

## PROCEDIMENTOS DE REGRESSÃO ROBUSTA PARA O ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE E CONFORTO TÉRMICO

### **Erivaldo Lopes de Souza**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, CT, UFPB  
[elopesouza@hotmail.com](mailto:elopesouza@hotmail.com)

### **Tatianne Barros Marinho**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, CT, UFPB  
[tatianne\\_barrosmar@hotmail.com](mailto:tatianne_barrosmar@hotmail.com)

### **Roberta de Lourdes Silva dos Santos**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, CT, UFPB  
[robertalss@globo.com](mailto:robertalss@globo.com)

### **Priscila Elida de Medeiros Vasconcelos**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, CT, UFPB  
[priscilaelida@gmail.com](mailto:priscilaelida@gmail.com)

### **Dácio L. Camerino**

Instituto Federal de Alagoas  
[daciocamerino@uol.com.br](mailto:daciocamerino@uol.com.br)

### **Luiz Bueno da Silva**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, CT, UFPB  
[bueno@ct.ufpb.br](mailto:bueno@ct.ufpb.br)

### **Resumo**

Este artigo apresenta, a partir de um determinado conjunto de procedimentos de regressão robusta, encontrar o melhor modelo, a partir da análise do resíduo e do p-value de cada estimador, que explique a relação entre o IBUTG e a produtividade dos operários durante a etapa de aplicação de revestimentos cerâmicos em edificações no litoral da cidade de Maceió, Alagoas, Brasil. Os estimadores MQ, M e LTS possuem valores residuais bem próximos e ínfimos, sendo os métodos de Regressão Robusta mais adequados para verificar o quanto a Produtividade é alterada se o IBUTG, a cada hora, aumentar em torno de 1<sup>o</sup>C.

**Palavras-chave:** Estimadores, Regressão Robusta, Ergonomia Experimental, IBUTG, Produtividade

### **Abstract**

This article presents, from a given set of robust regression procedures, finding the best model, based on the analysis of the residue e p-value of each estimator, explaining the relationship between WBGT and productivity of workers during the applying ceramic coatings buildings in coastal city of Maceió, Alagoas, Brazil. The estimators MQ, M and LTS have best residual values and are the most appropriate methods to verify how the productivity is changed if the WBGT increase of about 1<sup>o</sup>C per hour.

**Key-words:** Estimators, Robust regression, Experimental Ergonomics, WBGT, Productivity

## 1 Introdução

Em diversas pesquisas na área de Engenharia de Produção, em particular nos estudos direcionados para a área de Ergonomia Experimental, há trabalhos que ao se analisar alguns dados referentes às variáveis supostamente contínuas, a normalidade destes dados é questionada e, também, supostos ruídos que podem provocar algum desequilíbrio em certos modelos matemáticos.

Trabalhos na área de ergonomia, direcionados ao estudo do ambiente de trabalho, restringindo ao conforto, a saúde e ao desempenho, certas variáveis são passíveis de serem estudadas: 1) produção do trabalhador; 2) riscos, principalmente aqueles a que estão submetidos os trabalhadores no exercício de suas atividades; e 3) conforto ambiental (qualidade do ar, radiação não ionizante, calor, acústica e iluminação).

Por outro lado, estudá-las, apenas, não implica em saber como elas estão relacionadas ou se há uma ou outra ou um conjunto delas que possuem algum impacto em outra variável. Logo, modelos matemáticos precisam ser criados para explicar a relação entre estas variáveis. Ou seja, através destes modelos pode-se verificar em que medida as variáveis que formam a base do conforto ambiental afetam a saúde e o desempenho do trabalhador. Para tanto, torna-se necessário construir modelos lineares regressivos simples (MLRS) ou múltiplos (MRLM) ou modelos lineares generalizados (MLG) para estudar as relações intrínsecas entre estas variáveis.

A construção de um MRLS ou MRLM explora relações aditivas entre variáveis preditivas quantitativas, as quais são representadas por  $x_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , e uma variável resposta  $y$ . A relação entre esta variável e uma ou mais variáveis preditivas  $x$  envolve dois componentes. O primeiro é uma função matemática  $f(\cdot)$  que descreve a resposta que se esperaria de  $y$  para um valor fixo de  $x$ , denominado por  $f(x, \theta)$ . O segundo, representado por  $\omega \sim N(0, \sigma)$  modela o erro entre o valor observado  $y$  e o valor do modelo formulado. Assim teremos um modelo resultante  $y = f(x, \theta) + \omega$ . Mas algumas pesquisas desconsideram  $\omega$  em seus modelos, e este componente é fundamental para estudos envolvendo, por exemplo, a área de Ergonomia Experimental, pois às vezes há incertezas sobre certas variáveis nesta área que são relevantes e afetam às predições sobre outras variáveis, gerando assim um grau de imprevisibilidade em forma de ruído (KINAS & ANDRADE, 2010).

