

DETERMINAÇÃO DO REGIME DE TRABALHO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO, ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO LINEAR.

Miguel Munemori J¹; Faculdade Assis Gurgacz. Cascavel - PR
Reinaldo P. Ricieri²; Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel - PR
Yuri Ferruzzi³; Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel - PR
Jorge Kawahara⁴; Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel - PR
Estor Gnoatto⁵. Centro Federal de Educação Tecnologia. Medianeira - PR

RESUMO: Este trabalho aborda a aplicação das técnicas de Programação Linear no conceito legal de insalubridade, dado pelo artigo 189 da Consolidação das Leis do Trabalho. Sua primeira parte analisa o conceito acima quanto ao agente físico calor dentro dos princípios da Saúde no Trabalho e da Norma Regulamentadora NR-15 e seu Anexo 3. Na segunda parte apresenta-se a simulação de uma situação de trabalho na área de pavimentação com exposição à radiação solar e uma análise através da programação linear como técnica de otimização largamente empregada na resolução de problemas de alocação de recursos, que podem ser representados por expressões lineares. Essa técnica pode promover soluções de problemas reais com a garantia da solução ótima a baixo custo.

1 INTRODUÇÃO

O conceito de calor está relacionado com energia em trânsito, ou seja, é a terminologia usada quando a energia de um corpo ou meio de maior temperatura se transfere para um corpo ou meio com menor temperatura. A quantificação da intensidade de exposição às condições de temperatura extrema é, pois, necessária para que, dentro de certos limites, seja possível relacioná-las com os efeitos indesejáveis que se observam na saúde, segurança e bem estar do trabalhador, assim como na sua produtividade.

Segundo NOULIN (1992), o trabalho em ambientes particularmente quentes trazem riscos à saúde dos trabalhadores. E quanto aos efeitos fisiológicos ao ser humano, LAVILLE (1977) afirma que, durante o trabalho físico em ambientes de altas temperaturas, constata-se que a capacidade muscular é reduzida, o rendimento decai e a atividade mental é alterada, apresentando perturbação da coordenação sensório-motora.

Segundo VERDUSSEN (1978), a temperatura é um ponto que deve merecer o maior cuidado, quando se busca criar condições ambientais de trabalho adequadas.

Sobre o calor, SALIBA (1998) afirma que, ao contrário dos outros agentes físicos, como as pressões anormais, as radiações e o ruído, é mais difícil uma avaliação precisa, em virtude da multiplicidade de fatores ambientais e individuais que influem na sensação térmica. Este é um dos motivos que explicam a existência de numerosos índices para a avaliação do calor.

Tais índices, que podem ser classificados em índices de conforto térmico e índices de sobrecarga térmica, estipulam níveis máximos de exposição ao calor, compatíveis com a manutenção do conforto e da saúde do trabalhador.

Existem vários índices para avaliação da exposição ao calor, dentre os quais se destacam: Índice Temperatura Efetiva (TE), Índice Temperatura Efetiva Corrigida (IST), Índice Termômetro de Globo Úmido (TGU), Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG).

Para avaliação da exposição ao calor, o índice adotado deve levar em conta os fatores ambientais, o metabolismo e o tempo de exposição. Até 1978, a revogada Portaria nº. 491, de 13-05-1987 do Ministério do Trabalho estabelecia que o ambiente seria considerado insalubre quando a Temperatura Efetiva ultrapassasse 28° C. No entanto, este não é o índice adequado para avaliação da sobrecarga térmica, pois na sua determinação não são considerados fatores importantes, como: tempo de exposição, calor radiante e tipo de atividade. Sua aplicação era mais voltada para a avaliação de conforto térmico. Atualmente a Norma Regulamentadora - NR 17, editada pela Portaria nº. 3.751, de 23-11-1990 do Ministério do Trabalho, utiliza esse índice para condições ergonômicas nos ambientes de trabalho. Já o índice Temperatura Efetiva Corrigida (TEC) é praticamente idêntico ao índice Temperatura Efetiva, diferindo somente na correção do calor radiante.

Conforme SALIBA (1998), os índices: Termômetro de globo úmido (TGU), Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (IBUTG), são todos adequados para avaliar a sobrecarga térmica, pois consideram todos os fatores ambientais e metabólicos, além do tempo de exposição.

Ocorre, no entanto, que o Ministério do Trabalho no Anexo 3 da NR 15, com base na American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), adotou o IBUTG para a avaliação da exposição ao calor. Esse índice é definido por equações calculadas de acordo com os valores obtidos de Temperatura de bulbo úmido natural (Tbn), Temperatura de Globo (TG) e Temperatura de bulbo seco (Tbs).

