

PELÍCULAS SEMICONDUTORAS: UM MODELO VETORIAL DE DISSIPACÃO DA RADIAÇÃO SOLAR EM SUPERFÍCIES DE CONCRETO

SEMICONDUCTOR FILMS: A VECTOR MODEL OF SOLAR RADIATION DISSIPATION ON CONCRETE SURFACES

PELÍCULAS SEMICONDUTORAS: UN MODELO VECTORIAL DE DISIPACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN SUPERFÍCIES DE CONCRETO

Marcos Yañes Palmieri¹, Marcelo de Andrade Romero²

DOI: 10.54899/dcs.v23i93.6489

Recibido: 01/07/2026 | Aceptado: 27/07/2026 | Publicación en línea: 05/08/2026.

RESUMO

Na escala do fluxo da energia captada na velocidade limite da luz, as dimensões de espaço/tempo “se curvam” para alterar a casualidade? Considerando a eficiência de contato com esse tipo de energia, através de referências e alternativas, o presente estudo buscou o desenvolvimento de uma película estruturada com cristais de cimento *Portland* em micropartículas oriundas da britagem de basalto empacotadas, que aderidas às superfícies externas e internas dos edifícios atribuísem propriedades térmicas condutora ou isolante após dopagem das ligações covalentes. Ensaios realizados com trinta e quatro elementos adicionados, onde: 10 demonstraram propriedades condutoras e 20 isolantes. Dentre eles, 08 elementos foram escolhidos devido aos seus desempenhos quando expostos a radiação solar: Co, Cu, Ag e G. C. Silicon (receptores) condutores e Ag/Ge, Sb/Si, CuO e SnO, (doadores) isolantes. O estudo também, estabeleceu um sistema binário para aplicação das películas considerando suas propriedades e variáveis de incidência em faces externas e o fluxo da energia coletada. Os resultados determinaram a aplicabilidade em superfícies, com amplitudes de temperaturas médias externas entre 12,0 a 36,0°C e referência de equilíbrio térmico em 21,0°C em médias internas.

Palavras-chave: Resíduos. Energia. Radiação Solar. Semicondutores. Sustentabilidade.

ABSTRACT

On the scale of energy flow captured at the speed of light, do the dimensions of space and time “curve” to alter causality? Considering the efficiency of contact with this type of energy, through references and alternatives, this study sought to develop a structured film composed of *Portland* cement crystals in microparticles derived from crushed basalt aggregates, which, when adhered to the external and internal surfaces of buildings, would impart conductive or insulating thermal properties after doping the covalent bonds. Tests were conducted with thirty-four added elements,

¹ Doutor em Tecnologia da Arquitetura, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: stoptimenergy@gmail.com

² Doutor em Tecnologia da Arquitetura, Centro Universitário Belas Artes de São Paulo (FEBASP), São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: marcelo.romero@belasartes.br

of which 10 exhibited conductive properties and 20 exhibited insulating properties. Among these, 8 elements were selected based on their performance when exposed to solar radiation: Co, Cu, Ag, and G. C. Silicon (conductive acceptors) and Ag/Ge, Sb/Si, CuO, and SnO (insulating donors). The study also established a binary system for applying the films, taking into account their properties, incidence variables on external surfaces, and the flux of collected energy. The results confirmed their applicability on surfaces with average external temperatures ranging from 12.0 to 36.0°C and a thermal equilibrium reference of 21.0°C for average internal temperatures.

Keywords: Waste. Energy. Solar Radiation. Semiconductors. Sustainability.

RESUMEN

A la escala del flujo de energía captada a la velocidad límite de la luz, ¿se «curvan» las dimensiones del espacio-tiempo para alterar la causalidad? Teniendo en cuenta la eficiencia del contacto con este tipo de energía, a través de referencias y alternativas, el presente estudio ha tenido como objetivo el desarrollo de una película estructurada con cristales de cemento *Portland* en micropartículas procedentes de la trituración de basalto compactado, que, adheridas a las superficies externas e internas de los edificios, conferirían propiedades térmicas conductoras o aislantes tras el dopaje de los enlaces covalentes. Se realizaron ensayos con treinta y cuatro elementos añadidos, de los cuales 10 mostraron propiedades conductoras y 20, aislantes. Entre ellos, se seleccionaron 8 elementos por su comportamiento al exponerse a la radiación solar: Co, Cu, Ag y G. C. Silicon (receptores) conductores, y Ag/Ge, Sb/Si, CuO y SnO (donantes) aislantes. El estudio también estableció un sistema binario para la aplicación de las películas, teniendo en cuenta sus propiedades y las variables de incidencia en las caras externas, así como el flujo de energía captada. Los resultados determinaron la aplicabilidad en superficies con rangos de temperaturas medias externas de entre 12,0 y 36,0 °C y una referencia de equilibrio térmico de 21,0 °C en las temperaturas medias internas.

Palabras clave: Residuos. Energía. Radiación solar. Semiconductores. Sostenibilidad.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, edifícios são construídos com grandes volumes de concreto, geram inúmeros resíduos e consomem excessivas quantidades de energia durante sua vida útil.

Maior inércia térmica em edificações pode ser atingida com o uso de materiais densos como: concreto ou alvenaria que combinados a materiais isolantes, retardam a transição de calor para o interior ou exterior nos espaços construídos e fazem com que as temperaturas dos ambientes internos sejam alteradas de forma mais adequada ao conforto térmico à exposição solar em “um dia”.

Atualmente, películas utilizadas na arquitetura evoluíram para nano camadas aplicadas principalmente às superfícies e fechamentos mais sensíveis, em vidros. Essas camadas têm como objetivo geral perfazer um filtro e alcançar funcionalidade estética, melhor controle térmico, reduzir a ofuscação quando materiais translúcidos forem utilizados em painéis externos e buscam oferecer, bem-estar e proteção à saúde dos seus ocupantes.

Porém, na arquitetura moderna os desafios dos conceitos sustentáveis entre demanda e consumo são constantemente colocados à prova. Quando o partido arquitetônico requer utilização de superfícies externas envidraçadas que ao absorverem a energia contida em determinados comprimentos de ondas eletromagnéticas, as transformam em calor, resultarão inevitavelmente na instalação de equipamentos destinados a troca de calor nos ambientes internos o que contrapõe o propósito de desenvolvimento humano com interação do meio ambiente.

Na dualidade (massa/vazio) concreto e vidro são amplamente utilizados como na composição de fachadas. O concreto como material denso, opaco e resistente, permite melhor desempenho que se caracteriza pela alta inércia térmica e capacidade de armazenamento de calor e pode ser manipulado para acrescentar características ou propriedades desejadas.

Enquanto o **vidro mais difícil de manipular, apresenta baixa massa e a Sílica (SiO_2)** nele contida, atua como barreira que impossibilita a dissipação da energia absorvida ao meio ambiente o que em determinadas localizações se torna indesejado. Em sistemas de dupla face pode agir como bom isolante quando exposto à baixas temperaturas.

O estudo buscou estabelecer propriedades condutoras ou isolantes em escala molecular em películas semicondutoras de basalto aglomeradas com cimento *Portland* com adição de elementos diluídos em solução e em concentração de 1,0ppm, entre micropartículas empacotadas de basalto afim de que as camadas de valência se movimentem em relação a energia absorvida ou dissipada na superfície de interface com a radiação solar, quando aderidas à superfícies de concreto.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os materiais que compõem o envoltório das edificações interferem diretamente em suas trocas de calor. Os revestimentos do envoltório são aqueles que determinam os índices das propriedades radiantes superficiais e, portanto, são os responsáveis pelos ganhos ou perdas de calor por radiação das edificações. (Pereira, 2014).

Assim, as propriedades térmicas nos materiais de construção tornaram-se inerentes à demanda por edificações mais energeticamente eficientes e entre outros fatores, suas superfícies externas são responsáveis pela recepção da radiação nas faces as quais incidem e determinam o comportamento das trocas de calor nos ambientes dos edifícios.

Essa radiação, ao incidir em feixes (comprimentos de ondas) e movimentos variáveis (rotação da Terra), serão essenciais para alterar temperaturas acima do zero absoluto (Kelvin), ao ocuparem a faixa espectral entre 0,3 μm e 3,0 μm e ativamente serão influenciados pelo ângulo de incidência da direção vetorial.

