

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Análise Comparativa de Geração de Parâmetros Mecanísticos Obtidos com os Softwares AEMC e WinJULEA

Cássio Bolônia Horta de Oliveira

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, Brasil, cassiobho@yahoo.com.br

Gabriel Inácio Laux dos Santos

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Pelotas, Caxias do Sul/RS, Brasil, gabriel.laux2@hotmail.com

Klaus Machado Theisen

Docente, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, Brasil, theisenkm@yahoo.com.br

RESUMO: O dimensionamento mecânico se utiliza de métodos iterativos, demandando ao projetista a experimentação de uma variedade de parâmetros, com a finalidade de obter séries de resultados e encontrar o conjunto que se adeque ao pavimento. A otimização do processo desse dimensionamento passa pela busca de uma geração de dados de análise mecânica com menor demanda de tempo. Tendo isto em vista, o presente artigo tem como objetivo comparar dois softwares de análise mecânica, o AEMC e o WinJULEA, através dos resultados de parâmetros mecânicos e o tempo de geração destes. Para isso, as análises mecânicas foram feitas com o auxílio de um autoclicker e o Microsoft Excel, de forma a gerar resultados mais rápidos. As comparações foram realizadas através de conceitos estatísticos, representando a totalidade de 729 combinações de espessuras das camadas e módulos de resiliência. O software WinJULEA apresenta resultados com valores superiores ao AEMC para as deflexões máxima e características, tensões e deformações analisadas, raio de curvatura e área normalizada, enquanto o AEMC apresentou valores maiores na previsão de desempenho da vida útil do pavimento, calculada através do N_{FHWA} . Ainda, o WinJULEA apresentou um tempo de geração de resultados substancialmente menor do que o AEMC.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Mecânica, WinJULEA, AEMC, Desempenho de Pavimentos.

ABSTRACT: Mechanistic design uses iterative methods, requiring the designer to experiment with a variety of parameters, in order to obtain a series of results and find the set that suits the pavement. The optimization of this design process involves the search for a mechanistic analysis data generation with less time demand. With this in mind, this paper aims to compare two mechanistic analysis softwares, AEMC and WinJULEA, by the results of mechanistic parameters and their generation time. For this, the mechanistic analysis were performed with the use of an autoclicker and Microsoft Excel, in order to generate faster results. The comparisons were performed using statistical concepts, representing the totality of 729 combinations of layer thicknesses and resilient moduli. The WinJULEA software presents results with higher values than AEMC for the maximum and characteristics deflections, stresses and strains analyzed, radius of curvature and normalized area, while the AEMC presented higher values for the prediction of performance of the pavement life, calculated through the N_{FHWA} . Furthermore, WinJULEA had a substantially shorter time to generate results than AEMC.

KEYWORDS: Mechanistic Analysis, WinJULEA, AEMC, Pavement Performance.



1 Introdução e Objetivos

Desde os anos 70, segundo Borges (2001), foi percebida a necessidade de analisar o pavimento em função da sua deformabilidade, além da análise de sua deflexão máxima, como era feita no método tradicional empírico. Assim, foi criado o método mecanístico-empírico, que considera as características elásticas dos materiais que compõem as camadas do pavimento, e isso pode ser feito com o auxílio de softwares que se utilizam dos conceitos da Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas.

Os métodos de dimensionamento mecanísticos são iterativos, portanto, há a necessidade de o projetista experimentar uma variedade de parâmetros, para assim analisar em conjunto uma série de resultados, de forma a realizar o dimensionamento da forma mais adequada ao pavimento em questão. Para que este processo seja otimizado, se faz necessária uma geração de dados de análise mecanística de maneira mais rápida.

Tendo isto em vista, foram analisados os softwares de análise mecanística AEMC, programa pertencente ao pacote MeDiNa, método este adotado como oficial pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e WinJULEA, programa de interface simples, o que tornaria simples o manuseio de dados em conjunto com o programa Microsoft Excel®.