Diante do exposto e considerando que a temperatura é um fator climatológico que deve merecer maior cuidado, quando se busca criar condições ambientais adequadas de trabalho ao ser humano, o presente trabalho estabeleceu como objetivos:

- Criar um modelo em programação linear para análise do limite de tolerância à exposição ao calor proposto pela NR 15 e seu Anexo 3.
- Simular uma situação de trabalho de pavimentação em que o modelo de programação linear otimize o regime de trabalho estabelecido pelo Quadro 1 da NR-15 e seu Anexo 3, editada pela Portaria nº 3.214, de 08-06-1978 do Ministério do Trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Segundo TALIBA (1998), temos que:

1 - A exposição ao calor deve ser avaliada através do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG), definido pelas equações que seguem:

- ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$BUTG = 0,7 T_{bn} + 0,3 T_g \quad (1)$$

- ambientes externos com carga solar:

$$BUTG = 0,7 T_{bn} + 0,1 T_{bs} + 0,2 T_g \quad (2)$$

Onde:

T_{bn} = temperatura de bulbo úmido natural,

T_g = temperatura de globo

T_{bs} = temperatura de bulbo seco.

2 - Os aparelhos que devem ser usados nesta avaliação são: termômetro de bulbo úmido natural, termômetro de globo e termômetro de mercúrio comum.

3 - As medições devem ser efetuadas no local onde o trabalhador permanece, à altura da região do corpo mais atingida.

3.a) Os limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente, com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço. Em função do índice obtido, o regime de trabalho intermitente será definido no Quadro 1.

Quadro 1 – Regime de trabalho estabelecido pela norma regulamentadora NR-15 anexo 3.

Regime de Trabalho Intermitente com Descanso no Próprio Local de Trabalho (por hora)	Tipo de Atividade Temperatura (°C)		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas de controle	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

FONTE: Quadro nº 1 - NR 15 e anexo 3. Portaria 3.214, 08-06-1978. Ministério do Trabalho.

Observações:

1 - Os períodos de descanso serão considerados tempo de serviço para todos os efeitos legais.

2 - A determinação do tipo de atividade (leve, moderada ou pesada) é feita consultando-se o Quadro 3.

3.b) Os limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com período de descanso em local próprio, são dados segundo o quadro 2. Considera-se como local de descanso o ambiente termicamente mais ameno, com o trabalhador em repouso ou exercendo atividade leve.

Quadro 2 – Limites dos índices de IBUTG.

M (Kcal/h)	MÁXIMO IBUTG (°C)
175	30,5
200	30,0
250	28,5
300	27,5
350	26,5
400	26,0
450	25,5
500	25,0

FONTE: Quadro nº 2 - NR-15 e anexo 3.
Portaria nº 3.214, 08-06-1978. Ministério do Trabalho.

No quadro 2:

- $\overline{M}$ é a taxa de metabolismo média ponderada para uma hora, determinada pela seguinte fórmula:

$$\overline{M} = \frac{M_t \times T_t + M_d \times T_d}{60} \quad (3)$$

Sendo:

M_t - taxa de metabolismo no local de trabalho;

T_t – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de trabalho;

M_d – taxa de metabolismo no local de descanso;

T_d – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de descanso.

- $\overline{IBUTG}$ - é o valor IBUTG médio ponderado para uma hora determinado pela seguinte fórmula:

$$\overline{IBUTG} = \frac{IBUTG_t \times T_t + IBUTG_d \times T_d}{60} \quad (4)$$

Sendo:

$IBUTG_t$ – valor do IBUTG no local de trabalho;

$IBUTG_d$ – valor do IBUTG no local de descanso;

Tt e Td – como definidos acima.

Os tempos Tt e Td devem ser tomados no período mais desfavorável do ciclo de trabalho, sendo $Tt + Td = 60$ minutos corridos.

As taxas de metabolismo Mt e Md serão obtidas consultando-se o Quadro 3.

Os períodos de descanso serão considerados tempo de serviço, para todos os efeitos legais.

Quadro 3 - Taxas de Metabolismo por Tipo de Atividade

TIPO DE ATIVIDADE	Kcal/h
<i>Sentado em repouso</i>	100
<i>Trabalho leve:</i>	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (Ex.: datilografia)	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (Ex.: dirigir)	150
Em pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	150
<i>Trabalho moderado:</i>	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	180
Em pé, trabalho leve em máquinas ou bancada, com alguma movimentação.	175
Em pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar	300
<i>Trabalho pesado:</i>	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (Ex.: remoção com pá)	440
Trabalho fatigante	550

FONTE: Quadro nº3 da NR-15 e anexo 3. Portaria nº 3.214, 08-06-1978. Ministério do Trabalho.