Para (Incropera, *et al.*, 2011), processo pelo qual um átomo instável emite energia ou massa, como acontece no fenômeno (fotoelétrico) onde nas moléculas internas a energia será absorvida por moléculas adjacentes e quando empacotadas à uma distância inferior a 1,0 μm da face exposta. Assim, através da manipulação de um material, seria possível interferir em suas propriedades para alcançar maior emissão ou absorção dessa energia.

(Borge, *et al.*, 2013) testaram a aplicação de estratégias passivas de condicionamento em abrigos no Haiti, pós terremoto em 2010. Os resultados das combinações aplicadas proporcionaram 29,0 resultados com temperaturas menores internas. Essa solução reduziu a temperatura interna em até 2,9 °C e foi capaz de elevar o conforto térmico em até 16.0%.

(Halewood; Wilde, 2008), demonstraram que o uso de revestimentos com alta refletância (dissipação) também provocam aumento da demanda por aquecimento em zonas temperadas onde as temperaturas médias são mais baixas.

(Synnefa, *et al.* 2007a), verificaram que a influência da transmitância na economia de energia não ocorre de forma linear, ou seja: o aumento da dissipação (refletância) obteve maior impacto na redução da carga de resfriamento do que no aumento da carga de aquecimento.

Já, (Ma e Zhu, 2009) produziram o cimento termocrômico com pigmentos e aditivos especiais, que atua como um regulador térmico passivo em materiais inteligentes ou de fase, que alteram sua cor em resposta as variações de temperatura a fim de diminuir a absorção de ondas eletromagnéticas e o consequente equilíbrio da temperatura com alteração no tom da cor. Ao alcançar 26°C o material assume tons em vermelho e verde e a 17°C o tom azul.

Segundo (Terra, *et al.* 2025), ondas de calor e frio mais intensas são mais frequentes e tem causado aumento de 50% no consumo de energia para climatização nos edifícios, o que levou o governo a desenvolver o “Projeto: Sistemas de Energia do Futuro” com o objetivo de apoiar a integração das energias renováveis e eficiência energética ao sistema brasileiro de energia.

Para (Bertold, 2025), a economia de energia não deveria ser preocupação do usuário, mas também da adequação técnica de componentes na arquitetura para encontrar soluções na construção de novos edifícios certificados ou caracterizados por menor impacto ambiental.

Assim, seja utilizando materiais naturais, reciclados ou com maior eficiência em suas funções no equilíbrio passivo, as superfícies de vidro quando mal dimensionadas ou orientadas se destaca por ser o mais inadequado para este fim, compromete o conceito de sustentabilidade.

Portanto, ao proferir a famosa frase "*Less is more*" (Rohe, 1947), que definiu a essência do movimento modernista reconhecida pelo conceito minimalista na definição dos espaços onde fachadas e interiores seguiam vastas superfícies em vidro, atualmente poderia ser interpretado como conceito de “eficiência energética”.

Entretanto, o acabamento caracterizado pelo uso de concreto aparente sem revestimentos ou acabamentos superficiais, expõe a textura e ranhuras naturais como essenciais a aparência final. Esse tipo de superfície oferece características favoráveis para receber o material desenvolvido no estudo, pois as superfícies aglomeradas com cristais de cimento *Portland* permitem que novas camadas sejam aderidas a ela, mesmo que apresentem outras características estruturais ou composição.

No estudo desenvolvido por (Almeida, 2019), o sistema construtivo em alvenaria apresentou menor desempenho térmico em comparação aos sistemas com paredes de concreto com adições de materiais porosos, pois o ar se aproxima mais da propriedade isolante.

Incorporados às paredes, tetos e pisos, esses materiais contribuem para manter a temperatura estável nos espaços internos e reduzem a demanda por energia para aquecimento ou resfriamento em sistemas de climatização, (Alafia, 2024).

Ao sobrepor outro material a uma superfície existente, configurado para reagir à luz, se estabelece uma interface adequada a requisitos de eficiência, similares à aplicação de elementos ou texturas de envoltória (stoubi, 2021), como demonstrado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Edifício Pirelli – arq. Marcel Breuer (1969), New Haven - Connecticut, EUA.



Fonte: © Becker + Becker

Figura 2. Aplicação de película sobre concreto aparente em Edifício Administrativo transformado em Hotel sustentável, 2020



Fonte: © Becker + Becker

O controle de incidência a radiação solar acontece em escalas antagônicas. Em escala infinitesimal, a dissipação ou absorção de calor acontece através do controle da captação de incidência direta dos raios UV, otimizando seu espalhamento em função das propriedades dos materiais, textura de superfície e espectro-seletivo de ondas de luz natural que ao colidirem em escala nano métrica, permitem que a energia dessas ondas seja obstruída ou conduzida por meio de distorções relativas ao *tempo*, enquanto elemento fundamental da entropia.

Ao utilizar proporções em microescala de agregados e ao modificar as ligações químicas isoladas ou compostas, utilizou-se a luz natural para interagir com elementos dispostos em multicamadas e provocar reações para alterações de *tempo* na troca de energia.

Assim, um modelo com probabilidades entrópicas pode ser previsto em função de variáveis: químicas do material, mecânica celeste ao redor do nosso planeta, velocidade da luz, adições de elementos, seguindo fundamentos contidos na Segunda Lei da Termodinâmica que distingue a capacidade na troca de energia entre “*dois tempos*”.

No “*primeiro tempo*” a troca de energia se caracteriza na condutividade. A “desordem” causada pela velocidade da luz atua como “*flecha do tempo*”. No “*segundo tempo*” o caos se instala e a troca dessa energia se dissipa ou se instala na matéria fazendo com que em ambos os casos “*os tempos*” relacionados à velocidade da luz estabeleça o limite para a causalidade e a percepção do presente/passado, passam à ser arranjados em condições de troca e fluxos de energia desejados. As escalas e quantidades as quais esses princípios acontecem como demonstrado na Tabela 1, divergem em grandeza da escala humana na arquitetura, mas, sua influência constantemente será perceptível.

Assim, em **0**|tempo (não decorrido → não haverá transformação) e com **I**|energia (ocorre o equilíbrio térmico → máximo possível).

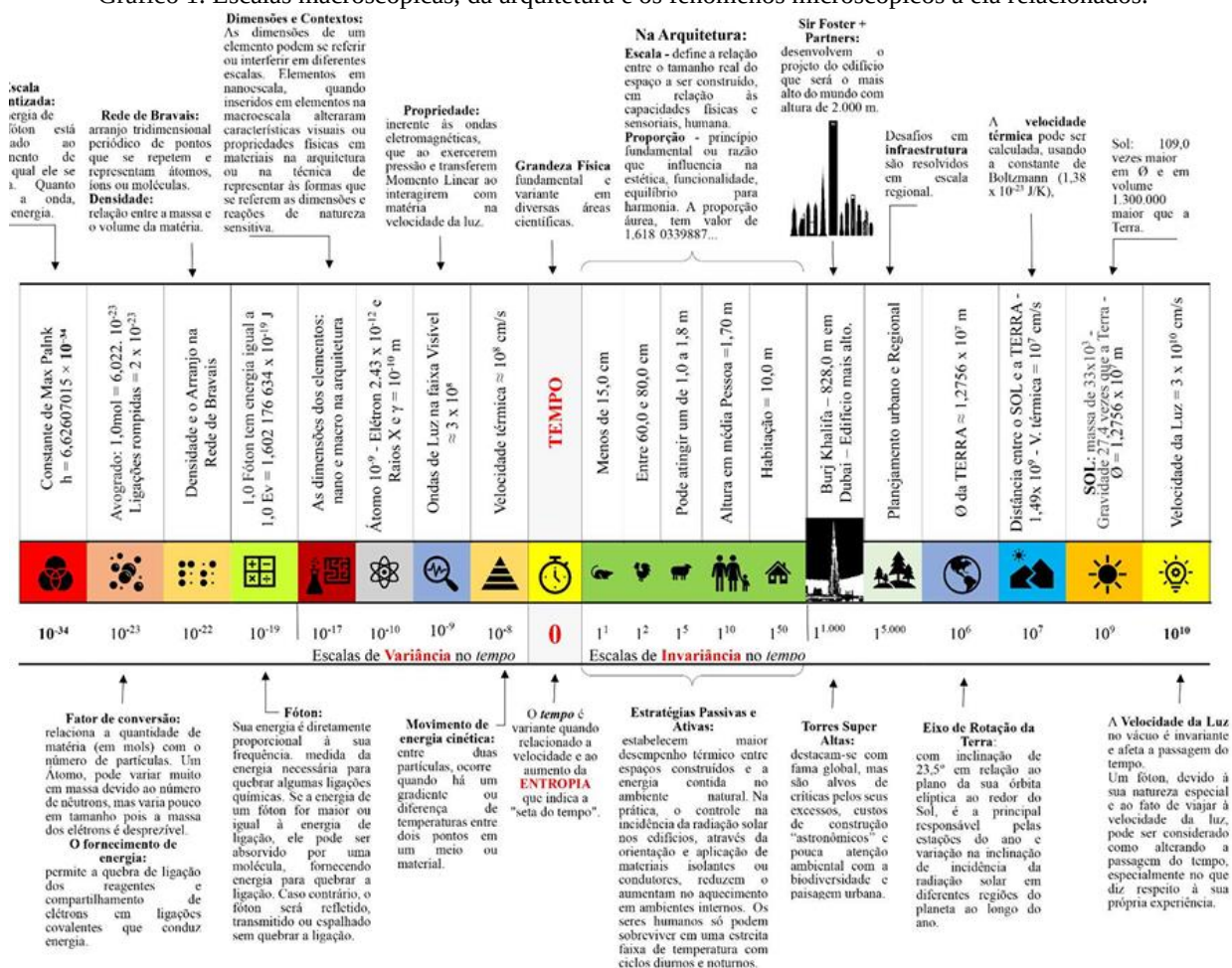
Os princípios fundamentais contidos nas propriedades dos elementos naturais estão sequencialmente contidos na Figura 03