Foram analisadas estruturas criadas em bancos de dados apresentados em Theisen et al. (2020), Fonseca et al. (2021) e Theisen et al. (2021). Com base nos resultados do presente artigo, tem-se o objetivo de obter conclusões a respeito da análise comparativa entre o tempo de geração de dados/resultados e os parâmetros mecanísticos obtidos com os softwares AEMC e WinJULEA, e assim, busca-se definir a validação ou não do uso do software WinJULEA.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas

Segundo Medina e Motta (2015), é de responsabilidade da mecânica dos pavimentos o estudo dos pavimentos como sistemas em camadas e sujeitos às ações do tráfego. De forma a verificar os números de aplicações de carga que o pavimento é submetido até sua ruptura, seja por excesso de deformações elásticas ou de deformações permanentes, são realizados cálculos de tensões, deformações e deslocamentos, se conhecidos os parâmetros de deformabilidade dos materiais usados na estrutura do pavimento. Normalmente, para que essas operações sejam realizadas, são utilizados softwares, dos quais majoritariamente consideram o pavimento como um sistema de camadas elásticas, conforme a Teoria de Sistema de Camadas Elásticas.

Partindo da teoria de Boussinesq, Donald Burmister (1943) apresentou a Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas (TSCE), a fim de determinar as tensões e deformações em sistemas de duas e três camadas.

De acordo com Medina e Motta (2015), a Teoria de Burmister se baseia nas seguintes hipóteses:

- a) a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área de carga, já que nesta área somente ocorrem tensões normais; no entanto, a grandes profundidades, as tensões e deformações são nulas;
- b) as camadas são homogêneas, isotrópicas e compostas de materiais linearmente elásticos, assim a lei de Hooke é válida e os módulos de tração e compressão são iguais;
- c) o carregamento aplicado é estático, através de um contato flexível, distribuído regularmente dentro da área circular, portanto, no centro da área de aplicação da carga, são encontradas as maiores deflexões;
- d) as camadas não têm peso, são ilimitadas na direção horizontal, com espessura finita, salvo a camada inferior, que possui espessura infinita, e em vista disso, a camada é considerada semi-finita;
- e) são aceitas duas condições de interface entre as camadas: com e sem atrito entre elas;

A Teoria de Sistema de Camadas Elásticas, segundo Santos et al. (2020), tem como objetivo realizar a simulação de alguns danos específicos que foram acumulados ao longo do tempo no sistema de camadas de um pavimento, fazendo uso do princípio básico da análise mecanística-empírica. Utilizam-se modelos de desempenho, partindo das determinações dos estados de tensões e deformações analisados de qualquer ponto da estrutura do pavimento.

A TSCE, desenvolvida por Burmister (1943), abrange alguns passos para a sua solução, listadas abaixo:

- a) expressar a tensão, a deformação e a deflexão em termos da função di-harmônica de Burmister.
- b) definir as condições limitantes.
- c) aplicar a Transformada de Hankel nas condições limitantes.



- d) resolver um sistema de equações lineares para determinar os coeficientes da função de Burmister.
 e) executar a Transformada inversa de Hankel para determinar a tensão, a deformação e a deflexão.

2.2 WinJULEA

O WinJULEA (Windows Jacob Uzan Layered Elastic Analysis) é o programa desenvolvido por Uzan (1978 apud Franco, 2007) que segue uma rotina para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos das estruturas de multicamadas dos pavimentos, utilizando o cálculo analítico com base na teoria de Burmister. Segundo Franco (2007), o software permite análises em três dimensões, porém, o cálculo se utiliza de uma técnica que não permite a modelagem da elasticidade não linear.

Em função da carga a ser aplicada no software, esta é inserida na aba de Input Loads (inserir cargas), na qual é feita a inserção das informações de coordenadas x e y de aplicação de carga em centímetros, intensidade da carga em Newtons e sua área de contato em milímetros quadrados.

2.3 AEMC

O AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas) é um software designado para calcular as tensões e deformações em estruturas de pavimentos, contendo até oito camadas, sob carregamento de rodas do tipo eixo rodoviário.

Segundo Franco e Motta (2020), o AEMC é um programa de computador para análise de camadas elásticas desenvolvido como componente dos programas MeDiNa e BackMeDiNa (originalmente utilizados no SisPav). A estrutura de cálculo geral realiza a integração de Gauss-Laguerre nos cálculos das equações integrais.

