

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

A RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO TÉRMICA DOS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA UTILIZADA PELOS BOMBEIROS



George C. B. Braga
Pesquisador
CBMDF e UnB
BRASIL



Nelson Bryner
Pesquisador
NIST
EUA



Amy Mensch
Doutoranda
Penn State
EUA

Palavras-chave: Máscara de proteção respiratória, resistência ao calor, policarbonato

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido documentado que a degradação das lentes das máscaras de proteção respiratória tem contribuído para ferimentos e mortes de bombeiros [1 e 2], mostrando que as máscaras são, atualmente, o elo mais fraco de todos os equipamentos de proteção usados pelos bombeiros. As lentes atuais das máscaras de proteção respiratória são feitas de policarbonato, um termoplástico naturalmente transparente e de grande resistência, cuja temperatura vítrea está entre 145 e 150⁰C, e com ponto de fusão entre 221 e 253⁰C [3].

Estudo realizados com roupas de aproximação mostraram que os bombeiros pode estar submetidos a ambientes com temperaturas entre 100 e 300⁰C e fluxos de calor entre 5 e 12 kW/m² numa situação de *pré-flashover* [4-6]. Numa situação de *flashover* e *pós-flashover*, o bombeiro pode estar submetido a temperaturas de até 1000⁰C e fluxo de calor de até 170 kW/m² [7]. Isso mostra que, mesmo em níveis relativamente normais em um incêndio, as lentes de policarbonato podem sofrer degradação. Esta degradação, na melhor das hipóteses, pode afetar a visibilidade, sendo obrigatória a sua substituição, ou, em casos mais severos, como na

* Autor correspondente Ó Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. GPCIN, Setor Policial Sul, SAIS Área Especial 3. Área da Academia de Bombeiro Militar. 70602-900 Brasília. BRASIL. Telef.: +55 61 3901-8758. e-mail: george.braga@cbm.df.gov.br, george@unb.br

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

situação de *flashover*, pode levar a falha da lente da máscara do sistema de proteção respiratória, comprometendo a segurança dos bombeiros.

O objetivo deste trabalho foi realizar um extensivo estudo da degradação que pode ocorrer nas lentes de policarbonato quando submetidos a radiações térmica entre 5 e 15 kW/m². Além disso, buscou-se estudar o quanto poderia ser melhorada a resistência térmica dessas lentes quando da adição de uma fina camada reflexiva, tentando manter a transmissão óptica na faixa do visível ainda em níveis razoáveis, procurando uma solução para a degradação térmica existente nas lentes hoje empregadas nas máscaras de proteção respiratória para bombeiros.

2. METODOLOGIA

Trabalhou-se com amostras de policarbonato de até 10 por 10 cm de comprimento e com 3 mm de espessura. Num conjunto dessas amostras foi depositada uma camada de 29 nm de ouro, para aumentar a reflexividade na região do infravermelho, e uma camada de 60 nm de SiO₂, para criar uma proteção contra riscos para a camada de ouro. Esta deposição foi realizada em todas as amostras ao mesmo tempo, garantindo que todas elas tiveram o mesmo tratamento.

Foi avaliada, inicialmente, a transmitância óptica de todas as amostras. Posteriormente, foram selecionadas duas amostras (uma sem a camada e outra com a camada reflexiva) para serem analisadas a transmitância, absorbância e reflectância, tanto na região do visível e parte do infravermelho próximo (0,380 a 1,1 µm), quanto na complementação da faixa infravermelho próximo e na região do infravermelho médio e distante (1 a 15 µm).

Posteriormente as amostras foram expostas a um painel radiante de gás natural para estudar a sua degradação térmica. As amostras (num total de seis, três com a camada reflexiva e três sem) foram colocadas na frente do painel em posições previamente verificadas com um medidor de fluxo de calor do tipo Schmidt-Boelter, definindo assim o fluxo de calor a que a amostra seria submetida por 15 minutos. Elas foram expostas a 5, 10 e 15 kW/m². Estes valores foram escolhidos com base em estudos prévios que demonstraram que as amostras mostravam sinais de degradação em até 15 min quando expostas a fluxos de calor próximo a 5 kW/m² e por serem valores que simulam situações em que os bombeiros poderiam estar submetidos quando em atividade normal de combate a incêndio. Durante a exposição, foram medidas as temperaturas na superfície exposta (frente), na superfície não diretamente exposta ao calor (trás) e do ar aproximadamente 1 cm da superfície exposta por meio de termopares tipo K. Além disso, foi posicionado o medidor de fluxo de calor atrás da amostra, medindo o fluxo de calor que estaria sendo transmitido através da amostra.

