Cerâmica **61** (2015) 77-87 http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613571859

Determinação do tamanho de lote mínimo em amostragem aleatória para materiais, empregando a distribuição de Weibull

(Determination of minimum sample size from randomic numbers for materials, applying Weibull distribution)

J. A. M. Pereira, E. A. Carvalho
Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Av. Alberto Lamego 2000, Pq. Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil 28013-600
joseantonio.maciel@uol.com.br, *eatem@uenf.br*

Resumo

Para materiais frágeis, nos quais algumas propriedades podem ser representadas pela distribuição de Weibull, destaca-se a necessidade de que um método seja apresentado para a determinação de lotes mínimos. Um modelo foi construído a partir de um método já aplicado para distribuição normal, com o auxílio de ferramentas estatísticas, desenvolvida em metodologia quantitativa e exploratória. Realizada a coleta números verdadeiramente aleatórios, em distribuição normal, conforme coeficientes de variação pré-estabelecidos para quatro faixas de numéricas, simulando também uma dispersão aleatória. Estes números foram desdobrados em distribuições menores, simulando tamanho de lotes. Utilizou-se a metodologia de Cochran, com a adoção de critérios específicos para a distribuição de Weibull. Foram produzidas tabelas numéricas que relacionam os coeficientes de variação de Weibull, faixa numérica e parâmetros de Weibull para a determinação de lotes mínimos em função do número máximo de amostras.
Palavras-chave: lotes mínimos, materiais frágeis, Weibull.

Abstract

Regarding brittle materials, where some properties can be represented by Weibull distribution, the necessity of a new method of minimum sample be presented must be highlighted. Thus, a model has been built as baseline from a method already applied to normal distribution supported by statistical tools. Applying Cochran methodology, a new model was built, starting from numbers truly random, under normal distribution and using variation coefficients by four given numerical ranges faking the brittle materials randomly dispersion. Such numbers packs were deployed into new smaller distributions. Ensuring normal and distribution compliance. Adopting specific criteria, numerical tables are outcome, which encloses coefficient of variation, numerical ranges and Weibull parameters with minimum batch number as a function of the maximum number of batches.
Keywords*: minimum batch, brittle materials, Weibull.*

INTRODUÇÃO

A distribuição de Weibull tem sido, em recentes anos, utilizada em grande número de trabalhos científicos para a determinação de vida útil ou previsões nas áreas aeroespacial, automotiva, geração elétrica, médica e dentária, eletrônica e em diversas outras. Dodson [1] estabelece 4 funções de interesse para o uso de Weibull, sendo a principal delas a função densidade de probabilidade, simbolizada por f(x), que descreve a forma da distribuição. É representada pela equação:

$$f(x) = \frac{\beta(x-\delta)^{\beta-1}}{\theta^{\beta}} e^{\left\{\frac{(x-\delta)^{\beta}}{\theta}\right\}} \tag{A}$$

na qual β é o parâmetro de forma, número adimensional, também conhecido como módulo de Weibull (*m*) e inclinação da distribuição de Weibull, θ é o parâmetro de escala. Significa o valor de tempo em que 63,2% das falhas ocorrem se o parâmetro de localização for igual a zero. δ é o parâmetro de localização ou de posição ao longo do eixo das abscissas. Em caso de $\delta \neq$ zero, δ é a vida mínima da população. O objetivo geral deste artigo está associado em apresentar um novo método para a determinação de lotes mínimos para materiais que apresentam distribuição por Weibull que se inicia com o uso de uma ferramenta aplicada para distribuições normais [2], contribuindo com o preenchimento de uma lacuna no meio acadêmico, onde são raras bibliografias para esta área.

Métodos de estimação de parâmetros

Dodson [1] apresenta e destaca três métodos de estimação de parâmetros: Gráfico (*Probability Plotting - PP*), método de risco (*Harzard Plotting - HP*) e método de máxima verossimelhança (*Máximum Likelihood Estimation - MLE*). Em geral, todos possuem vantagens de utilização e suas próprias limitações. Recomenda o uso do método gráfico ou método de risco para a melhor verificação da qualidade da linearização proposta para a distribuição de Weibull**.** Diversos autores [3, 4] apresentaram trabalhos com uso de vários métodos não paramétricos para a determinação de parâmetros de Weibull. Yahaya *et al* [5] apresentam uma compilação de outros diversos estudos.

Determinação de lotes mínimos

Cochran [2] utiliza dois tipos de erros para determinação de lotes mínimos para distribuições normais. O primeiro, erro α é o nível de risco caracterizado pela distribuição *T-Student,* cujo valor, geralmente utilizado na literatura é 0,05. O segundo erro, denominado erro relativo r deve ser controlado na população total ou média. Deste modo:

$$\Pr\left(\left|\frac{\bar{x}-\mu}{\mu}\right| \geq r\right) = \Pr\left(\left|\frac{N\bar{x}-N\mu}{N\mu}\right| \geq r\right) = \Pr(|\bar{x}-\mu| \geq r\mu) \quad \text{(B)}$$

na qual *Pr* é a probabilidade de r ocorrer e *N* é o número total de itens da amostra (população). Assim, tem-se que:

$$r\mu = tS_{\bar{x}} = t\sqrt{\frac{N-n}{N}}\frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad \text{(C)}$$

A equação D de Cochran deriva da equação C e usa quatro fatores principais:

$$n_0 = \frac{t^2 s^2}{r^2 \mu^2} \quad \text{(D)}$$

na qual n_0 = valor do lote mínimo calculado, t = o erro alfa (α) T-Student, S^2 = valor da variância da amostra, ***r*** = erro relativo e = valor da média da população. Cochran [2] estabelece que o resultado obtido com n_0 deverá ser inferior do que 5% do número de amostras. Caso isto não aconteça, a correção ou refinamento deverá ser realizada através de uma nova fórmula:

$$n_f = \frac{n_0}{1+\frac{n_0}{N}} \quad \text{(E)}$$

na qual *nf* = novo número de lote mínimo e *N* = número de amostras do lote.

