

“Revisita” à curva de desenvolvimento de incêndios

1 Introdução

Todos bombeiros conhecem a curva de desenvolvimento dos incêndios, que é ensinada na formação básica de combate a incêndios. Onde, no passado, havia apenas uma curva de desenvolvimento de incêndio, agora existem duas. Uma é a curva antiga, definida com o termo “incêndio ventilado” (ver a figura 1). Este artigo visa discutir essa curva. Representando um incêndio num compartimento com as seguintes condições:

- Carga de incêndio suficiente, situada em determinado local do compartimento;
- Ventilação suficiente.

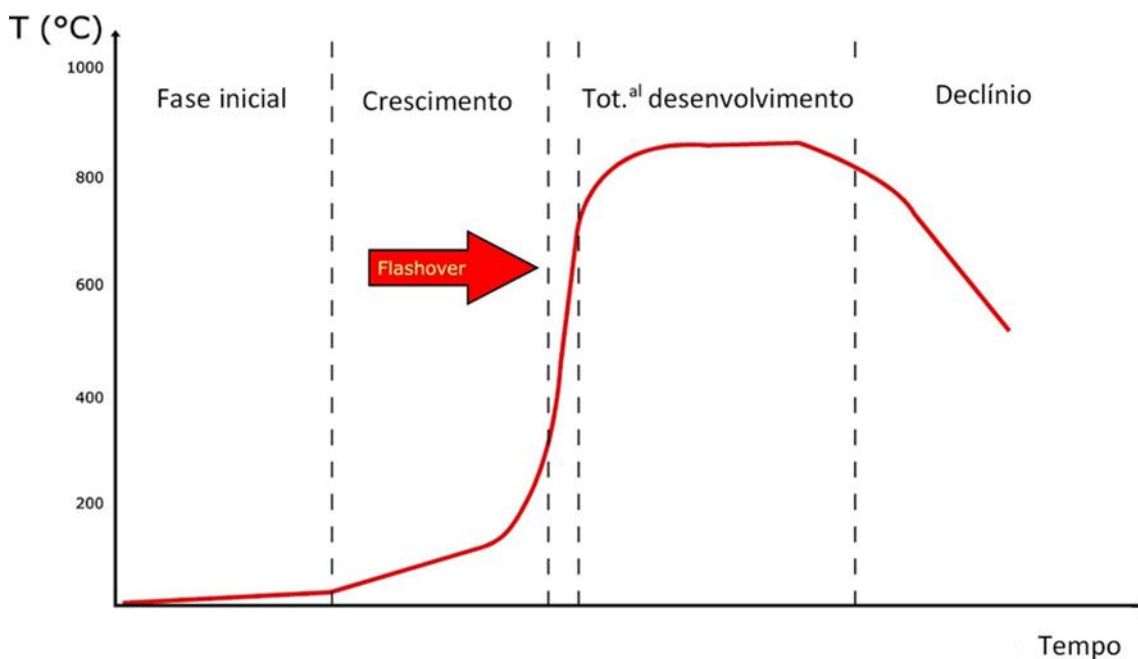


Figura 1 A curva de desenvolvimento do incêndio ventilado (figura: Karel Lambert)

Frequentemente ocorrem incêndios que se extinguem por si mesmos, porque o objeto inicial que se incendiou é incapaz de produzir uma taxa de libertação de calor (TLC) suficientemente elevada para inflamar outro objeto inflamável próximo. Nestas situações, dum modo geral existe muito fumo, mas quase nenhum calor. Portanto, existe carga combustível suficientemente disponível para permitir que o incêndio transite a flashover, contudo a disposição dessa matéria combustível impede que tal aconteça. O incêndio extingue-se na sua fase inicial.

