



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102021015683-0 A2

(22) Data do Depósito: 09/08/2021

(43) Data da Publicação Nacional:
14/02/2023

(54) **Título:** MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL

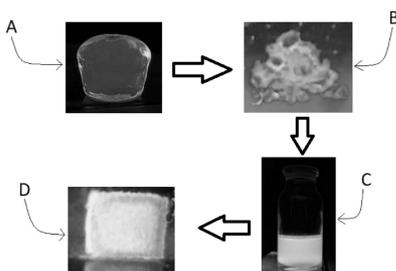
(51) **Int. Cl.:** G01K 11/14; G01K 11/20; G01J 1/58; G01J 5/08; G01J 5/04.

(52) **CPC:** G01K 11/14; G01K 11/20; G01J 1/58; G01J 5/08; G01J 5/0862; (...).

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) **Inventor(es):** PETRUS D'AMORIM SANTA CRUZ OLIVEIRA; FÁTIMA MARIA DE SOUZA PEREIRA.

(57) **Resumo:** MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL. Refere-se a presente invenção a um dispositivo fotônico na forma de um material que fornece sinal luminescente com informações correlacionadas à temperatura em cada ponto, para termometria mapeável de superfície recoberta por ele ou com ele formada, caracterizado por ser imprimível e utilizar relações de intensidade de luminescência de pares de íons de lantanídeos imobilizados em fase vítrea, utilizável em ambientes hostis com resposta linear em ampla faixa de temperatura. Para medidas quantitativas, o mapeamento térmico é feito através de processamento de luminescência por fibra ótica sem contato, e para medidas semiquantitativas, por inspeção visual comparada da cor-luz gerada por síntese aditiva dependente da temperatura. Em ambos os casos, sob exposição da superfície à radiação UV o sinal é gerado com resolução espacial determinada pela granulometria da parte ativa. O sinal fotônico gerado pelas transições 1D2-3F4 do Tm³⁺ e 5D4-7F5 do Tb³⁺ ou transições de outros lantanídeos envolvendo mecanismos de transferência de energia dependentes da temperatura é usado tanto para medidas quantitativas pela razão das intensidade, quanto para avaliações visuais, pela mudança da coordenada cromática da síntese aditiva em proporções que variam com a temperatura, produzindo sensação de cor (...).



MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL

01. Refere-se a presente invenção a um dispositivo fotônico na forma de material que fornece sinal luminescente portando informações correlacionadas com temperatura para mapeamento térmico de superfícies que ele recobre ou é com ele formado, caracterizado por ser imprimível e utilizar a resposta óptica das relações de intensidade de luminescência de pares de íons de lantanídeos imobilizados em fase vítrea, podendo operar em ambientes hostis e em ampla faixa de temperatura, mapeável quantitativamente através da coleta de luminescência por fibra ótica sem contato, ou visualmente, para medidas semiquantitativas, em ambos os casos, sob exposição à radiação UV.

02. O monitoramento da temperatura em ambientes críticos e com possibilidade de mapeamento ponto a ponto em amplas faixas de temperatura e sem contato vem se tornando cada vez mais importante em várias atividades industriais, tecnológicas e científicas. Os dispositivos de baixo custo utilizando sensores termopares que operam pelo efeito Seebeck, além da necessidade do contato ponto a ponto, por serem metálicos, não podem ser utilizados em alguns ambientes críticos, como em redes de alta tensão com altos campos magnéticos, ou ambientes corrosivos.

03. Como opção de sensor de temperatura óptico, a patente BR102018009514-5 A2 utiliza íons trivalentes de túlio numa matriz de TiO_2 depositada em substratos de silício cristalino pela técnica de deposição assistida por feixe de elétrons, em processo complexo e de custo elevado, com resposta óptica baseada apenas numa emissão do Tm^{3+} sob excitação laser, o que dificulta a calibração pela dependência de fatores extrínsecos, e não gera superfície mapeável, sendo de uso pontual. No caso da patente US6746149B1, o tipo de lantanídeo utilizado no sensor ótico de temperatura proposto é definido pela seletividade da faixa espectral do íon emissor, que compõe um dispositivo que funciona como transdutor ótico pontual de temperatura, limitado por fatores extrínsecos e sem gerar superfícies termicamente mapeáveis.

04. O estado da técnica para monitoramento de temperatura com possibilidade de mapeamento sem contato são as câmeras térmicas, que utilizam matrizes de sensores de

estado sólido na região do infravermelho acoplados a uma interface eletrônica para análise do espectro de emissão com base na curva de radiação do corpo negro.