A utilização de um painel radiante de gás natural é de grande importância para o experimento, pois o seu espectro de emissão no infravermelho é muito mais próximo a um incêndio real do que o espectro de emissão de um painel radiante de lâmpada de quartzo. Isto pode ser estimado quando verificada a emissão de corpo negro dos dois tipos de painéis.

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

3. RESULTADOS

3.1 Espectroscopia óptica

Na figura 1 é mostrada a reflectância na região do infravermelho (1 a 15 μm) para as amostras de policarbonato sem e com a camada de ouro. Na média o policarbonato puro (linha pontilhada) reflete 5% da energia incidente nesta faixa de comprimento de onda, enquanto a amostra com a camada de ouro (linha contínua) refletia 93% da energia incidente. O estudo nesta faixa de comprimento de onda é importante, pois o painel radiante de gás natural tem mais de 90% da sua energia gerada nesta região.

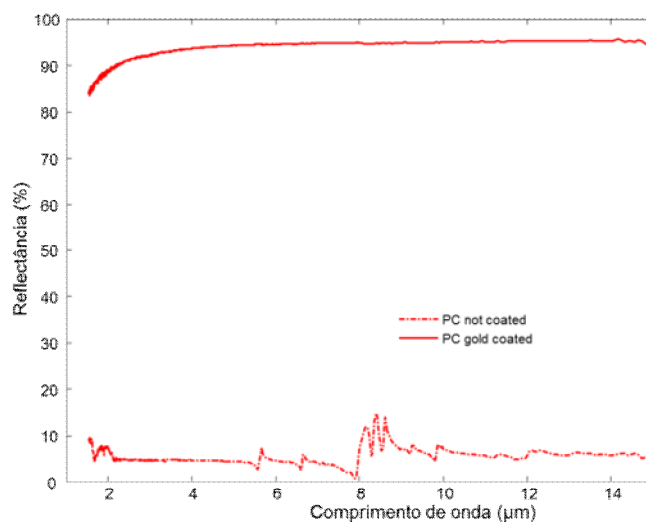


Figura 1: Reflectância na região do infravermelho.

Na figura 2 é mostrada a transmitância na região do visível para as duas amostras. Para o policarbonato puro (linha pontilhada), a transmitância é, em média, de 89%. Para a amostra de policarbonato com a camada de ouro (linha contínua), a transmitância é de aproximadamente de 42%.

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

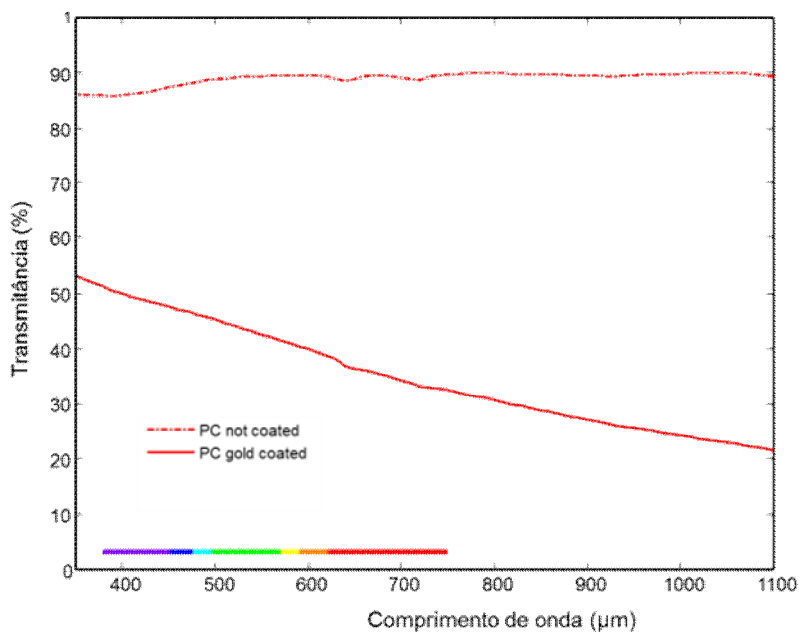


Figura 2: Transmitância na região do visível.