Coeficiente de variação

Definido como a relação entre o desvio padrão S e a média aritmética do lote μ,

$$CV = \frac{S}{\mu} \quad \text{(F)}$$

MÉTODOS

O procedimento sistemático do método de pesquisa do processo organização foi definido em duas etapas. A primeira consiste na construção das tabelas de relacionamento entre números aleatórios de distribuição normal (método normal), que possuem a determinação de lotes mínimos por meio da equação D de Cochran e métodos de determinação de parâmetros de Weibul, em uma faixa determinada de erro relativo r e, a segunda, busca da validação experimental do método proposto para materiais frágeis. A seguir, estes passos são detalhados: 1) definição das faixas de números: foram definidas as faixas aleatórias de números entre 0 e 1, 0 a 0,75, 0 a 0,5 e 0 a 0,25, com a intenção de simular quatro níveis aleatórios de dispersão (partindo-se de um menor até um maior) como mostrado na Tabela I; 2) definição dos coeficientes de variação: foram determinados, aleatoriamente, os coeficientes de variação, em número de 0,1, 0,2, 0,3 e 0,4, e calculados a média aritmética e o desvio padrão das faixas numéricas, como mostrado na Tabela I; geração e coleta de 300 números verdadeiramente aleatórios [6], dentro das faixas de números em função dos coeficientes de variação definidos na Tabela I, consideradas como amostras completas; sublotes foram criados, retirando-se os cinco últimos números de cada lote sequencial, respeitando-se o seu rank ordinário original, distribuídos em 60 sublotes (denominados lotes originais), por 4 coeficientes de variação e para 4 faixas numéricas, perfazendo o número total de 960 novas distribuições.

- Utiliza-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para a adequação de normalidade e para a adequação à distribuição de Weibull, os três métodos de estimação de parâmetros (MLE, PP e HP) para os cálculo dos parâmetros de forma β e de localização θ, além da avaliação do coeficiente de relacionamento n(R^2) nos métodos de HP e PP, já que utilizam a regressão linear simples.

- Aplicação da equação de Cochran para determinação de n_0 (equação D) e, em caso de que n_0 > 5% e da fórmula de correção (equação E) para cálculo de n_f.

Tabela I - Determinação de FN, coeficientes de variação CV, média e desvio padrão.
[Table I - Determination of FN, CV, average and standard deviation.]

FN	CV	Média	Desvio padrão
0 a 1,00	0,1	0,500	0,0500
0 a 1,00	0,2	0,500	0,1000
0 a 1,00	0,3	0,500	0,1500
0 a 1,00	0,4	0,500	0,2000
0 a 0,75	0,1	0,375	0,0375
0 a 0,75	0,2	0,375	0,0750
0 a 0,75	0,3	0,375	0,1125
0 a 0,75	0,4	0,375	0,1500
0 a 0,50	0,1	0,250	0,0250
0 a 0,50	0,2	0,250	0,0500
0 a 0,50	0,3	0,250	0,0750
0 a 0,50	0,4	0,250	0,1000
0 a 0,25	0,1	0,125	0,0125
0 a 0,25	0,2	0,125	0,0250
0 a 0,25	0,3	0,125	0,0375
0 a 0,25	0,4	0,125	0,0500

- Aplicação dos critérios de Cochran (1977) em função do erro relativo para distribuição normal e para distribuições de Weibull na faixa foi de 1 a 10%, ou seja, de 0,01 a 0,1, considerando-se o limite de 10% de precisão (*accuracy)* em qualquer medição o máximo tolerável neste modelo. Assim, foram realizadas 38.400 interações.

- Determinação do número máximo de amostras necessárias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e o tamanho de lote mínimo LM para o método normal e para os métodos de Weibul, a partir das seguintes premissas:

a) o sentido adotado foi do maior lote para os menores, ou seja, o ponto de raiz foi N = 300 seguindo-se em diante; b) a média aritmética simples é o parâmetro de referência para a determinação do lote mínimo; c) intervalo de números aceitos para cálculo de média seria de, no mínimo, composto de um intervalo com 6 números ($n \geq 6$); d) amplitude no intervalo de +1 ou -1 em relação à média do item anterior; e) apenas um valor não enquadrado no quarto critério, pode ser aceito na composição da média; f) aplicação dos itens anteriores para a determinação de beta e teta.; g) arrendondamentos: até decimal 5 (inclusive), "arrendonda-se para baixo" e para o caso de decimal acima de 5 (exclusive) "arrendonda-se para cima";

- exclusão de valores obtidos pela correção **,** conforme equação E ou manutenção de n_0 que se igualavam ao lote original N;

- Confecção de tabelas de relacionamento de parâmetros de Weibull, coeficientes de variação e erro r para a determinação de lotes mínimos.

- validação experimental do método proposto para materiais frágeis.

RESULTADOS

Apresentação das tabelas geradas

As Tabelas II a XVII geradas a partir da sequência rigorosa dos 11 passos anteriores, mostram os valores obtidos como número mínimo de amostras necessárias para determinação de lote mínimo em um material que possua. Assim, o método apresenta foram geradas comparativamente entre o método normal e os três métodos de determinação de parâmetros de Weibull, em função do erro relativo da equação E de Cochran na faixa de erro relativo de 0,1 a 0,01 (1 a 10%), β e θ e, também, em função do coeficiente de variação de Weibull e faixa numérica de dispersão. Estas tabelas consideram o tamanho de lote mínimo LM como menor ou igual a n-1 e o número máximo de amostras necessárias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ para o valor do parâmetro de localização θ maior ou igual a 5.