05. Os principais problemas de câmeras térmicas para estes fins estão associados ao uso em ambientes hostis e aos custos. Por envolver eletrônica sensível, a vulnerabilidade desses dispositivos compromete aplicações em ambientes hostis tanto pela natureza do conjunto de sensores, normalmente tipo CMOS, mas também pela eletrônica embarcada para processamento do sinal em soluções “stand alone”. Para redução de custos, há atualmente opções que utilizam processamento externo em smartphones, por exemplo, tornando o sistema ainda mais vulnerável quanto à robustez, e mantendo os custos ainda elevados, com valores crescendo não-linearmente com o aumento da resolução espacial do mapeamento. Um outro inconveniente desses sistemas é o fato de necessitar de ajustes de emissividade do material a ser medido para medidas mais confiáveis, comprometendo a precisão nos casos de materiais de emissividade não conhecida, ou mudança de emissividade por evolução do material quando sujeito a intempéries.

06. A presente invenção tem como principal objetivo atender as atuais necessidades de sensoriamento térmico da indústria, ciência e tecnologia, em larga faixa de temperatura e em particular em ambientes hostis, aliando a possibilidade de mapeamento, inclusive por medidas de não-contato não afetada por fatores extrínsecos, com baixo custo de produção e escalonamento, podendo ser incorporada à superfície a ser monitorada, recobrir sua superfície, ou até mesmo compor a estrutura da peça.

07. A solução apresentada consiste no uso de material opticamente ativo como recobrimento para termometria, em que a aferição da temperatura é feita em larga faixa através da medida da intensidade relativa de duas transições eletrônicas (luminescências em cores diferentes) de íons de lantanídeos contidos em material vítreo incorporado na forma triturada em compósito, imprimível diretamente em superfícies ou, por exemplo, em adesivos, permitindo o uso como recobrimento mapeável termicamente, ponto a ponto.

08. A principal vantagem da invenção consiste em permitir o mapeamento térmico de superfícies com blindagem de fatores extrínsecos dada pela variação da relação de

intensidades de duas luminescências, aliado ao baixo custo de produção, já que o recobrimento ativo pode ser aplicado a diversas superfícies, monitoradas sem contato pelo uso de um único sistema de leitura, independente e desacoplado, ou visualmente, para inspeção rápida. Com o uso da superfície para mapeamento quantitativo de precisão, o baixo custo se dá também pelo fato de várias superfícies poderem ser monitoradas através de um mesmo leitor, acoplado a uma fibra óptica, sem contato físico com a superfície a ser monitorada. É compatível com uso em larga escala, sendo de fácil uso, e para uma rápida inspeção visual para análise comparada, por exemplo, mesmo ambientes hostis, onde o ser humano não possa entrar, pode ser utilizado pela visualização de alterações na luminescência à distância. Uma vantagem importante consiste em não haver necessidade de calibrações em relação à composição do material a ser monitorado, já que a temperatura é monitorada em função das alterações da luminescência da sonda fotônica, na forma de recobrimento, e pela variação da intensidade relativa de duas luminescências. Além disso, a parte vítrea ativa do recobrimento pode ser imobilizada em material compatível em função da técnica de impressão a ser utilizada ou do tipo de intempérie ou ambiente hostil que será submetida.

09. Uma das principais novidades que também caracteriza a invenção é o fato de ter pares de íons luminescentes imobilizados na forma de dopantes em material vítreo que garanta a eficiência de sua emissão sob excitação de fonte ultravioleta, e o material vítreo triturado em granulometria compatível com a técnica de deposição ou impressão, na forma de compósito com um veículo imprimível, podendo este se limitar apenas a fixar a parte ativa vítrea ou ir além, compondo inclusive estruturalmente uma peça impressa em 3D que possa ser termicamente mapeável.

10. O dispositivo fotônico na forma de material ativo final é composto de uma matriz vítrea triturada, contendo pares de íons lantanídeos luminescentes como dopantes (Eu^{3+} , Tb^{3+} , Tm^{3+} , Dy^{3+} , Ho^{3+}) com transições eletrônicas envolvendo mecanismos dependentes da temperatura neste meio, tipicamente os pares $\text{Tb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$, em granulometria micrométrica ou submicrométrica, tipicamente entre $0.1 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$, formando compósito imprimível com veículos carreadores - tipicamente etilenoglicol para impressão por jato de tinta DoD (drop-on-demand), ou polímeros para impressão

3D, tipicamente PLA ou ABS para impressão tipo FDM, fluidos fotopolimerizáveis, para impressoras tipo DLP, em proporções tipicamente entre 0,1 e 20%, ou formando compósitos poliméricos para uso com técnicas de soft-lithography, dip-coating, spin coating, etc.