2.1 SIMULAÇÃO

A simulação foi elaborada em condições de um trabalhador em campo sob céu aberto com IBUTGt de 29 °C. Portanto, devemos escolher o melhor regime de trabalho alternado, pois temos o agente físico calor atuando sobre o trabalhador.

Assim temos como dados iniciais:

- área de trabalho (céu aberto): IBUTGt = 29° C;
- área de descanso possível (sombra/cabine térmica): IBUTGd = 25°C.

As alternativas estão determinadas nos quadros 1 e 3, respectivamente, da Norma Regulamentadora - NR 15 e seu Anexo 3:

Classificando o trabalho de servente em obras de pavimentação como pesado, temos então um regime de 15 minutos de trabalho alternado com 45 minutos de descanso em repouso, na sombra.

Seguindo a terminologia usada no Anexo 3 da NR 15 temos:

Tt (tempo de trabalho) = 15 minutos

Td (tempo de descanso) = 45 minutos

Tt + Td = 60 minutos

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tomada de decisão, conforme BANA (1993), qualificam o processo como um sistema aberto que, na concepção sistêmica, é aquele que influencia e sofre influências do ambiente externo. Quanto à técnica de programação linear, segundo GOMES (1998), os métodos multicritério para apoio à tomada de decisão ainda são relativamente restritos às comunidades de Pesquisa Operacional e de Engenharia de Sistemas.

Para começar a análise através da programação linear optou-se pela quarta faixa do Quadro 2, onde foram obtidos os seguintes valores:

M = 300 Kcal/h

Máximo IBUTG = 27,5°C

Assim as equações 3 e 4 se expressam da seguinte forma:

$$300 = \frac{550 T_t + 150 T_d}{60}$$

$$27,5 = \frac{29 T_t + 25 T_d}{60}$$

Desse modo, temos as seguintes igualdades para iniciar a modelagem em programação linear:

$$550 T_t + 150 T_d = 18000$$

$$29 T_t + 25 T_d = 1650$$

Para caracterizar o problema dentro da sistemática da Programação Linear entramos com os seguintes valores:

1 - Variáveis de decisão:

Tt = tempo de trabalho.

Td = tempo de descanso.

2 - Função maximizadora

Max: Tt

3 - Restrições:

$$550 Tt + 150 Td < 18000$$

$$29 Tt + 25 Td < 1650$$

$$Tt + Td = 60$$

Usando as técnicas de programação linear através do Método Simplex criado por PUCCINI e PIZZOLATO (1987), com o qual se desenvolveu o programa LINDO 2.0 (DANTZIG, 1963), tem-se a seguinte maximização para Tt:

Tt = 22,5 minutos

Td = 37,5 minutos

Pela otimização temos as seguintes condições:

$$M = \frac{550 \times 22,5 + 150 \times 37,5}{60} = 300,0 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{IBUTG} = \frac{29 \times 22,5 + 25 \times 37,5}{60} = 26,5^\circ\text{C}$$

$$Tt + Td = 22,5 + 37,5 = 60 \text{ minutos.}$$

Tabela 1 - Resultado de programação linear,
para as faixas apresentadas no Quadro 2 da NR 15 e Anexo 3.

FAIXA	M (kcal/h)	Máximo IBUTG	Tempo de trabalho por hora (minutos)	Tempo de descanso por hora (minutos)	Ganho por hora em relação ao Quadro nº 1 (minutos)	Ganho mensal pôr funcionário (dias)
FAIXA 1	175	30,5	3,75	56,25	-11,25	
FAIXA 2	200	30	7,5	52,5	-7,5	
FAIXA 3	250	28,5	15	45	0	0
FAIXA 4	300	27,5	22,5	37,5	7,5	2,5
FAIXA 5	350	26,5	22,5	37,5	7,5	2,5
FAIXA 6	400	26	15	45	0	0
FAIXA 7	450	25,5	7,5	52,5	-7,5	
FAIXA 8	500	25	0	60	-15	

Conforme essa tabela verificamos que para as faixas 4 e 5 há uma situação de ganho mensal de 2,5 dias para o empregador da área rural, provocando um ganho sem que o regime de trabalho provoque um adicional de insalubridade.