Figura 03: Os elementos fundamentais, na Teoria da Relatividade Geral (Einstein, 1905), que quando unidos (compostos) distorcem o *tempo*. A massa da Terra se torna desprezível nesta teoria.

$$^1\text{Luz}^{(\text{Cinética})} \rightarrow ^2\text{Energia}^{(\text{Potencial})} \rightarrow ^3\text{Tempo}^{(\text{Grandeza 1})} \xrightarrow{\text{Ciclos}} ^4\text{Espaço}^{(\text{Grandeza 2})} \rightarrow ^5\text{Massa}^{(\text{Inércia})} \quad (1)$$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 1. Escalas macroscópicas, da arquitetura e os fenômenos microscópicos a ela relacionados.



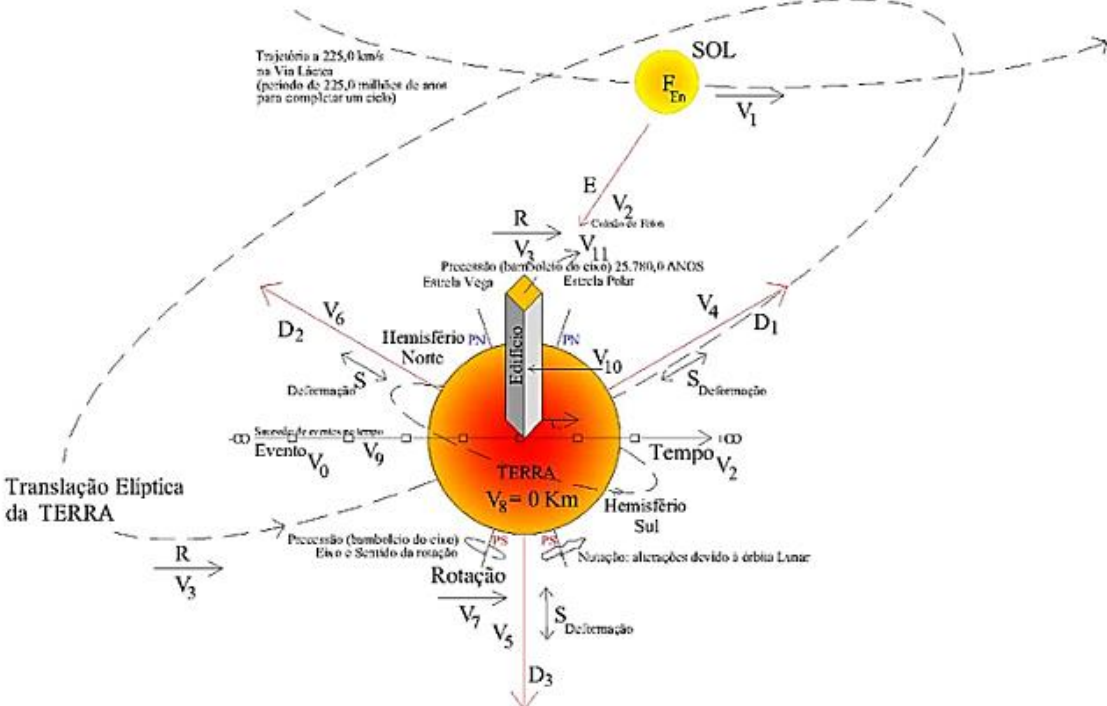
Fonte: Elaborado pelos autores

Na escala celestial, a velocidade relativa entre a Terra e o Sol é definida pelo movimento de translação, na órbita elíptica a qual a Terra realiza ao redor do Sol. A velocidade orbital (V_3) se dá com variação ao longo do ano altera a recepção da radiação solar na superfície do nosso planeta, embora esse não seja esse o principal fator. No periélio a velocidade de translação será mais rápida em função da gravidade do Sol (30,27 km/s) no afélio (29,27 km/s).

Devido a esta pequena variação, existe uma diferença física mensurável de **7,0%** maior amplitude térmica na propagação e recepção dos raios solares quando a Terra se encontra no **periélio**. Essa diferença **sutil** não altera significativamente as oscilações térmicas, mas, a inclinação do eixo da Terra será o fator principal no desequilíbrio térmico entre meio ambiente e os espaços construídos.

Portanto, a variação térmica diretamente afetada pela quantidade de raios solares, resultam em áreas tropicais próximas ao equador, que recebem alto ganho de energia o ano todo, enquanto as altas latitudes próximas aos polos (N-S) sofrem perda de energia ao alternarem entre longos

A figura 4 demonstra a estrutura celeste dinâmica que orbita o nosso planeta e o sol com



A pesquisa foi direcionada ao entendimento dos meios de captação, condução o

propriedades possam ser adequadas ao propósito que se busca, em comportamentos e também formular uma consequência significativa ao escolher elementos ou meios que resultem em um novo efeito esperado.

Suas funções e componentes são requisitos para desempenho na formulação de interações e para que os parâmetros de processamento sejam estruturados e ajustados as propriedades requeridas.

Para desenvolver o material, analisar e comprovar seus efeitos, considerando o “*tempo relativo*” o comportamento frente a condutibilidade ou isolamento do material, foram montados arranjos de equipamentos para atender parâmetros técnicos de coleta de dados, normas técnicas e mensuração.

Aspectos metodológicos e procedimentos como: micro estruturação dos agregados, aglomerante, hidratação e dopagem com elementos químicos das amostras e exposição do material à radiação solar foram catalogados.

Simulações para avaliar o desempenho do material entre variáveis físicas e elementos naturais foram empregados. A aplicação de modelagem bidimensional, possibilitou a visualização da posição das partículas de basalto e análise das dimensões e posicionamento dos grupos de partículas e maior índice de empacotamento entre elas.

Considerando que os resultados deveriam ser únicos, bem projetados e aplicáveis tanto na produção quanto na utilização, o estudo enfatizou o reuso de materiais residuais seguindo parâmetros sustentáveis.

Algumas características nas dimensões, forma, composição química e aplicabilidade das partículas foram adaptadas a métodos de manipulação existentes, observando requisitos da Associação Brasileira Normas Técnicas e Diretrizes estabelecidas na **NBR 16915:2021** - Amostragem de agregados destinados a ensaios de laboratório.

Ao combinar estes procedimentos metodológicos, o estudo buscou fornecer uma análise específica de resultados das propriedades adquiridas no material manipulado

Escolha dos Materiais

O Micro Agregado de Basalto, como Estrutura do Material

Os finos (*filler*) de basalto escolhidos considerou a compatibilidade de aderência com superfícies de concreto existentes e a estruturação da película em retículos dopados com elementos químicos adsorvidos e aglutinados com cimento *Portland* CP V ARI que possui partículas menores, alta reatividade e resistência inicial na pega.

O tipo de basalto utilizado foi o *toleítico*, proveniente da **Formação Serra Geral (Grupo São Bento)** com características, cinza escuro mais denso, que apresenta absorção d'água máxima de 0,4 % com 0,16 (g/min) e de 0,7% com 0,3 % (g/min) e ao possuir maior acidez quanto menor for sua granulometria necessitou de maior controle para tingir alcalinidade. O contaminante mais provável será o material pulverulento ($\pm 20,0\%$) oriundo da britagem, que mostrou ser difícil de ser removido devido às suas pequenas dimensões e alta atração entre partículas (OLIVEIRA, 2012).

