

Um novo método para a determinação da capacidade dos misturadores abertos

Mário J. L. Caetano, mariocaetano@netcabo.pt

(Consultor para a Indústria da Borracha)

Durante muitos anos aceitei e utilizei, embora com reservas, o método proposto por E. Stalinsky ⁽¹⁾ para a determinação da capacidade dos misturadores abertos. Esse método estabelece um valor de 19 litros por metro quadrado de superfície do rolo frontal. O método utilizado pelo autor para a determinação daquele valor sempre me pareceu muito subjectivo e com questionável fundamentação.

Todavia, na falta de um outro método alternativo, o método de Stalinsky foi utilizado por muitos técnicos. Contudo, resultavam da sua aplicação a misturadores com rolos de comprimento inferior a 1500 mm (cerca de 60 polegadas) valores de carga manifestamente elevados (nomeadamente no caso de pequenos misturadores abertos, tal como um misturador de laboratório).

Um outro método referido por Grossman, R.F ⁽²⁾ estabelece que para misturadores abertos com rolos de diâmetro inferior a 20 polegadas, o peso da carga em libras corresponde ao comprimento dos rolos em polegadas. Assim, para um misturador aberto com 18" x 48", o peso da carga deve ser de 48 libras, ou seja de cerca de 21,7 kg (se o peso específico do material for 1, teremos um volume correspondente de 21,7 litros). Para misturadores abertos com rolos de diâmetro superior a 20 polegadas o peso da carga em libras corresponde a duas vezes o comprimento dos rolos em polegadas. Assim, para um misturador aberto com 22" x 60", o peso da carga deve ser de $2 \times 60 = 120$ libras, ou seja de cerca de 54,4 kg. Este método parece-me, obviamente, ainda mais questionável.

Em qualquer das situações, a determinação da **capacidade nominal de carga** dos misturadores abertos é independente:

- Das características técnicas do misturador aberto, como por exemplo, da velocidade dos rolos e da relação de fricção;
- Das condições operacionais, como seja a temperatura dos rolos;
- Da natureza do composto e suas características reométricas.

Assim sendo, a determinação da **capacidade nominal de carga** dos misturadores abertos parece depender apenas de puras considerações geométricas, envolvendo superfícies e volumes. As experiências levadas a efeito em misturador aberto de laboratório e também a observação de muito trabalho de fábrica, nas mais variadas condições operacionais e com os mais variados compostos, parece confirmar o que foi dito.

Nas experiências efectuadas foram misturados "bancos" de diferentes volumes de composto de cor branca (volumes estes expressos em percentagem de volume da "banda") na "banda" de borracha de cor preta formada no rolo da frente do misturador, para diferentes afastamentos dos rolos. Esta banda possuía um volume tal que garantia o envolvimento de toda a superfície do rolo entre as "guias" e apenas em contacto com o segundo rolo, portanto, sem formação de qualquer banco) (**Figura 1**).