11. Para a produção do dispositivo proposto para termometria mapeável, na forma de recobrimento ou na forma estrutural, o processo proposto é o da impressão dos compósitos fotônicos, em que uma das fases é o material vítreo opticamente ativo, na forma triturada. A impressão pode ser feita diretamente sobre a superfície a ser monitorada, ou sobre um substrato, podendo este ser flexível, adesivo ou mesmo o próprio material impresso ser autossustentável. O vidro fotônico dopado com os íons luminescentes é preparado por processo convencional de fusão dos componentes em forno resistivo seguido de choque térmico, sendo em seguida triturado em almofariz, tipicamente de ágata. Além da fase vítrea ativa, a segunda fase do compósito dependerá da natureza da técnica de impressão a ser utilizada, e a mistura das duas fazer deve ser homogeneizada por agitação ou sonicada.

12. Para produção padrão de simples recobrimentos, técnicas como a de dip-coating não exigem controle preciso da granulometria do material vítreo disperso na fase polimérica em que a peça a ser recoberta deverá ser imersa várias vezes, com o cuidado para se evitar deslocamento dos grãos maiores por gravidade em fluidos pouco viscosos, podendo-se utilizar fluidos fotopolimerizáveis nesses processos. Para impressão de padrões a partir de moldes digitais, pode-se utilizar impressoras tipo inkjet Drop-on-Demand (DoD), e nesse caso, a granulometria do material vítreo triturado deve ser compatível com a dimensão do bico de impressão, devendo ser peneirada com faixa de granulometria menor para evitar entupimentos, selecionados tipicamente com peneiras com malha em torno de 635 mesh. Numa segunda etapa, desenvolve-se um fluido imprimível, composto da dispersão das micropartículas do vidro fotônico triturado em sistema carreador, que deve atender aos melhores parâmetros físico-químicos que resultem nos parâmetros de microfluídica recomendados para a impressoras utilizada. Finalmente, na terceira etapa, este fluido é impresso sobre a superfície a ser monitorada,

ou em substrato compatível com a faixa de temperatura a ser utilizada, tipo de intempérie que será submetido e grau de condutividade térmica desejado.

13. Para uso de impressoras 3D tipo FDM (Fused Deposition Modeling) para impressão de recobrimentos ou de modelos com estrutura termicamente rastreável, o material vítreo fotônico triturado deve ser introduzido em extrusora juntamente com um polímero carreador, tipicamente PLA ou ABS sem corantes e na forma de “pellets”, numa proporção típica entre 1 e 15% em massa. Após extrusão da fibra em diâmetro compatível com o bico da impressora utilizada, tipicamente 1,75 mm, pode-se imprimir materiais a partir de modelos digitais, com o cuidado de se utilizar “hot-end” todo em metal, devido ao efeito abrasivo da fase vítrea. Os próprios objetos impressos poderão ter as superfícies mapeadas termicamente.

14. Para uso em impressoras 3D de resinas fotopolimerizáveis, por técnicas como por exemplo de processamento digital de luz (DLP) ou estereolitografia a laser (SLA), as resinas também não devem conter corantes, e a fase vítrea deve ter granulometria tipicamente menor que pelo menos a metade da altura da camada a ser impressa, tipicamente 10 μm . É importante se monitorar eventual sedimentação da fase vítrea, agitando-se a resina compósita fotopolimerizável antes e durante impressões longas, através de pausas de impressão em intervalos típicos de 1h, dependendo da viscosidade da resina. Desta forma, além de recobrimentos, as peças impressas terão toda a estrutura termicamente rastreável.

15. A título de exemplo, a figura 1 mostra a luminescência simultânea dos íons Tb^{3+} e Tm^{3+} sob excitação UV (365 nm) na temperatura ambiente, em quatro estágios de preparação de recobrimento termometricamente mapeável, impresso por tecnologia inkjet DoD: (a) vidro antes de ser triturado, (b) vidro triturado, com tamanhos de grãos selecionados em peneiras com tramas entre 500 mesh e 635 mesh (c) composto fluido fotônico imprimível para termometria mapeável (d) como recobrimento termometricamente mapeável impresso por tecnologia Inkjet DoD. As propriedades ópticas do vidro permanecem inalteradas nos quatro estágios. Neste exemplo, a matriz vítrea utilizada é um oxifluoreto de boro e alumínio, dopada com íons Tm^{3+} e Tb^{3+} . Depois de triturado, o material vítreo opticamente ativo é dispersado com auxílio de

banho ultrassônico de baixa potência em mistura de etilenoglicol com DMSO, neste exemplo, na proporção 1,5:3,5 para se atingir os parâmetros de microfluídica exigidos pela impressora, neste caso, Dimatix Materials Printer (DMP2831, Fuji). O fluido imprimível para produção do recobrimento termometricamente mapeável é inserido no cartucho de impressão e um template digital é escolhido, neste caso, um retângulo mostrado na figura 1 (d), que após secagem, sob excitação UV (365 nm) apresenta luminescência com coordenadas de cor que dependem da temperatura ponto a ponto, garantindo o mapeamento térmico com resolução que dependerá do tamanho dos grãos, neste caso, em torno de 20 μm .