A composição morfológica e mineralógica está descrita na Tabela 1

Teores na composição de elementos químicos contidos no Basalto

A Tabela 1 demonstra os resultados das amostragens dos teores e composição química de rochas basálticas em percentuais (%) e teores de óxidos, obtidos através da média dos resultados em 02 amostras.

Tabela 1. demonstra os resultados das amostragens dos teores e composição química de rochas basálticas em percentuais (%) e teores de óxidos

	Composto	Amostra 01	Amostra 02
1.	SiO ₂ - Dióxido de silício	50,107	50,447
2.	Na ₂ O - Óxido de sódio	2,369	2,465
3.	K ₂ O - Óxido de potássio	1,0201	0,933
4.	MgO - Óxido de magnésio	4,887	5,331
5.	Al ₂ O ₃ - Óxido de alumínio	11,920	12,257
6.	P ₂ O ₅ - Pentóxido de fósforo	0,277	0,247
7.	PF - Pentafluoreto de fósforo	1,089	1,169
	Total	99,599	99,868

Fonte: Rodrigues, 2005.

Caracterização das Dimensões em Ø das Partículas, por Peneiramento

O peneiramento consiste na técnica mais utilizada na análise granulométrica de partículas graúdas. No entanto, suas dimensões dos agregados podem variar entre 100,0 mm até 0,038mm em sedimentos e siltes de 0,002 a 0,005mm.

No estudo utilizou-se agregados com dimensões mínimas de até 5,0µm. A Tabela 2 demonstra as quantidades (em massa) por Ø das partículas encontradas nas amostras extraídas na jazida.

A Tabela 02 demonstra os quantitativos classificados para extração do material pulverulento e posterior separação das partículas em Ø adequadas para empacotamento, seguindo o arranjo da Figura 10

Tabela 2. quantitativos classificados para extração do material pulverulento e posterior separação das partículas em Ø adequadas para empacotamento

Quantidades de <i>filler</i> de basalto classificadas por Ø dos grãos						
	Trama (fios/cm ²)	# Abertura (µm)	Amostra Coletada (Kg)	Material Processado (kg)	Material por Ø de partícula (%)	
01.	250	62,5	58,391	58,391	52,62	
02.	270	53,0	22,864	22,864	20,60	
03.	325	45,0	20,821	20,821	18,76	
04.	400	38,5	4,492	4,492	4,04	
05.	500	30,0	3,119	3,119	2,81	
06.	600	25,0	0,425	0,425	0,383	
07.	700	20,0	0,217	0,217	0,195	
08.	800	15,0	0,058	0,058	0,0522	
09.	900	10,0	0,384	0,384	0,346	
10.	1.000	0,05	0,192	0,192	0,173	
Total			110,963	110,963	99,9792	

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 3 demonstra os Ø* das partículas em massa para compor o traço para estruturação das propriedades da película

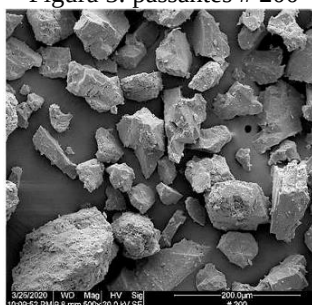
Tabela 3. Quantidade por Ø de partículas que compõe o traço da partícula

Tabela de quantitativos em frações de microagregados na composição da célula unitária					
	Trama (#) Nº de fios	Abertura das tramas (Ø - µm)	Ø - das partículas (mm)	% em Área específica A_v (m²/m³)	Área específica, A_m (m²/Kg)
1.	16	1.000	1,030 – 0,970	-	12,5564
2.	40	425	0,49 – 0,41	-	5,65488
3.	132	111	0,110 – 0,075	0,41%	0,085562
4.	200	75	< 0,075	1,32%	0,070686
5.	230	69	0,075 – 0,063	9,00%	0,059828
6.	250	63	0,063 – 0,053	1,24%	0,042273
7.	270	53	0,053 – 0,045	1,32%	0,036643
8.	325	45	0,045 – 0,038	0,75%	0,021642
9.	400	38	0,038 – 0,030	17,35%	0,014526
10.	500	30	0,038 – 0,025	32,03%	0,012469
11.	600	25	0,025 – 0,020	0,44%	0,006361
12.	700	20	0,020 – 0,015	2,91%	0,003848
13.	800	15	0,015 – 0,010	11,68%	0,001963
14.	900	10	0,010 – 0,005	15,24%	0,000706
15.	1.000	5	< 0,005	6,32%	0,00031416

Fonte: Elaborado pelos autores. $(*)A_{sup\ Esfera} = 4\pi r^2$

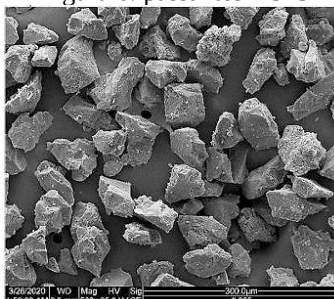
As características morfológicas dos microagregados estão demonstrados nas Figuras 5,6,7 e 8.

Figura 5. passantes # 200



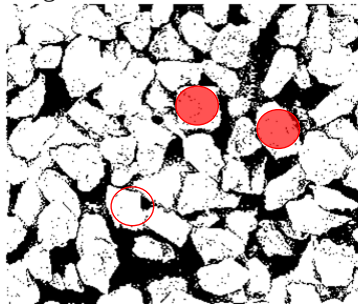
Fonte: Dos autores

Figura 6. passantes # 325



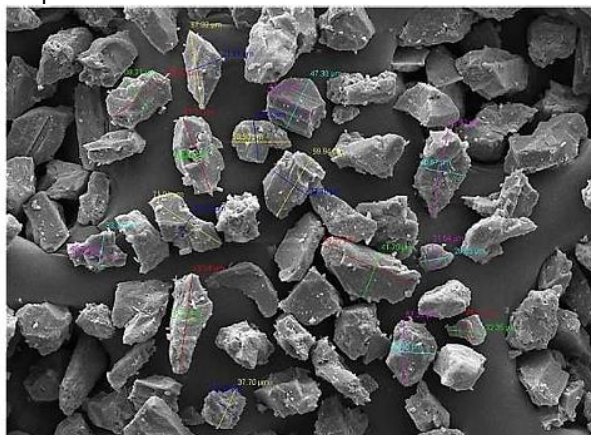
Fonte: Dos autores.

Figura 7. Contraste de formatos



Fonte: Dos autores.

Figura 8. partículas dimensionadas arredondadas e lamelares - # 200



Fonte: Dos autores.

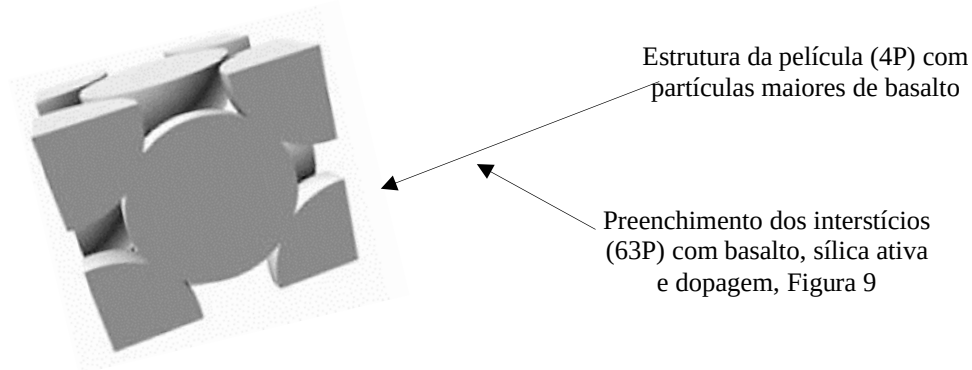
A condutibilidade em semicondutores, consiste na movimentação de elétrons em sentido (de um semicondutor com dopante do tipo n) ao de vazios (num semicondutor com dopante do tipo p). Essa condutividade pode ser alterada por fatores, como: temperatura, dopagem (adição de elementos) e condições ambientais. Os semicondutores são sólidos e quando dopados com substâncias relativamente, inflexíveis formam estruturas cristalinas ou amorfas, em retículos que apresentam estruturas geométricas diferentes.

