**ANÁLISE DE DESEMPENHO E COMPACTIBILIZAÇÃO NOS MAQUINÁRIO DE TERRAPLENAGEM**

José David Ferreira Moura1

**Resumo**

Os serviços de terraplenagem são essenciais em um empreendimento pela qualidade, segurança e durabilidade do mesmo. Uma obra de terraplenagem necessita do acompanhamento de um profissional qualificado e a escolha certa de máquinas para cada etapa de obra que por meio dos cálculos de rendimento otimizam os resultados. A busca por equipamentos está cada vez mais eficiente, com o custo-benefício proporcional ao tamanho da obra e que causem menor impacto ao meio ambiente tem crescido de forma exponencial. Tecnologias e adaptações surgem remodelando máquinas e equipamentos já existentes, incrementando modelos computacionais permitindo o controle em tempo real, automatizando o trabalho e gerando grandes investimentos, reduzindo o consumo de combustíveis além do baixo índice de emissão de gases poluentes. Este estudo tem como objetivo analisar às aplicações das máquinas de terraplenagem, demonstrar o cálculo de rendimento das máquinas operatrizes para auxiliar no dimensionamento de patrulha.

**Palavras-chave:** Terraplenagem, Máquinas, Equipamentos, Rendimento, Automatização.

**Currículum**

Los servicios de movimiento de tierras son fundamentales en una empresa por su calidad, seguridad y durabilidad. Un movimiento de tierras requiere el seguimiento de un profesional calificado y la elección adecuada de máquinas para cada etapa del trabajo que, a través de los cálculos de rendimiento, optimicen los resultados. La búsqueda de equipos cada vez más eficientes, con rentabilidad proporcional al tamaño de la obra y que causen menor impacto en el medio ambiente ha crecido exponencialmente. Las tecnologías y adaptaciones surgen por la remodelación de máquinas y equipos existentes, aumentando los modelos computacionales que permiten el control en tiempo real, automatizando el trabajo y generando grandes inversiones, reduciendo el consumo de combustible además del bajo índice de emisión de gases contaminantes. Este estudio tiene como objetivo analizar las aplicaciones de las máquinas de movimiento de tierras, demostrar el cálculo del rendimiento de las máquinas herramienta para ayudar en el dimensionamiento de la patrulla.

**Palabras clave:** Movimiento de Tierras, Máquinas, Equipos, Rendimiento, Automatización.

**Resume**

Earthworks services are essential in an enterprise due to its quality, safety and durability. An earthworks work requires the monitoring of a qualified professional and the right choice of machines for each stage of the work that, through the calculations of performance, optimize the results. The search for equipment is increasingly efficient, with cost-effectiveness proportional to the size of the work and that cause less impact on the environment has grown exponentially. Technologies and adaptations arise by remodeling existing machines and equipment, increasing computational models allowing real-time control, automating work and generating large investments, reducing fuel consumption in addition to the low rate of emission of polluting gases. This study aims to analyze the applications of earthmoving machines, demonstrate the calculation of the performance of the machine tools to assist in the sizing of patrol.

**Keywords:** Earthworks, Machines, Equipment, Yield, Automation.

## **1. INTRODUÇÃO**

O avanço tecnológico está presente em grande parte das ações em uma obra de terraplanagem, automatizando vários tipos de trabalhos que antes erm feitos de forma manual, aumentando assim a produtividade e a qualidade além de reduzir o tempo de serviço.

As máquinas de terraplenagem são essenciais nas obras de construção civil, visto que possibilitam o nivelamento do relevo mediante o corte e aterro (SANHUEZA & DIEZ, 2014, p.1). Esse nivelamento do terreno proporciona que este receba qualquer tipo de construção, além de ser essencial para a segurança da área construída, diminuindo os níveis de vazios e aumentando a resistência em casos de compactação no solo.