Recentemente, o corpo de bombeiros de Oostkamp deparou-se com um incêndio desses. Foram alertados para um incêndio numa habitação que bloqueou uma família inteira no primeiro andar. À sua chegada, o rés do chão estava inundado de fumo, fumo este que estava a bloquear o caminho de fuga dos ocupantes, que se encontravam no primeiro andar. Além disso, as janelas desse piso tinham vidros simples. O incêndio parecia estar infraventilado e as equipas de bombeiros consideraram que quebrar as janelas poderia

levar a um flashover induzido pela ventilação. Foi iniciado um ataque interior com recurso a linhas de ataque de 45 mm. Durante a progressão da linha de ataque, descobriu-se que o fumo na sala não era de todo quente. O fumo frio pode ser uma consequência de um incêndio infraventilado. Devido à falta de ar, a TLC do incêndio é muito baixa (ver figura 2). Significa isto que há muito pouca concentração calor. Com a utilização da Câmara de Imagem Térmica, as equipas conseguiram encontrar o foco do incêndio. Esse foco era uma hoverboard que tinha sido deixado a carregar e que estava localizada próximo dum armário de carvalho maciço, que estava obviamente enegrecido e queimado, mas a TLC da hoverboard em chamas era insuficiente para inflamar por completo o armário. A hoverboard ardeu completamente e entrou na sua fase de declínio. O incêndio tinha produzido uma grande quantidade de fumo, mas muito pouco calor. Com o recurso a um ventilador, o fumo foi expelido do edifício e a família foi salva da situação em que se encontrava. Embora o fumo não estivesse quente, os níveis de toxicidade eram suficientemente elevados para que não fosse viável fugir pelo fumo sem aparelho de respiratório.

No entanto, este cenário poderia ter sido completamente diferente. Do outro lado do compartimento, estava a caixa de papelão onde a hoverboard normalmente era guardada. Esta caixa de papelão estava ao lado de um sofá grande de três lugares. Vamos supor que a hoverboard tenha sido colocada dentro ou em cima da caixa e depois se incendiou. Com toda a probabilidade, o sofá também teria sido afetado pelo fogo. O sofá teria gerado uma TLC suficiente para causar um flashover na sala de estar. Ao chegar, o corpo de bombeiros enfrentaria um incêndio totalmente desenvolvido no rés do chão. A temperatura do fumo saída desse incêndio que fluiria para o primeiro andar seria 10 vezes mais elevada. Só poderíamos pressupor que as portas do quarto tinham protegido a família pelo tempo suficiente até à chegada de ajuda.

A única variável que é diferente nestes dois casos, é o posicionamento da hoverboard (o foco de incêndio inicial) no momento da ignição. Tudo o resto sobre o conteúdo do compartimento permanece inalterado. Um cenário resulta numa grande quantidade de danos causados pelo fumo, o outro leva a um grande incêndio na habitação e possivelmente várias vítimas mortas. Para que um incêndio ventilado alcance o flashover, é necessário que exista combustível suficiente e disposto adequadamente.