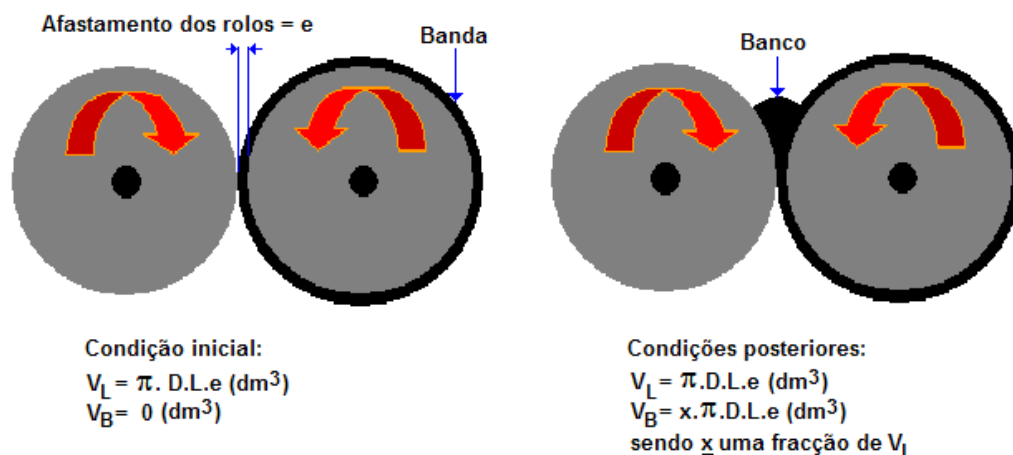


Figura 1 – Definições e fórmulas básicas

Foram determinados os tempos de dispersão. As conclusões destas experiências foram as esperadas e não parecem relevantes para o desenvolvimento deste trabalho, mas da sua observação ressaltaram as seguintes simples e evidentes conclusões:

- Com um volume de "banco" igual a 0, pode considerar-se que a "taxa de incorporação" de mais composto na "banda" formada no rolo frontal é infinita;
- À medida que a quantidade de borracha no "banco" aumenta, diminui essa "taxa de incorporação" na banda, o que se traduz, na prática, num prolongamento do tempo necessário para obter a sua completa dispersão.

Podemos escrever:

$$V_L = \pi \cdot D \cdot L \cdot e \quad (1)$$

$$V_B = x \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e \quad (2)$$

$$V_T = V_L + V_B = \pi \cdot D \cdot L \cdot e + x \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e \quad (3)$$

$$V_T = (1 + x) \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e \quad (4)$$

Sendo:

V_L = volume da "banda" formada no rolo da frente, em dm^3 ;

V_B = volume do "banco", expresso em percentagem do volume da "banda" formada no rolo da frente, em dm^3 ;

V_T = volume total de material no misturador aberto e constituído pelo material existente na "banda" e no "banco", em dm^3 ;

e = afastamento entre os rolos, em dm;

x = valor da percentagem em volume do "banco" em relação ao volume de borracha existente na "banda".

Definimos como "**Taxa de incorporação**" (TI), o cociente:

$$TI = V_L / V_B \quad (5)$$

Atendendo a (1) e (2), temos:

$$TI = \pi \cdot D \cdot L \cdot e / x \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e \quad (6)$$

$$TI = 1/x \quad (7)$$

O volume total de composto, em dm^3 , por metro quadrado de superfície de rolo é:

$$V_T / \text{m}^2 = (1 + x) \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e / \pi \cdot D \cdot L$$

$$V_T / m^2 = (1 + x) \cdot 10^3 \cdot e \quad (8)$$

(com e em metros)

Esta é a equação de uma recta (**Figura 2**); para valores de $x = 0$, toma o valor do afastamento dos rolos, em mm. Consideramos 0,1 dm para o valor de e .

