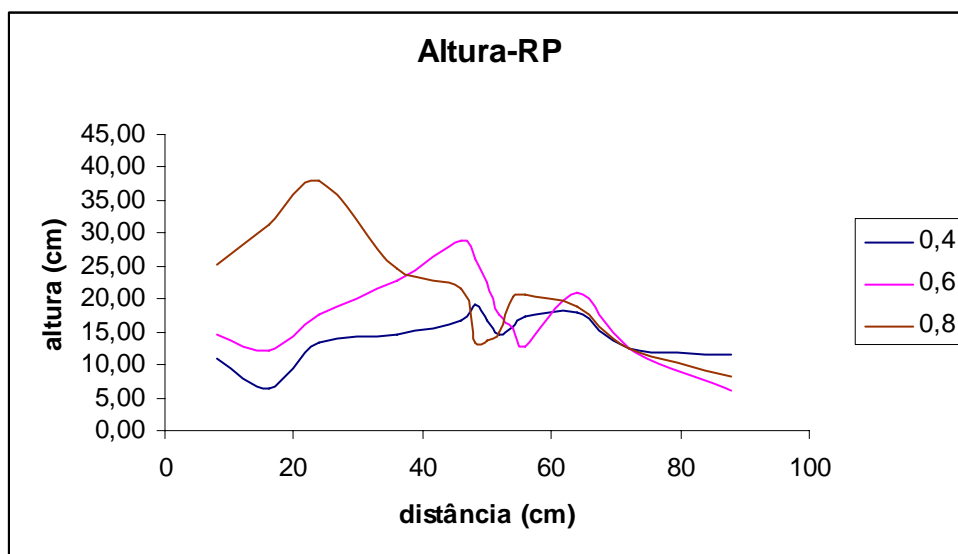


Figura 42 – Altura resíduos-palha

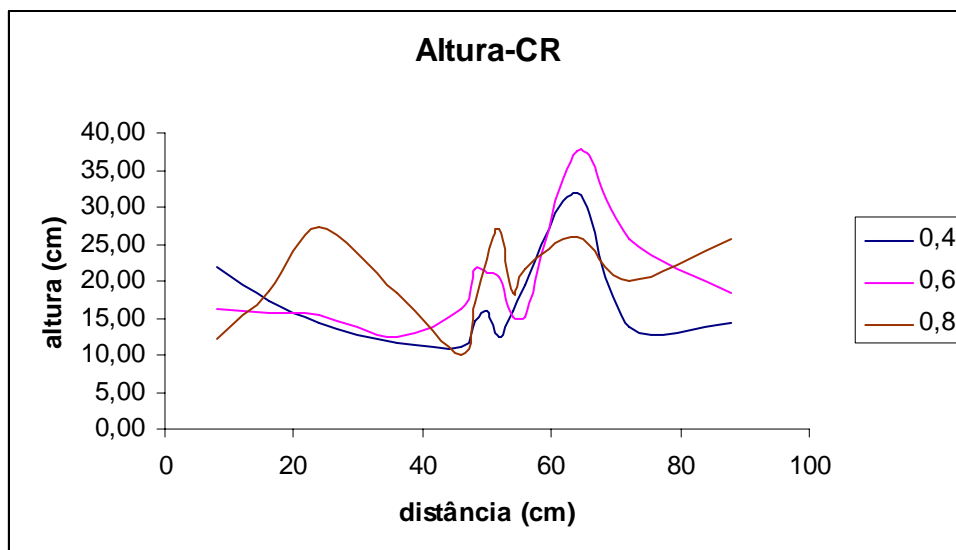


Figura 43 – Altura caruma-resíduos

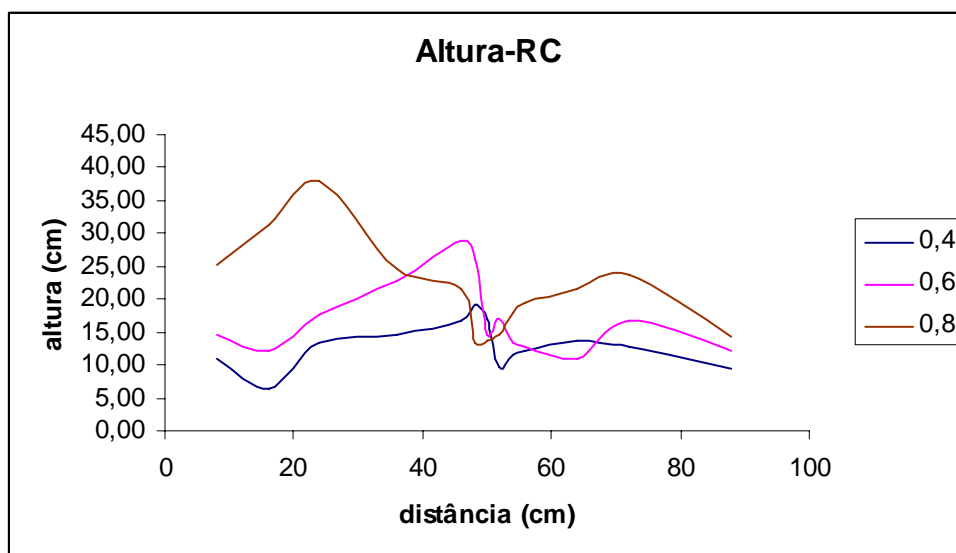


Figura 44 – Altura resíduos-caruma

Por observação dos gráficos retemos a ideia que a altura apresenta variação nas diferentes cargas, devido sem dúvida ao facto de variar a quantidade de combustível na queima, o que leva a que a chama seja maior à medida que se aumenta a carga. Verifica-se também que temos duas zonas distintas que traduzem a diferença entre os dois combustíveis e uma terceira zona que indica a zona de transição. Nesta última podemos observar que a altura sofre uma grande alteração quando se aproxima da zona de mudança de combustível, chegando mesmo a diminuir 15 cm de altura em 5 cm de distância do leito (figura 44). Estas alterações estão presentes em quase todos os ensaios variando conforme os combustíveis presentes.

4.3.2 - Comprimento da chama

À semelhança da altura da chama apresentam-se gráficos semelhantes para o comprimento da chama.