Os serviços de terraplenagem em uma obra é parte fundamental no sucesso de um empreendimento, visto que compatibilizam o terreno natural as condições exigidas pelo projeto (SILVA, 2016, p.27). Para garantir uma eficiente obra de terraplenagem é necessário, além do acompanhamento de um profissional qualificado, a escolha correta de equipamentos e máquinas para cada estágio da obra, alcançando dessa forma a produtividade esperada. O desempenho de uma máquina deve ser medido, em última análise, pelo custo unitário do material removido, medida que inclui a produção quanto os custos (MANUAL DE PRODUÇÃO CATERPILLAR, 2000, p.4). Apesar de existir uma variedade de equipamentos capazes de executar tarefas semelhantes, cada um possui características que os diferenciam entre si, como por exemplo, rendimento e área de aplicação.

Levando em consideração as obras de movimentação de terra, este artigo tem por objetivo demonstrar o cálculo do rendimento de máquinas motrizes, analisando sua função e aplicação, servindo dessa forma como um guia básico para o início de uma obra de terraplenagem.

Este estudo tem como objetivo analisar as funções e aplicações das máquinas e equipamentos de terraplenagem, além de demonstrar o cálculo de rendimento das máquinas operatrizes para auxiliar no dimensionamento de patrulha e determinação dos custos de uma obra de movimentação de terra.

## **2.** **CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM**

**2.1. MÁQUINAS MOTRIZES**

Segundo Couri (2016), são as máquinas que funcionam como fonte de energia do equipamento, podendo ser mutáveis ou definitivas, seu acionamento pode ser elétrico (no caso de equipamentos menores), mas normalmente trata-se de motor a diesel, e quando móveis, são instaladas sobre rodas ou esteiras.

Dentro do grupo de máquinas estão as unidades de tração, conhecida também como trator, que podem ser de rodas ou de esteiras, além de realizar a tração ou empurrar outros equipamentos para o aumento da tração de carga ou ainda realizar atividades que não exijam o transporte de terras.

**Figura 1 – Trator de rodas**



Fonte: Caterpillar 2019

**Figura 2 – Trator de esteiras**



Fonte: Caterpillar 2019

Visando caracterizar e diferenciar o trator de rodas e de esteiras, foi elaborado um quadro comparativo que segue abaixo:

**Tabela 1 – Trator de rodas versus Trator de esteiras**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Principais características** | **Trator de rodas** | **Trator de esteiras** |
| Topografia | Quando é favorável | Quando é irregular |
| Esforço trator | Limitado | Elevado |
| Velocidade | Alta (< 60 Km/h) | Baixa (< 12 Km/h) |
| Aderência | Limitada | Boa |
| Flutuação | Regular | Boa |
| Balanceamento | Bom | Bom |
| Fonte: Adaptado de Couri (2016) | |  |

* Topografia: configuração de uma extensão de terra com a posição de todos os seus acidentes naturais ou artificiais;
* Esforço trator: força máxima que a máquina pode exercer na barra de tração (esteira ou rodas motrizes) para rebocar ou empurrar as máquinas operatrizes;
* Velocidade: velocidade máxima que a máquina consegue exercer em suas atividades;
* Aderência: capacidade que a máquina tem de se deslocar sobre uma superfície sem perder o atrito com o solo (esteiras) ou atolar (rodas);
* Flutuação: tensão da máquina sobre o solo, a capacidade de se movimentar sem afundar no terreno;
* Balanceamento: é a distribuição do seu peso em torno de seu centro de gravidade em relação à altura da máquina, de modo que se o balanceamento for bom, menor é a chance de a máquina tombar.

## **2.2. MÁQUINAS OPERATRIZES**

Segundo Couri (2016), essas máquinas são movidas a tração, empurradas ou manobradas pelas unidades motrizes, podem ser mutáveis ou definitivas, trocadas dentro de uma mesma máquina motriz, podendo possuir diversas funcionalidades, dependendo do serviço a ser executado.

**2.2.1 UNIDADES ESCAVO-EMPURRADORAS**

Corresponde ao trator de rodas ou esteira adaptado com o implemento de uma lâmina à frente do trator que o possibilita em escavar e empurrar a terra. Denomina-se trator de lâmina ou bulldozer. Dentre as diversas funções, estas máquinas podem ser utilizadas para escavações em geral, reboque de outras máquinas e também derrubar árvores.