Quando não se pode construir um MRLS ou MRLM devido a certos pressupostos não atendidos, há algumas alternativas: 1) Uma simples transformação da variável  $y$ ; ou 2) Utilização de MLG. A exigência para a segunda alternativa está na distribuição de probabilidade da variável  $y_i$  que segue o modelo probabilístico  $p(y|\theta)$ , mas pertencente à família exponencial de distribuições com média  $\mu_i$ .

Porém, alguns modelos matemáticos a partir de MRLS, MRLM e de MLG apresentam não normalidade nos seus erros ( $\omega$ ) e, às vezes, há outliers (*outlier regressivo*, *outlier residual*, *x-outlier*, *y-outlier*, *x- e y-outlier*), que podem afetar a qualidade destes modelos. Uma alternativa para contornar tais problemas é a utilização de técnicas de regressão robusta (RYAN, 2010). Estas técnicas podem dar mais consistência ao valor de  $R^2$ , o qual representa a percentagem da variabilidade em  $y$  que é explicada por  $x$  para predizer  $y$ , onde  $R^2 \in [0, 1]$ .

No estudo apresentado neste paper, a exatidão de  $R^2$  é de suma importância, pois qualquer alteração no IBUTG (índice de bulbo úmido e temperatura de globo) implicará previsões para produção, podendo se definir com mais exatidão momentos de produtividade. Então, erros distribuídos normalmente e possível ausência de outliers podem contribuir para modelos bem calibrados, proporcionando maior precisão nas análises das relações entre variáveis e um melhor valor ajustado do percentual que representa o quanto a variação média da Produtividade é explicada pela variável IBUTG."

Vale salientar que os parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados (MQ), em alguns momentos, podem não ser precisos, haja vista que o conjunto de dados utilizados no experimento pode apresentar alguma anomalia. Procura-se, assim, empregar a análise exploratória de dados, no sentido de maximizar o conhecimento sobre o conjunto de

dados; investigar hipóteses sobre a estrutura desses dados; detectar *outliers*; examinar relação entre variáveis; e analisar aspectos distributivos.

Neste *paper* pretende-se, a partir de um determinado conjunto de procedimentos de regressão robusta, encontrar o melhor modelo, procurando compará-los a partir do resíduo de cada estimador e do seu respectivo *p-value*, para explicar de maneira mais precisa o quanto o IBUTG interfere na variação média da produtividade dos operários durante a etapa de aplicação de revestimentos cerâmicos em edificações no litoral da cidade de Maceió, Alagoas, Brasil.

### 2 Exposição ambiental versus conforto térmico

A exposição do indivíduo no trabalho leva, conforme observações efetuadas por Grandi (1985) e Vargas (1984), a considerar o seu bem estar físico, fisiológico e psicológico. Uma das maneiras de se atuar com vistas a melhorar as condições de trabalho é avaliar a exposição ao ambiente e minimizar, na medida do possível, a carga térmica e os esforços físicos necessários para a realização das tarefas, principalmente por se considerar que o trabalho repetitivo influencia no seu desempenho. A visão destes autores é ratificada pelo modelo conforto-desempenho proposto por Woo (2008). Neste modelo o conforto termofísico surge como um importante fator que afeta o desempenho do trabalhador e os aspectos de conforto fisiológicos e psicológicos.

Segundo Chiavenato (1999), uma das variáveis ambientais relevantes é a temperatura. Existem processos cujo local de trabalho se caracteriza por elevadas temperaturas, mas que o ocupante precisa vestir roupas adequadas para proteger sua saúde. Nestes casos extremos, a insalubridade constitui a característica principal destes ambientes de trabalho. São consideradas atividades ou operações insalubres aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os empregados a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos. O conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem estar experimentado por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade do ar com a atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada (RUAS, 2001).

As relevâncias das variáveis ambientais supracitadas podem ser justificadas no artigo dos autores Akimoto et al (2010). Eles avaliaram o conforto térmico e a fadiga proveniente de ambientes de trabalho de uma companhia multinacional, com o objetivo de relacionar produtividade de trabalhadores e o conforto térmico nos seus ambientes de trabalho. E uma das observações importantes detectadas é que o ambiente térmico não foi projetado para a realização de certas atividades, o que contraria a ideia de se tentar encontrar uma combinação satisfatória entre ambiente térmico e satisfação térmica de trabalhadores.

Conforme a Norma Higiene Ocupacional NHO 06/2002 respalda pelas normas internacional ISO 7243 (ISO, 1989) e nacional NR-15 (BRASIL, 1978), o IBUTG é utilizado para avaliar as condições de trabalho em ambientes sob temperaturas elevadas. O IBUTG, medido em grau Celcius (°C), mostra a relação entre a carga térmica do ambiente em que é desenvolvida a atividade laboral e a carga térmica ou taxa metabólica devida ao esforço físico do trabalhador durante a execução da tarefa.