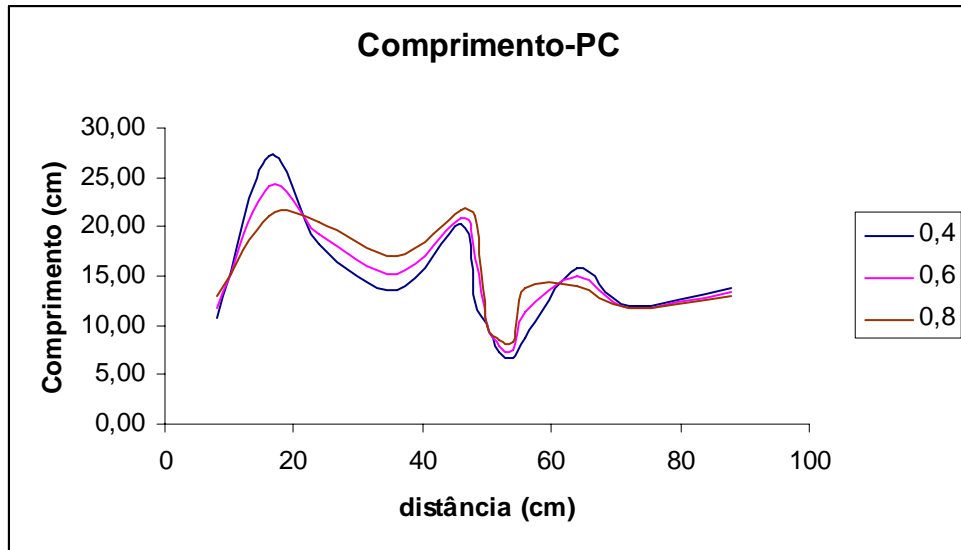


Figura 45 – Comprimento palha-caruma

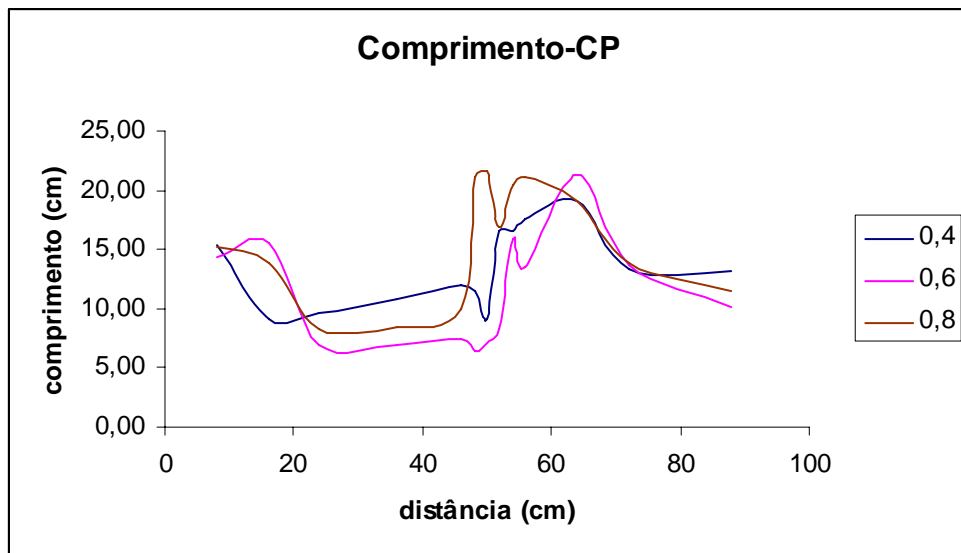


Figura 46 – Comprimento caruma-palha

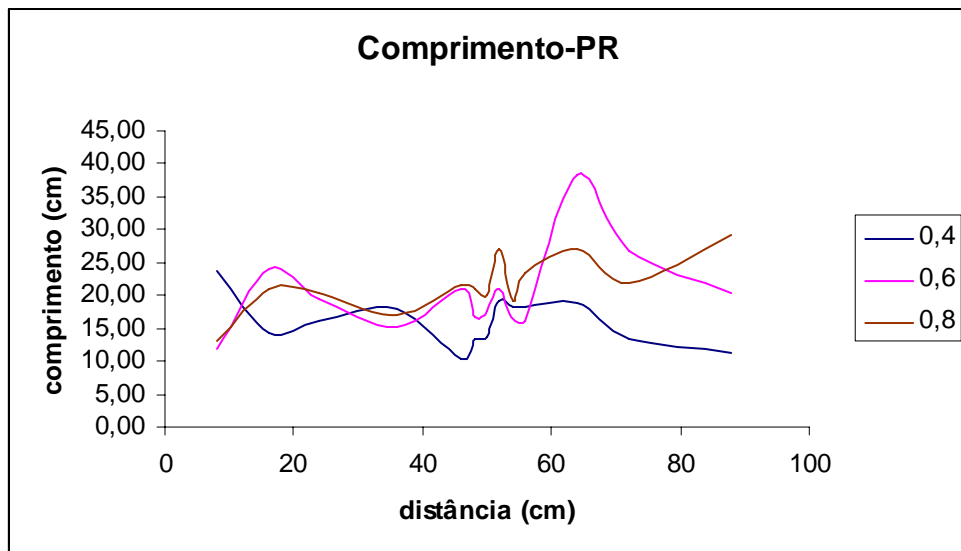


Figura 47 – Comprimento palha-resíduos

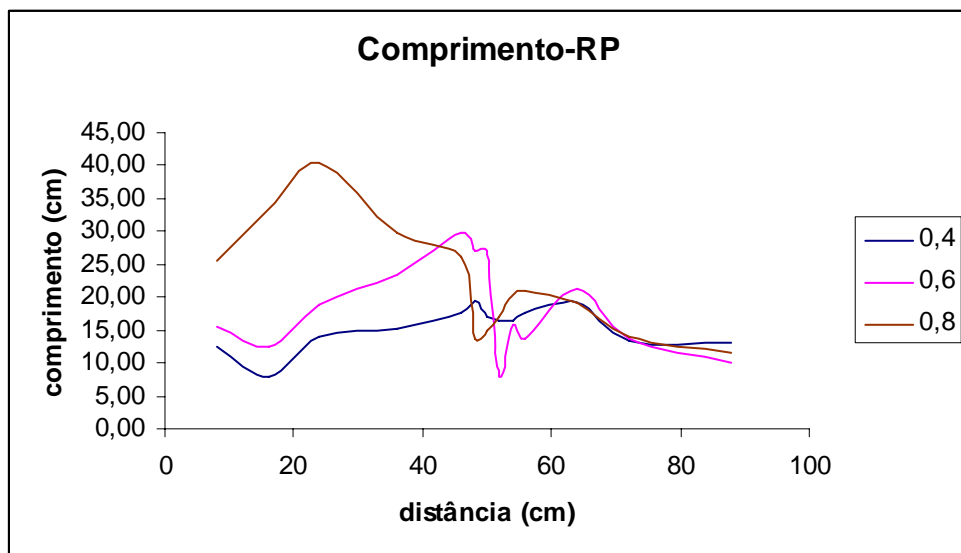


Figura 48 – Comprimento resíduos-palha

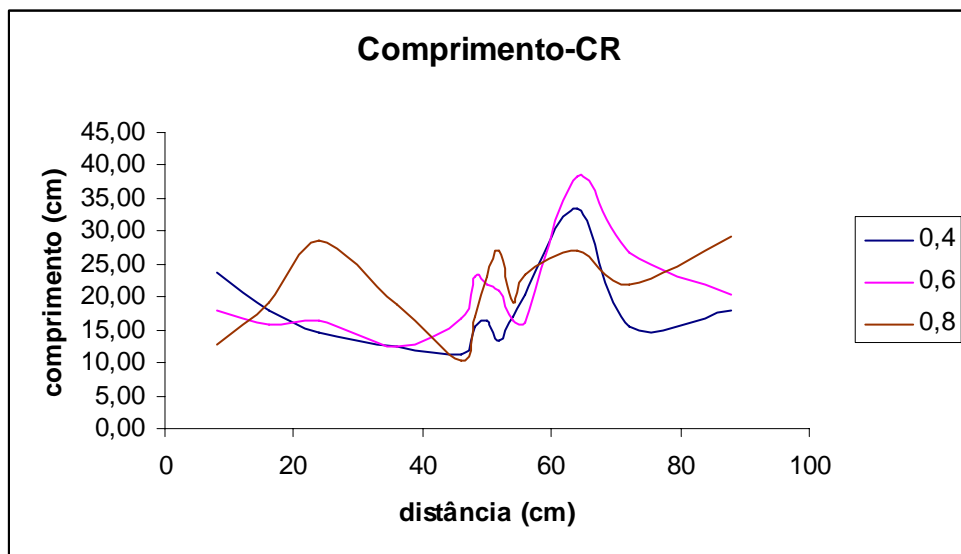


Figura 49 – Comprimento caruma-resíduos

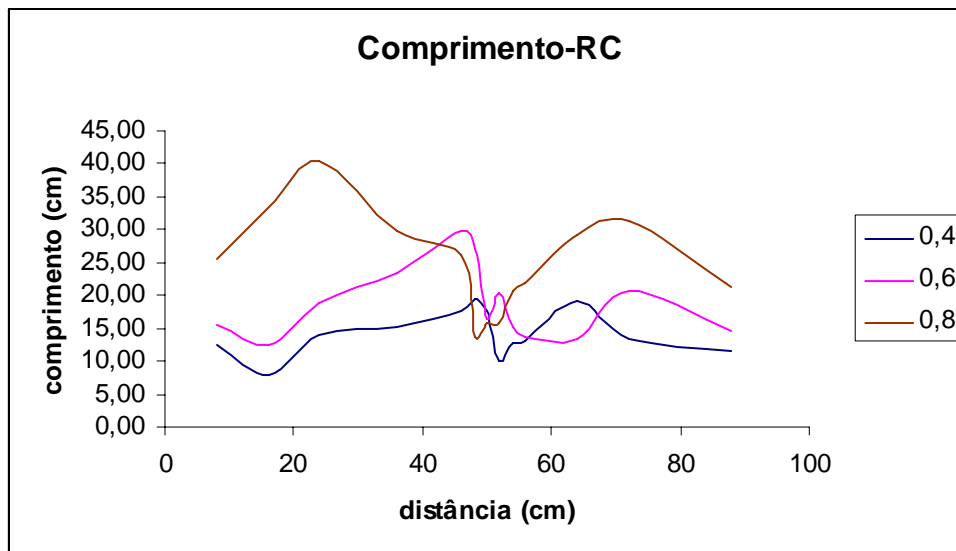


Figura 50 – Comprimento resíduos-caruma

O comportamento da chama no que toca ao comprimento é em tudo semelhante à altura, quer no comportamento nas diferentes cargas, quer nos diferentes combustíveis já que existe uma relação directa com a altura, sendo por isso desnecessário proceder de novo a uma caracterização dos comportamentos da mesma quer nas diferentes cargas, quer nos combustíveis.

4.3.3 - Inclinação da chama

Os gráficos apresentados de seguida são em tudo semelhantes aos anteriores, mostrando estes a variação do ângulo em graus ao longo da distância.