**Figura 3 – Trator de rodas com lâmina**

Fonte: Caterpillar 2019

**Figura 4 – Trator de rodas com lâmina**

Fonte: Caterpillar 2019

**2.2.2 UNIDADES ESCAVO-TRANSPORTADORAS**

Estas máquinas escavam, carregam, transportam e descarregam materiais de consistência média a distâncias médias a pequenas em até 1,0 km. Couri (2016) classifica as unidades escavo-transportadoras como sendo equipamentos projetados para poder aprofundar os cortes iniciados pelos Dozers.

Os tipos mais conhecidos são o Scraper rebocado e o Motoscraper em que o primeiro consiste em ser uma caçamba que se apoia sobre dois eixos com pneumático, e atualmente já se constitui em um equipamento que já foi superado, dessa forma sendo de pouca utilidade nos canteiros de obras, e o segundo é formado por uma caçamba que se apoia sobre um eixo em sua parte traseira e sobre um rebocador em sua parte dianteira, e é utilizado na execução de uma larga faixa de terraplenagem com produtividade e baixo custo.

**Figura 5 – Scraper rebocado**



Fonte: Caterpillar 2019

**Figura 6 – Motoscraper**



Fonte: Caterpillar 2019

**2.2.3 UNIDADES ESCAVO-CARREGADORAS**

## Essas máquinas possuem a finalidade de escavar e carregar o material para uma unidade de transporte. As mais utilizadas são denominadas de “pás-carregadeiras”, “escavadeiras” e no caso de união de ambos, “retro-escavadeiras”.

**Figura 7 – Pá carregadeira**

Fonte: Caterpillar 2019

**Figura 8 – Escavadeira**

Fonte: Caterpillar 2019

**Figura 9 – Retro-escavadeira**

Fonte: Caterpillar 2019

As pás-carregadeiras são tratores de pneus ou esteiras, com caçambas na parte dianteira que que tem como função esavar, levantar e descarregar materiais a uma altura de até 3,00m.

As escavadeiras chamadas de pá-mecânica é um equipamento que trabalha de forma parada. Podem ser montadas sobre esteiras, pneus ou trilhos. Possuem uma lança que possibilita realizar suas tarefas em outro plano e são classificadas conforme a seguir:

* + - 1. Lança com pá frontal (shovel): são destinadas para escavações de grande porte, passagem de canais, extração de minérios subsolos de edifícios e taludes;
      2. Lança com caçamba de arrasto (drag line): é formado por uma estrutura leve de treliça, com longo alcance. A caçamba geralmente é furada, é provida de dentes e aberturas na sua parte superior e na lateral voltada para a máquina onde se encontra sua parte cortante. Esta, fica presa à lança por cabos conferindo uma grande mobilidade, fazendo com que a escavação ocorra quando é puxado na direção da máquina, além de permitirem que se escave a grandes distâncias as escavadeiras quando equipadas com lanças deste tipo realizam a abertura de grandes valas sem escoramento, remoção de solos moles, restauração de calhas de canais de rios construídos por depósitos naturais ou artificiais, abertura de danais de drenagem, valetas e também acabamento de taludes;
      3. Lança com mandíbulas (clamshell): trata-se de uma caçamba que sobe e desce na vertical, realizando a escavação pela ação do seu peso próprio, devendo estar aberta ao final da descida e fechada no início da elevação, além de serem utilizadas na abertura de valas cujas paredes devem ser contidas com escoramentos, desde que esteja convenientemente espaçada e dentre o pequeno alcance da máquina, inclusive abaixo do seu nível.

As retro-escavadeiras possuem em sua frente uma pá montada e em sua traseira uma carregadeira, apresentando como funções principais carregamento de caminhões, abertura de valas e nivelamento de terrenos. Pode ser considerada uma máquina de múltiplas funções e tem um custo de aquisição relativamente mais baixo.

**2.2.4 UNIDADES APLAINADORAS**

Segundo Couri (2016), são normalmente conhecidas como “moto-niveladores”. Essas máquinas são projetadas para o serviço de acabamento, tombamento e espalhamento de um modo geral, nivelando o terreno com cotas e greides finais do projeto geométrico. Tem como principais características a grande mobilidade da lâmina de corte, alta precisão nos cortes e a capacidade para grandes deslocamentos para obras lineares.