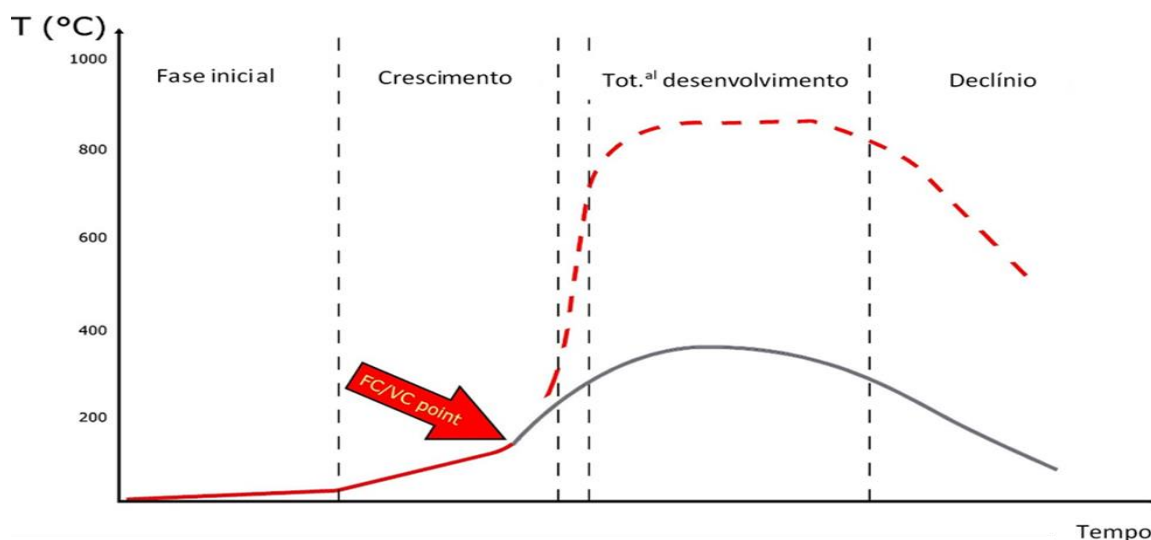


Figura 2 Quando o ar é insuficiente, o incêndio passa da linha vermelha para a cinza. Sendo isto identificado de incêndio infraventilado. (Figura: Karel Lambert)

Quando a ventilação é insuficiente é impossibilitada a transição a flashover, estamos portanto, perante um incêndio infraventilado. O incêndio permanecerá pequeno até que se extinga por si só ou até serem criadas aberturas de ventilação extra. Este incêndio terá uma curva diferente, representada pela figura 2.

No entanto este artigo, refere-se ao incêndio ventilado, como mostra a figura 1. Sendo essa curva conhecida pela maioria dos bombeiros como uma curva de temperatura. Este tipo de curva ilustra o desenvolvimento da temperatura em função do tempo. Podem ser efetuadas várias perguntas sobre esta afirmação: Qual é exatamente a temperatura que é ilustrada pela curva? Ou, por outras palavras: em que local precisamos colocar um termómetro para que as temperaturas medidas sejam as mostradas no gráfico acima? Muitos bombeiros não conseguem responder a estas perguntas.

Sabes a resposta correta? Este artigo abordará o leitor diretamente de tempo em tempo. Tenta pensar na questão antes de ler a próxima secção. O texto confirma a tua resposta? Boa! Caso contrário, pensa porque é que a tua resposta estava incorreta. E em ambos os casos, terás aprendido algo.

2 Taxa de libertação de calor de um incêndio

Todos os incêndios produzem uma determinada taxa de libertação de calor. Podendo isso ser descrito da seguinte forma: Imagina um sofá de três lugares. Supõe que o sofá se incendia devido a um cigarro esquecido. No local do sofá, uma área de um quarto de metro quadrado está a arder. As chamas estão a subir cerca de 50 cm do sofá. Podes ver a imagem na tua mente?

O calor das chamas fluirá em grande parte para cima. Aquecendo a camada de fumo. Parte do calor é irradiado de volta para o sofá. Isto faz com que o sofá aqueça. A alta temperatura do sofá (carga de combustível) fará com que parte do sofá comece a pirolisar. Significa isto que o sofá está a perder parte da sua massa. Se o sofá estivesse numa balança, veríamos o seu peso diminuir lentamente. O termo científico para isto é Taxa de perda de

massa (em kg / s). Quanto mais quente o combustível, mais rápido serão formados os gases de pirólise (e mais rápido diminuirá o peso na balança). Os gases de pirólise nada mais são do que combustível gasoso. As chamas estão a ser alimentadas por esses gases de pirólise. As chamas estão a queimar os gases de pirólise usando oxigénio do ar circundante.

Um fogão a gás é operado abrindo uma torneira. De seguida, o gás que sai é incendiado por uma faísca. Ao manipular a torneira, é formada uma chama maior ou menor. Num incêndio real, a função da torneira é assumida pelo calor que afeta na carga combustível. Quanto mais quente o combustível, mais gases de pirólise por segundo são liberados. Quanto mais gases de pirólise por segundo, maior a taxa de libertação de calor do incêndio.