Conforme a NR-15 (BRASIL, 1978), a exposição ao calor deve ser avaliada através do índice de bulbo úmido – termômetro de globo (IBUTG) definido pelas equações a seguir. Para ambientes internos ou externos sem carga solar tem-se

$$\text{IBUTG} = 0,7 t_n + 0,3 t_g \quad (1)$$

Já para ambientes externos com carga solar tem-se

$$\text{IBUTG} = 0,7 t_n + 0,2 t_g + 0,1 t_{bs} \quad (2)$$

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Onde  $t_n$  é a temperatura de bulbo úmido natural, medida em °C;  $t_g$ , a temperatura de globo, medida em °C; e  $t_{bs}$ , a temperatura de bulbo seco, medida em °C. O limite de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente pode ocorrer com períodos de descanso no próprio local da atividade ou em outro ambiente termicamente mais ameno.

Após determinar-se o valor do índice, o regime de trabalho com descanso no posto de trabalho é definido na Tabela 1, sendo os períodos de descanso considerados tempo de serviço para todos os efeitos legais.

Tabela 1 – Regime de trabalho em função do IBUTG (Fonte: NR-15 - BRASIL, 1978)

Regime de Trabalho Intermitente com Descanso no Próprio Local de Trabalho (por hora)	TIPO DE ATIVIDADE		
	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 adequadas de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30

No regime de trabalho em que o descanso ocorre em outro local, o operário deverá ficar em repouso ou desenvolver uma atividade leve. Os limites de tolerância para esta situação estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de tolerância para o metabolismo médio  
(Fonte: NR-15 - BRASIL, 1978)

$\bar{M}$ (Kcal/h)	Máximo $\bar{IBUTG}$
175	30,5
200	30,0
250	28,5
300	27,5
350	26,5
400	26,0
450	25,5
500	25,0

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Define-se  $\bar{M}$  como a taxa de metabolismo média ponderada para uma hora, definida pela equação:

$$\bar{M} = \frac{M_T \theta_T + M_D \theta_D}{60} \quad (3)$$

Sendo  $\theta_T$  a soma dos tempos, em minutos, do tempo em que se permanece no local de trabalho, a cada hora;  $M_T$ , a taxa de metabolismo no local de trabalho;  $\theta_D$ , a soma dos tempos parciais, em minutos, que se permanece no local de descanso, a cada hora; e  $M_D$ , a taxa de metabolismo no local de descanso, em kcal/h.

O  $\overline{IBUTG}$  é o valor médio ponderado para uma hora, definido pela seguinte equação:

$$\overline{IBUTG} = \frac{IBUTG_T \theta_T + IBUTG_D \theta_D}{60} \quad (4)$$

Sendo que  $IBUTG_T$  é o valor do  $IBUTG$  no local de trabalho; e  $IBUTG_D$ , o valor do  $IBUTG$  no local de descanso. Os tempos  $\theta_T$  e  $\theta_D$  devem ser tomados no período mais desfavorável do ciclo de trabalho, sendo  $\theta_T + \theta_D = 60$  minutos.

Por outro lado, vale ressaltar que a determinação do tipo de atividade (leve, moderada ou pesada) é feita consultando-se a Tabela 3.

Tabela 3 – Taxas de metabolismo por tipo de atividade (Fonte: NR-15 - BRASIL, 1978)

TIPO DE ATIVIDADE	Kcal/h
SENTADO EM REPOUSO	100
<b>TRABALHO LEVE</b>	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex.:datilografia).	
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex.:dirigir).	125
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	150
<b>TRABALHO MODERADO</b>	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	180
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	175
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	220
<b>TRABALHO PESADO</b>	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex.: remoção com pá).	300
Trabalho fatigante	440
	550

A exposição ao calor em excesso pode, segundo Cataldi (2002), afetar o desempenho das pessoas, causar inquietação, perda de concentração, e outros fatores. Também a umidade provoca desconforto, sonolência e aumento do suor. O ruído em excesso causa inquietação, perda do sossego, concentração, entre outros.

Deve-se observar, a partir de considerações de Pollock & Wilmore (1993), ao se referirem ao clima quente e úmido, que quanto mais elevada a temperatura, maior será o estresse térmico que o indivíduo se submete; e a medida que a umidade vai aumentando, a tolerância ao calor vai se reduzindo consideravelmente. Vê-se, que o estresse relacionado ao trabalho pode exercer grande impacto sobre saúde e o bem-estar dos trabalhadores.

Conforme estudos realizados por França & Rodrigues (2002), o estresse é entendido como sendo uma agressão que leva ao desconforto; as conseqüências dessa agressão é um conjunto de perturbações psíquicas e fisiológicas, provocadas por agentes de várias ordens, que prejudicam ou impedem a realização normal do trabalho, correspondendo a uma relação entre o indivíduo e o meio.