16. Neste exemplo, o material vítreo foi codopado com íons túlio (Tm^{3+}) e térbio (Tb^{3+}). A medida de temperatura foi feita utilizando-se as transições $^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$ do Tm^{3+} (em 452 nm) e $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ do Tb^{3+} (em 543 nm) no material vítreo com a dupla dopagem, sob excitação UV (365 nm). A figura 2 mostra o diagrama de níveis de energia dos dois íons, explicitando a excitação e as duas transições. O espectro de emissão da figura 3 mostra a dependência das duas transições com a temperatura: a emissão em 452 nm do íon túlio aumenta de intensidade com a temperatura, enquanto que a emissão do térbio em 543 nm diminui. A emissão em torno de 490 nm quase não varia com a temperatura, e corresponde à transição $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_6$ do Tb^{3+} . A figura 4 mostra que a dependência com a temperatura é linear e resulta em variação de coordenada de cor. Em 4 (a) a variação da razão das intensidades $I(452 \text{ nm})/ I(543 \text{ nm})$ é normalizada pela relação na temperatura mais baixa (neste caso, 30°C), que resulta no valor unitário neste ponto, como referencial. A dependência linear em função da temperatura é evidenciada, com ajuste de uma reta de $I(452 \text{ nm})/ I(543 \text{ nm}) = f(T)$ com $R^2=0.994$. No exemplo, a curva de correlação foi medida entre 30 °C e 100 °C, mas na prática a faixa se estende até a temperatura de transição vítrea (T_g) do material, neste caso (vidro oxifluoreto de boro e alumínio), em torno de 423 °C, sem limite inferior de temperatura. A limitação da temperatura máxima em T_g garante que não haverá evolução estrutural do material vítreo, assegurando reprodutividade. A resolução espacial para mapeamento de temperatura neste caso foi em torno de 20 μm , limitada pela granulometria do vidro. Também é possível uma inspeção visual rápida, visto que a emissão é modulável em função da temperatura dentro da região

visível do espectro, conforme mostrado no deslocamento da coordenada de cor no diagrama de cromaticidade CIE da figura 4 (b), neste caso, do verde ao azul.

17. A curva de correlação mostrada na figura 4 (a) é resultado de processos fotônicos envolvendo transferências de energia entre íons. O aumento de transferência de energia $Tb^{3+} \rightarrow Tm^{3+}$ com o aumento da temperatura, resulta na diminuição da intensidade da emissão radiativa ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_5$ (Tb^{3+}) e aumento da intensidade da emissão radiativa ${}^1D_2 \rightarrow {}^3F_4$ (Tm^{3+}). A emissão azul do Tm^{3+} parte diretamente do nível de excitação (1D_2), e pode ter sua população aumentada com a transferência de energia dos níveis mais altos do Tb^{3+} populados termicamente neste conjunto de multipletos na região do UV. A desexcitação do nível 5D_2 (Tb^{3+}) pode assim ocorrer com a excitação do 1D_2 (Tm^{3+}), quase ressonantes: 5D_2 (Tb^{3+}) \rightarrow 1D_2 (Tm^{3+}) + 7F_6 (Tb^{3+}). Assim, íon túlio emitiria o fóton no azul com maior probabilidade, passando para o estado 3F_4 , e o íon térbio deixaria de emitir o fóton no verde, voltando ao estado fundamental: 1D_2 (Tm^{3+} excitação direta UV) + 1D_2 (Tm^{3+} por transferência de energia do Tb^{3+}) \rightarrow 3F_4 (Tm^{3+}) + 7F_6 (Tb^{3+}) + fóton 452 nm (azul). A desexcitação do 3F_4 do Tm^{3+} via 7F_0 (Tb^{3+}) pode justificar o aumento da intensidade da emissão azul do Tm^{3+} , e maior redução da emissão verde do Tb^{3+} : 3F_4 (Tm^{3+}) + 7F_6 (Tb^{3+}) \rightarrow 3H_6 (Tm^{3+}) + 7F_0 (Tb^{3+}), pois nesta situação, o túlio estaria no estado fundamental, pronto para receber um fóton de excitação UV (365 nm) para posterior emissão no azul, enquanto que este íon do térbio estaria no estado excitado, com menor probabilidade de absorver o fóton de excitação, reduzindo a emissão no verde, em função do aumento da temperatura.