Aplicação prática do método para validação

Todo método experimental necessita ser testado em casos práticos para que seja verificada a sua respectiva aplicabilidade e repetibilidade, dentro de uma abordagem cartesiana, de modo que seja possível a sua validação para a Ciência. Com este fim, foram selecionados dois lotes de materiais cerâmicos aleatórios constantes em trabalhos desenvolvidos na literatura. Hespanhol [7] apresentou um lote composto por 71 amostras de material cerâmico submetidas a ensaio de flexão de quatro pontos em máquina

Tabela II - Número máximo de amostras necessárias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,1 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 1 em função erro relativo r.
[Table II - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.1 and FN between 0 and 1 as function of r.]

(r)	Normal LM ≤ N - 1		Weibull MLE β = 11 ($N_{máx} \geq 25$) θ = 0,5		Weibull PP β = 13 ($N_{máx} \geq 15$) θ = 0,5		Weibull HP β = 13 ($N_{máx} \geq 15$) θ = 0,5	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	250	67	275	82	275	66	265	67
0,03	140	34	145	42	130	33	115	34
0,04	115	21	115	26	105	20	110	21
0,05	105	14	55	17	100	14	95	14
0,06	95	10	40	12	35	10	25	10
0,07	25	7	25	9	25	7	15	7
0,08	25	6	25	7	15	6	15	6
0,09	15	4	25	6	5	4	15	5
0,10	15	4	25	5	5	4	5	4

Tabela III - Número máximo de amostras necessárias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,2 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 1 em função do erro relativo r.
[Table III - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.2 and FN between 0 and 1 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,6		Weibull PP β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,5		Weibull HP β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,5	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	275	101	275	103
0,04	230	68	275	74	270	67	255	68
0,05	215	48	225	51	270	47	210	47
0,06	200	35	205	38	200	34	205	35
0,07	200	27	150	28	200	26	195	26
0,08	160	21	140	22	145	20	195	21
0,09	145	17	90	18	65	16	195	17
0,10	140	14	90	15	55	13	50	13

Tabela IV - Número máximo de amostras necessárias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,3 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 1 em função do erro relativo r.
[Table IV - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.3 and FN between 0 and 1 as fucntion of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 4 (Nmáx ≥ 10) θ = 0,6		Weibull PP β = 3 (Nmáx ≥ 15) θ = 0,6 (Nmáx ≥ 10)		Weibull HP β = 3 (Nmáx ≥ 15) θ = 0,6 (Nmáx ≥ 10)	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	270	107	270	110	NA	NA	NA	NA
0,05	230	78	250	81	255	100	270	103
0,06	225	60	225	62	230	78	230	80
0,07	210	47	205	48	200	62	210	64
0,08	150	37	150	38	155	50	155	52
0,09	80	30	85	31	150	42	155	43
0,10	65	25	75	26	150	35	150	36

Tabela V - Máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,4 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 1 em função do erro relativo r.
[Table V - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.4 and FN between 0 and 1 as function of r.]

Erro relativo (r)	Normal		Weibull MLE β = 3 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,6		Weibull PP β = 2 ($N_{máx}$ ≥ 15) θ = 0,6		Weibull HP β = 2 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,6	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,07	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,08	275	70	260	69	NA	NA	NA	NA
0,09	260	58	260	58	NA	NA	NA	NA
0,10	260	49	260	49	260	61	260	63

Tabela VI - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,1 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,75 em função do erro relativo r.
[Table VI - $N_{máx}$ and minimum Batches for CV = 0.1 and FN between 0 and 0.75 as function of r.]

Erro relativo (r)	Normal		Weibull MLE β = 10 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,4		Weibull PP β =11 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,4		Weibull HP β = 11 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,4	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	275	77	270	78
0,03	185	41	275	51	145	40	145	41
0,04	185	25	115	31	90	25	85	25
0,05	80	17	85	21	80	17	65	17
0,06	40	12	80	15	30	12	30	12
0,07	30	9	45	11	20	9	20	9
0,08	20	7	40	9	20	7	20	7
0,09	20	6	30	7	20	6	20	6
0,10	20	5	30	6	20	5	20	5

Tabela VII - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,2 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,75 em função do erro relativo r.

[Table VII - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.2 and FN between 0 and 0.75 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 5 ($N_{máx}$ ≥ 5) θ = 0,4		Weibull PP β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,4		Weibull HP β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,4	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	255	103	270	105
0,04	235	71	270	77	205	69	195	70
0,05	180	50	255	55	185	49	190	50
0,06	165	37	170	40	180	36	180	37
0,07	125	28	140	31	115	27	115	28
0,08	115	22	120	24	115	22	60	22
0,09	60	18	115	20	50	17	50	18
0,10	50	15	60	16	40	14	50	15

Tabela VIII - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,3 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,75 em função do erro relativo r.

[Table VIII - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.3 and FN between 0 and 0.75 as funcion of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 3 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,4		Weibull PP β = 3 ($N_{máx}$ ≥ 15) θ = 0,4		Weibull HP β = 3 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,4	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,05	250	95	245	95	270	111	275	114
0,06	240	73	240	74	245	87	250	90
0,07	205	58	195	58	240	70	240	72
0,08	175	47	165	47	205	57	220	59
0,09	160	38	160	39	165	47	160	48
0,10	155	32	155	33	150	39	155	41

Tabela IX - Número m de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,4 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,75 em função do erro relativo r.