Mas o estresse pode estar vinculado a ambientes onde o desconforto térmico é constatado, e este pode ter repercussões na produtividade. Niemela *et. al.* (2002) investigou o efeito de temperaturas elevadas no verão sobre a produtividade do trabalho em duas centrais de atendimento. O estudo observou uma queda na produtividade a partir de 25°C, a uma taxa de 2,4%/°C. Segundo Seppänen *et. al.* (2005) existe uma diminuição consistente no desempenho humano em tarefas típicas de trabalho em escritório a partir do aumento da temperatura acima de 24 a 26°C. Lan *et. al.* (2011) analisou as conseqüências do desconforto térmico no desempenho humano. O estudo demonstrou um decréscimo no desempenho humano quando submetido ao ambiente quente. A redução chega a 10% do tempo de reação à tarefa (*Stroop effect*), 11% em problemas de adição e a 25% de raciocínio gramatical. E Lee *et. al.* (2012) mediu a relação entre a qualidade do ambiente interno de algumas salas de aula universitárias em relação ao desempenho na aprendizagem de estudantes de engenharia. Concluiu-se que as variáveis ambientais tinham correlação com as queixas relacionadas ao desempenho na aprendizagem.

### 3 Produtividade

Segundo Siegel (1980), a produtividade designa uma família de relações entre produção e insumos, as quais se alteram em função da quantidade e dos tipos considerados. Isso levou Moreira (1991) a considerar que o uso de uma medida de produtividade, em detrimento de outra estará condicionado em princípio aos objetivos pretendidos.

Contador (1997) afirma que nesta observação, são inevitáveis problemas práticos que forcem geralmente a simplificações, ainda que não desejadas. Entretanto, em certas circunstâncias, torna-se difícil levar em consideração todos os insumos, pois, considerando-se que alguns deles podem não estar disponíveis para o cálculo, outros são, às vezes, impossíveis de serem medidos. A partir disso, observa-se que as medidas de produtividade podem ser vistas como instrumentos auxiliares na detecção de problemas e no acompanhamento do desempenho dos sistemas de produção. Entretanto, são, na verdade, um indicador de eficiência, mas sob certas condições, pois ela em si mesma, é inócua, se não vier acompanhada de análise e diagnóstico. Mesmo assim, é importante a ligação entre lucro e produtividade, apesar das dificuldades.

A produtividade de uma tarefa é igual à quantidade de trabalho executado numa unidade de tempo, a qual representa as horas trabalhadas para a execução de certa tarefa. Pode-se exemplificar este procedimento utilizando-se a produtividade de uma operação, como é apresentada na Tabela 4. Assim, conforme Silva (2001), pode-se afirmar que a produtividade é medida pela relação entre os resultados da produção efetivada e os recursos produtivos aplicados a ela (ou produção/recursos), como peças/hora-máquina, toneladas produzidas/homem-hora, dentre outras.

Tabela 4 – Produtividade de uma operação (Fonte: CONTADOR, 1997)

SITUAÇÃO	PRODUÇÃO	PRODUTIVIDADE
Um operário, trabalhando em uma máquina produz, em 1 hora, 10 peças.	10 peças/hora	10 peças/homem-hora 10 peças/hora máquina
Dois operários, trabalhando em duas máquinas, produzem, em 1 Hora, 20 peças.	20 peças/hora	10 peças/homem-hora 10 peças/hora-máquina
Melhorando o método de trabalho, um homem opera duas máquinas e produz, em 1 hora, 20 peças.	20 peças/hora	20 peças/homem-hora 10 peças/hora-máquina

As definições acerca da produtividade ou de sua medida são ratificadas por Lopes *et al.* (2003). Em seu artigo eles enfatizam que medida de produtividade está vinculada ao tempo necessário a cada etapa de produção para determinar a real necessidade de mão-de-obra e, posteriormente, avaliar sua utilização. Eles enumeram uma série de aplicações dos dados sobre tempos de produção. Entre elas, destaca-se o balanceamento do trabalho alocado a cada etapa de uma operação (identificação de gargalos). Em síntese, medida do trabalho é a aplicação de técnicas projetadas para definir o tempo que um trabalhador qualificado precisa para realizar um trabalho especificado com um nível definido de desempenho. Logo, para a medição do tempo necessário para a execução de uma determinada tarefa, o produto deve ter especificação clara (características de qualidade); o resultado do trabalho produzido no momento da medição deve estar de acordo com a qualidade exigida (especificação do produto); o método, equipamentos e as condições de trabalho utilizados no momento da medição devem corresponder aos empregados normalmente; e o trabalhador precisa conhecer seu trabalho, o produto, ter habilidade e desempenho condizentes com a média do dia de trabalho, como é o caso dos operários que aplicam revestimentos cerâmicos em edificações no litoral da cidade de Maceió, Alagoas, Brasil.