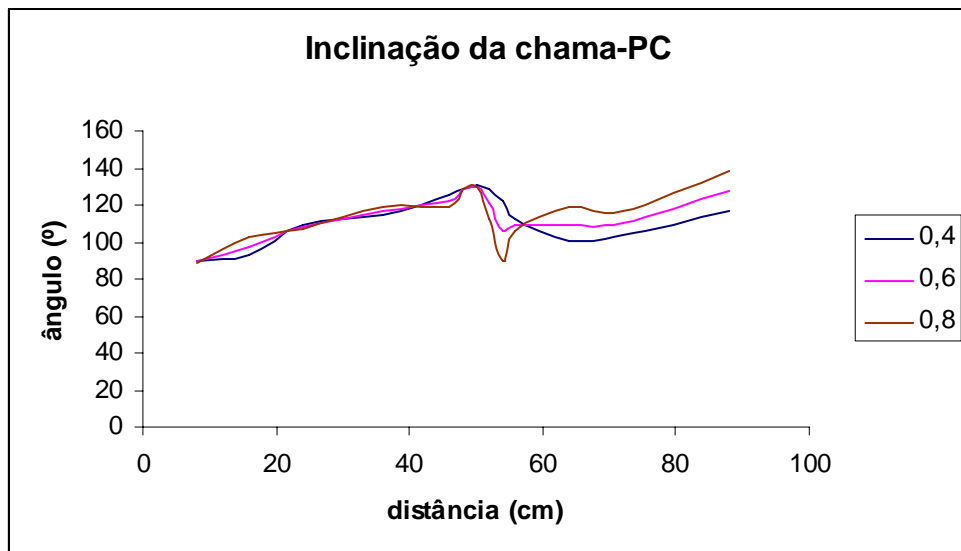


Figura 51 – Inclinação da chama palha-caruma

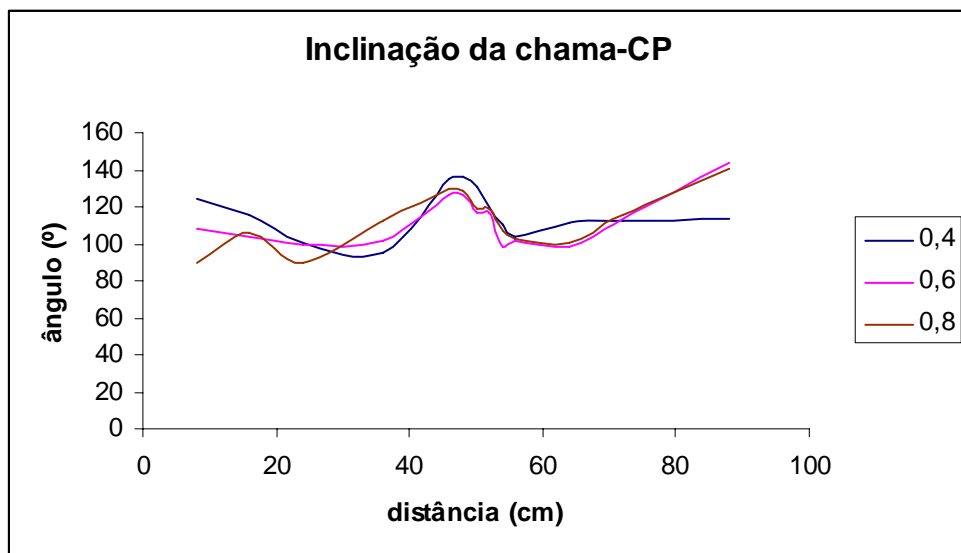


Figura 52 - Inclinação da chama caruma-palha

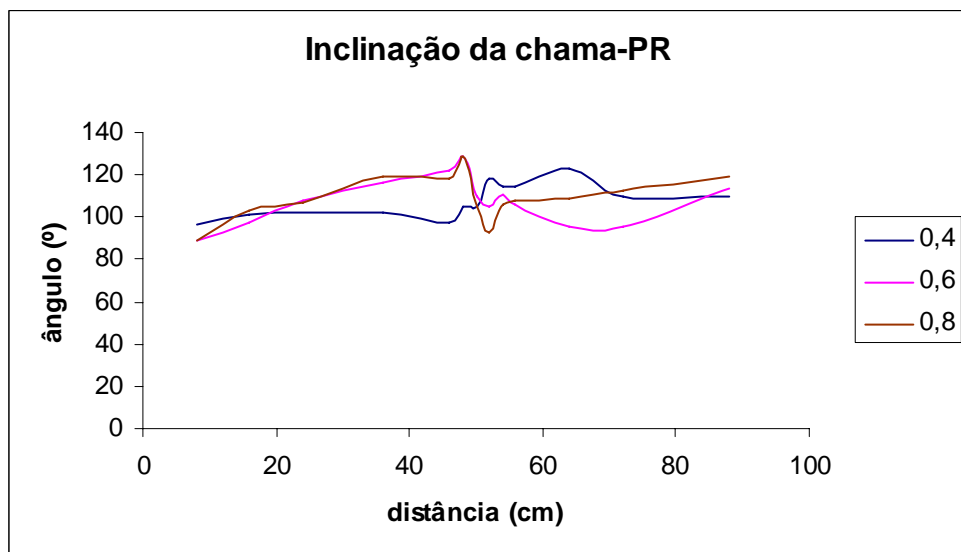


Figura 53 - Inclinação da chama palha-resíduos

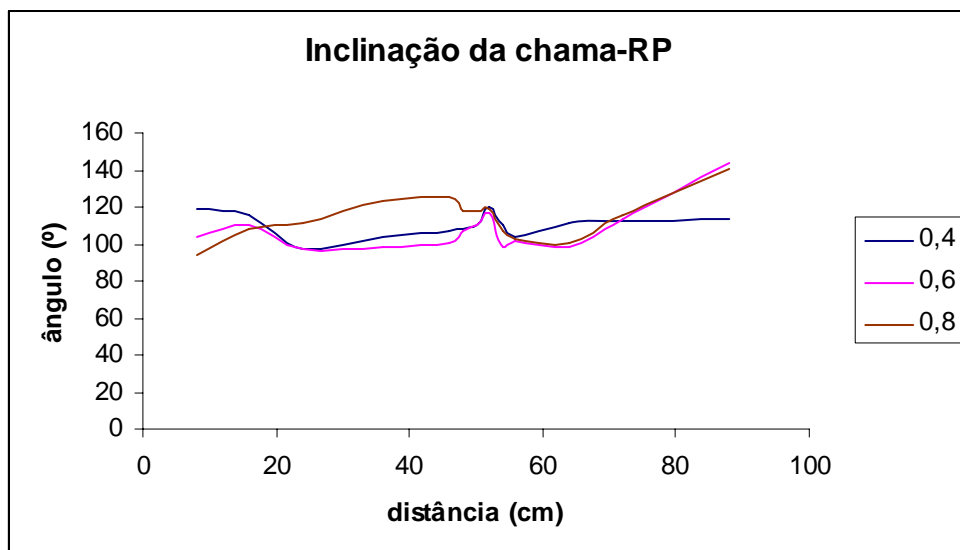


Figura 54 - Inclinação da chama resíduos-palha

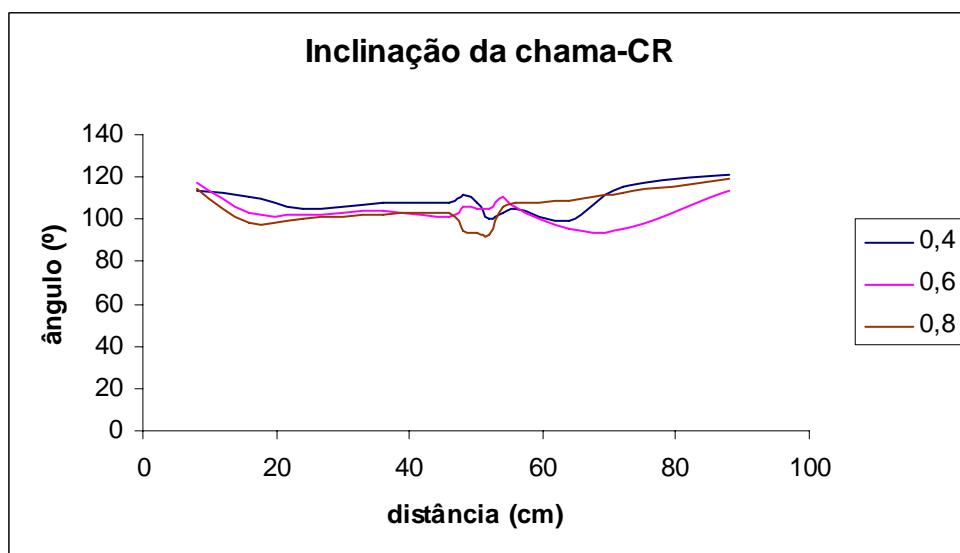


Figura 55 - Inclinação da chama caruma-resíduos

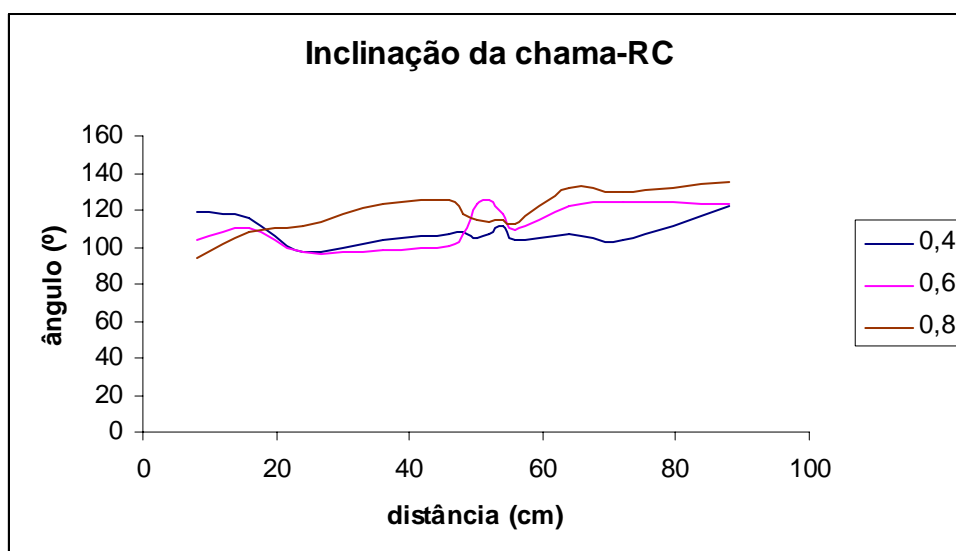


Figura 56 - Inclinação da chama resíduos-caruma

A inclinação tem uma variação em crescente no que diz respeito à sua variação com a carga. À medida que a distância aumenta também o ângulo aumenta. Este aumento seria constante se estivéssemos perante um leito com um combustível único. A variação no ângulo ocorre como nos outros parâmetros, na zona de transição onde estes se aproximam dos 90°. No que toca aos combustíveis essa diferença não é tão evidente como na altura e comprimento, os ângulos acabam por não variar muito estando os seus valores compreendidos entre 90° e 140°.

5 - Discussão dos resultados

Como se pretende estudar a zona de transição entre diferentes combustíveis, vai-se de seguida proceder a um estudo mais detalhado dessa zona.

A zona de transição situa-se entre os 40 e 60 cm dos leitos dos ensaios e sabendo que o efeito da carga é um efeito crescente nos diversos parâmetros como taxa de perda de massa, altura e comprimento da chama e um efeito decrescente no tempo, pretende-se agora comparar alguns parâmetros dessas transições nos 20 cm do leito usando os resultados da carga 0,8 para os diferentes combustíveis.

Na perda de massa verifica-se nesta zona de 20 cm que há uma diminuição da taxa de perda, verificando-se um ponto de inflexão na curva. Este ponto é visível em todos os gráficos e é resultante do facto de termos dois combustíveis com características diferentes.

O que se pode reter é que temos maiores inclinações na palha e no resíduo do que na caruma.

Nos seguintes gráficos pretende-se comparar alguns parâmetros na zona de transição para melhor entender o tipo de variação que ocorre.

