



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

PLATAFORMA ONLINE PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS DA REANÁLISE MERRA-2 DA NASA A SEREM UTILIZADOS EM PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Cléber Faccin¹; Luciano Pivoto Specht¹; Lorenzo Chaves Pacheco¹; Deividi da Silva Pereira¹;
Lucas Dotto Bueno¹; Pedro Orlando Borges de Almeida Junior¹; Silvio Lisboa Schuster¹ &
Gabriel Vicente Ferreira de Carvalho²*

RESUMO

As condições climáticas são fatores relevantes no desempenho dos pavimentos asfálticos. Para a consideração do clima em projetos de pavimentos flexíveis, são necessários dados climáticos com boa qualidade e disponibilidade, tornando interessante a utilização de bases de reanálises atmosféricas como o MERRA-2, elaborado pelo *Global Modeling and Assimilation Office* (GMAO) da NASA. Esses dados são necessários no EICM, modelo desenvolvido nos Estados Unidos e incorporado no método de dimensionamento empírico-mecanicista Americano (MEPDG) para prever a temperatura, umidade, congelamento e desempenho da drenagem de pavimentos asfálticos e de concreto de cimento *Portland*, sendo também utilizado no software FlexPaveTM. O modelo utiliza como dados de entrada a temperatura do ar, a velocidade do vento, a porcentagem de incidência da luz solar, a precipitação e a umidade relativa, medidos a cada hora. Diante disso, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma *online* para acessar e processar os dados climáticos necessários para uso em projetos de pavimentação, considerando os dados horários da reanálise MERRA-2 da NASA e as variáveis climáticas de entrada do modelo EICM. Para cumprir o objetivo proposto, foi elaborada uma plataforma em linguagem de programação *R*, hospedada no *shinyapps.io*. A ferramenta acessa os dados da NASA, processa, e disponibiliza o *download* do arquivo em formato *Excel*. A ferramenta desenvolvida é apresentada e um exemplo de utilização é demonstrado. A plataforma pode ser consultada em <https://climatedata.shinyapps.io/MERRA2/>.

PALAVRAS-CHAVE: pavimentos; dados climáticos; MERRA-2; EICM; plataforma.

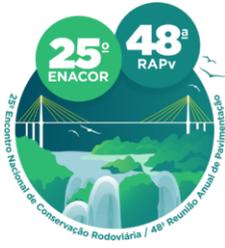
ABSTRACT

Climatic conditions are relevant factors in the performance of asphalt pavements. To consider the climate in flexible pavement projects, climate data with good quality and availability is required, making it interesting to use atmospheric reanalysis bases such as MERRA-2, prepared by the Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) of NASA. These data are needed in the EICM, a model developed in the United States and incorporated into the American Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) to predict temperature, humidity, freezing and drainage performance of asphalt pavements and Portland cement concrete, which is also used in the FlexPaveTM software. The model uses as input data the air temperature, wind speed, percentage of sunshine, precipitation, and relative humidity, measured every hour. Therefore, the objective of this work is to develop an online platform to access and process the necessary climate data for use in paving projects, considering hourly data from NASA's MERRA-2 reanalysis and the input climate variables of the EICM model. To achieve the proposed objective, a platform was developed in R programming language, hosted on shinyapps.io. The tool accesses NASA data, processes it, and downloads the file in Excel format. The developed tool is presented, and an example of use is demonstrated. The platform can be consulted at <https://climatedata.shinyapps.io/MERRA2/>.

KEY WORDS: pavements; climate data; MERRA-2; EICM; platform.