Os cálculos do programa baseiam-se nas mesmas hipóteses fundamentais consideradas em soluções de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, sendo elas:

1. os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
2. a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
3. as camadas são ilimitadas na direção horizontal;
4. todas as camadas possuem espessura finita, à exceção da camada inferior, considerada semi-infinita;
5. a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
6. na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
7. a carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
8. a grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
9. a interface das camadas pode variar de totalmente aderida para sem aderência.

Os métodos que se utilizam desta solução permitem combinar carregamentos com mais de uma roda, graças ao princípio da superposição e à hipótese de elasticidade linear. Ainda é possível obter os resultados de tensões, deformações e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura sem haver necessidade de dividir o meio contínuo em Elementos Finitos.

A partir das equações elásticas, são calculadas as respostas estruturais de tensões verticais, radiais, tangenciais e de cisalhamento no plano vertical-radial, além de deflexões verticais e radiais.

3 Metodologia

3.1 Banco De Bacias

De forma a atingir os objetivos, foram criadas estruturas de pavimento hipotéticas, com base em bancos de dados de bacias gerados em Theisen et al. (2020), Fonseca et al. (2021) e Theisen et al. (2021), e supostos os módulos de resiliência das camadas com base no estudo de módulos de resiliência característicos de Santos (2015). Foram testados 3 valores distintos de espessuras para as camadas de revestimento e base, espessura de sub-base mínima de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), e 3 valores distintos de módulo de resiliência para as camadas de revestimento, base, sub-base e subleito. Portanto, foram geradas 729 combinações de espessuras e módulos de resiliência das camadas.

Assim, são definidas as espessuras da camada de revestimento em 5cm, 12,5cm e 20cm, da camada de base em 15cm, 30cm e 45cm, da camada de sub-base fixada no mínimo admitido de 10cm, e da camada de



subleito semi infinito. Em relação aos módulos de resiliência, foram definidos 3 valores para cada camada, correspondendo aos valores mínimos, médios e máximos de módulos característicos definidos por Santos (2015). Dessa forma, os valores são de 2786 MPa, 4885 MPa e 6983 MPa para a camada de revestimento, 52 MPa, 362 MPa e 671 MPa para a camada de base, 170 MPa, 396 MPa e 621 MPa para a camada de sub-base, e 62 MPa, 218 MPa e 374 MPa para a camada de subleito.

Os valores de coeficiente de Poisson utilizados foram os sugeridos pelos softwares do pacote MeDiNa para os materiais utilizados no estudo citado: 0.3 para a camada de revestimento, 0.4 para as camadas de base e sub-base, e 0.45 para o subleito. As camadas foram consideradas não aderidas entre si, e foi considerada a carga de eixo padrão.

3.2 Análise Mecânica e Parâmetros Obtidos

A análise mecânica-empírica foi realizada através dos softwares AEMC e WinJULEA, com auxílio do auto clicker Jitbit Macro Recorder e de macros desenvolvidos no Microsoft Excel para cada software, de forma a gerar a maior quantidade de resultados no menor tempo possível. Assim, fazendo o uso das ferramentas citadas, foram inseridas as combinações de estruturas do pavimento definidas, em cada software, e assim foram obtidos parâmetros mecânicos tais como deflexão máxima e deflexões características, tensões de tração e deformações de extensão na fibra inferior ao revestimento e tensão de compressão no topo do subleito.

A partir das deflexões, foram calculados o raio de curvatura e área normalizada das bacias. De acordo com o DNIT (2006), a bacia deflectométrica tem o formato de uma parábola de 2º grau até uma distância de 25 cm da aplicação da carga. Portanto, de acordo com o critério de aproximação parabólica, o valor do raio de curvatura pode ser definido pela equação 1:

$$R_C = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})} \quad (1)$$

Onde R_C é o raio de curvatura da bacia de deformação, em m; D_0 é a deflexão no ponto de aplicação da carga, em 10^{-2} mm; e D_{25} é a deflexão a 25cm do ponto de aplicação da carga, em 10^{-2} mm.

A área normalizada foi calculada com base nas deflexões máxima e características, com base no conceito de área normalizada apresentado em Fonseca et al. (2021), representada na equação 2:

$$AN = \frac{1}{2D(x_0)} \sum_{i=0}^5 \left\{ \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{120 \text{ cm}} \right) [D(x_i) + D(x_{i+1})] \right\} \quad (2)$$

Onde An é a área normalizada; x_i é a distância radial em cm; e $D(x_i)$ é a deflexão referente à distância radial x_i , em 10^{-2} mm.