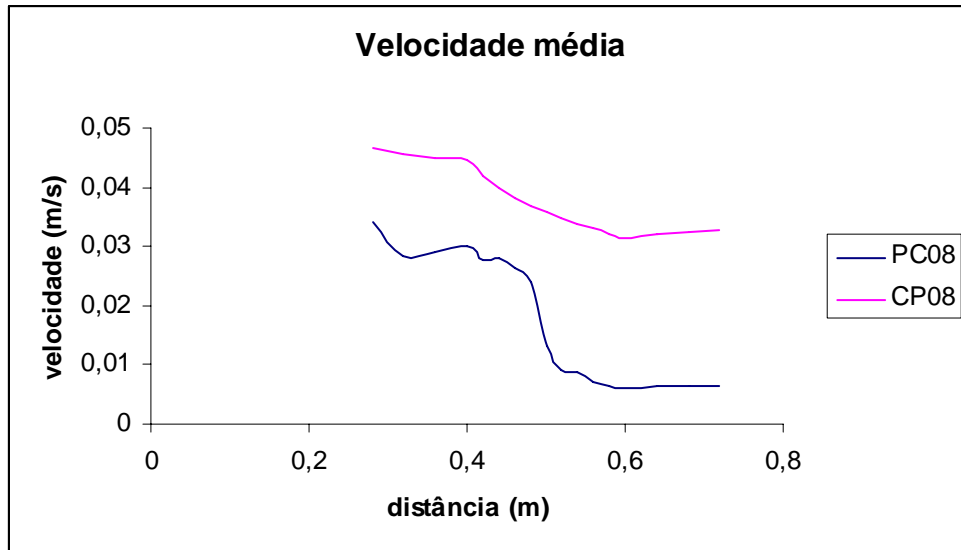


Figura 57 – Comparação das velocidades médias entre palha e caruma

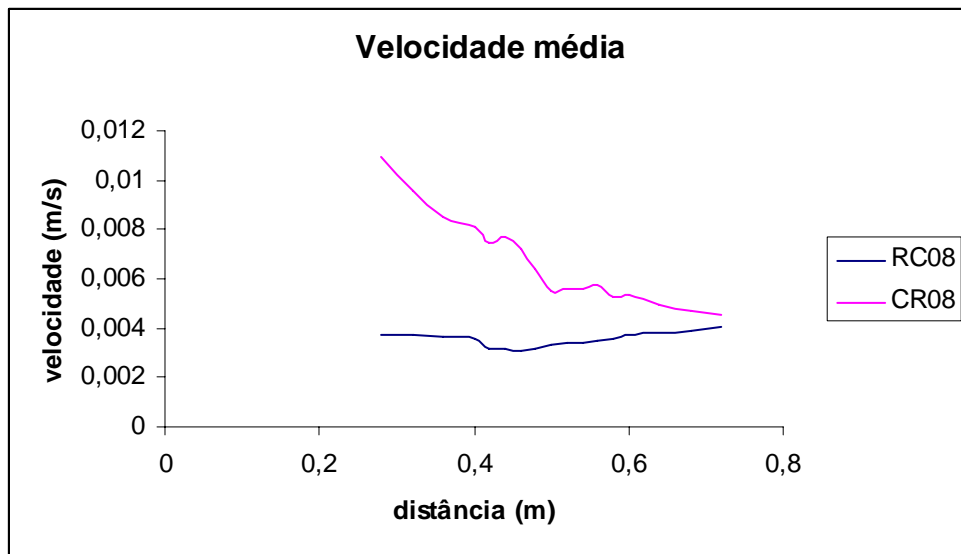


Figura 58 – Comparação das velocidades médias entre resíduos e caruma

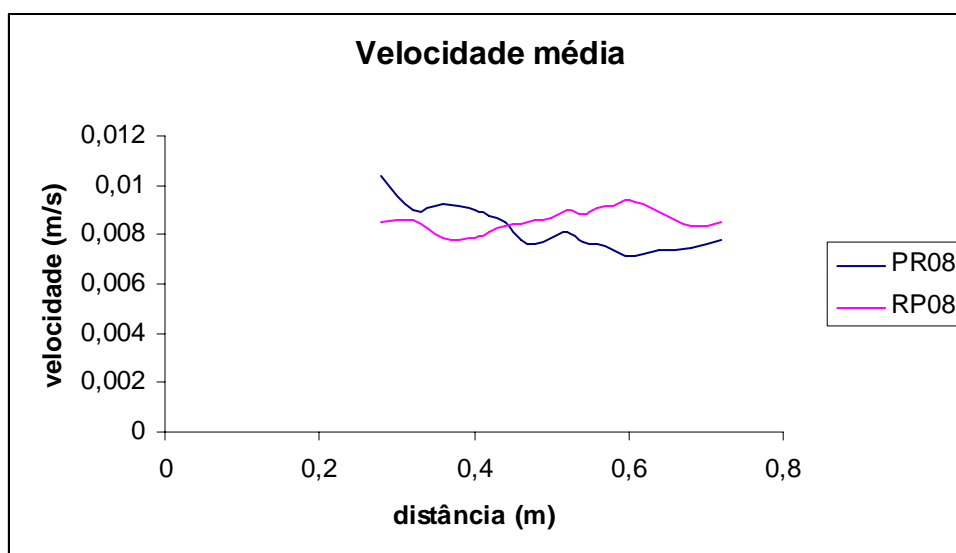


Figura 59 – Comparação das velocidades médias entre palha e resíduos

Como se pode verificar pelas figuras 57 e 58, o comportamento da velocidade de propagação é o de baixar o seu valor aquando da aproximação da mudança de combustível, sendo esta mais evidente quando temos caruma como o segundo dos combustíveis (figura 57), onde essa variação é bastante visível havendo um decréscimo elevado no valor da velocidade, uma vez que é na caruma onde as velocidades de propagação são menores. No caso de termos palha e os resíduos, a velocidade de propagação é muito semelhante entre eles, existindo variação mas não tão elevada como nos ensaios envolvendo caruma. Tendo a caruma como primeiro combustível a variação existe, com um ligeiro decréscimo no valor da velocidade, mas mais uma vez essa variação é pequena quando se esperava que, por passarmos para um combustível em que a velocidade de propagação era maior, essa diferença também aumentasse, mas em vez disso, obteve-se curvas que após a passagem, quer para palha, quer para resíduo, são suaves demais para as diferenças de velocidades de propagação existentes entre os combustíveis.

A velocidade instantânea não reproduziu grandes resultados, a grande variabilidade em todas as cargas com qualquer sequência de combustíveis é enorme, tornando um pouco difícil aferir o efeito quer da carga, quer dos tipos de combustível na velocidade instantânea.

Como representante das dimensões da chama apresenta-se de seguida, à semelhança da velocidade, gráficos comparativos da altura para diferentes composições de combustíveis.