[Table IX - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.4 and FN between 0 and 0.75 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 3 ($N_{máx}$ ≥ 5) θ = 0,4		Weibull PP β = 2 ($N_{máx}$ ≥ 5) θ = 0,4		Weibull HP β = 2 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,4	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,05	275	132	275	132	NA	NA	NA	NA
0,06	270	106	270	106	275	126	275	128
0,07	250	86	250	86	275	105	255	105
0,08	215	71	215	71	230	87	210	88
0,09	200	59	200	59	205	73	205	75
0,10	200	50	200	50	200	63	200	64

Tabela X - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,1 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,5 em função do erro relativo r.

[Table X - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.1 and FN between 0 and 0.5 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 11 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,3		Weibull PP β = 12 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,3		Weibull HP β = 12 ($N_{máx}$ ≥ 15) θ = 0,3	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	275	71	NA	NA	270	69	NA	NA
0,03	240	41	270	46	240	35	240	36
0,04	120	20	235	27	100	20	105	21
0,05	120	14	105	17	100	14	55	14
0,06	95	10	50	12	50	10	30	10
0,07	20	7	30	9	10	7	10	7
0,08	10	5	15	7	10	6	10	6
0,09	10	4	10	6	10	4	10	5
0,10	10	4	10	5	10	4	10	4

Tabela XI - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo Ideal para coeficientes de variação = 0,2 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,5 em função do erro relativo r.

[Table XI - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.2 and FN between 0 and 0.5 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 15) θ = 0,3		Weibull PP β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 5) θ = 0,3		Weibull HP β = 6 ($N_{máx}$ ≥ 5) θ = 0,6	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	270	108	275	112	265	99	255	101
0,04	245	73	240	75	240	66	240	68
0,05	165	51	165	53	125	46	110	47
0,06	105	38	125	39	100	34	100	36
0,07	75	29	100	30	70	27	70	28
0,08	60	23	75	24	55	21	60	22
0,09	60	19	75	20	55	17	55	18
0,10	60	16	60	16	55	14	55	15

Tabela XII - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,3 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,5 em função do erro relativo r.

[Table XII - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.3 and FN between 0 and 0.5 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 4 ($N_{máx}$ ≥ 5) θ = 0,3		Weibull PP β = 4 ($N_{máx}$ ≥ 5) θ = 0,3		Weibull HP β = 4 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,3	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	NA	NA	NA	NA	260	104	270	107
0,05	275	90	275	91	230	76	230	79
0,06	275	69	275	70	225	58	225	60
0,07	275	54	275	55	200	45	205	47
0,08	275	43	275	44	100	36	90	37
0,09	255	35	270	36	60	29	60	30
0,10	220	29	205	29	50	25	50	26

Tabela XIII - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,4 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,5 em função erro relativo (r)

[Table XIII - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.4 and FN between 0 and 0.5 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 3 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,3		Weibull PP β = 12 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,3		Weibull HP β = 2 ($N_{máx}$ ≥ 20) θ = 0,3	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,06	265	102	265+	103	NA	NA	NA	NA
0,07	255	83	255	83	265	111	275	114
0,08	250	68	250	69	255	94	240	95
0,09	250	57	250	61	235	79	240	81
0,10	245	48	250	52	230	68	240	70

Tabela XIV - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo Ideal para coeficientes de variação = 0,1 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,25 em função erro relativo r.

[Table XIV - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.1 and FN between 0 and 0.25 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE β = 10 ($N_{máx}$ ≥ 25) θ = 0,1		Weibull PP β = 12 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,1		Weibull HP β = 12 ($N_{máx}$ ≥ 10) θ = 0,1	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	270	71	270	88	NA	NA	NA	NA
0,03	135	36	200	47	100	35	100	36
0,04	55	22	95	29	75	21	70	22
0,05	45	15	50	19	40	15	70	15
0,06	40	11	40	14	40	11	70	11
0,07	25	8	40	11	25	8	70	8
0,08	25	6	25	8	10	6	75	6
0,09	5	5	25	7	5	5	70	5
0,10	5	4	25	6	5	4	70	4

Tabela XV - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,2 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,25 em função do erro relativo r.

[Table XV - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.2 and FN between 0 and 0.25 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE $\beta = 6$ ($N_{máx} \geq 5$) $\theta = 0,1$		Weibull PP $\beta = 6$ ($N_{máx} \geq 10$) $\theta = 0,1$,		Weibull HP $\beta = 6$ ($N_{máx} \geq 10$) $\theta = 0,4$	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	270	109	275	116	270	107	265	108
0,04	255	74	255	78	255	72	255	73
0,05	220	51	255	56	255	51	220	51
0,06	205	38	215	41	200	37	200	37
0,07	200	29	150	30	150	28	200	29
0,08	140	22	140	24	140	22	140	22
0,09	140	18	130	19	140	18	140	18
0,10	130	15	130	16	105	14	130	15

Tabela XVI - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,3 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,25 em função do erro relativo r.

[Table XVI - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.3 and FN between 0 and 0.25 as function of r.]