#### 4 Regressão Robusta

Estimadores robustos são estimadores que conservam propriedades estatísticas, mesmo quando as suposições sobre os dados não são satisfatórias. Segundo Ryan (2009), a regressão linear robusta representa uma alternativa de modelagem para a regressão linear em situações em que as suposições sobre as distribuições dos erros são potencialmente inválidas. No modelo linear simples, como é o caso deste trabalho, onde a variável dependente Y é Produtividade e a variável independente X é IBUTG, observa-se n pares independentes (Xi, Yi), onde a regressão linear de Y sobre X é a expectativa condicional  $E(Y|X) = \beta_0 + \beta_1 X$ .

Categorizando a regressão, o estimador da curva de regressão é considerado robusto porque nenhuma observação simples (ou um pequeno grupo de observações) terá uma influência significativa no modelo estimado; a inclinação da regressão escolhe o declive (inclinação) médio fora dos pares  $\left(\frac{n}{2}\right)$  diferentes de pontos de dados. (KVAM & VIDAKOVIC, 2007)

##### 4.1 Estimativa Huber – M-estimador

Esse estimador foi introduzido por Huber (1973) e é baseado na generalização de que os coeficientes das equações de regressão são estimados a partir da minimização de uma função

dos resíduos  $e_i$  (diferença entre valor observado e valor estimado pelo modelo). Essa função dos resíduos é dada pela equação 5.

$$f(e_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \psi(e_i)}{\sigma} \quad (5)$$

Onde  $\sigma$  é um fator de escala, como uma medida de dispersão, e  $\Psi(\cdot)$  é chamada de função perda. No método OLS a função perda é dada por  $\Psi(x)=x^2$ , de modo que se tem o quadrado dos resíduos. Uma função perda proposta por Huber (1975) é indicada na equação 6.

$$\psi(x) = \begin{cases} x^2 & |x| < c \\ 2c|x| - c^2 & |x| > c \end{cases} \quad (6)$$

Onde  $c > 0$ .

Fox e Weisberg (2011) afirmam que a função perda está relacionada a pesos que devem ser atribuídos aos erros. Essa relação segundo os autores é dada pela equação 7.

$$w_i = \frac{\psi(e_i)}{e_i} \quad (7)$$

Os pesos são, então, usados para obter as estimativas dos coeficientes por meio do mesmo problema de minimização do método dos mínimos quadrados ponderados. Nesse método a função objetivo a ser minimizada é a mostrada na equação 8.

$$f(e_i) = \sum_{i=1}^n w_i e_i^2 \quad (8)$$

#### 4.2 MM-estimadores

Esse estimador foi proposto por Yohai (1985) e tem como propriedades o ponto de ruptura de 50%, consistência e eficiência assintótica, sendo definidos através de um procedimento de três estágios: 1) obtém-se estimativas para os parâmetros  $\beta^{(0)}$  com alto ponto de ruptura utilizando-se o estimador LTM por exemplo, para isso não há imposição de eficiência do estimador; 2) calcula-se um M-estimador de escala  $s$  (S-estimador) a partir dos resíduos obtidos no primeiro estágio; e 3) fixando-se este estimador de escala como uma escala auxiliar, calcula-se um M-estimador de regressão baseado em uma função  $\Psi$  redescendente.

#### 4.3 Mínimos Quadrados Podados - MMP (Least Trimmed Squares Regression - LTS)

MMP é outra técnica de regressão robusta proposta por Rousseeuw (1985) como uma alternativa robusta para a regressão simples dos mínimos quadrados. Nesse método procura-se minimizar a mesma medida de desvio que aquela do método dos mínimos quadrados ordinários (*Ordinary Least Squared* - OLS). No entanto, o objetivo é obter coeficientes que minimizem a soma do quadrado dos erros apenas para uma parte das observações. No método apenas os  $h$  menores resíduos são usados para estimar os coeficientes da equação de regressão. O número  $h$  de resíduos usados na estimação é dado pela equação 9.

$$h = \left( \frac{n}{2} \right) + \left( \frac{p+1}{2} \right) \quad (9)$$

A equação 9 foi introduzida por Rousseeuw e Leroy (1987) que mostraram que o estimador MMP tem o seu mais elevado nível de robustez quando  $h$  é dado por essa equação. Embora a escolha de  $h$  deva ser baixa para não comprometer a eficiência do estimador, não

deve ser tão baixa para não comprometer a robustez. Desse modo, há um *trade off* entre a robustez e a eficiência do estimador. Esse *trade off* é controlado pela escolha do ponto de corte *h*.

Para Ryan (2009) o método LTS procura obter um estimador ótimo excluindo do processo de estimação dos parâmetros do modelo linear os “maus pontos” sem que seja excluído nenhum dos pontos que proporcione um modelo que forneça estimativas aproximadas para maior parte das observações.