As moto-niveladoras são máquinas que possuem um escarificador e uma lâmina central de corte.

**Figura 10 – Moto-niveladora**



Fonte: Caterpillar 2019

**2.2.4 UNIDADES DE TRANSPORTES**

São equipamentos cuja função seria destinar o transporte de material proveniente de cortes ou aterros, bota-fora, empréstimos ou à pavimentação. São utilizados quando as distâncias para uso do motoscraper ou scraper se tornam anti-econômicos.

**Figura 11 – Caminhão Caçamba**

Fonte: Vvale 2019

**Figura 12 – Caminhão fora de estrada**

Fonte: Caterpillar 2019

O caminhão caçamba é destinado para a maioria dos serviços, transportando boa parte dos materiais na maioria dos terrenos, com bom rendimento de produção. Couri (2016), diz que é uma unidade resultante do chassi de um caminhão ligeiramente alterado ao qual se aplica uma carroceria de chapas (básculas). Na prática, a báscula é conhecida por caçamba. Os basculantes têm capacidade em sua grande maioria entre 4 e 6m³.

O caminhão fora de estrada é um veículo usado para serviços pesados de grande tonelagem de transporte onde normalmente é utilizado na área de mineração. Devido suas dimensões, são impedidos de circular nas estradas, sendo restritos aos canteiros de obras, apresentando capacidade sempre superior a 10 m³.

**2.2.4 UNIDADES COMPACTADORAS**

Possuem como finalidade a compactação do solo tanto na compactação das primeiras camadas de aterro quanto na fase de pavimentação das vias, de forma a reduzir o índice de vazios e liquidez.

**Figura 13 – Rolo-pé-de-carneiro**

Fonte: Caterpillar 2019

**Figura 14 – Rolo vibratório**

Fonte: Caterpillar 2019

**Figura 15 – Rolo pneumático**

Fonte: Caterpillar 2019

O maquinário denominado de rolo pé-de-carneiro é utilizado na compactação de solos coesivos. O adensamento se completa quando quase não há mais a penetração das patas no solo. Couri (2016) define como um tambor metálico com protuberâncias (patas) solidarizadas, em forma tronco-cônica e com altura de aproximadamente de 20 cm. Podem ser auto propulsivos ou arrastados por trator. A camada compactada possui geralmente 15 cm, com número de passadas variando entre 4 e 6 para solos finos e de 6 a 8 para os solos grossos.

O rolo vibratório tem sua utilização em solos arenosos, com baixa porcentagem de argila. Constam de rolos lisos, com um motor vibratório, cuja, frequência e amplitude se propagam pelo tambor até o terreno. Para a maior produtividade dos serviços, a operação deve- se dar à baixa velocidade. A espessura máxima da camada é de 15 cm.

O rolo pneumático é usado para camadas delgadas de materiais e pavimentos betuminosos. Segundo Couri (2016), constam de eixos com rodas pneumáticas em número de 5 ou 7. No chassi, que se apoia sobre os eixos, é colocado lastros para proporcionar pesos suficientes para a compactação.

## **3. METODOLOGIA**

Este estudo é de caráter exploratório e se baseia em estudo de caso sendo realizada em duas etapas. A primeira etapa refere-se à classificação das máquinas e equipamentos de terraplenagem em dois grandes grupos de máquinas, motrizes e operatrizes, apontando suas funções e finalidades quanto à movimentação de terra. A segunda etapa detalha o cálculo do rendimento das máquinas e equipamentos de terraplenagem, com destaque para as máquinas operatrizes.