A secção acima aplica-se somente a incêndios controlados pelo combustível. Nesses incêndios, existe ar (oxigénio) em abundância. A taxa de libertação de calor do incêndio dependerá da quantidade de gases de pirólise (a taxa de perda de massa). Quando um incêndio se torna controlado pela ventilação, isto significa que não há ar suficiente para queimar todos os gases de pirólise. Parte desses gases serão adicionados à camada de fumo. Significando isso que partículas não queimadas se estão a acumular na camada de fumo. A taxa de libertação de calor do incêndio está a ser limitada pelo ar disponível. Isto é mostrado na figura 2, onde o incêndio muda da linha vermelha para a cinza. No entanto, isto também ocorre na figura 1. Logo antes da curva terminar horizontalmente, o incêndio passou a ser controlado pela ventilação. Ambas as curvas de incêndio têm uma secção que é controlada pela ventilação. O gráfico da figura 1 também pode ser descrito como um gráfico da taxa de libertação de calor / tempo. Este gráfico mostra como a taxa de libertação de calor progride em função do tempo. A Figura 1 mostra a fase inicial. Esta fase é controlada pelo combustível e caracterizasse por ter uma TLC muito limitada. O incêndio permanece controlado pelo combustível durante a fase de desenvolvimento, mas passa a estar controlado pela ventilação durante o flashover. O incêndio totalmente desenvolvido é controlado pela ventilação. A secção horizontal do gráfico durante a fase de totalmente desenvolvido é uma consequência direta do facto de que apenas uma quantidade limitada de ar pode entrar no compartimento através da(s) abertura(s) de ventilação.



3 Que informações se podem retirar da curva de incêndio?

Olha para o incêndio mostrado na figura 3. É claramente um incêndio totalmente desenvolvido. O incêndio sai declaradamente através de duas janelas próximas uma da outra. Ambas as janelas têm a mesma altura e área de superfície.

Supõem que essas janelas ligam a uma sala de estar e que a porta da sala esteja fechada. As duas janelas seriam as únicas aberturas de ventilação para o referido incêndio. A sala contém uma grande quantidade de combustível: sofás, uma mesa de café, armários cheios de livros, uma televisão, ... É claro que toda a sala se está a incendiar. A TLC do incêndio é limitada pela quantidade de ar que entra na sala. É um típico exemplo de incêndio controlado pela ventilação.

É claro, que este incêndio começou pequeno. Por uma questão de simplicidade, assumimos neste raciocínio que ambas as janelas estavam abertas desde início. Supõe que o incêndio tenha tido início num sofá de três lugares. No começo, existe uma TLC limitada. À medida que o incêndio se desenvolve, a TLC aumenta.



Figura 3 Vista de um incêndio totalmente desenvolvido a sair de duas janelas. (Foto: www.nufoto.nl)

A Figura 4 mostra como a TLC progride à medida que o tempo passa. O incêndio começa pequeno, desenvolve-se, transita a flashover e torna-se totalmente desenvolvido (a linha horizontal). Após algum tempo, a quantidade de combustível terá sido severamente reduzida. Muito combustível terá queimado. Significa isto que, devido à taxa de perda de massa, pouquíssimo combustível restará. Uma grande quantidade de combustível será transformada em gases de pirólise. É razoável supor que a fase de declínio começará quando 70% da carga de combustível tiver sido queimada. A quantidade de gases de pirólise (por segundo) diminui porque quase não resta combustível. Em algum momento, haverá novamente ar suficiente a entrar pelas aberturas para queimar todos os gases de pirólise. O incêndio tornar-se-á novamente controlado pelo combustível. À medida que a pirólise vai diminuindo, ocorre o mesmo com a TLC. Passado algum tempo, o incêndio extinguir-se-á. A produção de gases de pirólise passou a ser reduzida já não podendo mais ser suportada uma combustão com chamas. O restante combustível continuará a arder, mas com o passar do tempo tudo irá arrefecer e o incêndio extinguir-se-á por completo.