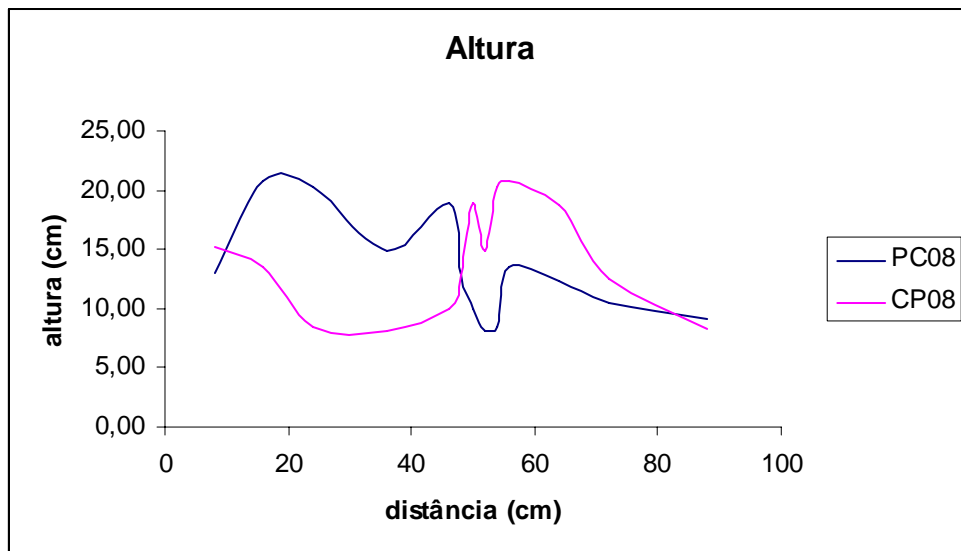


Figura 60 – Comparação das alturas entre palha e caruma

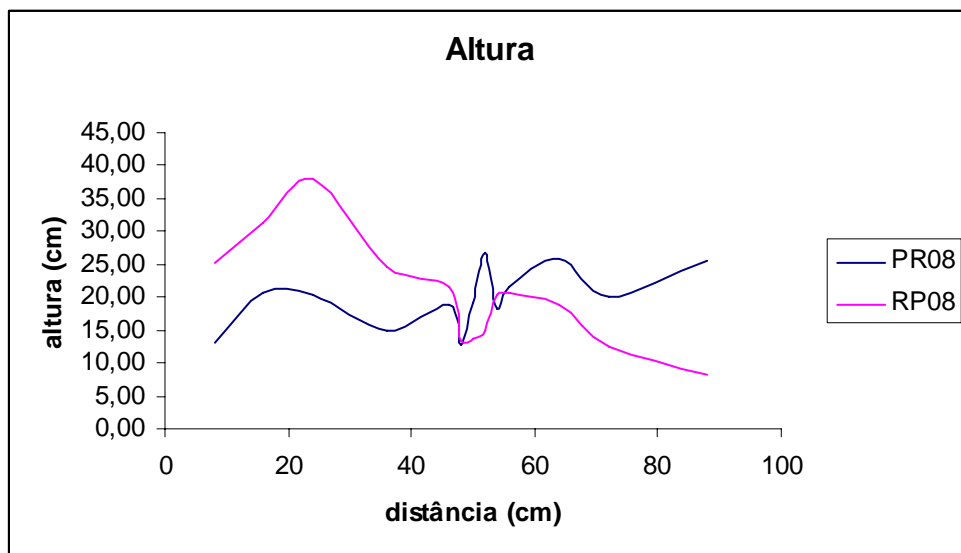


Figura 61 - Comparação das alturas entre palha e resíduos

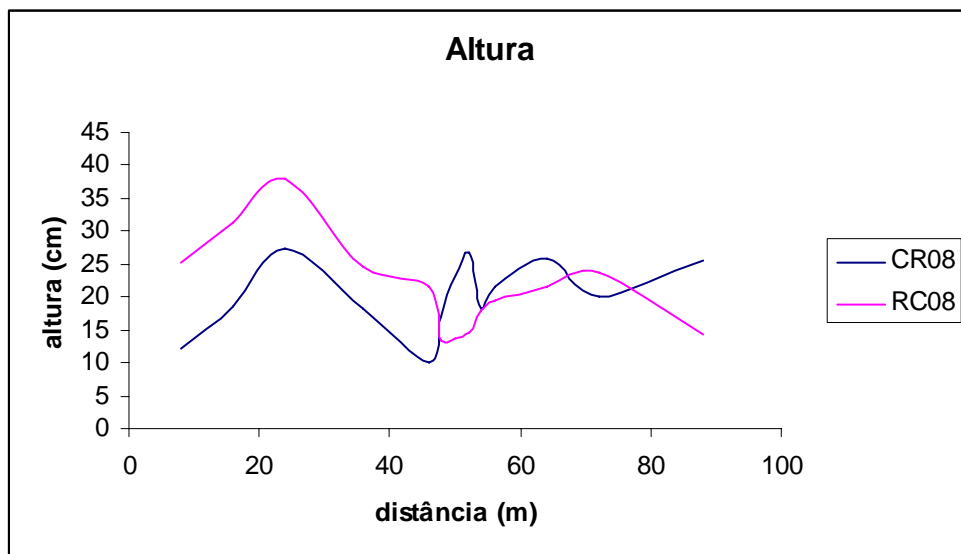


Figura 62 - Comparação das alturas entre caruma e resíduos

É evidente que a altura sofre de maneira geral um decréscimo à medida que nos aproximamos da linha de mudança de combustíveis dos 50 cm. Em alguns casos (figura 62), temos até uma alteração brusca devido mais uma vez ao facto de termos combustíveis com características diferentes, que no caso de envolver caruma provoca, quer como primeiro ou segundo combustível, uma alteração brusca na altura. No caso de termos combustíveis semelhantes como a palha e resíduos florestais, essa variação não é tão brusca como no caso da caruma, tendo na mesma um ligeiro abaixamento da velocidade aquando da aproximação da mudança mas obtendo um aumento mais suave.

Relativamente ao comprimento da chama, a variação é muito semelhante pelo que podemos concluir que a mesma varia de modo idêntico à altura.

6 – Possíveis influências negativas nos resultados

Não podemos esquecer que todos os resultados apresentados estão afectados de possíveis erros. Desde já não podemos descartar erros na pesagem dos combustíveis para os ensaios e na determinação das humidades dos combustíveis, que foram efectuadas com balanças que podiam conter erros de calibração e também na captação dos pesos ao longo dos ensaios através do sistema informático. Na captação das dimensões da chama pode ter ocorrido erros na determinação das distâncias, pois esta determinação está muito dependente da percepção que cada operador faz das imagens e talvez alguma falta de experiência pessoal nestas determinações podem ter levado a alguns erros. Na captação dos tempos para o cálculo das velocidades efectuada pelo método dos fios de lã pode ter ocorrido erros quer do operador a retirar estes tempos, próprio processo de queima dos fios que nem sempre podem quebrar no tempo em que a frente da chama os atingiu.