¹ Universidade Federal de Santa Maria, crfaccin@gmail.com; luspecht@ufsm.br; dsp@ufsm.br; lucas.bueno@ufsm.br; lorenzochaves70@gmail.com; silvioschuster@gmail.com; pedro.junior@ufsm.br

² Engenheiro Civil, engvfcarvalho@gmail.com



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

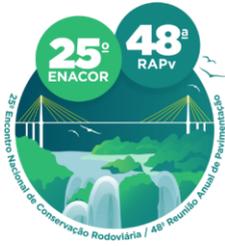
O desempenho dos pavimentos flexíveis depende de vários fatores, incluindo o tráfego, as condições climáticas e as propriedades dos materiais. As condições climáticas são fatores relevantes no comportamento dos pavimentos asfálticos e, conseqüentemente, na vida útil dessas estruturas (CRONEY e BULMAN, 1972; HASAN, HILLER e YOU, 2015). Variações na temperatura e na umidade ambiente podem alterar as propriedades dos materiais, afetando o desempenho geral do pavimento (GOPISETTI et al., 2021; MEDINA e MOTTA, 2015).

Em virtude da importância do clima no comportamento/desempenho dos pavimentos flexíveis, é relevante a consideração dos parâmetros climáticos nas etapas de projeto e seleção de materiais em obras de pavimentação, especialmente no contexto do Brasil. O território brasileiro é continental, com alta variabilidade climática, abrangendo desde clima equatorial no Norte do Brasil, com mais de 3100 mm de precipitação anual, até clima semiárido em algumas regiões do Nordeste, com menos de 700 mm anuais, e apresentando variação de temperatura média anual do ar entre 12°C e mais de 26°C (ALVARES et al., 2013). Além disso, em um contexto de evolução para métodos mecanísticos-empíricos de dimensionamento, os dados de temperatura do pavimento são necessários em projetos utilizando o CAP-3D, o FlexPaveTM, em futuras atualizações do MeDiNa, e na seleção de ligantes asfálticos considerando a Especificação *Superpave*.

Para a consideração do clima em projetos de pavimentos flexíveis, são necessários dados climáticos com boa qualidade e disponibilidade, necessários para calcular a temperatura do pavimento asfáltico. De acordo com Faccin et al. (2022), para os estudos relacionados à pavimentação, no Brasil, percebe-se a predominância da utilização de dados climáticos observados nas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Entretanto, conforme os autores, a rede meteorológica nacional operada pelo Instituto apresenta alguns problemas e limitações: variação significativa em termos de densidade de estações por unidades federativas; diversas estações que foram implantadas recentemente, portanto, sem disponibilidade de dados históricos; outras com dados faltantes ou séries históricas com falhas de medição; estações desativadas, reduzindo a quantidade passível de utilização; e ainda, regiões do país, como a Norte, com poucas estações meteorológicas, o que pode afetar a qualidade dos dados a serem utilizados em um projeto de pavimento nessa região.

Alternativa aos dados do INMET é a utilização de dados climáticos de reanálises atmosféricas como o MERRA-2, assim como já é feito nos Estados Unidos, por exemplo. Os dados do MERRA são recomendados e utilizados para uso no Projeto Mecanístico-Empírico de Pavimentos (MPEDG) Americano e no cálculo do PG (LTPP Bind 3.1) do referido país (FHWA, 2018). O MERRA-2 (GELARO et al., 2017) é o estado da arte das reanálises atmosféricas, sendo elaborado pelo *Global Modeling and Assimilation Office* (GMAO) da NASA, e cada vez mais utilizado no monitoramento do clima (CLAUDINO et al., 2021).

Os dados do conjunto MERRA-2 são baseados em uma análise da combinação de observações terrestres, de satélite, oceânicas e atmosféricas, sendo as principais características apresentadas na



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 1. O resultado é um conjunto de parâmetros meteorológicos em grade uniforme que cobre todo o globo. No Brasil, há 2278 células que abrangem toda a extensão territorial, conforme pode-se observar na Figura 1. A reanálise MERRA-2 apresenta grande potencial como fonte de entrada de dados climáticos para projetos relacionados à pavimentação no Brasil, uma vez que possui um extenso banco de dados, excelente cobertura espacial, dados uniformes e já foi validado em outros países, como os EUA.