A célula unitária ou pequena estrutura do retículo será usada para gerar a estrutura geométrica que formará a multiplicação do retículo. Alguns retículos iônicos, descritos como de empacotamento denso de um tipo de íon, com contra íons, (cargas opostas), ocuparam os vazios da estrutura e quando houver perda de elétrons o íon gerado positivo será cátion (perde +) e quando houver ganho de elétrons o íon gerado negativo é ânion (ganha -), demonstrado na Figura 10

Na representação euclidiana Figura 9, uma célula unitária: CFC – Cúbica de Face Centrada caracterizada por alta densidade, existem quatro retículos primitivos de (BRAVAIS, 1848) (indicados por **P**): triclínico (aP), monoclínico primitivo (mP), tetragonal primitivo (tP),

hexagonal primitivo (hP) e cúbico primitivo (cP).

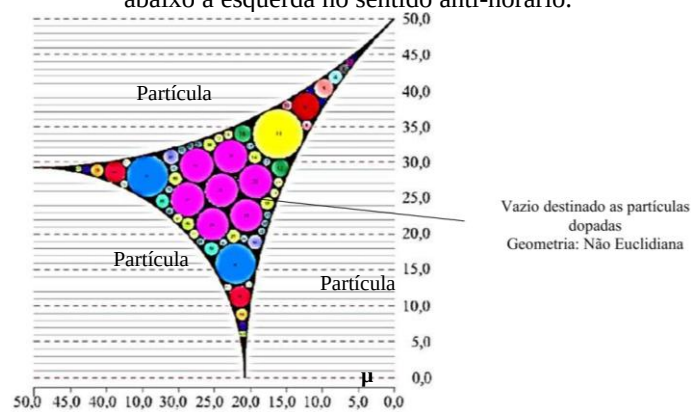
Figura 9. Estrutura **CFC** com 04 partículas interstícios preenchidos com 63 partículas menores de basalto, e sílica ativa dopada com elementos e dosagem específica.



Fonte: Disponível em: <http://engenharia.org/UBN> – Eng. e Ciência_dos_Materiais, 2018.

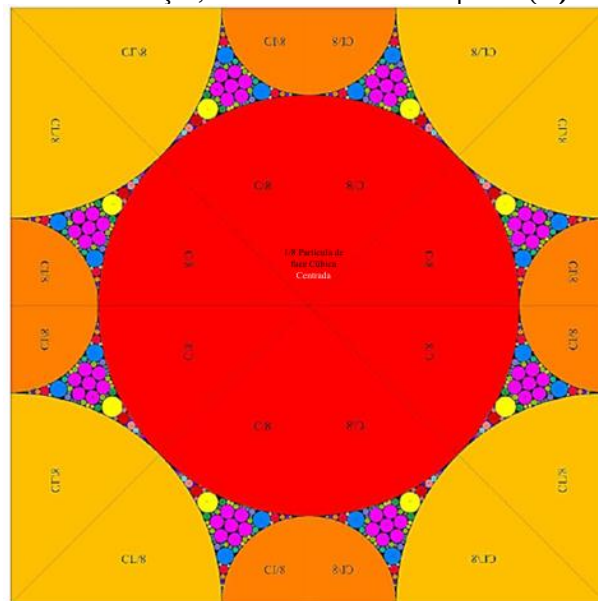
Segundo (ÁVILA, *et al.*, 2018) um empacotamento mais eficiente pode ser alcançado com esferas organizadas de maneira que os espaços vazios diminuam, aumentando o número de esferas por espaço ocupado, como demonstrado na Figura 10

Figura 10. Demonstram os desníveis de patamares e vales entre partículas para preenchimento dos interstícios, após empacotamento. Projeto da CÉLULA PRIMITIVA com 63 partículas e revolução de 8X em 360°, iniciando abaixo à esquerda no sentido anti-horário.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11. Projeto de CÉLULA PRIMITIVA, com 63 partículas com revolução de 8X em 360°, aplicando Simetria de translação, iniciando abaixo na esquerda (U)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Etapas e Procedimentos para Estruturação da Película

Coleta do material: em pilha de finos (*filler*) de britagem ou por aspirador, próximo a câmara de britagem e análise granulométrica preliminar < #200

Separação: desagregação das partículas (unidade) para caracterização por estufa com $100,0^{\circ}\text{C} \pm 5,0$ por 24h, série de peneiras e microscopia;

Caracterização: classificação discreta da forma e angulosidade das partículas, por peneiras com $\emptyset$ de tramas (#) entre: 230 a 1.000 cm^2 e definição do teor de porosidade na superfície;

Empacotamento: Traço das partículas (frações em massa), adição de sílica ativa (1,0%), determinação da massa unitária e do volume de vazios. Determinar massa específica e massa específica aparente;

Mistura dos materiais: após todos os materiais serem classificados e as (partículas) adicionadas e acondicionadas no copo de mistura, permaneceram a 40, 0 rpm por 15,0' perfazendo o arranjo e empacotamento entre as partículas;

Aglomerante: O traço utilizado foi 1:3 – CP V - ARI;

Hidratação: e cura do material durante a pega inicial recebeu em massa 25% de água deionizada seguida da reologia;

Dopagem: em torre de adsorção no sentido vertical ou por lixiviação, com elementos

químicos doadores e receptores de elétrons em teores de 1,0 ppm do elemento adicionado;

Cristalização: os corpos de prova ficaram imersos durante 28d para formação dos cristais e carbonatação do material;

Modelagem dos corpos de prova: Seis unidades de cada elemento utilizado na dopagem em formas planas para exposição à radiação solar e cilíndricos para termopares fonte artificial de calor;

A Tabela 4 demonstra os teores dos elementos, características e resultados físicos dos materiais acabados e analisados em fonte artificial

Tabela 4. Caracterização dos materiais da película e elementos adicionados – Fonte Artificial de Calor

Elementos	Micro agregad. (g)	Silica Ativa (g)	Teor do elemento (g)	Aglomerante (g)	Hidratação (28,0 d.)	Micro agregado Rocha	E.Negatividade ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$)	pH	Temperatura (°C)	Tom na cor da luz	Frequência (THz $\times 10^{12}$)	Comp. de onda do elem. (THz $\times 10^{12}$)	Comp. de onda da solução (nm 10^9m)	Orbital em níveis de valência (TLV)	Energia do elétron de valência no elemento (eV)
1. Referência	40,0	1,2	S. adição	13,33	Imersão	Basalto	-	-	25,6	-	-	-	-	-	-
2. Silica ativa	40,0	1,2	S. adição	14,06	Imersão	Basalto	-	-	25,6	-	-	-	-	-	-
Condutores															
3. Cobalto (Co)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	12,62	8,83	27,5	Azul	680 – 620	440-485	434	$3d^7 4s^2$	7,88
4. Cobre (Cu)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	194,60	10,22	25,9	Verde	600 – 530	500 – 565	572	$3d^{10} 4s^1$	7,73
5. Prata (Ag)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	247,00	9,04	24,7	Violeta	790 – 680	380 - 440	376	$4d^{10} 5s^1$	4,74
6. G. C. Silicon	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	-	-	-	Verde	-	-	-	sp^3	11,26
Isolantes															
7. Prata/Germânio (Ag/Ge)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	65,50	8,45	25,2	Violeta	790 – 680	380 – 440	326	$4d^{10} 5s^1/3d^{10} 4s^2 4p^2$	4,74/0,67
8. Antimônio/Silício (Sb/Si)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	220,0	9,23	24,1	Azul	680 - 620	440 - 485	446	$5s^2 5p^3/3s^2 3p^2$	8,64/1,10
9. Óxido de cobre (CuO)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	10,0	9,05	26,9	Vermelho	480 - 405	625 - 740	640	$3d^9$	2,20
10. Óxido de estanho SnO	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	120,40	9,38	26,6	Violeta	790 - 680	380 - 440	422	$5s^2 5p^2$	3,80

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 5 demonstra os teores dos elementos, características e resultados físicos dos materiais acabados e analisados em exposição à radiação solar.