#### 4.4 Menor mediana do quadrado dos resíduos MMQ (Least Median Squares Regression – LMS)

O menor mediana dos quadrados (MMQ) encontra a linha de regressão através dos dados que minimiza a mediana (em vez da média) dos quadrados dos erros. Enquanto o método MMQ é provado ser robusto, não pode ser facilmente resolvido como um problema de mínimos quadrados ponderados. A solução deve ser encontrada através de pesquisa no espaço de possíveis estimativas geradas a partir dos dados, que normalmente é muito grande para fazer analiticamente. Em vez disso, subconjuntos escolhidos aleatoriamente dos dados são escolhidos de modo que uma solução aproximada pode ser calculada sem muita dificuldade.

### 5 Procedimentos Metodológicos

Calculou-se o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo - IBUTG, a cada 10 minutos, conforme NR15/78, observando os níveis de tolerância da NHO 06/2002. Concomitantemente, determinou-se a produtividade (P) média de cada trabalhador em função da área revestida de cerâmica nas fachadas (leste e oeste), nos turnos matutino e vespertino, a qual foi dividida pelo número de horas de cada turno em metro quadrado por hora.

Após a coleta de dados (tabela 5), utilizou-se técnicas de regressão robusta para encontrar o modelo ou os modelos que representem melhor a relação entre IBUTG (variável independente) e Produtividade (variável dependente), utilizando o software R.

Tabela 5 – Dados coletados das variáveis Produtividade (P) e IBUTG (Fonte: Pesquisa direta)

P	IBUTG	P	IBUTG	P	IBUTG	P	IBUTG
1.32	32.61	1.24	30.07	1.55	28.48	1.37	28.76
1.32	32.54	1.48	27.80	1.55	29.04	1.57	29.90
1.32	31.97	1.48	27.58	1.50	28.87	1.57	29.94
1.32	31.08	1.48	28.22	1.50	28.90	1.57	31.68
1.32	29.53	1.48	27.84	1.50	28.87	1.57	32.49
1.24	31.78	1.48	28.69	1.50	28.78	1.19	31.41
1.24	33.17	1.55	27.57	1.37	28.88	1.19	32.22
1.24	32.19	1.55	27.74	1.37	28.85	1.19	31.71
1.24	31.50	1.55	28.24	1.37	28.97	1.19	32.01

### 6 Resultados e Conclusões

Os coeficientes dos parâmetros apresentados na Tabela 6 os quais foram estimados pelos métodos MQ, M, MM, LTS e LMS apresentam resíduos inferiores ao dos estimados pelo método LMS, o qual apresenta uma margem de erro bem maior e seu respectivo *p-value* é superior aos dos estimados pelos métodos supracitados. Esta constatação pode ser visualizada nos Figuras 1 e 2; a representação gráfica do método LMS difere das dos métodos MQ, M, MM e LTS. E, de acordo com o coeficiente da variável IBUTG do método LMS constante na tabela 6, verifica-se que um aumento neste índice poderia ter um pequeno acréscimo na produtividade. Como na pesquisa realizada o IBUTG ∈ [27,57°C;33,17°C], e segundo a NHO

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

06/2002 a tolerância máxima para o IBUTG é de 29,4°C para um ambiente de trabalho onde a atividade exercida necessita dos braços e troncos, como é o caso da atividade de revestimentos cerâmicos, um valor superior a 29,4°C  $\in$  [27,57°C;33,17°C] tornará o ambiente de trabalho cada vez mais insalubre. Assim, o método LMS balizado pelos seus níveis de ruído e *p-value* não representa fidedignamente a relação entre Produtividade e IBUTG.

A amostra utilizada neste trabalho está no entorno de 36 (tabela 5), e observou-se que a relação entre Produtividade e IBUTG é inversamente proporcional conforme dados apresentados na tabela 5 e evidenciados através dos Figuras 1 e 2. Esta relação mostra que a cada acréscimo de 1°C no posto de trabalho de aplicação de revestimentos cerâmicos em edificações no litoral da cidade de Maceió, a produtividade dos operários sofre um decréscimo, tendo em vista que o IBUTG  $\in$  [27,57°C;33,17°C] em alguns momentos fornece indicações de insalubridade no posto de trabalho.

Por outro lado, para  $n > 36$  é provável que essa relação seja mais significativa, inibindo assim “perturbações” lineares provocadas por algumas anomalias (*outliers*). Mas a utilização da Regressão Robusta (RR) neste trabalho proporcionou analisar minuciosamente diversos parâmetros encontrados pelos métodos de RR, avaliando assim o modelo mais eficiente. Esta possibilidade de análise pode ser constatada nas informações apresentadas na tabela 6 e na representação gráfica de cada método visualizada nos Figuras 1 e 2. Neste caso específico, os métodos de Regressão Robusta MQ, M, MM, LTS são métodos eficazes para verificar a relação entre Produtividade e IBUTG, haja vista que estes métodos possuem valores residuais bem próximos e ínfimos e seus parâmetros com *p-values*  $\ll 0,05$ .