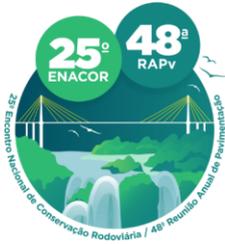


Figura 1. Mapa com a localização dos centroides das 2278 células MERRA-2 no Brasil (AUTOR, 2023)

Tabela 1. Resumo das características da reanálise MERRA-2 (SIEFERT et al., 2021)

Fornecedor	Período disponível	Resolução espacial	Referência
NASA GMAO	1980-presente	0,5° x 0,625°	(GELARO et al., 2017)

A previsão da temperatura do pavimento asfáltico pode ser realizada por meio de: (1) técnicas numéricas e de elementos finitos; (2) abordagens teóricas e analíticas; e (3) modelos estatísticos e probabilísticos (ADWAN et al., 2021). Alternativa muito utilizada para a definição da temperatura do pavimento é o *Enhanced Integrated Climatic Model* (EICM). O EICM é o estado da prática para calcular os perfis de temperatura em pavimentos (BRYCE et al., 2021), podendo ser utilizado em



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



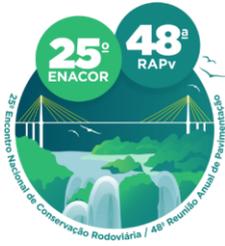
projetos mecânicos-empíricos de pavimentos ou para o cálculo das temperaturas máximas e mínimas na etapa de seleção de ligantes, conforme demonstrado no estudo de Swarna e Hossain (2022). O EICM é um modelo desenvolvido nos Estados Unidos e incorporado no método de Projeto Mecânico-Empírico de Pavimentos (MPEDG) Americano para prever a temperatura, umidade, congelamento e desempenho da drenagem de pavimentos asfálticos e de concreto de cimento *Portland* (ONGEL e HARVEY, 2004), sendo também utilizado no *software* FlexPave™. O EICM é um programa unidimensional de fluxo de calor e umidade acoplado que simula mudanças no comportamento e nas características do pavimento e do subleito. O modelo utiliza como dados de entrada a temperatura do ar, a velocidade do vento, a porcentagem de incidência da luz solar, a precipitação e a umidade relativa, medidos a cada hora. A partir disso, os dados de saída são calculados, também, para cada hora e ao longo de diferentes profundidades do pavimento.

A obtenção desses dados climáticos considerando a reanálise MERRA-2 demanda conhecimento dos parâmetros e portais da NASA pelo projetista de pavimentos, tornando a atividade demorada. Nesse contexto, uma ferramenta capaz de disponibilizar rapidamente os dados climáticos a serem utilizados em projetos de pavimentação é fundamental, agilizando o processo e evitando erros. O Departamento de Transportes Americano, por exemplo, disponibiliza uma plataforma *online* para obtenção dos dados climáticos MERRA para uso no MPEDG (<https://infopave.fhwa.dot.gov/Data/MEPDGInputsFromMERRAMap>), considerando ajustes para a realidade Americana. Uma plataforma desenvolvida para a realidade Brasileira possibilitará possíveis futuros ajustes nos dados climáticos, adequados à necessidade da comunidade pavimentação do país, além da consideração de boas práticas, como a sugerida por Gopiseti et al. (2019) para o ajuste da porcentagem de incidência da luz solar, por exemplo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma *online* para processar e baixar os dados climáticos necessários para uso em projetos de pavimentação. Para isso, são considerados os dados horários da reanálise MERRA-2 da NASA, sendo as variáveis escolhidas as utilizadas no modelo EICM: temperatura do ar, velocidade do vento, porcentagem de incidência da luz solar, precipitação e umidade relativa.