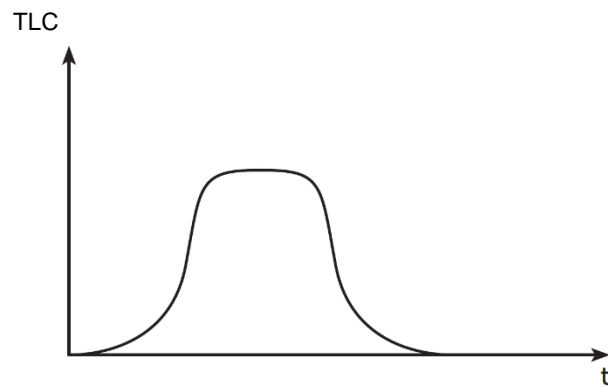


Figura 4 Taxa de libertação de calor em função do tempo num incêndio ventilado. (Desenhado: Karel Lambert)

Supõe que o incêndio tivesse começado noutra sala, numa habitação construída exatamente da mesma forma e com o mesmo tamanho da primeira sala. Supõe que a carga de combustível seja idêntica e que o seu recheio (sofá, mesa, ...) estejam exatamente no mesmo local. O incêndio tem também início exatamente da mesma forma, um cigarro no sofá. Tudo é idêntico ao primeiro cenário, exceto numa coisa: existe apenas uma janela em vez de duas. A área da superfície das janelas é metade da área do incêndio anterior. Qual é o efeito disto na TLC? O incêndio desenvolver-se-á mais lentamente do que quando haviam duas janelas? Ou de alguma forma desenvolver-se-á mais rapidamente?

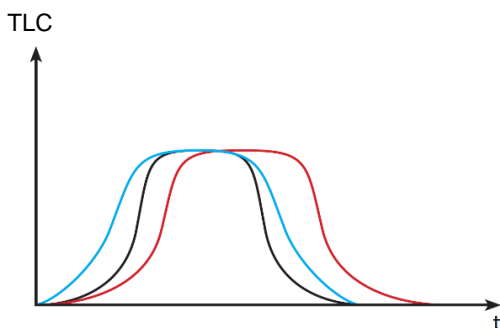


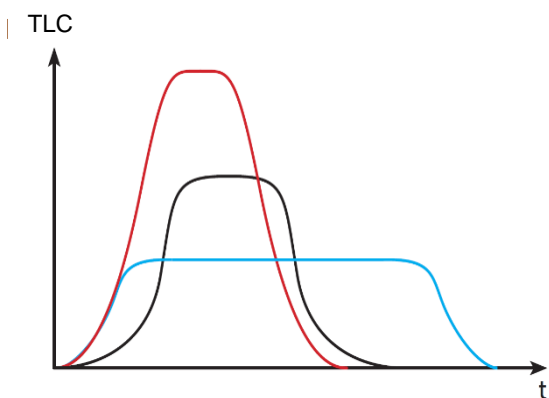
Figura 5 Duas possíveis variantes de um gráfico TLC para um incêndio com uma em vez de duas janelas. (Figura: Karel Lambert)

A Figura 5 tem uma linha preta que mostra como o incêndio progrediu quando haviam duas janelas abertas.

O gráfico azul indica um incêndio que se está a desenvolver mais rapidamente.

O gráfico vermelho é um incêndio que se está a desenvolver mais lentamente. Qual dos dois é o correto? Ou, talvez os dois estejam errados?

Tenta pensar em argumentos para apoiar a tua posição.



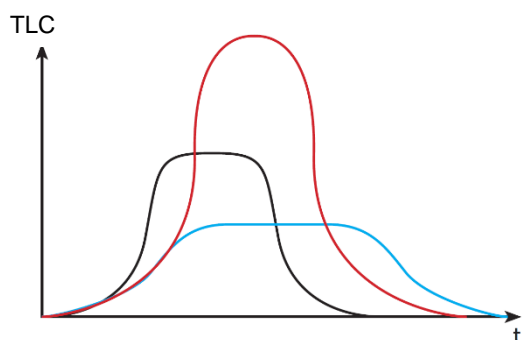
Também é possível criar dois gráficos, onde embora ambos progridam rapidamente, terão uma maior ou menor TLC. A Figura 6 mostra esses dois gráficos. A linha preta ainda representa o incêndio na sala de estar com duas janelas abertas. A linha azul representa um incêndio que se está a desenvolver rapidamente, mas também pára rapidamente de se desenvolver continuando a arder a uma TLC mais baixa. O incêndio sustenta essa fase por um longo período de tempo.