Na Figura 3 abaixo pode-se verificar o quanto a absorvância na região do infravermelho (1 a 15 µm) diminui quando da utilização da camada refletora na frente da amostra de policarbonato. Como, em média, apenas 7% da energia é absorvida pela amostra com a camada de ouro, em contraste com aproximadamente 90% pela amostra de policarbonato sem essa camada, é de se esperar a lente venha a ter uma menor chance de vir a se degradar.

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

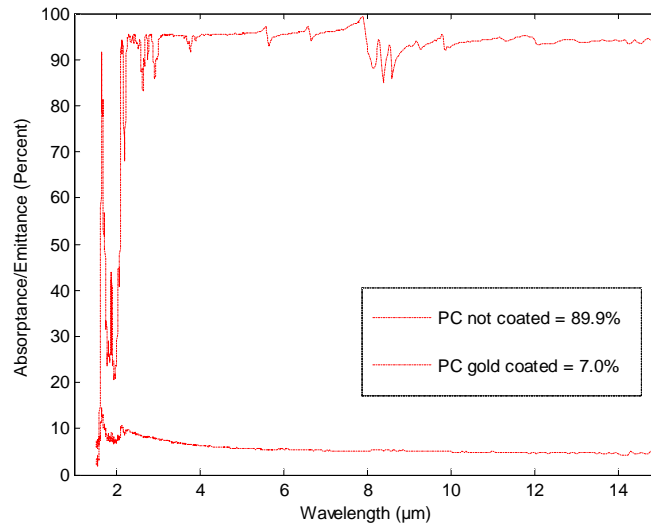


Figura 3: Absorbância na região do infravermelho.

3.2 Painel radiante

As amostra de policarbonato, com e sem camada de ouro, foram submetidas a uma radiação de 5, 10 e 15 kW/m² por até 15min. Durante todo o ensaio foi medido o fluxo de calor transmitido pela amostra, bem como a temperatura na superfície de frente para ao painel, na superfície posterior e do ar próximo à superfície da frente.

Os resultados encontrados demonstraram que a amostra de policarbonato sem a camada reflexiva apresentou sinais de degradação mesmo quando submetido a fluxo de calor de 5 kW/m². Isso se deve principalmente à temperatura, tanto na face exposta, quanto na não exposta, chegar a valores acima de 150°C, bem acima da temperatura vítrea do material. No caso da amostra com a camada reflexiva, apenas com fluxo de calor acima de 15 kW/m² é que a amostra apresentou temperatura nas duas faces acima de 150°C, chegando a apresentar sinais de degradação.

Exemplo destes dados pode ser visto nos gráficos abaixo (Figura 4 e 5).

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

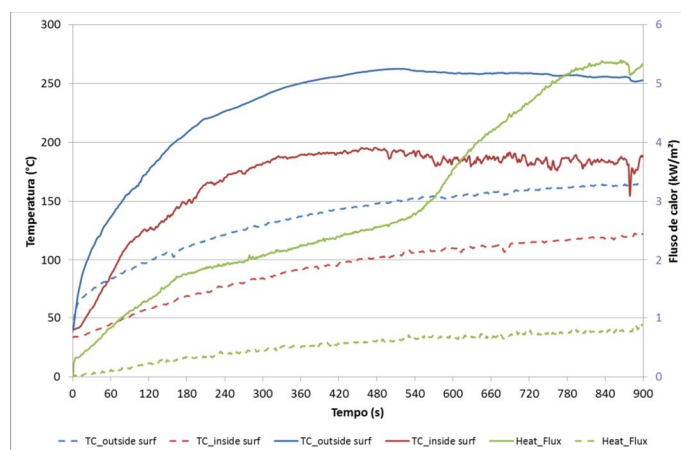


Figura 4 - Policarbonato puro (linha pontilhada) e com camada de ouro (contínua) - 10kW/m²

No gráfico acima podemos verificar que a temperatura na superfície externa (de frente para o painel) chegou a mais 100°C perto dos 8 min de teste. O fato da temperatura externa da amostra de policarbonato puro após este tempo não continuar subindo, como da amostra com a camada de ouro, deve-se à deformação da amostra, fazendo com que o sensor se descolasse da superfície. O desgaste nesta amostra foi severo, inclusive ocorrendo derretimento de grande quantidade de material. Não ocorreu nenhum desgaste perceptível na amostra com camada de ouro.