METODOLOGIA

A Figura 2 apresenta a metodologia adotada no presente trabalho, identificando as principais etapas necessárias para o atingimento do objetivo proposto.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

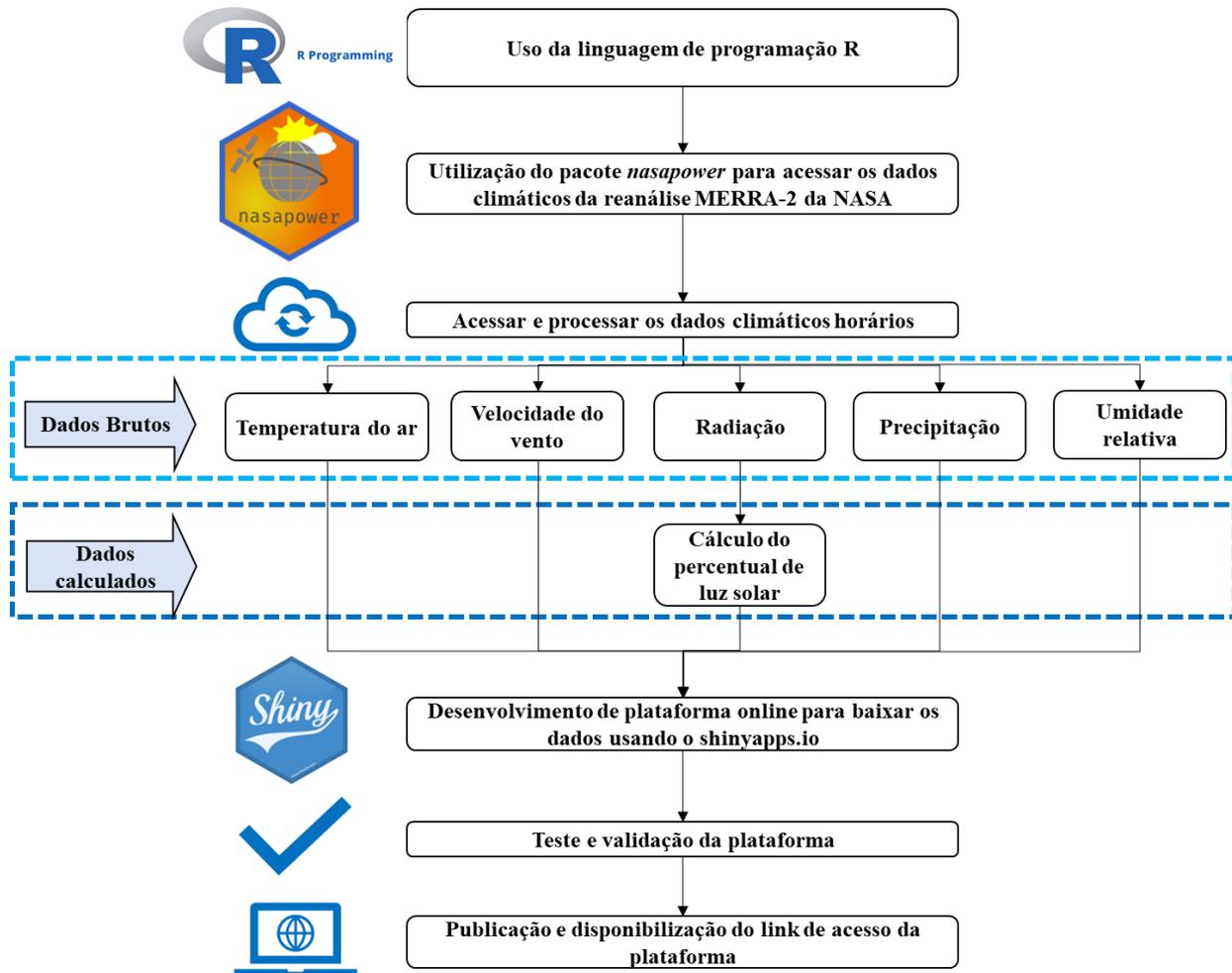
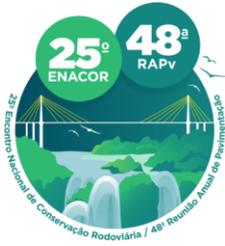


Figura 2. Fluxograma do trabalho (AUTOR, 2023)

Foram considerados os dados climáticos necessários para o EICM, em virtude de ser o estado da prática para o cálculo das temperaturas de pavimentos nos principais métodos mecanísticos-empíricos da área: FlexPaveTM e MPDEG. Tais dados já vêm sendo utilizados em diversos trabalhos de pesquisa realizados no país. Eles também podem ser usados para outros fins, como o cálculo do PG (Grau de Desempenho), por exemplo.