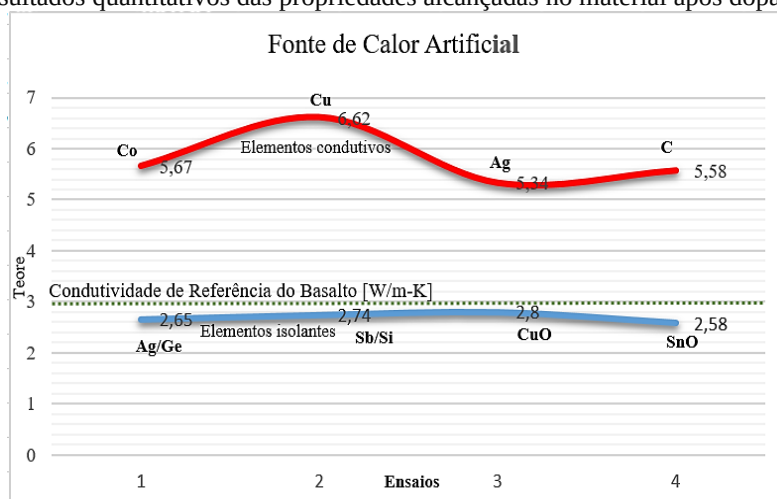
Tabela 5. Caracterização dos materiais da película e elementos adicionados

Elementos	Micro agregad. (g)	Silica Ativa (g)	Teor do elemento (g)	Aglomerante (g)	Hidratação (28,0 d.)	Micro agregado Rocha	Eletro Negatividade ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$)	pH	Temperatura (°C)	Tom de cor na luz	Frequência (THz $\times 10^{12}$)	Comp. de onda do elem. (THz $\times 10^{12}$)	Comp. de onda da solução (nm 10^9m)	Orbital em níveis de valência (TLV)	Energia do elétron de valência no elemento (eV)
1. Referência	40,0	1,2	S. adição	13,33	Imersão	Basalto	-	-	25,6	-	-	-	-	-	-
2. Silica ativa	40,0	1,2	S. adição	14,06	Imersão	Basalto	-	-	25,6	-	-	-	-	-	-
Condutores															
3. Zinco/Silício (Zn/Si)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	165,00	-	25,5	Verde	213 - 307	512	-	$4s^2$	3,4/9,0
4. Nanotubos (C)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	225,00	-	25,9	Vermelho	< 250	800 - 1600	-	Sp^2	+ 0,0
5. Tungstênio (Ag)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	117,70	9,84	25,0	Vermelho	480 - 405	625 - 740	612	$5d^4$	7,98
6. Diamante (C14)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	-	-	-	Fluoresc.	-	-	-	Sp^3	5,60
Isolantes															
7. Estanho (Sb)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	136,60	10,0	25,5	Violeta	790 - 680	380 - 440	338	$5s^2 5p^3$	7,34
8. Zinco (Zn)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	165,00	-	-	Verde	472 - 481	550 - 570	-	$4s^2$	9,39 a 17,96
9. Nitreto de Boro/Silício (BN/Si)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	137,00	9,37	25,1	Azul	680 - 620	440 - 485	434	Sp^3	6,00/1,12
10. Carbono/Germânio/Bismuto (C/Ge/Bi)	40,0	1,2	1,5	14,06	Imersão	Basalto	105,600	9,34	26,2	Azul	790 - 680	380 - 440	422	$4s^2 4p^2/6s^2 6p^3$	11,26/0,67/7,29

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 2 demonstra resultados com desempenho em torno de 14,04%

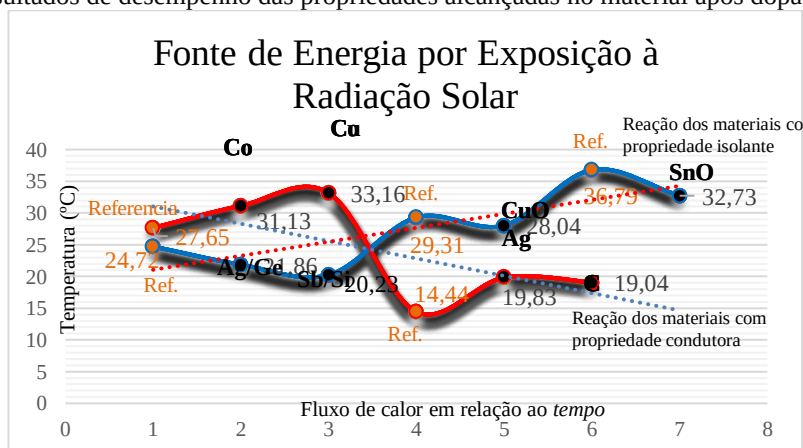
Gráfico 2. Resultados quantitativos das propriedades alcançadas no material após dopagem em $W/m^{\cdot K}$



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os ensaios apresentaram resultados diferenciados nos materiais expostos à radiação eletromagnética e estimulação por resistência à corrente elétrica.

Gráfico 3. Resultados de desempenho das propriedades alcançadas no material após dopagem em $W/m^{\cdot K}$



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os ensaios com os materiais desenvolvidos no estudo demonstraram reações adversas às esperadas. Em temperaturas elevadas, a película demonstrou propriedade isolante e em baixas temperaturas demonstrou propriedade condutora.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A troca da energia acontece em vastas escalas e níveis entre moléculas e através de espaços cósmicas, por ciclos, oscilações e frequências de comprimentos de ondas com interação

de fótons (partículas de luz sem massa) com a curvatura do *espaço/tempo* ao atingir à matéria.

Um fóton ao colidir com a matéria será um “evento” localizado no **tempo**, mas também se espalha por uma infinidade de frequências. Essas ressonâncias enquanto vetores dissipados em quantas de energia ocuparão as camadas de valência dos elementos adicionados à película.

Neste modelo vetorial, a energia dos fótons seria transferida proporcionalmente à frequência, mas inversamente aos comprimentos de ondas.

Entretanto, na escala do espaço construído os comprimentos de ondas da luz natural, variam de **100nm a mais de 1,0mm**. Elas oscilam entre Raios Gama (X) menores que o diâmetro de um átomo $< 10^{-10}\text{m}$ (Ionizantes), entrelaçadas com ondas ultravioleta com **100 a 400nm** invisíveis e ondas intermediárias de luz Visível de 380 - 780nm ao infravermelho de **700nm – 1,0mm**, atuam de uma forma altamente diversificada. A incidência solar causa ofuscamento, alteração da temperatura e do metabolismo de resposta do corpo humano a deterioração dos materiais construtivos, em ciclo diário.

Assim, a energia do efeito fotoelétrico quantizada na frequência das oscilações das ondas luz medida em Hertz (ciclos por segundo) caracteriza diferença relativa entre alta e baixa frequência e também a escala a qual o *tempo* decorre durante a troca de energia. A energia do fóton incidente ($E_f = h.f$) deve superar a "função trabalho" (Φ) do material, a energia mínima quantizada para liberar ou conter os elétrons em seus estados anteriores e posteriores a troca dessa energia.

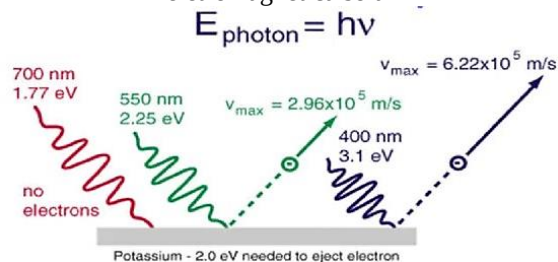
Filmes Finos com Material Semicondutor e Exposição à Radiação Solar

O efeito fotoelétrico poderia ser atribuído à transferência de energia da luz (fóton) para um elétron e deve ser tratado como um fenômeno quântico em dualidade: partículas/ondas. Este efeito caracteriza a capacidade de ejetar elétrons de uma superfície em algum material, principalmente em metais, ao ser exposto a uma fonte luminosa de certa frequência são capazes de conduzir essa energia através da vibração dos elétrons.

Nos elementos ou compostos químicos, os elétrons apenas podem ocupar **níveis de energia específicos**, sem estados intermediários permitidos e quantizados pela fórmula $E = hv$ = $6,63 \times 10^{-34}\text{J.s}$ (PLANK, 1900) que ao alcançar um quanta ou fóton de energia radiante, poderá ganhar ou perder elétrons através de vacâncias nos orbitais de valência.

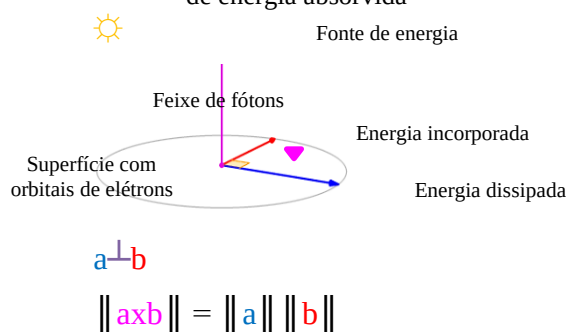
A Figura 04 demonstra o produto vetorial $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$ (vertical, em roxo) varia conforme o ângulo entre os vetores $\mathbf{a}$ (azul) e $\mathbf{b}$ (vermelho) se altera. O produto vetorial é sempre ortogonal a ambos os vetores e tem magnitude zero quando os vetores são paralelos e magnitude máxima $\|\mathbf{a}\|\|\mathbf{b}\|$ quando são ortogonais Figura 13.