Com o intuito de analisar a consequência da variação da deformação de extensão na fibra inferior ao revestimento, entre os dois softwares analisados, foi realizado o cálculo do $N_{FHW A}$, um modelo de previsão de desempenho da vida útil do pavimento, que é dependente deste parâmetro, e é calculado através da equação 3:

$$N_{FHW A} = 1,092 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{3,512} \quad (3)$$

Onde $N_{FHW A}$ é o número de repetições de carga; e ε_t é a deformação de extensão na fibra inferior ao revestimento, em $\mu\varepsilon$ (10^{-6} cm/cm).

3.3 Comparações de Parâmetros e Tempo de Geração de Dados

Tendo obtido os resultados dos parâmetros citados, para cada software, foram analisados os tempos de geração destes resultados, e comparados os parâmetros através da diferença média de cada parâmetro entre os dois softwares. Para cada uma das 729 combinações, foi subtraído o valor encontrado pelo AEMC do valor encontrado pelo WinJULEA, já que os valores deste eram, geralmente, superiores, e o resultado da subtração



é o Δ . Logo, foi calculado o $\Delta\%$, fazendo a razão de Δ pelo valor encontrado pelo AEMC, e multiplicando esta razão por 100. Por fim, foram calculados a média e o desvio padrão dos 729 $\Delta\%$ encontrados, para cada parâmetro analisado, e o coeficiente de variação, resultante da razão entre o desvio padrão e a média, multiplicada por 100.

Para parâmetros nos quais houveram valores superiores tanto do AEMC quanto do WinJULEA, foram obtidos desvios padrão e coeficientes de variação altos, e assim, foi refeita a análise estatística considerando Δ com valores absolutos.

4 Resultados e Análises

4.1 Tempo de Análise

Foi observado que o tempo demandado para análise de cada bacia no software WinJULEA, com uso de macros no software Excel e do auto clicker Jitbit Macro Recorder, foi de aproximadamente 16 segundos por combinação, enquanto para o AEMC o tempo foi de 1 minuto e 07 segundos.

Essa diferença significativa entre os tempos de análises de cada bacia se deve, principalmente, à fácil interação do software WinJULEA com o Excel, devido ao formato de células de entrada e saída do WinJULEA serem compatíveis com as células presentes no Excel. Dessa forma, o AEMC exigiu mais movimentos gravados no auto clicker para os mesmos processos, demandando mais tempo para a análise de cada bacia.

4.2 Comparações de Parâmetros

Para cada uma das 729 bacias com diferentes combinações de espessuras e módulos de resiliência, foram realizadas as variações dos parâmetros analisados entre os dois softwares, tendo como referência os valores do AEMC. Assim, a análise estatística baseada em média aritmética e desvio padrão da variação percentual, assim como o coeficiente de variação da amostra de cada parâmetro, é apresentada na Tabela 1, na qual valores positivos de média indicam maiores valores de parâmetros por parte do software WinJULEA, e valores negativos de média indicam superioridade do AEMC.

Tabela 1 - Dados estatísticos da variação de parâmetros entre AEMC e WinJULEA

Parâmetros Analisados	Média de Δ % (%)	Desvio Padrão de Δ % (%)	Coeficiente de Variação (%)
Deflexão máxima (D_0)	0.524	3.926	748.949
Deflexão 20 (D_{20})	5.536	2.249	40.615
Deflexão 25 (D_{25})	5.718	2.374	41.518
Deflexão 30 (D_{30})	5.587	2.392	42.813
Deflexão 45 (D_{45})	4.483	1.919	42.807
Deflexão 60 (D_{60})	3.334	1.281	38.422
Deflexão 90 (D_{90})	1.854	0.625	33.695
Deflexão 120 (D_{120})	1.107	0.344	31.086
Tensão de Tração Máxima na Fibra Inferior ao Revestimento	1.995	0.809	40.549
Tensão de Compressão Máxima no Topo do Subleito	2.771	1.436	51.798
Deformação de Extensão na Fibra Inferior ao Revestimento	3.093	1.322	42.732
N_{FHWA}	-10.028	4.067	-40.557
Raio de Curvatura	12.627	10.514	83.268
Área Normalizada	3.010	2.960	98.360



Analisando primeiramente as deflexões, percebe-se que o WinJULEA resulta em maiores valores por toda a extensão da bacia de deflexão, com variação crescente da deflexão máxima à deflexão a 25cm do ponto de aplicação da carga, e decrescente da deflexão a 25cm até a deflexão a 120cm.