Todo o trabalho foi desenvolvido na linguagem de programação R (R CORE TEAM, 2023). Os dados climáticos horários brutos, relacionados na Tabela 2, são acessados por meio do pacote *nasapower* (SPARKS, 2018;2023), e posteriormente processados para ajustar ao padrão do EICM. Após isso, é gerado um arquivo Excel com os dados de saída. Em relação ao padrão das horas, utilizou-se o padrão internacional UTC (Coordenada de Tempo Universal), com referência ao Meridiano de *Greenwich*, equivalente ao horário de Londres, que corresponde a 3 horas a mais em relação ao horário de Brasília, possibilitando o uso da ferramenta em qualquer local do globo que disponha de dados da reanálise MERRA-2.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 2. Variáveis climáticas avaliadas (dados brutos e processados) (AUTOR, 2023)

Variável MERRA-2 (dados brutos)	Dados climáticos brutos	Dados climáticos calculados	Unidade dados de saída
T2M	Temperatura do ar a 2 m	-	C°
WS2M	Velocidade do vento a 2 m	-	m/s
ALLSKY_SFC_SW_DWN	Radiação de ondas curtas recebida ao nível do solo	SSR – Percentual calculado de incidência de luz solar	%
TOA_SW_DWN	Radiação de ondas curtas incidente em uma superfície horizontal no topo da atmosfera		
PRECTOTCORR	Precipitação	-	mm
RH2M	Umidade relativa a 2m	-	%

Conforme Gopiseti et al. (2019), a porcentagem de luz do sol é usada como entrada no EICM para estimar semi-empiricamente a radiação de ondas curtas que atinge a superfície do pavimento (Q_i), conforme a Equação 01:

$$Q_i = R \times \left[A + B \frac{S_c}{100} \right] \quad (01)$$

Onde,

Q_i é a radiação de ondas curtas recebida ao nível do solo

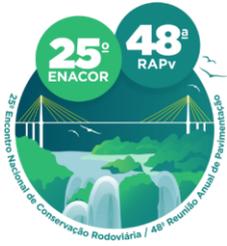
R é a radiação de ondas curtas incidente em uma superfície horizontal no topo da atmosfera (isso depende da constante solar, da latitude do local, da hora do dia e da variação sazonal da declinação solar)

A , B são constantes empíricas que respondem por espalhamento difuso e adsorção pela atmosfera (considerado 0,202 e 0,539, respectivamente)

S_c é a porcentagem média de luz solar

Em virtude do MERRA-2 disponibilizar os dados de Q_i e R da Equação 01, é possível calcular os valores da porcentagem de luz do sol, por meio do *software* R. Os valores de porcentagem de luz do sol calculados usando essa abordagem são usados para substituir os valores de porcentagem de luz do sol nos arquivos de entrada de dados meteorológicos. A abordagem é recomendada nos trabalhos de Gopiseti et al. (2019,2021), nos quais os autores identificaram que o processo eliminou quase todas as discrepâncias de previsão do desempenho dos pavimentos usando dados MERRA-2.

Por fim, foi desenvolvida uma plataforma para que o projetista de pavimentos possa consultar os dados climáticos do local do projeto, por meio da utilização da plataforma *shinyapps*. A plataforma foi testada e posteriormente disponibilizada *online* para utilização.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 é apresentada a interface da plataforma, disponível para utilização no link <https://climatedata.shinyapps.io/MERRA2/>.

Download de dados climáticos para projetos de pavimentação

Este recurso permite que o usuário baixe o arquivo climático histórico obtido dos dados MERRA-2 para uso em projetos de pavimentação.