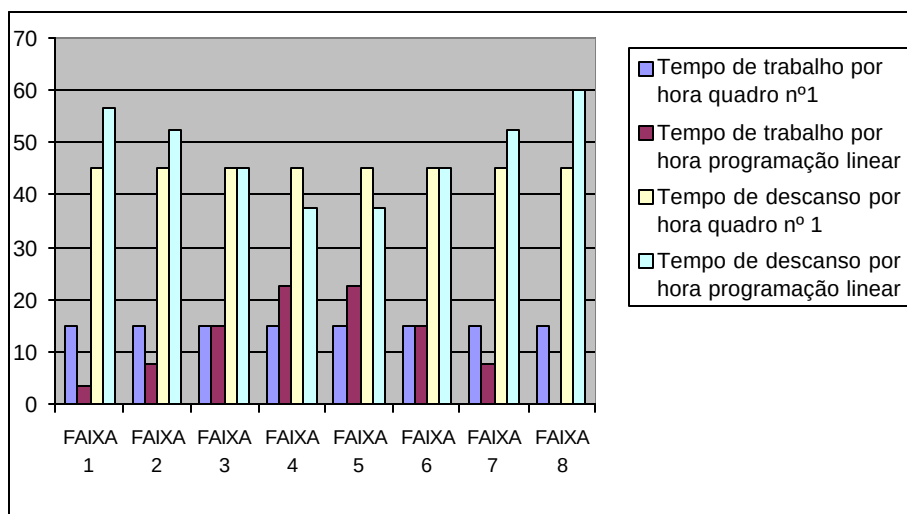


Figura 1 - Comparação entre o quadro 1 da NR 15 e o resultado da programação linear.

4 CONCLUSÕES

O uso da Programação Linear, dentro das opções estabelecidas na Norma Regulamentadora - NR 15 e seu Anexo 3, fornece uma metodologia para otimizar qual a melhor política de trabalho para um posto sob ação do agente físico calor.

Através do modelo desenvolvido, podemos trabalhar com todas variáveis como incógnitas no sistema de restrições, exceto a taxa de metabolismo e IBTUG do posto de trabalho. Ou seja, pode-se optar em fixar a taxa de metabolismo e IBUTG do posto de descanso e obter T_t e T_d , bem como, fixar T_t e T_d e determinar a melhor taxa de metabolismo e IBUTG de descanso.

Conclui-se, pelos dados dos gráficos da Figura 1, que é possível analisar todo o Quadro 2 do Anexo 3 da NR 15, para um determinado posto de descanso pré-estabelecido. Isto pode ser uma fonte de análise econômica para produção de cabines térmicas que funcionam como áreas de descanso.

REFERÊNCIAS

- BANA, C. A. **Processo de apoio à decisão**: problemáticas, atores e ações. Florianópolis: UNE - Escola de Novos Empreendedores; UFSC, 1993.
- CARRION, V. **Comentários à consolidação das leis do trabalho**., 19. ed. rev. e ampl. São Paulo: Saraiva, 1995.
- DANTZIG, G. B. **Linear programming and extensions**. Princeton- New Jersey: Princeton University Press, 1963.

GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA A. M. M., **Da informação à tomada de decisão**: agregando valor através dos métodos multicritério. Rio de Janeiro: Comdex Sucsesu- Rio'98 - Riocentro, 1998. Diskete.

LAVILLE, A. **Ergonomia** São Paulo: EPU, 1977.

LINDO SYSTEMS INC. **Linear develop operation**. Disponível em: <<http://www.lindo.com>>. Acesso em: 10 de julho de 2003.

NOULIN, M. **Ergonomia** Paris: Techniplus, 1992.

PUCCINI, A. L.; PIZZOLATO, N. D.. **Programação linear**. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

SALIBA, T. M., **Insalubridade e periculosidade**: aspectos técnicos e práticos. 4.ed. atual. São Paulo: LTR, 1998.

VERDUSSEN, R. **A racionalização humanizada do trabalho**. Rio de Janeiro : LTC, 1978.

¹ Eng^o de Infraestrutura aeronáutica, professor de engenharia civil, FAG – Cascavel, PR. Rua Jandaia, 4666 CEP 87501-970 Caixa Postal 226 Umuarama - PR. (044) 9967 60 88, e-mail: miguel@fag.edu.br

² Dr. em Agronomia, Professor Titular, Mestrado Engenharia Agrícola - UNIOESTE - Cascavel, PR. Rua Universitária, 2069. CEP: 85814 - 110 - Caixa Postal 711 (045) 91058914 e-mail: reinaldo@fag.edu.br

³ Eng^o Eletricista, Mestrando em Engenharia Agrícola - Área de Energia. UNIOESTE - Umuarama - PR. (044) 9967 23 85, email: yuri@unioeste.br

⁴ Eng^o Mecânico, Mestrando em Engenharia Agrícola - Área de Energia. UNIOESTE - Foz do Iguaçu - PR. (045) 9976 29 38, e-mail: jorgekawahara@hotmail.com.br

⁵ Eng^o Agrícola, Professor CEFET- PR - Medianeira, Mestrando em Engenharia Agrícola - Área de Energia. UNIOESTE - Medianeira - PR. (045) 91074470 e-mail: estor@unioeste.com.br.