(r)	Normal		Weibull MLE $\beta = 5$ ($N_{máx} \geq 5$) $\theta = 0,1$		Weibull PP $\beta = 3$ ($N_{máx} \geq 5$) $\theta = 0,1$		Weibull HP $\beta = 3$ ($N_{máx} \geq 5$) $\theta = 0,1$	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,05	245	93	245	95	275	126	275	129
0,06	240	72	240	74	250	100	260	104
0,07	230	57	235	58	235	81	240	84
0,08	230	46	230	47	195	67	180	69
0,09	230	38	230	39	160	56	145	58
0,10	230	32	210	32	145	47	140	49

universal de ensaios, com os resultados de Tensão de Ruptura (σrup) apresentados na Tabela XVIII. Como metodologia para a aplicação do método proposto neste artigo, três etapas bastante importantes devem ser seguidas: a) cálculo de dos parâmetros de Weibull: beta e teta; b) cálculo do coeficiente de variação (relação entre o desvio-padrão e a média); c) admensionamento dos valores da tabela e identificação de qual tabela utilizar.

Para o cálculo de beta, teta e coeficiente de variação desta distribuição foi utilizado o mesmo software inicialmente para a determinação dos parâmetros de Weibull. Os resultados são apresentados na Tabela XIX.

Para a etapa de admensionalização, é necessário que toda os valores da distribuição sejam divididos pelo maior valor existente, simulando a dispersão existente na distribuição. Neste caso, o valor de 16,85 (rank = 71) será usado como denominador para o adimensionamento. Os resultados são apresentados na Tabela XX.

Para a etapa de escolha da tabela a ser utilizada, calcula-se a amplitude dos números admensionalizados, ou seja, a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo. Neste caso, o valor máximo será 1,00 e o valor mínimo será 0,34. A diferença entre os dois é 0,66. Deste modo, a tabela a ser escolhida é a que apresenta a faixa de 0 a 0,75.

Em resumo, a tabela a ser escolhida para a determinação de lote mínimo em função do erro relativo deve ser a faixa de 0 a 0,75 e coeficiente de variação de 0,3 para MLE e

Tabela XVII - Número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo $N_{máx}$ e tamanho do lote mínimo ideal para coeficientes de variação = 0,4 e faixa numérica de dispersão FN de 0 a 0,25 em função do erro relativo r.

[Table XVII - $N_{máx}$ and minimum batches for CV = 0.4 and FN between 0 and 0.25 as function of r.]

Erro relativo (r)	Normal		Weibull MLE $\beta = 2$ ($N_{máx} \geq 5$) $\theta = 0,1$		Weibull PP $\beta = 2$ ($N_{máx} \geq 5$) $\theta = 0,2$		Weibull HP $\beta = 2$ ($N_{máx} \geq 5$) $\theta = 0,2$	
	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM	$N_{máx}$	LM
0,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,07	265	86	265	87	275	128	275	131
0,08	240	71	265	72	275	110	275	112
0,09	195	59	180	59	275	94	275	97
0,10	180	50	155	50	275	81	275	84

Tabela XVIII - Valores obtidos de tensão de ruptura (σ_{rup}) de corpos cerâmicos em MPa [7].
[Table XVIII - Values of breakdown voltage ($\boldsymbol{\sigma_{rup}}$) MPa ceramic bodies extracted [7].]

Rank	σ_{rup}	Rank	σ_{rup}	Rank	σ_{rup}
1	5,77	**25**	9,02	**49**	11,11
2	5,86	**26**	9,09	**50**	11,16
3	6,35	**27**	9,11	**51**	11,24
4	6,47	**28**	9,18	**52**	11,34
5	6,72	**29**	9,20	**53**	11,45
6	6,83	**30**	9,35	**54**	11,62
7	6,84	**31**	9,42	**55**	11,67
8	6,84	**32**	9,46	**56**	11,72
9	7,09	**33**	9,48	**57**	11,77
10	7,10	**34**	9,51	**58**	12,46
11	7,16	**35**	9,54	**59**	12,47
12	7,28	**36**	9,88	**60**	12,98
13	7,39	**37**	9,95	**61**	13,25
14	7,58	**38**	10,03	**62**	13,51
15	7,95	**39**	10,20	**63**	13,70
16	7,95	**40**	10,28	**64**	14,05
17	7,96	**41**	10,34	**65**	14,38
18	8,01	**42**	10,51	**66**	14,57
19	8,10	**43**	10,61	**67**	15,71
20	8,26	**44**	10,62	**68**	15,84
21	8,38	**45**	10,70	**69**	16,71
22	8,39	**46**	10,76	**70**	16,82
23	8,48	**47**	10,80	**71**	16,85
24	8,69	**48**	11,09		

Tabela XIX - Valores de Weibull obtidos de tensão de ruptura de corpos cerâmicos [7].
[Table XIX - Weibull values of tensile strength of ceramic bodies [7].]

Método	Valor Beta	Valor Teta	Desvio Padrão	Média	CV
MLE	4	11,21	2,911	10,15	0,3
PP	4	11,14	2,566	10,17	0,2
HP	4	11,10	2,598	10,12	0,3

HP (Tabela VII). Para o método PP, mantendo-se a mesma faixa numérica, o CV adotado é 0,2 (Tabela VI). Além disto, deve ser considerado o valor do parâmetro de forma beta. Verifica-se que os valores de lotes máximos N_{max} existentes para o aparecimento do lote mínimo LM são maiores do que 71, o que não permite a aplicabilidade nestas condições para os métodos MLE e PP. No caso de HP, temos o limite para r

Tabela XX - Adimensionamento dos valores obtidos de tensão de ruptura em MPa de corpos cerâmicos [7].
[Table XX - Adimensionamento values of stress at break MPa ceramic bodies [7].]