Figura 12. Demonstra as reações do elemento potássio em interação com o espectro da luz contido na radiação eletromagnética solar



Fonte: Instituto de Física “Gleb Wataghin”. Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/lmoderna/conteudos/efeito-fotoeletrico/>

Figura 13. O ângulo ortogonal ao qual o feixe de fótons atinge a superfície do elemento, determinará os “quanta” de energia absorvida



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Cross_product. Acesso em 12/05/2026.

Cerca de 99,0% da energia contida na radiação solar, concentra-se em comprimentos de ondas entre $0,15\mu\text{m}$ e $4,0\mu\text{m}$. Destes, 5,0% são raios UV em ondas invisíveis (curtas) entre 100 a 400nm com energia e frequências superiores que conseguem quebrar moléculas e alterar DNA. As ondas térmicas em Infravermelho, 52,0% com 3.000nm estão associadas a energia necessária para agitar moléculas de água e as ondas macroscópicas visíveis ou luz solar (radiação eletromagnética) situadas entre **400 e 700nm**, são as quais as plantas, algas e cianobactérias utilizam para realizar a fotossíntese.

Com estas variáveis nos comprimentos, as ondas do espectro da radiação solar ao incidirem em um corpo serão absorvidas e quando refletidas (geram outros fótons) e a energia transmitida aos orbitais dos elétrons em pacotes discretos, retendo o Momento Linear contido na polarização que descreve a orientação espacial de seu campo elétrico oscilante.

Porém, quando absorvidas, as ondas de energia radiante se transformam em calor e podem ser reemitidas, dependendo da temperatura do referido corpo e, quanto mais quente estiver este corpo radiante, menor será o comprimento de onda para máxima radiação (Wien, 1893; Stefan, 1879; Boltzmann, 1884), (Kittel, *et al*, 2025).

Entretanto, ao demonstrar o mecanismo de troca da energia transportada pelo campo, eletromagnético (Poynting, 1884) ($\vec{S}$) por vetor, se quantifica a taxa no fluxo de energia direcional por unidade de área (densidade de potência em W/m^2) quando a onda for absorvida, resultará em energia molecular aumentada na forma de calor ao excitar os elétrons, demonstrada na Equação 01 da teoria de conservação ou dissipação da energia

Equação 02. O Teorema de conservação da energia para campos eletromagnéticos, **descreve** como esse tipo de energia pode ser transportada, armazenada e transformada em outras formas de energia (como calor) em um ponto específico do espaço e do *tempo*, na matéria

$$-\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot \vec{S} + \vec{J} \cdot \vec{E} \quad (2)$$

onde:

$$-\frac{\partial u}{\partial t} = \text{taxa de variação da densidade de energia no volume}$$

$\nabla \cdot \vec{S}$ = divergência de energia eletromagnética ao vetor de Poynting ($\vec{S}$) pontual;

$\vec{E}$ = representa a força por unidade de carga ($\frac{v}{m}$) (trabalho sobre as cargas);

$\vec{J}$ = representa a quantidade de carga por unidade de *tempo* e área $\frac{A}{m^2}$ (Campo elétrico) e resulta em um único número real (Produto escalar).

Assim, considerando o ângulo variável na captação de energia da radiação solar, que ao ser interpretada como um vetor linear se deslocando a velocidade da luz, que ao colidir com uma superfície de concreto resulta em reações assimétricas (vetores) de intensidades variáveis devido ao movimento de rotação e translação entre o Sol e a Terra. E quando o *tempo* passa a ser considerado como uma dimensão intrínseca às dimensões espaciais euclidianas (altura, largura, profundidade) gera o “continuum quadridimensional” e passa a alterar fundamentalmente a percepção física dos eventos, (MINKOWSK, 2012), na escala a qual a energia (sem massa) será transmitida o que fará com que o *tempo* (nesta ínfima escala) também “se curve”.

Ou seja, ao invés da proposição para aplicação de camadas espessas de materiais de

isolamento térmico destinados ao equilíbrio da temperatura e conforto nos espaços construídos expostos a radiação, será proposto a manipulação de ligações químicas em finas camadas de superfície para interagirem com a luz diariamente e determinem o estado (anterior/posterior) ao provocar a irreversibilidade (direção do *tempo*→) através da desordem molecular, dispersão de energia e aleatoriedade enquanto propriedades **fundamentais** contidas em um sistema e no processo entrópico de probabilidades.

A Entropia em Sistema Aberto no Edifício

O princípio fundamental da termodinâmica relacionado ao equilíbrio térmico será a definição de temperatura ou grandeza física que mede o nível de agitação ou energia em um corpo ou sistema. O que significa apenas ser válido, comparar e alterar a temperatura de um sistema se ele estiver em equilíbrio, ou seja, se todos os seus pontos (volume) ou partes (massa) estiverem com o mesmo nível de agitação molecular (energia cinética interna).

Nesse princípio, o calor “reconhece” a diferença térmica entre dois corpos e passa a transitar entre espaços de diferentes temperaturas. Ao permanece em equilíbrio (estacionário) sua temperatura ao sofre alterações (dinâmico). A perda ou ganho de energia apenas se dará caso haja diferença por estímulos naturais (radiação solar, ventos, precipitações) ou artificiais criados (trocadores de calor, aberturas).

Considerando dois diferentes ambientes em separados por uma parede, mas, sem haver troca de energia por calor, conclui-se que os ambientes e materiais encontram-se na mesma temperatura.

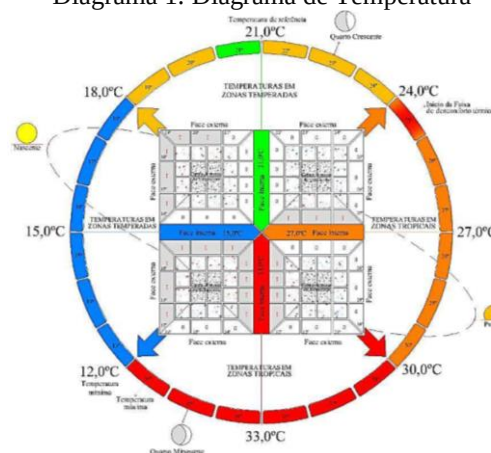
Essa condição será muito difícil de acontecer entre ambientes externos e internos devido as variáveis nas propriedades físicas dos materiais no edifício e as variações climáticas, que passam a ter efeitos variáveis em ciclos diários ou de estações.

Através do Diagrama de Temperatura 01, que demonstra temperaturas variáveis entre espaços externos, o estudo propõe a aplicação da película com a propriedade térmica mais adequada para minimizar a amplitude térmica nos espaços construídos em um período de 24h, Tabela 6

Diagrama de Temperatura 01: Com temperatura de referência em 21°C interno no espaço construído, determina a aplicação das películas, relacionadas em sistema binário, compatibilizadas às propriedades condutoras (I) ou isolantes (0) do material em relação a

temperaturas externas entre 12°C e 36°C do meio ambiente.

Diagrama 1. Diagrama de Temperatura



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 6. Sistema binário para aplicação da película em relação ao diferencial de temperaturas médias entre as faces externas e internas e suas propriedades: Condutoras (I) ou, Isolantes (0)

Результат	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1			
температура (°C)	30	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	31	31	31	30	30	30	31	31	31	32	32	32			
значения индекса																												
Результат	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
температура (°C)	15	15	15	15	16	16	16	17	17	17	18	18	18	16	16	16	15	15	15	16	16	16	17	17	17			
значения индекса																												
	Σ ИЛИ ЛЕВЫЙ							Σ ИЛИ ЛЕВЫЙ							Σ ИЛИ ПРАВЫЙ							Σ ИЛИ ПРАВЫЙ						

Fonte: Elaborado pelos autores.

No processo de convecção com meio ambiente, as variáveis em função da temperatura média anual relacionadas as estações, ventos predominantes, rugosidade de superfície, intensidade e período de incidência da radiação solar incidente são fatores predominantes na alteração da temperatura devido a diferença de densidade atmosférica.