O formato do arquivo é o seguinte:

YYYYMMDDHH é a referência de ano, mês, dia e hora, respectivamente

T2M é a temperatura do ar a 2m (C°)

WS2M é a Velocidade do vento a 2m(m/s)

SSR é a porcentagem de incidência da luz solar ajustada

PRECTOTCORR é a precipitação (mm)

RH2M é a umidade relativa a 2m (%)

Referência para consulta: Trabalho RAPV

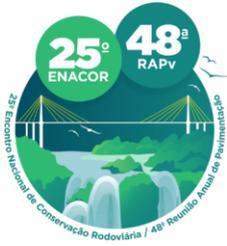
Download

Figura 3. Interface da plataforma (AUTOR, 2023)

Ao acessar a plataforma, o usuário deve inicialmente informar o período de interesse. Pode-se utilizar datas a partir do ano de 1985. Após isso, ele deve informar o local onde objetiva extrair os dados processados, inserindo as informações de latitude e longitude (padrão de coordenadas geográficas). As coordenadas podem ser consultadas diretamente no *google maps*, clicando com o botão direito do mouse para o local de interesse, conforme demonstrado na Figura 4.



Figura 4. Exemplo de consulta das informações de latitude e longitude do local de interesse (GOOGLE MAPS, 2023)



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Com as informações preenchidas, o usuário deve clicar no botão “Gerar Dados” e posteriormente em “Download”. Após, deve aguardar que a planilha será gerada e baixada na pasta de *Downloads* do computador do usuário.

A fim de demonstrar a forma de utilização da plataforma, a Figura 5 apresenta um exemplo com as informações preenchidas para a cidade de Santa Maria/RS, considerando o período de 01/01/2021 até 31/12/2021.

Download de dados climáticos para projetos de pavimentação

Selecione o período:

2021-01-01 to 2021-12-31

Latitude:

-29.71691

Longitude:

-53.71811

Gerar Dados

Este recurso permite que o usuário baixe o arquivo climático histórico obtido dos dados MERRA-2 para uso em projetos de pavimentação.

O formato do arquivo é o seguinte:

YYYYMMDDHH é a referência de ano, mês, dia e hora, respectivamente

T2M é a temperatura do ar a 2m (C°)

WS2M é a Velocidade do vento a 2m(m/s)

SSR é a porcentagem de incidência da luz solar ajustada

PRECTOTCORR é a precipitação (mm)

RH2M é a umidade relativa a 2m (%)

Referência para consulta: Trabalho RAPV

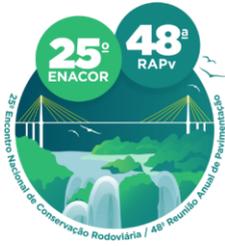
Download

Figura 5. Interface da plataforma preenchida para obtenção dos dados na cidade de Santa Maria/RS (AUTOR, 2023)

A planilha gerada na plataforma apresenta o padrão e os dados demonstrados na Figura 6. Os dados podem ser manipulados pelo projetista para uso nos projetos de pavimentação de interesse.

	A	B	C	D	E	F
1	YYYYMMDDHH	T2M	WS2M	SSR	PRECTOTCORR	RH2M
6	2021010100	15.03	0.4	0	0	73.81
7	2021010101	14.46	0.41	0	0	76.81
8	2021010102	14.08	0.44	0	0.07	80.56
9	2021010103	13.75	0.47	0	0.13	86.62
10	2021010104	13.34	0.43	0	0.13	93.75
11	2021010105	14.94	0.78	60	0.05	91.25
12	2021010106	17.33	0.95	86	0	81.94
13	2021010107	20.66	1	97	0	61.88
14	2021010108	23.7	0.91	100	0	45.94
15	2021010109	26.05	0.89	100	0	37.31
16	2021010110	27.96	0.88	100	0	32.19
17	2021010111	29.4	0.87	100	0	29.19

Figura 6. Planilha gerada pela plataforma (AUTOR, 2023)



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou desenvolver uma plataforma para processamento e *download* de dados climáticos horários a serem utilizados em projetos de pavimentação, considerando a base de dados da reanálise MERRA-2 da NASA.