Rank	σ_{rup}	Rank	σ_{rup}	Rank	σ_{rup}
1	0,34	25	0,54	49	0,50
2	0,35	26	0,54	50	0,50
3	0,38	27	0,54	51	0,50
4	0,38	28	0,54	52	0,49
5	0,40	29	0,55	53	0,48
6	0,41	30	0,55	54	0,48
7	0,41	31	0,56	55	0,47
8	0,41	32	0,56	56	0,47
9	0,42	33	0,56	57	0,47
10	0,42	34	0,56	58	0,45
11	0,42	35	0,57	59	0,44
12	0,43	36	0,59	60	0,43
13	0,44	37	0,57	61	0,42
14	0,45	38	0,56	62	0,42
15	0,47	39	0,56	63	0,42
16	0,47	40	0,56	64	0,41
17	0,47	41	0,56	65	0,41
18	0,48	42	0,55	66	0,41
19	0,48	43	0,55	67	0,40
20	0,49	44	0,54	68	0,38
21	0,50	45	0,54	69	0,38
22	0,50	46	0,54	70	0,35
23	0,50	47	0,54	71	0,34
24	0,52	48	0,52		

Tabela XXI - Valores obtidos de tensão de ruptura de corpos cerâmicos [8].
[Table XXI - Values of tensile strength of ceramic bodies [8].]

Rank	σ_{rup}	**Rank**	σ_{rup}	**Rank**	σ_{rup}
1	42,3	**11**	38,6	**21**	37,8
2	37,3	**12**	37,5	**22**	37,7
3	40,3	**13**	38,6	**23**	37,7
4	39,3	**14**	38,2	**24**	37,6
5	36,9	**15**	42,8	**25**	37,5
6	39,1	**16**	42,0	**26**	37,5
7	43,5	**17**	37,5	**27**	37,3
8	38,3	**18**	41,3	**28**	37,3
9	41,1	**19**	37,8	**29**	36,9
10	34,9	**20**	37,6	**30**	36,6

Tabela XXII - Valores de Weibull obtidos de tensão de ruptura de corpos cerâmicos [8].
[Table XXII - Weibull values of tensile strength of ceramic bodies [8].]

Método	Valor Beta	Valor Teta	Desvio Padrão	Média	CV
MLE	18	40	2,629	39,05	0,1
PP	20	40	2,402	39,17	0,1
HP	19	40	2,477	39,06	0,1

Tabela XXIII - Adimensionamento dos valores obtidos de tensão de ruptura de corpos cerâmicos [8].
[Table XXIII - Adimensionamento values obtained from the rupture stress of the ceramic bodies [8].]

Rank	σ_{rup}	Rank	σ_{rup}	Rank	σ_{rup}
1	0,97	**11**	0,89	**21**	0,87
2	0,86	**12**	0,86	**22**	0,87
3	0,93	**13**	0,89	**23**	0,87
4	0,90	**14**	0,88	**24**	0,86
5	0,85	**15**	0,98	**25**	0,86
6	0,90	**16**	0,97	**26**	0,86
7	1,00	**17**	0,86	**27**	0,86
8	0,88	**18**	0,95	**28**	0,86
9	0,94	**19**	0,87	**29**	0,85
10	0,80	**20**	0,86	**30**	0,84

= 0,08; um valor de N_{max} de 60, para um lote mínimo de 22 amostras. Como opção para os métodos MLE e PP podemos utilizar o valor de CV para 0,2, já que o valor de beta da distribuição está em 4 e, aplicando-se o critério de amplitude +1 ou -1 para a determinção de lote mínimo (página 3, premissa 8/d), o valor de beta pode ser considerado como 5. No caso de MLE, temos o limite para r = 0,1; um valor de Nmax de 60, para um lote mínimo de 16 amostras. No caso do método PP, temos o limite para r = 0,09; um valor de N_{max} de 50, para um lote mínimo de 17 amostras. Tamy [8] apresentou um lote composto por 30 amostras de material cerâmico também foram submetidas a ensaio de flexão de quatro pontos em máquina universal de ensaios, com os resultados de tensão de ruptura (σ_{rup}) apresentados na Tabela XXI.

Para o cálculo de beta, teta e coeficiente de variação desta distribuição foi utilizado o mesmo software inicialmente para a determinação dos parâmetros de Weibull. Os resultados são apresentados na Tabela XXII.

Para a etapa de adimensionalização, é necessário que toda os valores da distribuição sejam divididas pelo maior valor existente, simulando a dispersão existente na distribuição. Neste caso, o valor de 43,5 (rank = 7) será usado como denominador para o adimensionamento. Os resultados são apresentados na Tabela XXIX.

Para a etapa de escolha da Tabela a ser utilizada, calcula-se, novamente, a amplitude dos números admensionalizados, ou seja, a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo. Neste caso, o valor máximo será 1,00 (rank 7) e o valor mínimo será 0,80 (rank 10). A diferença entre os dois é 0,20. Deste modo, a tabela a ser escolhida é a que apresenta a faixa de 0 a 0,25. Em resumo, a tabela a ser escolhida para a determinação de lote mínimo em função do erro relativo deve ser a faixa de 0 a 0,25 e coeficiente de variação de 0,1

Tabela XXIV - Métodos com melhor aplicação, pelo critério de desvio médio percentual, entre os LM obtidos para as distribuições de Weibull e método normal em relação ao erro relativo r.
[Table XXIV - Methods with better fit in light of percent average deviation (DMP) criteria among LM found for Weibull distribution and normality method in light of relative error r.]

	0 a 1	0 a 0,75	0 a 0,5	0 a 0,25
0,1	PP	HP e PP	PP	HP
0,2	HP	HP	MLE	HP
0,3	MLE	MLE	MLE	MLE
0,4	MLE	MLE	MLE	MLE

Tabela XXV **-** Métodos com pior aplicação, pelo critério de desvio médio percentual, entre os LM obtidos para as distribuições de Weibull e método normal em relação ao erro relativo r.
[Table XXV - Methods with worst fit in percent average deviation (DMP) criteria among LM found for Weibull distribution and normality method in light of relative error r.]