Particularmente, observando os valores individuais de bacias, foi visto que a deflexão máxima foi a única que apresentou variações na superioridade, ou seja, houveram bacias com valores superiores pelo AEMC e outras com valores superiores pelo WinJULEA. Por conta disso, o desvio padrão, e principalmente o coeficiente de variação apresentaram valores significantemente maiores do que nas demais deflexões.

Destaca-se ainda que as médias das variações percentuais das deflexões variaram entre 0.524%, diferença média mínima, encontrada na deflexão máxima, e 5.718%, diferença média máxima encontrada na deflexão a 25cm do ponto de aplicação da carga.

Assim como nas deflexões, o WinJULEA apresentou valores maiores do que o AEMC em tensão de tração e deformação de extensão na fibra inferior ao revestimento, assim como na tensão de compressão máxima no topo do subleito. As médias das variações percentuais foram, respectivamente, 1.995%, 3.093% e 2.771%.

Com a deformação de extensão na fibra inferior ao revestimento apresentando variação percentual de aproximadamente 3%, coube a aplicação deste parâmetro para realizar a previsão do desempenho de vida útil do pavimento, através do N_{FHW} . Assim, foi observado que o AEMC apresentou maiores valores de N_{FHW} , em torno de 10% maiores do que o WinJULEA, considerando a média das variações. Assim, pode-se dizer que o WinJULEA, em termos de vida útil do pavimento, é mais conservador do que o AEMC, tendo bacias resultando em previsão de até 16.8% menor vida útil.

Por fim, os cálculos de raio de curvatura e área normalizada, feitos a partir das deflexões, apresentaram maiores valores por parte do WinJULEA, com variações de, respectivamente, 12.627% e 3.01%.

Analisando os valores individuais de bacias, foi visto que os parâmetros de deflexão máxima, raio de curvatura e área normalizada apresentaram tanto valores superiores pelo software AEMC quanto pelo WinJULEA, e assim, apresentaram valores maiores de desvio padrão, e consequentemente, valores maiores de coeficiente de variação. Assim, foi refeita a análise estatística, apresentada na Tabela 2, considerando as variações com valores absolutos, atingindo, então, menores valores de DP e CV, porém, maiores valores na média das variações percentuais.

Tabela 2 - Dados estatísticos da variação de parâmetros entre AEMC e WinJULEA (considerando valores absolutos)

Parâmetros Analisados	Média de Δ % (%)	Desvio Padrão de Δ % (%)	Coeficiente de Variação (%)
Deflexão máxima (D_0)	2.986	2.599	87.048
Raio de Curvatura	12.947	10.117	78.145
Área Normalizada	3.038	2.931	96.458

A deflexão máxima apresentou maiores valores de AEMC em 34.29% das 729 bacias, e assim, a partir da análise estatística considerando valores absolutos de variação, passou de 0.524% para 2.986% de média de variação percentual, de 3.926% para 2.599% no desvio padrão e de 748.949% para 87.048% no coeficiente de variação.

O raio de curvatura possui 9.89% das bacias com valores maiores pelo AEMC, de forma que a média de variação percentual passou de 12.627% para 12.947%, desvio padrão de 10.514% para 10.117%, e coeficiente de variação de 83.268% para 78.145%.

A área normalizada obteve valores maiores pelo AEMC em 5.62% das bacias, e então, a média de variação percentual passou de 3.01% para 3.038%, desvio padrão de 2.96% para 2.931%, e coeficiente de variação de 98.36% para 96.458%.