Tabela 6 – Comparação entre os métodos de estimação (Fonte: Dados da pesquisa)

Método de estimação	Intercepto	IBUTG	Resíduos	p-valor do $\beta_0$	p-valor do $\beta_1$
MQ	2,857450	-0,048520	0,3816095	$5,51 \cdot 10^{-11}$	$3,14 \cdot 10^{-5}$
M	3,028300	-0,054600	0,3895728	$4,77 \cdot 10^{-13}$	$4,89 \cdot 10^{-7}$
MM	3,066200	-0,055900	0,3924425	$7,77 \cdot 10^{-13}$	$5,55 \cdot 10^{-7}$
LTS	2,957540	-0,051380	0,3898345	$3,66 \cdot 10^{-9}$	$7,93 \cdot 10^{-6}$
LMS	1,273541	0,008584	1,3392610	$1,18 \cdot 10^{-3}$	0,3266

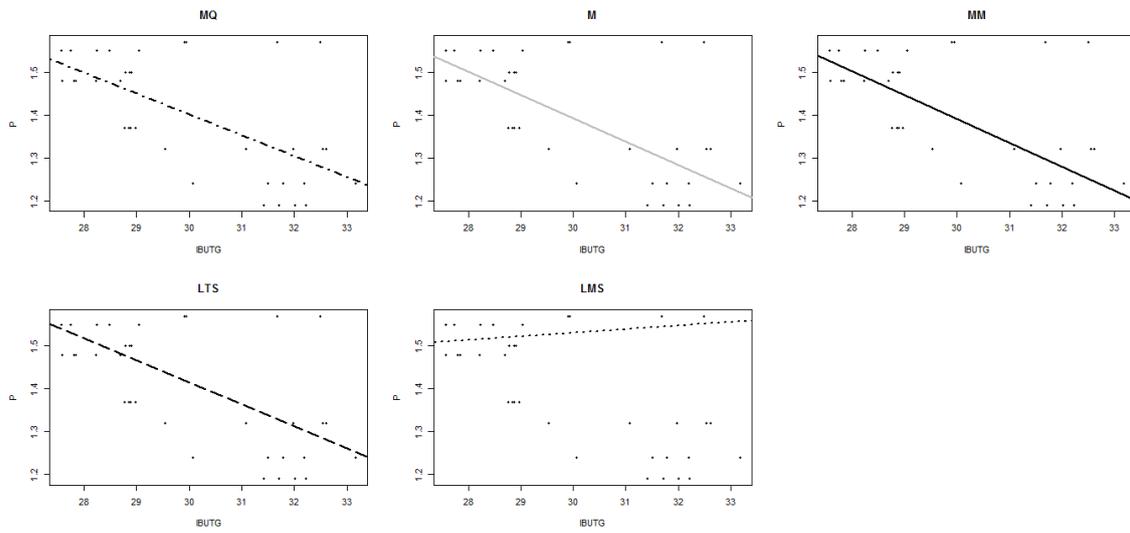


Figura 1 – Representação gráfica de cada método de Regressão Robusta

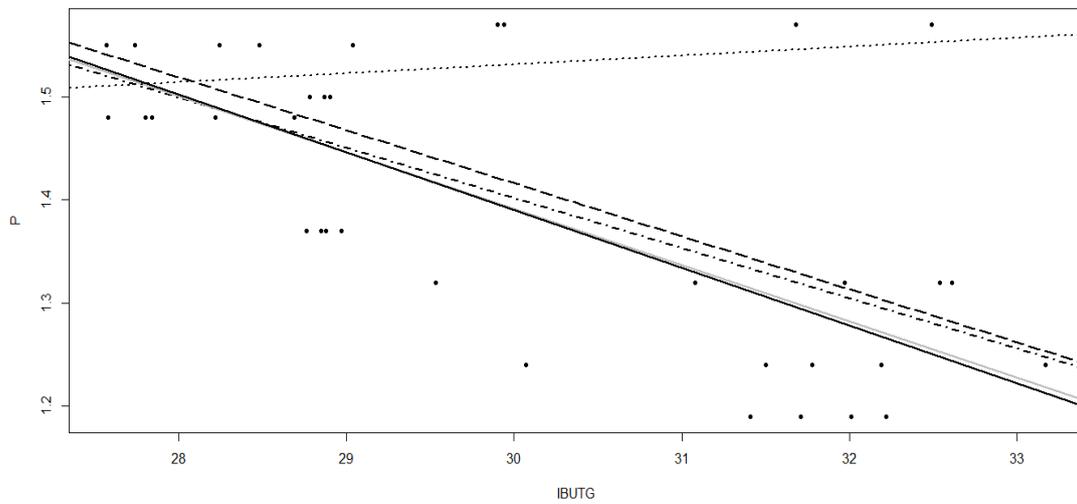


Figura 2 – Modelos lineares construídos a partir dos estimadores de Regressão Robusta

LEGENDA:

- MQ - - - - -
- M —————
- MM —————
- LTS - - - - -
- LMS .....