	0 a 1	0 a 0,75	0 a 0,5	0 a 0,25
0,1	MLE	MLE	MLE	MLE
0,2	PP	MLE	PP	MLE
0,3	PP	HP	PP	HP
0,4	PP e HP	HP	HP	HP

Tabela XXVI - Valores obtidos para desvio médio percentual entre os N_{max} obtidos para as distribuições de Weibull e método normal em relação ao erro relativo r.
[Table XXVI - Values found in percent average deviation (DMP) criteria among LM found for Weibull distribution and normality method in light of relative error r.]

	0 a 1	0 a 0,75	0 a 0,5	0 a 0,25
0,1	PP	PP	PP	PP
0,2	HP	PP	PP	HP
0,3	MLE	MLE	MLE	MLE
0,4	MLE, PP e HP	MLE	MLE, PP e HP	MLE

Tabela XXVII - *Valores obtidos para desvio médio percentual entre os N_{max} obtidos para as distribuições de Weibull e método normal em relação ao erro relativo r.*
[Table XXVII - Values found in percent average deviation (DMP) criteria among Nmax found for Weibull distribution and normality method in light of relative error r.]

	0 a 1	**0 a 0,75**	**0 a 0,5**	**0 a 0,25**
0,1	MLE	MLE	HP	HP
0,2	PP	MLE	MLE	PP
0,3	HP	HP	PP	HP
0,4	MLE, PP e HP	PP	PP	PP e HP

Tabela XXVIII - Dimensionamento para erro relativo (r) e beta (Parâmetro de Forma).
[Table XXVIII - Criteria for Relative Error (r) and beta (Shape Paramenter).]

Dimensionamento	Erro relativo (r)	Beta
Alto	0,07 a 0,1	acima de 10
Médio	0,04 a 0,06	entre 6 e 9
Baixo	0,02 a 0,03	entre 5 e 3
Muito Baixo	0,01	abaixo de 3

Tabela XXIX - Critérios de qualidade de aplicação do método em função de erro relativo r.
[Table XXIX - Quality control of method application light of relative error r.]

Padrão de qualidade	Critério
Ótimo (O)	Consegue LM para 100% dos valores de Nmáx do intervalo
Bom (B)	Consegue LM para mais de 85% a 99% dos valores de Nmáx do intervalo
Regular (R)	Consegue LM para até a 84% dos valores de Nmáx do intervalo
Não Aplicável	Não se consegue LM para nenhum dos valores de Nmáx do intervalo

(Tabela XIV) para os três métodos de Weibull. Além disto, deve ser considerado o valor do parâmetro de forma beta. Verifica-se que os valores de lotes máximos (N_{max}) existentes para o aparecimento do lote Mínimo (LM) para o método MLE, limita-se a r = 0,08 com um valor de Nmax de 25 e lote mínimo de 8 (existindo a possibilidade de interpolação para um erro relativo de 0,075). No caso de PP, temos o limite para r = 0,07; um valor de Nmax de 25, para um lote mínimo de 8 amostras (existindo a possibilidade de interpolação para um erro relativo de 0,065). No caso de HP, o método somente pode ser aplicado para um mínimo de lotes de 70 amostras

Tabela XXX - *Aplicação método de erro relativo função de Beta e CV.*
[Table XXII - Quality control of method application for Beta and CV in light of relative error r).]

Beta/ Weibull	CV	r muito baixo	r baixo	r médio	r alto
Alto	0,1	Não Aplicável	Bom	Ótimo	Regular
Médio	0,2	Não Aplicável	Regular	Ótimo	Ótimo
Baixo	0,3	Não Aplicável	Não Aplicável	Bom	Ótimo
Muito Baixo	0,4	Não Aplicável	Não Aplicável	Regular	Regular

ANÁLISE E DISCUSSÃO

Para efeito de verificação do desvio dos valores calculados de lotes mínimos para a distribuição normal e a distribuição de Weibull (três métodos de determinação de parâmetros) foram adotados o Desvio Médio Percentual (DMP) e o Desvio Percentual Médio (DPM), conforme equações G e H.

$$DP_i = \frac{\text{Lote Mín Weibull}_i - \text{lote, Mín Normal}_i}{\text{Lote Mínimo Normal}_i} \text{ x 100 e}$$
$$DMP_{\textit{Método Weibull}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} DP_i \qquad \text{(G)}$$

$$DP_i = \frac{\text{N Máximo Weibull}_i - \text{N MáximoNormal}_i}{\text{N Máximo Normal}_i} \text{ x 100 e}$$
$$DMP_{\textit{Método Weibull}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} DP_i \qquad \text{(H)}$$

Utilizando os dois critérios acima elencados, ou seja, o maior ou menor Desvio Médio Percentual frente ao lote Mínimo e N_{max}, verifica-se que se deve optar sempre pelos métodos que tiveram DMP menor pelo número de lotes mínimos, pois verifica-se uma melhor aderência ao método. Por um outro lado, não se deve esquecer de que Nmax estabelece o número mínimo de amostras onde se é determinado o valor de lote mínimo.

Por um outro lado, já identificado os melhores e piores métodos para a determinação de lotes mínimos em relação ao método normal, é mister que também se verifique a exequibilidade do método frente aos valores de beta (Parâmetro de Forma) e dos CVs calculados em relação ao erro relativo. Sendo assim foi admitido a seguinte divisão de valores de beta e erro absoluto (r).