5 Considerações Finais

5.1 Conclusões

Com base nos resultados obtidos, destacam-se algumas conclusões:

- O tempo de geração de resultados do WinJULEA é consideravelmente menor em relação ao AEMC. Em um intervalo de tempo de geração de resultados de uma bacia, utilizando o AEMC, podem ser gerados resultados de 4 bacias com o uso do WinJULEA.
- Os resultados de deflexões, obtidos com o WinJULEA, possuem valores até 6% superiores aos encontrados com o AEMC.
- Os resultados de tensão de tração e deformação de extensão na fibra inferior ao revestimento e tensão de compressão máxima no topo do subleito, obtidos com o WinJULEA, possuem valores, aproximadamente, até 3% superiores aos encontrados com o AEMC.
- Os valores de raio de curvatura resultantes com o WinJULEA são, aproximadamente, em média, 13% maiores do que os resultantes com o AEMC.
- As áreas normalizadas, calculadas com base nos resultados do WinJULEA, apresentaram valores em média 3% maiores do que as calculadas com os resultados do AEMC.
- O modelo de previsão de desempenho da vida útil do pavimento N_{FHWA} , calculado a partir da deformação de extensão na fibra inferior ao revestimento, apresentou valores, aproximadamente, 10% maiores com base nos resultados obtidos com o AEMC do que os obtidos com o WinJULEA.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com o intuito de complementar e estender a pesquisa do presente trabalho, são sugeridas as seguintes laborações:

- Comparação dos resultados obtidos no presente trabalho com resultados laboratoriais ou resultados in-situ, de forma a avaliar o desempenho dos softwares estudados.
- Expansão de variações de parâmetros analisados, com diversos módulos de resiliência e espessuras das camadas.
- Utilização de diferentes modelos de previsão de desempenho da vida útil do pavimento, que se utilizem de demais parâmetros no cálculo.
- Realização do mesmo estudo utilizando condição de aderência entre as camadas da estrutura do pavimento.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burmister, D. M., Palmer, L. A., Barber, E. S., Middlebrooks, T. A. *The theory of stress and displacements in layered systems and applications to the design of airport runways*. In: Highway Research Board Proceedings. 1943.
- Departamento Nacional De Infraestrutura de Transportes – DNIT. IPR 719/2006: *Manual De Pavimentação*. Rio de Janeiro. 2006.
- Departamento Nacional De Infraestrutura de Transportes – DNIT. IPR 720/2006: *Manual De Restauração De Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro. 2006.
- Fonseca, O. K.; Theisen, P. M., Theisen, K. M. Estudo de Aplicação de Banco de Dados Deflectométricos Baseado em Três Parâmetros Para Geração de Módulos Semente em Retroanálise Empregando o Programa Backmedina. In: *RAPv - Reunião Anual de Pavimentação*, v46, Brasília. 2021.
- Franco, F. A. C. P. *Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV*. 2007. 294f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Franco, F. A. C. P.; Motta, L. M. G. *Manual de Utilização do programa MeDiNa*. p. 1–78, 2020.
- Medina, J.; Motta, L. *Mecânica dos Pavimentos*. 3a edição ed. Rio de Janeiro: *Editora Interciência*, 2015.
- Santos, H. C. A.; Soares, J. B. Obtenção dos Módulos de Resiliência em Laboratório e por meio de Retroanálise em Rodovias no Estado do Ceará e o Efeito no Dimensionamento de Pavimentos. *Congresso Nacional de Pesquisa Em Transporte da Anpet*, v. XXIX, p. 172–175, 2015.
- Santos, T.A., Pinheiro, R.J.B., Specht, L.P., et al. Análise do Desempenho de Subleitos Rodoviários à Luz de Conceitos da Mecânica dos Pavimentos. *Revista Matéria*, v.25, n.3, 2020.
- Theisen, K. M.; Theisen, P. M.; Fonseca, O. K. (2020) *Proposta de Modelo Baseado em Análise Mecanística para Cálculo da Deflexão Máxima Obtida via Falling Weight Deflectometer e Fatores de Correção de Temperatura*. 2020. 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET 100% Digital, 16 a 21 de novembro de 2020.
- Theisen, K. M.; Oliveira, C. B. H.; Santos, G. I. L. (2021) *Estudo de Correlações Lineares entre Deflexões Máximas Obtidas via Falling Weight Deflectometer e Viga Benkelman através de Análise Mecanística*. 2021. 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET 100% Digital, 8 a 18 de novembro de 2021.
- Uzan, J. *JULEA – Jacob Uzan Layered Elastic Analysis Program*. USA: 1978. Programa computacional. apud Franco, F. A. C. P. *Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV*. 2007. 294f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.