18. A curva de correlação termométrica construída a partir da relação de intensidades de fluorescência das transições ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_5$ (Tb^{3+}) em 543 nm e ${}^1D_2 \rightarrow {}^3F_4$ (Tm^{3+}) em 452 nm foi normalizada na figura 4 (a) dividindo-se por uma constante k a relação $I(452 \text{ nm})/I(543 \text{ nm})$, onde k é a razão de intensidades na menor temperatura, e desta forma a curva parte da relação = 1, facilitando a avaliação da variação da medida em relação à temperatura próxima da ambiente. Neste exemplo, percebe-se um aumento de 50% do valor da relação quando a temperatura sobe de 30 °C para 100 °C.

19. Neste exemplo, a curva de correlação mostrada na figura 4 (a) foi ajustada com a equação $I_{rel} \equiv I(452 \text{ nm})/k.I(543 \text{ nm}) = 0,7715+0,0071.T$, de forma que, para

determinação de temperaturas desconhecidas a partir da relação de intensidades de luminescência, utiliza-se a relação inversa: $T = (I_{rel} - 0,7715) / 0,0071$, com excelente coeficiente de determinação ($R^2 = 0,994$). Para o cálculo desta curva de correlação, as intensidades de luminescência foram coletadas com uma fibra ótica acoplada a um detector de luz com um monocromador, funcionando como espectrômetro, e o material vítreo impresso foi irradiado com lâmpada de mercúrio com emissão UV em 365 nm.

20. Para mapeamento quantitativo de temperatura, toda a superfície do material vítreo impresso como recobrimento, ou toda a peça impressa em 3D com o material incorporado no material estrutural irá gerar ponto a ponto um sinal fotônico mensurável, correlacionado com a temperatura, quando exposto à radiação UV.

21. Duas formas de inspeção são possíveis a partir do uso deste material vítreo imprimível para termometria opticamente mapeável sob radiação UV: quantitativo com auxílio de detector de luz, ou semiquantitativo por inspeção visual. Para mapeamento quantitativo, o mapeamento é feito com fibra ótica em qualquer ponto impresso, da mesma forma que nas medidas feitas para a curva de correlação, ou utilizando-se dois filtros para as duas faixas de luminescência, acoplados a sensor de luz. Para inspeção semiquantitativa das superfícies impressas, uma inspeção visual poderá ser feita com mapeamento por comparação de cor da luminescência ao longo da superfície. A inspeção pode ser feita à distância, sendo necessário uso de EPI óculos com filtro UV, principalmente para inspeções próximas da peça analisada, sob excitação, tipicamente por LED de UV no lugar de fonte de mercúrio.

22. Desta forma, o dispositivo imprimível permite avaliação da temperatura ao longo de superfícies por duas formas, sendo a primeira pela análise da razão das intensidades de luminescência e a segunda por mudança das coordenadas de cor, levando a uma análise comparada simples de toda a superfície por comparação entre pontos ou mesmo por padrões de cores em uma escala visual. Outros pares de lantanídeos podem ser usados dependendo da eficiência de luminescência no meio escolhido para mapear, mas, o material vítreo codopado com os íons Tb^{3+} - Tm^{3+} utilizado como exemplo pode ser utilizado de forma genérica como parte ativa para termometria opticamente mapeável.

REIVINDICAÇÕES

1. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, caracterizado por utilizar a variação em função da temperatura, da intensidade relativa da luminescência de mais de um íon lantanídeo inserido numa matriz imprimível para mapeamento de temperatura em superfícies.
2. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato dos íons lantanídeos serem inseridos em concentração de 0,01 a 30% como hospedeiros ativos em matrizes vítreas.
3. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pela linearidade com a temperatura do sinal fotônico gerado ponto a ponto na superfície sob radiação UV, em faixa de temperatura limitada apenas ao máximo, que corresponde à temperatura de transição vítrea do material hospedeiro.
4. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato do material contendo íons lantanídeos compor a fase ativa de compósitos imprimíveis.
5. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelos compósitos utilizarem proporções da fase ativa em função da fase carreadora ou estrutural variando de 1 a 50% em peso em função do tipo de técnica de impressão que serão impressos (Inkjet, FDM, DLP, SLA, Soft lithography...).
6. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com as reivindicações 4 e 5, caracterizado pelos compósitos utilizarem granulometrias da fase ativa em função do tipo de técnica de impressão que serão impressos, podendo variar entre 0.1 μm e 10 μm grãos vítreos triturados para a técnica de Inkjet, podendo ser maiores para compósitos imprimíveis por FDM, DLP, SLA ou Soft lithography.

7. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por utilizar variação de cor resultante da síntese aditiva das luminescências em intensidades relativas, de dois tipos de íons lantanídeos, como Tm^{3+}/Tb^{3+} , em função da temperatura em cada ponto sob excitação UV, para mapeamento térmico por inspeção visual.

8. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por permitir inspeção visual semiquantitativa através do uso de escala de correlação entre cores-luz produzidas por síntese aditiva sob radiação UV e temperatura;

9. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por permitir o registro da imagem para inspeção visual posterior utilizando a mesma escala de correlação visual em tempo real entre cores-luz produzidas por síntese aditiva sob radiação UV e temperatura, associadas a coordenadas de cor do diagrama CIE.

10. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por fornecer sinais quantificáveis ponto a ponto da superfície por ele recoberta, ou por ele constituída como parte ativa, para medidas quantitativas de temperatura utilizando-se curva de correlação da variação relativa de intensidade entre duas transições eletrônicas de íons lantanídeos em função da temperatura.

11. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com as reivindicações 6 e 10, caracterizado por fornecer os sinais quantificáveis fonicamente para serem coletados e medidos por detectores tipo radiômetros, permitindo mapeamento quando acoplados em fibras óticas para varredura da superfície em que os sinais quantificáveis são fornecidos com resolução espacial limitada à granulometria da parte ativa e ao diâmetro da fibra ótica utilizada.

12. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela compatibilidade do uso em larga escala, podendo ser utilizado em diversas superfícies mesmo em inspeção quantitativa, através do uso de um sistema de detecção independente.

13. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com as reivindicações 1, 7 e 8, caracterizado pela compatibilidade do uso em ambientes hostis com inspeção visual à distância, pela variação da sensação de cor distribuída pela superfície associada à variação de temperatura ponto a ponto.

14. MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE MAPEÁVEL, de acordo com pelo menos uma das reivindicações anteriores, caracterizado por utilizar a transferência de energia entre íons de lantanídeos para aumentar a variação da intensidade relativa das luminescências em função da variação de temperatura.