No caso mais extremo, com radiação de 15 kW/m², a amostra de policarbonato puro fundiu-se completamente, enquanto a amostra com camada de ouro apresentou bolhas e um pouco de deformação. A formação de bolhas iniciou-se com aproximadamente 10 min de teste, enquanto a deformação começou com 11 min (ver gráfico abaixo). O mesmo efeito de descolamento do sensor termopar aconteceu com na amostra de policarbonato sem a camada reflexiva.

**1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios,
para Bombeiros Militares
Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013**

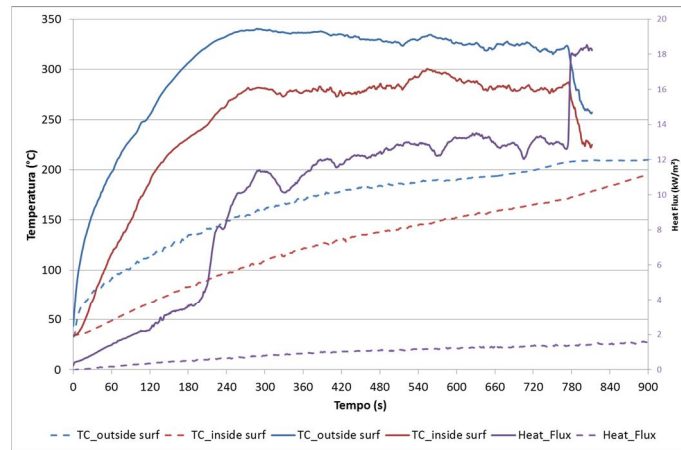


Figura 5 - Policarbonato puro (linha pontilhada) e com camada de ouro (contínua) - 15kW/m²

Quando visualizado o resultado final do teste realizado no painel radiante com fluxos de calor de 5, 10 e 15 kW/m² (Figuras 6 a 8 abaixo), podemos verificar o benefício da utilização da camada de ouro na amostra quanto à proteção contra o calor radiante. Em todas elas o polycarbonato puro mostrou sinais de degradação, enquanto apenas com fluxo de calor acima de 15 kW/m² é que a amostra com a camada reflexiva apresentou algum sinal de degradação, e isso com tempo acima de 10 min de exposição.