O objetivo proposto foi atendido, entregando uma plataforma *online* que pode ser utilizada, de maneira simples e rápida, por projetistas de pavimentação de qualquer local do Brasil. Apesar da plataforma buscar atender projetistas brasileiros, a mesma pode ser usada em qualquer outro país. Os dados podem ser utilizados para o cálculo do perfil de temperatura do pavimento por meio do EICM, além de outros fins diversos.

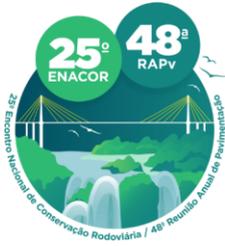
A ferramenta busca contribuir com o estado da prática de pavimentação, em função da demanda de dados climáticos para uso nos projetos da área. A plataforma pode ser consultada em <https://climatedata.shinyapps.io/MERRA2/>, sendo que sugestões de melhorias e ajustes serão muito bem recebidas pelos autores do trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro: à ANP/ PETROBRAS; à CAPES; e ao CNPq pelas bolsas na modalidade Produtividade em Pesquisa – PQ.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, R. et al. Long-Term Pavement Performance Climate Tool User Guide, Federal Highway Administration, EUA, 2018.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil, Meteorologische Zeitschrift, Alemanha, 2014.
- ADWAN, I. et al. Asphalt Pavement Temperature Prediction Models: A Review, MDPI, Suíça, 2021.
- BRYCE, J. et al. Detailing an improved heat transfer model for pavements, Transportation Research Record, EUA, 2021.
- CLAUDINO, C. et al. Validação da reanálise do MERRA-2 com dados observados: Estudo de caso de Itajaí - Santa Catarina, Metodologias e Aprendizado, Santa Catarina - Brasil, 2021.
- CRONEY, D.; BULMAN, J. N. The influence of climatic factors on the structural design of flexible pavements, TRB, EUA, 1972.
- FACCIN, C. et al. Análise estatística de séries de temperatura do ar da reanálise merra-2: estudo de caso – rio grande do sul, Anais do 36º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Ceará - Brasil, 2022.
- GELARO, R. et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), Journal of Climate, EUA, 2017.
- GOPISETTI, L. S. P. et al. Evaluation of four different climate sources on pavement mechanistic-empirical design and impact of surface shortwave radiation, International Journal of Pavement Engineering, Inglaterra, 2019.
- GOPISETTI, P. et al. Assessment of satellite-based MERRA climate data in AASHTO Ware pavement mechanistic-empirical design, Road Materials and Pavement Design, Inglaterra, 2021.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos Pavimentos, Interciência, Rio de Janeiro - Brasil, 2015.
- HASAN, M. R. M.; HILLER, J. E.; YOU, Z. Effects of mean annual temperature and mean annual precipitation on the performance of flexible pavement using ME design, Road Materials and Pavement Design, Inglaterra, 2015.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



ONGEL, A.; HARVEY, J. Analysis of 30 Years of Pavement Temperatures using the Enhanced Integrated Climate Model (EICM). Department of Transportation, California - EUA, 2004.

RSTUDIO, R CORE TEAM. R: The R Project for Statistical Computing, 2023.

SIEFERT, C. A. C. et al. Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro - Brasil, 2021.

SPARKS. A. “nasapower: A NASA POWER Global Meteorology, Surface Solar Energy and Climatology Data Client for R.”, The Journal of Open Source Software, 2018.

SPARKS A. _nasapower: NASA-POWER Data from R, 2023

SWARNA, S. T.; HOSSAIN, K. Climate change impact and adaptation for highway asphalt pavements: a literature review, Canadian Journal of Civil Engineering, Canadá, 2022.