7 - Conclusão

Ao longo desta dissertação procurou-se compreender alguns dos processos e parâmetros que nos pudessem ajudar no estudo da zona de transição entre dois combustíveis distintos com características distintas. Sabia-se que o comportamento do fogo era afectado por diversos factores como temperatura, humidade e condições meteorológicas mas queria-se estudar esse mesmo comportamento na zona de transição. Para isso recorreu-

se a um conjunto de ensaios que visavam estudar certos parâmetros como perda de massa e velocidade de propagação com vista a obter dados que ajudassem a descrever esse comportamento. As condições em todos os ensaios foram constantes com a ausência de vento e sem declive.

No decorrer dos ensaios foram obtidos inúmeros dados, que para melhor interpretação dos mesmos, foram apresentados sob a forma de diversos gráficos que ajudaram na interpretação e comparação de resultados e na obtenção de algumas conclusões.

Na perda de massa verifica-se que esta não é constante, podendo-se identificar cinco fases e sendo que o mais importante a reter o facto de haver diferentes declives na curva do gráfico que demonstraram a variabilidade provocada pelos diferentes combustíveis na zona de transição. Concluiu-se também que essa mesma perda de massa está intimamente ligada à velocidade de propagação da chama que influencia a maior ou menor taxa de perda, e que esta depende dos combustíveis presentes no leito. Maior velocidade, maior declive da curva o que traduz uma maior taxa de perda e vice-versa.

A velocidade de propagação influencia diversos parâmetros como a perda de massa e as dimensões da chama. Foram determinadas duas velocidades, média e instantânea, cujos resultados foram interessantes sobretudo no que toca à velocidade média onde ficou claro que na zona de transição esta velocidade é afectada, havendo redução da mesma na zona de transição. Esta variação é válida para os diferentes combustíveis onde ficou evidente que os ensaios envolvendo caruma produziram os melhores resultados, devido ao facto de haver maior variabilidade das velocidades.

Com a velocidade instantânea os resultados são inconclusivos devido à elevada variabilidade dos valores em todos os ensaios, tornando difícil obter conclusões.

Nas dimensões das chamas concluiu-se mais uma vez que parâmetros como a altura e o comprimento da chama são afectados igualmente com uma redução do seu valor na zona de transição. À semelhança da velocidade, os ensaios envolvendo caruma produziram os melhores resultados apresentando em alguns casos curvas em que se verifica claramente a redução dos parâmetros aquando da aproximação da zona de troca de combustível.

Com este trabalho demonstra-se que existe realmente efeito no comportamento do fogo na transição entre diferentes combustíveis. Alguns destes resultados puderam servir de base para uma extrapolação dos resultados obtidos laboratorialmente para uma situação real. É evidente que, neste tipo de situação, o leito de combustível se apresenta de uma forma mais heterogénea do que nos ensaios, não só por que apresenta uma diversidade superior a três combustíveis, mas também porque outros factores que influenciam o

comportamento do fogo (vento, declive, etc.) variam bastante, enquanto que na situação de laboratório se mantiveram constantes ao longo de cada ensaio. Como este trabalho está envolvido num trabalho de investigação mais vasto espera-se ter contribuído para a compreensão do comportamento do fogo em dois leitos distintos do combustível, permitindo que os estudos de gestão de incêndios sejam efectuados com uma maior facilidade de análise dos diferentes parâmetros intervenientes.

8 - Referências bibliográficas

Viegas, D.X. (Editor) 1999,” Gestosa 1998. Shrubland Experimental Fire General Report. *Report of the INFLAME project*”, European Commission. Directorate General XII. Coimbra, March 1999.

Viegas, D.X. (Editor) 2000,” Gestosa 1999. Shrubland Experimental Fire General Report. *Report of the INFLAME project*”, European Commission. Directorate General XII. Coimbra, May 2000.

M.E. Alexander e D.A. Thomas (2004), “Forecasting wildland fire behaviour: aids, guides, and knowledge-based protocols”, revista *Americana Fire Management today*, 1(64), 2004.

Cruz, M.G.e Viegas, D.X. (1996), “Documentation of wildland fires, in the Proceedings of the Workshop on Forest Fire Behaviour - Modeling and Testing”. Luso, Portugal, 6 e 7 de Maio 1996.

Dr. Russell T. Graham et al.(2004), “ Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity U.S. Department of Agriculture Forest Service”. General Technical Report RMRS-GTR-120, Abril de 2004.

Pereira J.S et al (2006), “Incêndios Florestais em Portugal- Caracterização, Impacte e Prevenção”, ISAPress 2006.

PICARD, C., DROUET, J. C., 2002. European research projects related to operational applications in the frame of forest fires. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Viegas (ed), 2002.

FERNANDES, P. M., 1998. Fire Spread Modelling in Portuguese Shrubland. III International Conference on Forest Fire Research, 16-20 November 1998, Vol. II – pp 611 – 628.

CATCHPOLE, E. A., CATCHPOLE, W. R. & ROTHERMEL, R. C., 1993. Fire Behaviour Experiments in Mixed Fuel Complexes. Int. J. Wildlandfire, Vol. 3, Tome 1, pp. 45-57.

Ribeiro, P. R. P., 1998. Relatório Final de Actividades Desenvolvidas na Área de Investigação em Incêndios Florestais. ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial. Universidade de Coimbra. Coimbra, 1998

MOLINA, D. & BARDAJÍ, 1998. Forest Fuel and Fire Behaviour in Planning and Control: Similarities and Differences. III International Conference on Forest Fire Research, 16-20 November 1998, Vol. II – pp 2595 – 2604.

DIMITRAKOPOULOS, A. P. & PANOV, P., 1998. Chemical and Physical Fuel Parameters of Mediterranean Vegetation. III International Conference on Forest Fire Research, 16-20 November 1998, Vol. II – pp 2579 – 2586.