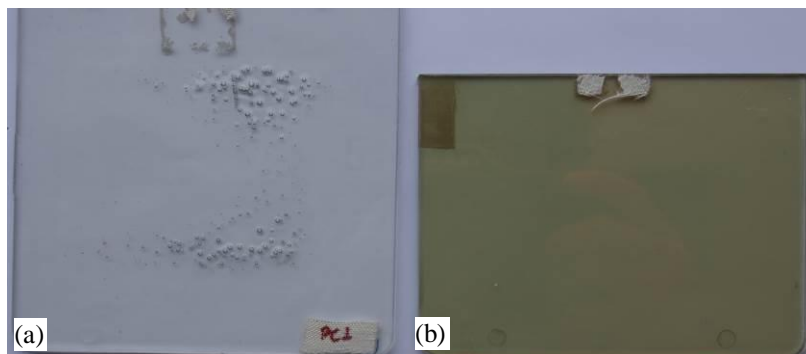


Figura 6 . Imagem do Polycarbonato puro (a) e com camada de ouro (b) . 05 kW/m²

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

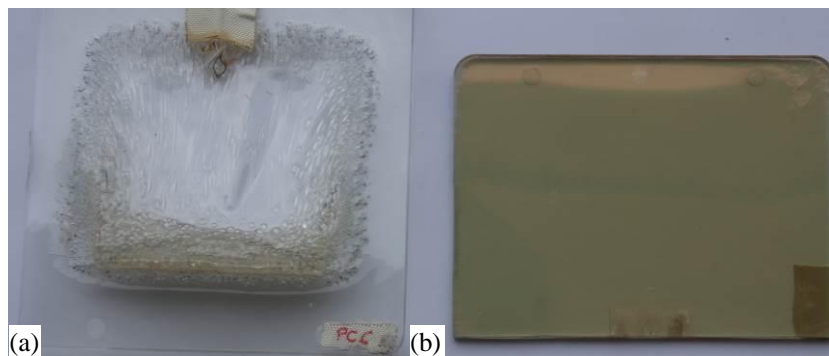


Figura 7 . Imagem do Policarbonato puro (a) e com camada de ouro (b) - 10kW/m²

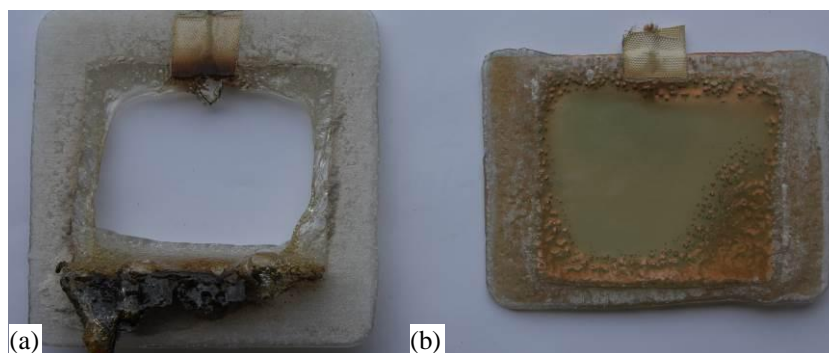


Figura 8 . Imagem do Policarbonato puro (a) e com camada de ouro (b) - 15kW/m²

4. CONCLUSÕES

O uso de uma camada de ouro, mesmo de apenas 29 nm, sobre o policarbonato apresentou um aumento significativo na sua proteção contra a radiação térmica. Um problema que ainda deve-se ser tratado é a diminuição da transmissão óptica quando da colocação da camada de ouro. Isto poderá ser resolvido com a diminuição da espessura dessa camada, onde deverá ser balanceado o aumento da proteção quanto à radiação térmica e a diminuição da transmissão na região do visível. Além do tratamento com camadas refletoras adicionais, outros materiais também podem vir a serem testados com vistas à substituição da lente de policarbonato, como o polietersulfona.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Drs Leonard Hunssen e Catherine Cooksey do Metrology Laboratory/NIST pela realização dos espectros na região do visível e infravermelho.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

Seção 3 . Atas de Eventos Técnico Científicas

Artigo publicado no Volume Nº01 - Edição de JAN a JUN 2015

Versão on-line disponível em: <http://www.xxxxxxx>

1ª JPCI É Jornada Regional de Prevenção e Combate a Incêndios, para Bombeiros Militares Recife, Brasil, 14 de Novembro, 2013

6. REFERÊNCIAS

- [1] NIOSH: Career Lieutenant and Fire Fighter Die in a Flashover During a Live-Fire Training Evolution - Florida. Report F2002-34. 6-16-2003. Morgantown, WV, Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program.
- [2] National Fire Fighter Near Miss Reporting System: Facepiece damaged during live burn training. Report 07-903. 5-7-2007.
- [3] Schultz, A., "PVT, Specific Heat, and Thermal Transitions", *Handbook of Polycarbonate Science and Technology*, pp 149-178, Marcel Dekker, Inc., Nova York, NY, 2000.
- [4] Krasny, J. F., J. A. Rockett, and D. Huang, "Protecting Fire Fighters Exposed in Room Fires: Comparison of Results of Bench Scale Test for Thermal Protection and Conditions During Room Flashover", *Fire Technology* 24 (1), 1988, pp 5-19.
- [5] Lawson, J. R., "Fire Fighter's Protective Clothing and Thermal Environments of Structural Fire Fighting," NISTIR 5804, 1996, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- [6] Rossi, R., "Fire Fighting and its Influence on the Body", *Ergonomics* 46 (10), 2003, pp 1017-1033.
- [7] Fang, J. B and J. N. Breese, "Fire Development in Residential Basement Rooms," NBSIR 80-2120, 1980, National Bureau of Standards (currently NIST), Gaithersburg, MD.