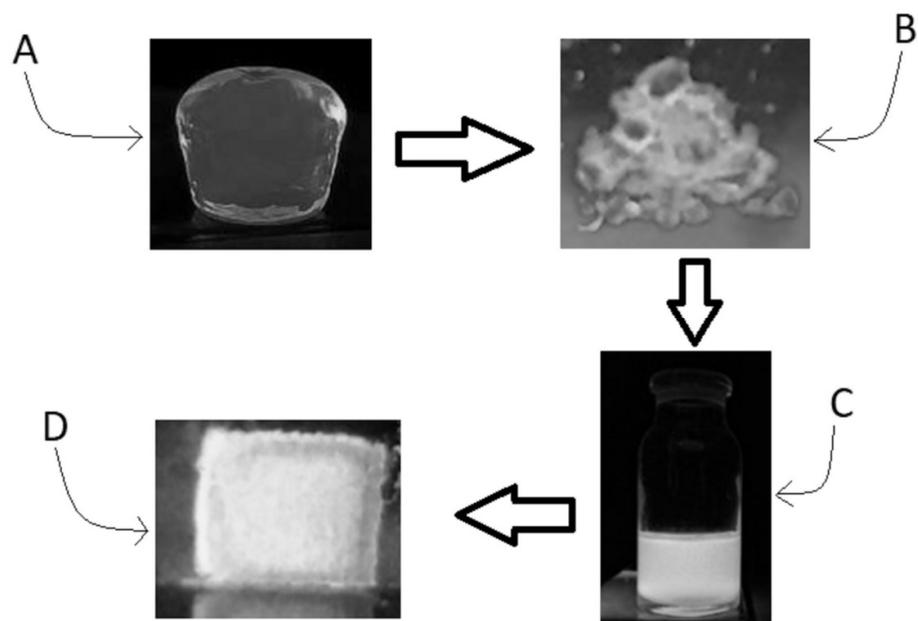


Figura 1

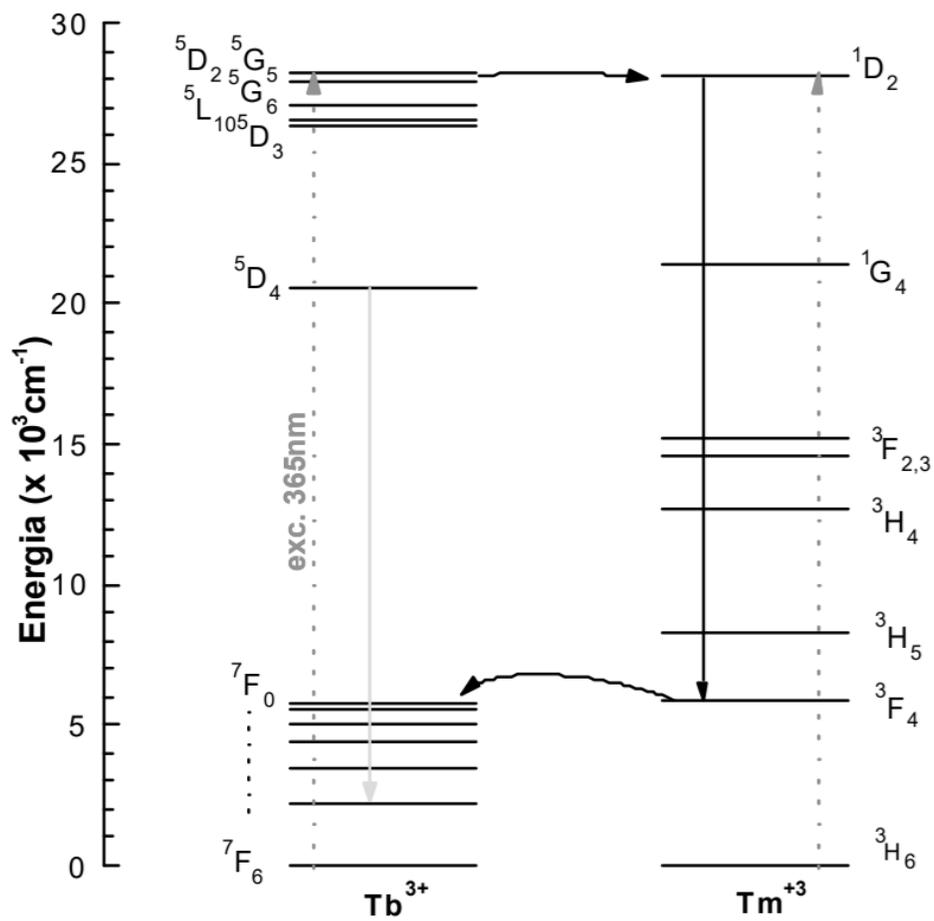


Figura 2

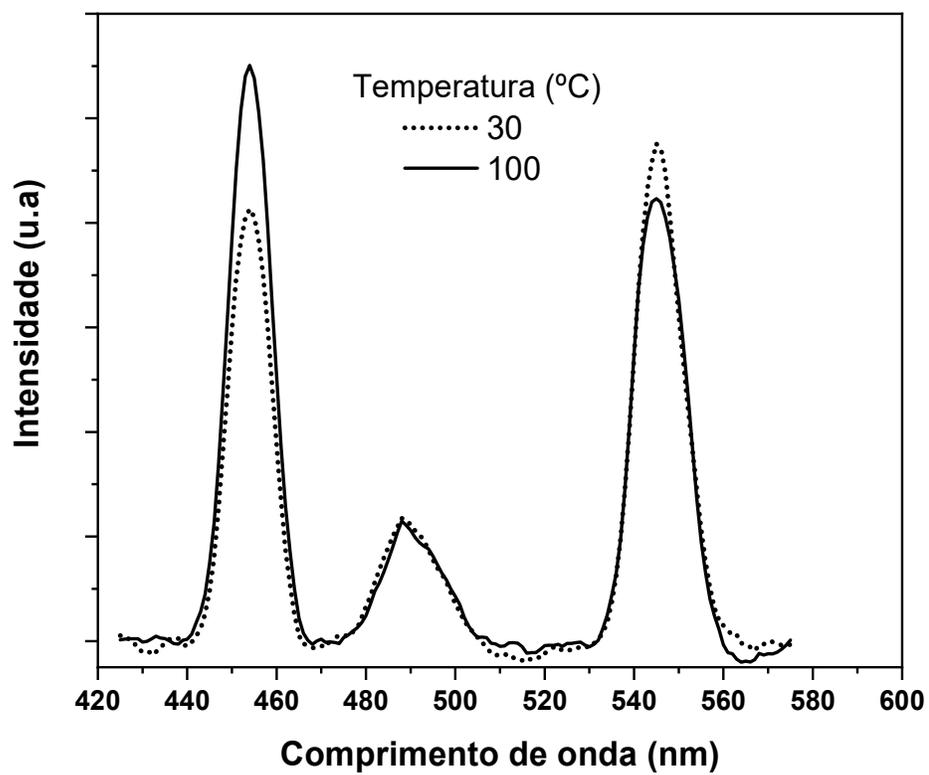


Figura 3

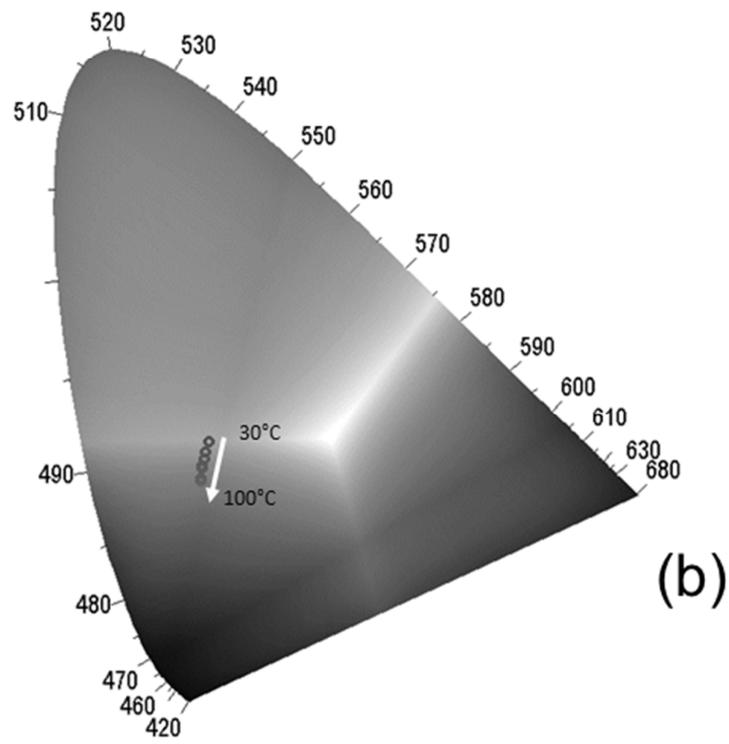
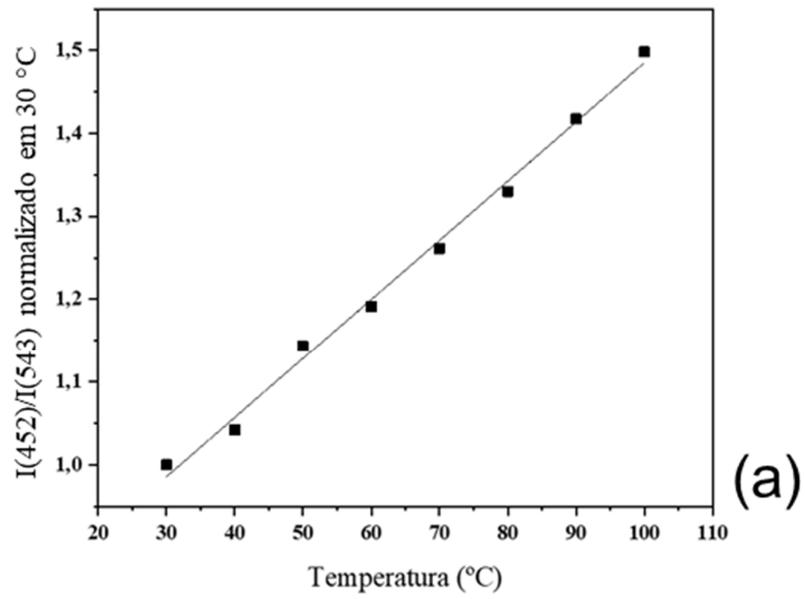


Figura 4

RESUMO**MATERIAL VÍTREO IMPRIMÍVEL PARA TERMOMETRIA OPTICAMENTE
MAPEÁVEL**

Refere-se a presente invenção a um dispositivo fotônico na forma de um material que fornece sinal luminescente com informações correlacionadas à temperatura em cada ponto, para termometria mapeável de superfície recoberta por ele ou com ele formada, caracterizado por ser imprimível e utilizar relações de intensidade de luminescência de pares de íons de lantanídeos imobilizados em fase vítrea, utilizável em ambientes hostis com resposta linear em ampla faixa de temperatura. Para medidas quantitativas, o mapeamento térmico é feito através de processamento de luminescência por fibra ótica sem contato, e para medidas semiquantitativas, por inspeção visual comparada da cor-luz gerada por síntese aditiva dependente da temperatura. Em ambos os casos, sob exposição da superfície à radiação UV o sinal é gerado com resolução espacial determinada pela granulometria da parte ativa. O sinal fotônico gerado pelas transições $^1D_2 \rightarrow ^3F_4$ do Tm^{3+} e $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ do Tb^{3+} ou transições de outros lantanídeos envolvendo mecanismos de transferência de energia dependentes da temperatura é usado tanto para medidas quantitativas pela razão das intensidade, quanto para avaliações visuais, pela mudança da coordenada cromática da síntese aditiva em proporções que variam com a temperatura, produzindo sensação de cor correlacionada ponto a ponto com temperatura, ou sinal processável quantitativamente.