CONCLUSÕES

A arquitetura e a radiação solar são inseparáveis, pois o surgimento da vida ocorreu com esse tipo de luz, que também interfere na criação de ambientes construídos e na preservação da vida humana junto à configuração urbana para organizar e desenvolver cidades. O planejamento edificado e urbano, ao promover melhorias para ocupação com serviços essenciais, assegura o direito a espaços públicos acessíveis e privados, que ao receberem luz solar e o uso eficiente dos recursos naturais se reverterá em qualidade de vida aos seus habitantes.

Assim, a energia (na forma que for) e a dimensão do *tempo* (de percepção e experiência sensorial) são também, inseparáveis desses espaços, e em proporções assimétricas produzem

impactos significativos que afetam o uso desse recurso (Santos, 2023) e, mais diretamente, a sustentabilidade.

Atualmente, reações negativas às mudanças climáticas tornaram-se evidentes, devido às ações humanas hostis ao frágil e poderoso meio ambiente, e suas reparações exigem equilíbrio nestas ações de preservação como legado à resiliência da biodiversidade, às futuras gerações.

Ao desenvolver o estudo de “um design” entre partículas empacotadas de basalto com adições de elementos químicos em arranjo micro estruturado para formação de uma película com “abordagem ativa” em materiais passivos para a construção civil, focada na gestão da radiação solar e no conforto térmico que, aderida às superfícies de edifícios, perfila às ondas de luz contidas na radiação solar em quantidades de energia compatíveis às capacidades térmicas de estruturas e fechamentos.

Para isso, no decorrer da formação de microestruturas com cristais de cimento *Portland*, onde as reações são complexas e dinâmicas na hidratação entre partículas, houve a adição em quantidades precisas de elementos que configuraram alterações em propriedades originais, as quais influenciaram em suas características físico-químicas, com o propósito de estabelecer maior ou menor condutividade térmica no estado de energia da superfície e através do material ao qual a película estiver aderida.

Os ensaios demonstraram melhor equilíbrio entre a radiação solar absorvida, reemitida e refletida nas superfícies planas dos CPs expostos a incidência direta em ciclos de 30,0”, aos quais alcançaram significativas variáveis de desempenho em condutividade ou isolamento em comparação ao material de referência não manipulado (dopado).

As características apresentadas, embora em pequeno teor, após manipulação não são compatíveis com o comportamento padrão de materiais semicondutores, mas se aproxima dos metais.

Portanto, essas películas com propriedades específicas quando aderidas à superfícies com orientações geográficas definidas através de projetos com base no uso de Softwares da trajetória solar e texturas de superfície, resultará em eficiência térmica ordenada, como medida preventiva em captar quantidades condicionadas à intensidade desse tipo de energia e a capacidade calorífica do edifício.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Francisco Cláudio Morato Leite – Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU) – Coordenador do Laboratório de Materiais de Construção – LabMat - UEL, que permitiu o uso das instalações para desenvolver este estudo e sua inestimável colaboração.

REFERÊNCIAS

ALAFIA, A. Arquitetura, Interiores, Paisagismo e Obras – Trabalhos Realizados – Arqfuk. Disponível em: <https://www.arqfuke.com.br/author/agalafia/>, 2024.

ALMEIDA, T.; PIMENTEL, F.; VELASCO, R. **Análise Térmica de Concretos com a incorporação de Agregados Leves**. Rio de Janeiro: FAU (UFRJ), 2019.

ÁVILA, S. G. de., BECKER, M. **Mineralogia e Cristalografia** - Editora e Distribuidora Educacional S.A., 184p, 2018 - ISBN 978-85-522-0742-9

BRAVAIS. A. **Redes de Bravais - Tratado dos Études Cristallographique, 1866**. ISBN 978-0274758050 – 400p, Edição da *Wentworth Press*, 2018.

BERTTHOLD, K. **Arquitetura Passiva Alia Inovação e Ancestralidade - Instituto Passivhaus, Alemanha, 2025 – Disponível em: <https://habitability.com.br/casas-passivas/>.**

BOLTZMANN, L. (1884). **Ableitung des Stefan'schen Gesetzes...** Annalen der Physik, 1884, 291-294.

BORGE, D. D.; COLMENAR, S., A.; PÉREZ, M. C.; CASTRO, G., M. **Passive climatization using a cool roof and natural ventilation for internally displaced persons in hot climates: Case study for Haiti**. Building and Environment, v.59, n., p.116 126, 2013.

EINSTEIN, A. **Teoria Geral da Relatividade Restrita (ou Especial) - Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento**, Revista “Annalen der Physik”, nº 17, 1905.

KITTEL, Charles; KROEMER, Herbert. **Thermal Physics**. 2. ed. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2025. 494 p. ISBN 979-8311197472.

HALEWOOD, J.; WILDE, P. **Simulation-based assessment of the prospects of cool paints in the built environment in the UK**. In: XXV Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2008, Dublin, PLEA, 2008. Paper n. 125.

HERTZ, Heinrich Rudolph. **Electric Waves: being researches on the propagation of electric action with finite velocity through space**. Tradução de D. E. Jones. Prefácio de Lord Kelvin. Nova York: Dover Publications, 1962. xv, 278 p. ISBN 978-0486600574

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de**

transferência de calor e de massa. Tradução Eduardo M. Queiroz, Fernando L. P. Pessoa. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MA, Y.; ZHU, B. **Research on the preparation of reversibly thermochromic cement-based materials at normal temperature.** *Cement and Concrete Research*, v.39, n.2, p. 90-94, 2009.

MINKOWSKI, Hermann. **Space and Time: Minkowski's papers on relativity.** Tradução de Fritz Lewertoff e Vesselin Petkov. Montreal: Minkowski Institute Press, 2012. 134 p. ISBN 978-0987987143.

OLIVEIRA, P. C. **Caracterização geológico-geotécnica de diferentes litotipos basálticos: basalto denso, basalto vesículo-amigdaloidal e brecha basáltica.** 2012. Dissertação/Tese – Dep. Geotecnia, USP, São Carlos, 2012.

PEREIRA, C. D. **Influência da Refletância e da Emitância de Superfícies Externas no Desempenho Térmico de Edificações,** Tese de Doutorado, Eng. Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

PLANK, M. **Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia no Espectro Normal,** *Magazin Annalen der Physik (Revista Anais de Física)*, Volume 2, p. 237 a 245, 1901.

POYNTING, John Henry. **On the Transfer of Energy in the Electromagnetic Field,** *Periódic Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume 175, p. 343 a 361, 1884. Online ISSN: 2053-9223.

RODRIGUES, G. L. **Estudo comparativo entre as poeiras respiráveis de basalto e gnaiss na produção de brita nas regiões de Londrina: análise comparativa entre as poeiras de basalto e gnaiss,** 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1005/100517107005.pdf>.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço -Técnica e Tempo, Razão e Emoção – 4ª Edição –** EDUSP - ISBN 10: 8531407133 - ISBN 13: 9788531407130 2023 – Coleção Milton Santos, 2023.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. **Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions.** *Energy and Buildings*, v.39, n.11, p. 1167-1174, 2007a.

STEFAN, J. S. - **Sobre a Relação entre a Radiação Térmica e a Temperatura,** *Anais da Academia Imperial de Ciências em Viena* - Volume 79, p. 391 a 428, 1879.

ROHE, M. V. **Menos é mais: Mies van der Rohe, pioneiro do movimento moderno.** Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/959169/menos-e-mais-mies-van-der-rohe-pioneiro-do-movimento-moderno>.

STOUB, D. **Edifício brutalista de Marcel Breuer será transformado em hotel sustentável,** 2021. Disponível em: [rchdaily.com.br/br/970774/edificio-brutalista-de-marcel-breuer-sera-transformado-em-hotel-sustentavel](https://www.rchdaily.com.br/br/970774/edificio-brutalista-de-marcel-breuer-sera-transformado-em-hotel-sustentavel).

TERRA, J., SOBROSA, T., THOMPSON, F., KELMAN, R. **Impactos das Mudanças**

Climáticas no Planejamento da Geração de Energia Elétrica - Projeto Sistemas de Energia do Futuro, 22025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados/publicacao-914/Produto%208%20-%20Aspectos%20Regulament%C3%B3rios_vfinal%200311.pdf.

WIEN, W. **On the Laws of Thermal Radiation**. [Nobel Lecture, December 11, 1911]. In: *Nobel Lectures, Physics 1901-1921*. Amsterdã: Elsevier Publishing Company, 1966. Disponível em: Nobel Lectures - Physics 1901-1921 (Internet Archive) e no site oficial do NobelPrize.org.