## **4. DEMONSTRAÇÃO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE MÁQUINAS OPERATRIZES**

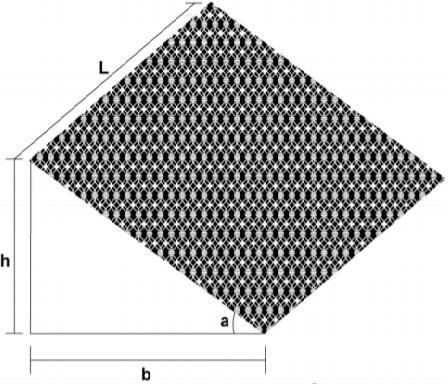
Obras de movimentação de terra tem um custo bastante elevado quando comparado com o custo total de obra. Devido a isso, o cálculo da produtividade dos equipamentos que irão integrar a patrulha do serviço é de grande importância, uma vez que os equipamentos trabalham repetitivamente e executam as mesmas tarefas em vários trechos, a otimização dos processos, redução ou melhor aproveitamento de um equipamento sem perda de produtividade promovendo um excelente fator custo benefício, seja em relação ao tempo ou até mesmo econômicamente.

## **4.1 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES ESCAVO EMPURRADORAS**

Será utilizado o método do emprego de técnicas de avaliação para mensurar a produção, na qual foi abordado no Manual de Produção Caterpillar (2000).

Este método pode ser avaliado a partir de uma seção transversal do bloco de material que se acumula na frente da lâmina. Esse material pode ser tido como um triângulo retângulo conforme mostra a figura 16 a seguir:

**Figura 16 – Seção transversal do material acumulado na frente da lâmina**



O volume de terra é calculado pela expressão (1):

* L: comprimento da lâmina;
* h: altura da lâmina;
* µ: fator de correção que depende do material a ser carregado (areia, cascalho e rocha, μ = 0,8; terra comum, μ = 1,0);
* O rendimento ou produção é calculado pela expressão (2).
* R: rendimento da máquina em (m³/h);
* Q: capacidade da lâmina;
* f: fator de correção dos volumes (empolamento);
* E: fator de eficiência do trator (E = 0,8 – esteira / E = 0,7 - rodas);
* T: tempo que o equipamento leva para completar um ciclo.

A expressão (2) é baseada em 60 minutos trabalhados (uma hora) como tempo de ciclo de operação da máquina, considerando uma eficiência de 100%.

## **4.2 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES ESCAVO- CARREGADORAS**

Este método é semelhante ao empregado para as unidades escavo-empurradoras, em que adota o método do emprego de técnicas de avaliação para medir a produção.

O volume de produção é calculado pela expressão (3).

* Q: volume de produção em m³ por s;
* C: capacidade da caçamba em m³;
* Tc: templo de ciclo do equipamento, em segundos.

## O rendimento ou produção é calculado pela expressão (4).

## R: rendimento da máquina em (m³/h);

## C: capacidade da caçamba em m3;

## f: fator e correção dos volumes empolamento);

## E: eficiência da escavação (usualmente E = 0,5);

## k: fator de eficiência da caçamba pelo solo;

## Tc: templo de ciclo do equipamento, em segundos.

* 1. **MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES DE TRANSPORTE**

Para o cálculo de rendimento de um caminhão caçamba deve-se determinar o tempo de ciclo de uma operação conforme a expressão (5).

* Tc: templo de ciclo em minutos;
* d: distância média de transporte em m;
* V1: Velocidade de ida carregado (km/h);
* V2: Velocidade de volta descarregado (km/h);
* Tpdp: Tempo para parada, descarga e partida (min).

A expressão (6) demonstra o rendimento:

* R: rendimento da máquina em (m³/h);
* C: capacidade da caçamba em m3;
* E: eficiência, que deve ser igual ao da máquina escavadeira;
* Tc: templo de ciclo em minutos.

## **4.4 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES APLAINADORAS**

## O cálculo do rendimento de uma motoniveladora é baseado na quantidade de passadas sobre a faixa de terra para que seja concluída a operação e segue conforme a expressão (7).

* T: tempo de a máquina leva para executar o serviço (em s);
* P: número de passadas sobre a faixa para completar a operação;
* Dm: extensão de cada passada (em m);
* V: velocidade da máquina em cada passada (em m/s);
* E: fator de eficiência (geralmente, E=0,6).