### REFERÊNCIAS

- Akimoto, T., Tanabe, S. T., Yanai, T., Sasaki, M. (2010). Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. *Building and Environment*, 45-50.
- Brasil. Ministério do Trabalho. (1978). NR-15: atividades e operações insalubres. Brasília, DF.
- Cataldi, M.J.G. (2002). O stress no meio ambiente de trabalho. 1ª ed. São Paulo: LTR.
- Chiavenato, I. (1999). *Gestão de Pessoas*. Editora Campus. São Paulo.
- Contador, J. C. (1997). A engenharia de produção a serviço da modernização da empresa. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda/Fundação Vanzolini, 119-136.
- Figueira, C. V. (2006). Modelos de Regressão Logística. Porto Alegre. Dissertação (mestrado em matemática) Programa de Pós-graduação em matemática do Instituto de Matemática Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Fox, Jo. & Weisberg, S. (2011). *Robust Regression in R*. Sage, Thousand Oaks, CA, second edition.
- França, A.C.L. & Rodrigues, A.L. (2002). *Stress e Trabalho*. São Paulo: Atlas.
- Fundacentro.(2002). Norma de higiene ocupacional – avaliação da exposição ocupacional ao calor. Ministério do Trabalho e Emprego: Brasília, 50.
- Grandi, S.L. (1985). Desenvolvimento da indústria da construção no Brasil: mobilidade e acumulação do capital e da força de trabalho. São Paulo: USP.
- Huber P.J. (1975). Robust Regression: Asymptotics, Conjectures and Monte Carlo”, *Annals of Statistics*, Vol. 1, 799-821.
- International organization standardization (ISO). (1989). ISO 7243: hot environments: estimation of the heat stress on working man. Geneva.
- Kinas, P. G. & Andrade, H. A. (2010) Introdução à análise Bayesiana (com R). Porto Alegre: maisQnada. 161-222 .
- Kvam, P. H. & Vidakovic, B. (2007). *Nonparametric Statistics with Applications to Science and Engineering*. Ed. John Wiley & Sons.
- Lan, L., Wargocki, P., Lian, Z. (1991). Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*. 2011. Vol 43: 1057-1062.
- Lee, M. C., Mui, K. W., Wong, L. T., Chan, W. Y., Lee, E. W. M., Cheung, C. T. (2012). Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. *Building and Environment*, 49, 238 – 244.
- Lopes, P. C. B., Stadler, C. C., Pilatti, L. A. (2003). Produtividade da mão-de-obra (estimativa da necessidade de mão-de-obra na indústria frigorífica). *Publ. UEPG Humanit. Sci., Appl. Soc. Sci., Linguist., Lett. Arts*, Ponta Grossa, 11 (2), 51-56.

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

- Moreira, D .A. (1991). Medida da produtividade na empresa moderna. São Paulo: Pioneira.
- Niemelä, R.; Hannula, M.; Rautio, S.; Reijula, K.; Railio, J. (2002). The effect of air temperature on labour productivity in call centres - a case study. *Energy and Buildings*, vol 34, 759-764.
- Pollock, M & Wilmore, J. (1993). Exercícios na saúde e na doença. Rio de Janeiro: Medsi.
- Prearo, L. C. (2008). Uso de técnicas estatísticas multivariadas em dissertações e teses sobre o comportamento do consumidor: um estudo exploratório. São Paulo, 100 p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- Rousseeuw, P. J. (1985). Multivariate Estimation with High Breakdown Point, in *Mathematical Statistics and Applications B*, Eds. W. Grossmann et al., p.283-297.
- Rousseeuw, P. J. & Leroy, A. M. (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*. New York: Wiley.
- Ruas, A. C. (2001). Avaliação de conforto térmico – contribuição à aplicação prática das normas internacionais. São Paulo: Unicamp.
- Ryan, T. P. (2009). *Modern Regression Methods*. 2 ed. John Wiley & Sons.
- Ryan, T. P. *Modern regression methods*. New Jersey: Wiley, 2009. 421-462.
- Seppänen, O., Fisk, W.J., Lei, Q.H. Effect of temperature on task performance in office environment. IN: *5th International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating, and Air Conditioning*. 2005: Moscow.
- Siegel, I. H. (1980). *Company productivity: measurement for improvement*. Kalamazoo, Michigan: W. E. Upjohn Institute for Employment Research.
- Silva, L.B. (2001). Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do Centro de Processamento dos Dados da Caixa Econômica Federal de Pernambuco. Tese de Doutorado. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Vargas, N. et al. (1984). A prática da fraqueza e da "discordância": a participação dos trabalhadores na gestão de uma construtora. Rio de Janeiro: UFRJ/COOPE.
- Woo, J. H. (2008). Effects of indoor environmental quality on occupant comfort and performance in work environments. *World Sustainable Building Conference*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation: Melbourne, v 2, 849-856.
- Yohai, V. J. (1987). High breakdown point and high efficiency robust estimates for regression. *Annals of Statistics*, Vol. 15, 642-656.