Figura 6 Dois outros resultados possíveis para a TLC do incêndio quando existe apenas uma janela em vez de duas. (Figura: Karel Lambert)

A linha vermelha ilustra um incêndio que se desenvolve mais rapidamente e, além disso, atinge uma maior TLC. Fazendo isto com que arda por menos tempo. Um destes dois

gráficos é a representação correta de um incêndio numa sala de estar com uma só janela aberta?

Mais uma vez, pensa para argumentares o teu raciocínio.



A figura 7 mostra uma variante da figura 6. Desta vez, a linha vermelha e a azul representam incêndios que se desenvolvem mais lentamente do que o incêndio na sala de estar com duas janelas abertas (linha preta). Assim como na figura 6, a linha azul atinge uma TLC mais baixa que a linha preta. A linha vermelha atinge uma TLC mais alta que a linha preta. Talvez uma destas linhas seja a correta?

Figura 7 Duas novas possíveis variantes para o mesmo incêndio. (Figura: Karel Lambert)

Cabe-te a ti pensar sobre isto de forma crítica e formular uma resposta.

As Figuras 5, 6 e 7 representam todos os incêndios que se desenvolvem mais rápida ou mais lentamente que o incêndio representado pela linha preta. No entanto, pode facilmente acontecer que o desenvolvimento do incêndio não seja afetado pela falta de uma segunda janela aberta. A Figura 8 mostra duas dessas possibilidades. A linha azul é exatamente igual à linha preta na fase inicial. Significando isto que o incêndio se está a desenvolver exatamente da mesma forma. No entanto, o incêndio torna-se menos intenso (TLC de pico mais baixo) posteriormente. A linha vermelha

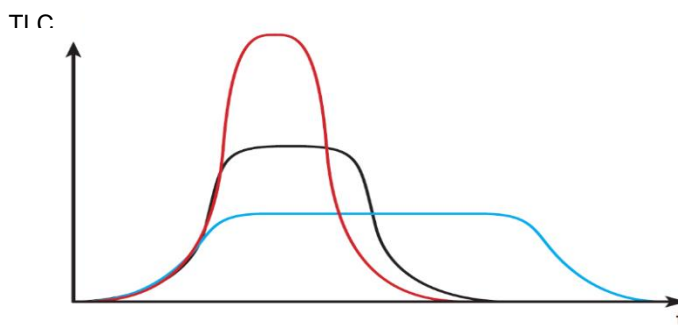


Figure 8 Uma vez mais, duas possíveis variantes da TLC de um incêndio com uma só janela aberta em vez de duas. (Figura: Karel Lambert)

também tem o mesmo crescimento que a linha preta, mas acaba com uma TLC de pico mais elevado do que o incêndio com duas janelas. Talvez o gráfico correto esteja aqui? Ou talvez exista outra possibilidade que ainda não tenha surgido.

Pensa na tua resposta e por que achas que está correta.

4 O efeito de uma, em vez de duas janelas.

A linha preta ilustra como a TLC de um incêndio progride relativamente ao tempo, para um incêndio numa sala com duas janelas abertas. A primeira parte da linha representa a fase inicial e a de desenvolvimento do incêndio. Naquele momento o incêndio está controlado pelo combustível. Significando isto que existe ar suficiente para inflamar os gases de pirólise que estão a ser produzidos. Se o tamanho das aberturas de ventilação aumentasse, tal não afetaria o desenvolvimento do incêndio, já que existe ar suficiente. Reduzir o tamanho da abertura de ventilação também não teria efeitos na fase inicial do incêndio. Enquanto existir ar suficiente a entrar pela abertura para queimar os gases de pirólise que se estão a formar, o incêndio estará controlado pelo combustível significando isto que o aumento da ventilação não altera o processo.