## **4.5 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES COMPACTADORAS**

## O rendimento ou produção horária de um compactador de solos é relacionado pelo número de passadas até se chegar a um grau necessário de compactação, levando em consideração a espessura da camada de terra solta conforme detalhado na expressão (8):

* R: rendimento da máquina em (m³/s);
* E: eficiência (geralmente, E=0,80);
* V: velocidade que o rolo se desloca em operação, em m3/s;
* W: largura útil da faixa em cada passada;
* H: espessura da camada de terra solta;
* N: número de passadas do rolo até compactar ao grau necessário;

**5. CRITÉRIO DE ESCOLHA DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM**

A busca por máquinas e equipamentos se tornou cada vez mais eficientes, com custo-benefício elevado e com um menor impacto ao meio ambiente.

Surgem novos desafios técnicos: escavação em meio urbano, com grande aproveitamento do espaço; necessidade de saúde, higiene e segurança no trabalho; mão de obra mais especializada e prazos mais apertados; o que exige um melhor planejamento, uma gestão integrada ao longo do Projeto e uma melhor previsão e controle de custos (CALHAU, 2013, p.1).

## Com isso, novas tecnologias surgem a todo o momento, remodelando máquinas e equipamentos já existentes, inserindo modelos computacionais que permitem o controle em tempo real, deixando cada vez mais automatizadas as tarefas antes executadas de forma manual e com o aprimoramento na modernização dessas máquinas, é possível gerar grandes investimentos na redução do consumo de combustíveis e na emissão de gases poluentes.

## O segmento de máquinas e equipamentos está aquecido, embalado pelo fortalecimento da construção civil no país (REVISTA CONSTRUA NEGÓCIOS, jan. 2019, p.1). Neste aspecto, qualquer obra de terraplenagem, seja de pequeno, médio ou grande porte, necessita de máquinas e equipamentos básicos, como já citados, para seu perfeito andamento e conclusão. Não existe uma única máquina e/ou equipamento que supra a necessidade de uma obra de terraplenagem, mas sim um conjunto de máquinas e equipamentos que em sintonia agregam valor necessário para uma eficiente movimentação de terra.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## Conclui-se que no momento da escolha dos melhores equipamentos para constituir uma obra de movimentação de terra, são necessários critérios de seleção voltados para a produtividade e funcionalidade acerca destes, com o intuito de alcançar um custo-benefício satisfatório, logo, a obtenção do sucesso esperado na obra.

## Levando em conta todos os fatores estudados nesse artigo, é possível entender que as máquinas e equipamentos aplicados nas obras de terraplenagem são basicamente os mesmos utilizados há vários anos, mas devido ao surgimento de novas tecnologias, esses equipamentos vão se modernizando, tornando-as mais eficientes.

## **7. REFERÊNCIAS**

CALHAU, F. E. C. **Apoio à Decisão na Seleção de Equipamentos de Escavação.** Lisboa- Portugal, 60p., 2013. Monografia (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico Lisboa.

CATERPILLAR. **Manual de produção Caterpillar**. Edição 31. Peoria, EUA, 2000.

SANHUEZA, J. F. & DIEZ, P. Estudo de produção de um sistema de controle de máquinas de terraplenagem. **REEC - Revista Eletrônica De Engenharia Civil**, Goiania, 22 dez. 2014. v.9. <https://doi.org/10.5216/reec.v9i3.31986>

Novas tecnologias impulsionam vendas de máquinas para construção civil. **Revista Construa Negócios**. Fortaleza, jan. 2019. p.1.

PEREIRA, B. I. **Seleção e dimensionamento da frota de carregamento via simulação estudo de caso mina Ferro+ Mineração**. Ouro Preto, 84p., 2019. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

SILVA, F. B. **Avaliação da conformidade dos requisitos técnicos nos serviços de terraplenagem de empreendimentos residenciais: Estudo de caso**. Araruna, 50p., 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Estadual da Paraíba.

COURI, D. **Máquinas e equipamentos – produtividade (Construção pesada).** Disponível em: <https://docplayer.com.br/48683877-Maquinas-e-equipamentos-produtividade.html> Acesso em: 15 out. 2019.

PRATA, B. A.; NOBRE, E.F.; BARROSO, G. C. Uma rede de petri colorida com temporização estocástica para a alocação de equipes em operações de terraplenagem. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: Universidade Federal do Ceará, 2008. p. 1-11.