As Tabelas XVIII a XXI apresentam a aderência, em outras palavras, a qualidade do método com o dimensionamento do erro relativo e beta. Para melhor entendimento desta aplicabilidade, foram criados quatro critérios de uso do método, que são apresentados O resultado é apresentado na Tabela XXIX e os critérios de qualidade na Tabela XXX e XXIV.

CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma primeira tentativa de se identificar um novo método para determinação de lotes mínimos para distribuições de Weibull. Tendo-se como referência uma ferramenta até então somente dedicada para um padrão Gaussiano, em função do erro relativo apresentado por Cochran, que foi adaptada para fácil aplicação para a determinação de Lotes mínimos para um modelo de distribuições de Weibull, a partir de valores calculados para o parâmetro de forma e parâmetro de escala. Assim, apresenta-se um novo método para determinação de lotes mínimos para distribuições de Weibull, em função do erro relativo apresentado por Cochran. Verifica-se que a melhor aderência, em relação ao modelo normal, é o método de verossimilhança (Weibull), principalmente, para coeficientes de variação maiores (0,3 e 0,4). Por outro lado, para coeficientes de variação menores, onde é menor a dispersão, também se confirma que os métodos de probabilidade (PP) e método de risco (HP), por sua vez, tiveram um bom comportamento. Para os valores de erro relativo "muito baixos"e "baixos" (0,01 a 0,03), em diversas faixas de dispersão e para os 4 coeficientes de variação não foi verificada a possibilidade de identificar um lote mínimo. Isto pode limitar a aplicação do método, pois já se parte de um erro relativo obrigatório a ser assumido. Os valores de coeficiente de variação entre 0,1 a 0,4 apresentaram-se coerentes para o desenvolvimento do método, pois, para um coeficiente de variação de 0,5 ocorre uma dispersão ainda maior, o que tende a demonstrar um valor de beta menor e, por conseguinte, o método tenderia a não ser aplicável. Para dispersões altas, no caso de valores do parâmetro de forma abaixo de 4, a determinação de lotes mínimos, em função do erro relativo, ficou bastante prejudicada, conforme apontado na Tabela XXIII. Isto pode ser explicado pelos valores de beta menores de 3,6; onde as distribuições já começam a perder a condição de serem representadas pela curva normal. Ressalte-se que a relação entre m ou beta e o coeficiente de variação é inversamente proporcional, pois ambos podem ser entendidos como estimadores da homogeneidade do material, sendo que a literatura normalmente reporta o valor de beta para as cerâmicas, próximo de 10, podendo variar entre os extremos de 05 a 20 [9]. Quanto maior é o valor do parâmetro de forma β maior é acurácia, ou seja, a dispersão tende a ser menor, facilitando para que a curva da distribuição de Weibull tenha a forma de pico. Para dispersões baixas, como no caso do parâmetro de forma maior do que 6, o método apresentou boa aplicabilidade, conseguindo, em grande parte a identificação de lotes mínimos em função do erro relativo. Contudo, para erros relativos altos (0,08 a 0,01) apresentaram lotes mínimos muito baixos. Deste modo, existindo uma clara referência entre os LMs calculados, bem como para número máximo de amostras necessarias para definição do tamanho do lote mínimo ($N_{máx}$), onde os valores máximos de amostras no qual os valores de lote mínimo tendem a ser constantes, ou seja, tornam-se máximos. Por outro lado, verifica-se que este novo método possui algumas limitações, tais como os números aleatórios não fornecem distribuições gaussianas com o coeficientes de variação requerido, possivelmente amplificando diferenças existentes. O valor de θ é pouco considerado nas tabelas já que os valores encontrados foram bastante baixos, indicando pouca interferência no método já que o coeficiente de variação é independente do parâmetro de escala.

REFERÊNCIAS

[1] B. Dodson, "The Weibull Analysis Handbook", 2nd Ed., ASQ Quality Press (2006).
[2] W. G. Cochran, *The estimation of sample size*, in: W. G. Cochran, "Sampling techniques", 3ª Ed., John Willey, New York, EUA (1977) p. 72-90.
[3] M. A. Al-Fawzan, "Methods for Estimating the Parameters of the Weibull Distribution", King Abdul-Aziz City for Science and Technology (2000).
[4] S. Kirtay, D. Dispinar, *Effect of Ranking Selection on the Weibull Modulus Estimation,* Gazi Univ. J. Sci. ***25**, 1* (2012)175-187.
[5] A. S. Yahaya, C. S. Yee, N. A. Ramli, F. Ahmad, *Determination of Best Probability Plotting Position for Predicting Parameters of Weibull Distribution*, Int. J. Appl. Sci. Tech. **2**, 3 (2012) 106-111.
[6] M. Haar, *Random Decimal Fraction Generator*, disponível em http://www.random.org/, acesso em 29/08/2012.
[7] D. C. F. Hespanhol, "Influência da dispersão na Avaliação de Lotes Mínimos para a Determinação de Fatores de Weibull", Monog. Grad. Eng. Mater., Campos dos Goitacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense (2009) 37p.
[8] V. Tamy, "Influência dos Estimadores de Rank e do Tamanho do Lote nos Fatores de Weibull", Monog. Grad. Eng. Mater., Campos dos Goitacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense (2009) 37p.
[9] L. R. Berezowski, C. Moura Neto, F. C. L. Melo, *Avaliação da Resistência Mecânica de Cerâmicas à Base de Carbeto de Silício*, (2006), disponível em http://www.bibl.ita.br/viiiencita/Avaliacao%20da%20resistencia%20mecanica%20 de%20ceramicas%20a%20base%20de%20carbeto%20de%20silicio.pdf, acesso em 23/08/2013.
(Rec. 23/07/2014, Rev. 13/12/2014, Ac. 13/12/2014)