Um incêndio controlado pelo combustível não se desenvolve mais rápida ou mais lentamente na sua fase inicial ao ter uma janela aberta em vez de duas. As linhas dos dois incêndios (duas janelas e uma janela) são congruentes.

O incêndio na sala de estar com uma janela aberta também transitará a flashover. Na sala entra ar suficiente pela janela que está aberta, para permitir que o incêndio se desenvolva. Tem em mente de que a área da superfície da janela aberta deve possuir uma dimensão superior a um determinado tamanho mínimo. O incêndio na sala de estar deve ter a capacidade de se desenvolver até atingir uma certa TLC para conseguir a transição a flashover na sala. Supõe que as duas janelas na figura 3 são substituídas por uma janela com 1/4 da superfície da janela original, então o incêndio provavelmente tornar-se-á controlado pela ventilação antes da sua transição a flashover. Desta forma estaríamos perante um incêndio infraventilado. A Figura 2 pode ser uma possível ilustração desse cenário.

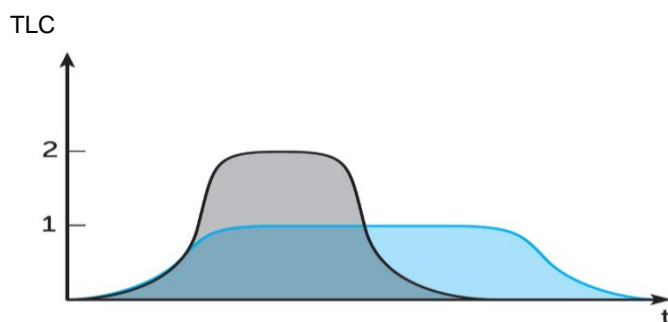


Figura 9 O gráfico azul produz apenas metade da TLC máxima do gráfico preto. Por tal motivo, o combustível é consumido mais lentamente e o gráfico tem o dobro do tempo. (Figura: Karel Lambert)

Quando a área de superfície das janelas na sala de estar do segundo cenário é metade da do primeiro, apenas poderá fluir metade da quantidade de ar. Significa isto que a TLC produzida pelo segundo incêndio será metade da do primeiro. A linha azul na figura 8 ilustra a resposta correta. A altura das linhas horizontais (TLC de pico) é determinada pela área total da superfície das janelas abertas, estas determinam a quantidade de

altura da parte horizontal da linha azul deve ser exatamente metade da da linha preta. Se em vez de duas fossem quatro janelas , a linha vermelha na figura 8 seria a correta. Tendo alcançado uma TLC com exatamente o dobro do tamanho do incêndio da linha negra.

Por fim, é importante perceber que a superfície abaixo destas linhas representa a carga de combustível existente. É por isso que a linha azul na figura 8 é mais longa que a linha preta (e a vermelha é mais estreita). Quando a TLC é apenas metade da da linha preta, somente metade do combustível será inflamado a cada momento. Isto significa que a carga de combustível durará o dobro do tempo. Um exemplo perfeito para ilustrar, isto é, o de um fogão a lenha. Podemos colocar qualquer quantidade de toros de madeira no fogão para o alimentar. Mas quando a entrada de ar é reduzida para metade, o calor que o fogão está a produzir diminui proporcionalmente (porque a TLC foi reduzida para metade). Consequentemente a quantidade de madeira no fogão durará o dobro do tempo.

Isto pode ser claramente observado na figura 9. A área de superfície marcada a cinza deve ser igual à área marcada a azul, dado que representam exatamente a mesma carga de combustível. No incêndio "preto", existe o dobro da quantidade de ar disponível e, portanto, a carga de combustível é consumida duas vezes mais rápido. Isto leva a um incêndio que dura apenas metade da quantidade de tempo (mas que é duas vezes mais intenso).

5 Bibliografia

- [1] *Lambert Karel, Baaij Siemco (2018) brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2nd edition, Sdu*
- [2] *Lambert Karel (2009-2019) CFBT-instructor course for the Attack cell, CFBT-BE*
- [3] *McDonough John (2009-2019) personal talks*
- [4] *Grimwood Paul (2008-2019) personal talks*

Karel Lambert