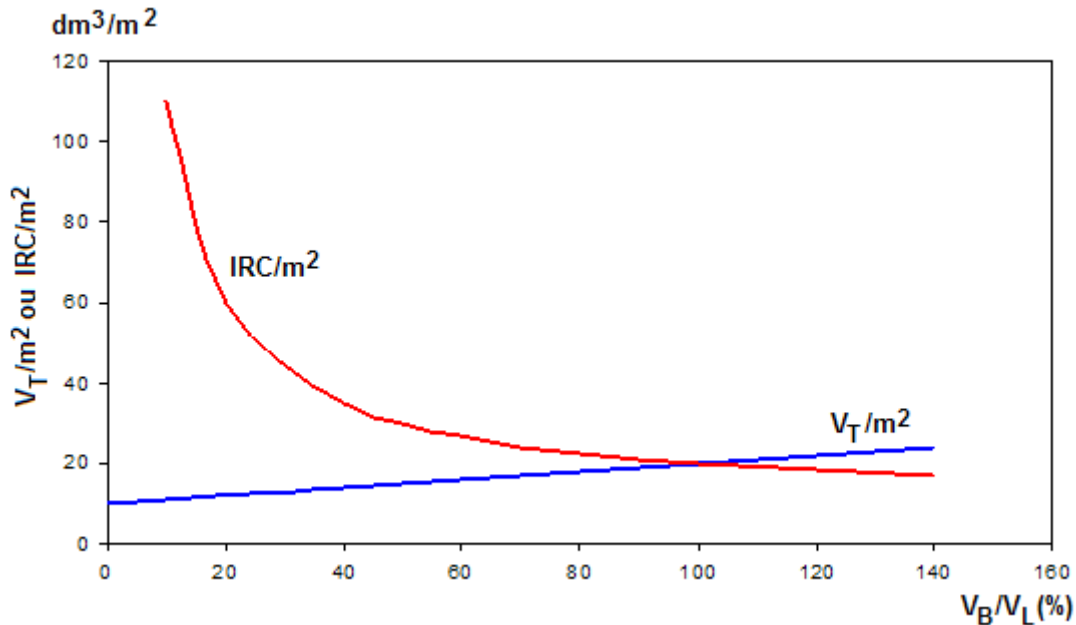


Figura 2 – Capacidade de Incorporação Relativa (CIR) por metro quadrado e Volume Total (V_T) por metro quadrado em função de V_B/V_L

Entramos agora em consideração com o conceito de “*capacidade relativa de incorporação*” (CRI), que é o produto do volume total de material presente no misturador aberto (equação 4) multiplicado pelo correspondentes valores da taxa de incorporação (de acordo com equação 7). Então temos:

$$CRI = (1 + x) \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e \cdot 1 / x \quad (9)$$

Podemos também exprimir esta capacidade relativa de incorporação por metro quadrado e então teremos:

$$CRI/m^2 = (1 + x) \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e \cdot 1 / x \cdot \pi \cdot D \cdot L$$

Da simplificação resulta:

$$CRI/m^2 = (1 + x) \cdot 10^3 \cdot e / x \quad (10)$$

(com e em dm)

Esta é a equação de função racional simples, que toma o valor de infinito, para valor de $x = 0$ e um valor muito próximo do afastamento dos rolos (em milímetros), para valores de x muito elevados (veja-se **Figura 2**).

A intersecção entre as duas linhas verifica-se para o valor de $x = 100\%$, isto é, para valores de $V_B = V_L$, o que proporciona um valor de $20 \text{ dm}^3/\text{m}^2$, quando é considerado o valor de $e = 0,1 \text{ dm}$.

A análise desta representação gráfica mostra que para valores de V_T inferiores a $20 \text{ litros}/\text{m}^2$ (com um afastamento de rolos $e = 0,1 \text{ dm}$), os valores da CRI são tanto mais elevados quanto mais baixo é o valor do "banco" (já que o valor de volume de borracha na "banda" permanece constante). Isto quer dizer que a capacidade do misturador está a ser subaproveitada. Para valores de V_T superiores a $20 \text{ litros}/\text{m}^2$ a capacidade relativa de incorporação diminui, o que vai traduzir-se, na prática, num prolongamento do tempo de incorporação e o misturador ficará numa situação de sobrecarga.

A consideração de um valor unitário de afastamento dos rolos ($e = 0,1 \text{ dm}$) – quaisquer que sejam as dimensões do misturador parece-me questionável. Com efeito, se um afastamento de rolos de $0,1 \text{ dm}$ possa ser considerado normal para um misturador aberto com $660 \times 2100 \text{ mm}$ ($26'' \times 84''$), não o será certamente, no limite, para um misturador de laboratório $150 \times 330 \text{ mm}$ ($6'' \times 13''$).

Pareceu-me ser correcto e razoável atribuir, para os diferentes misturadores, um valor de afastamento dos rolos proporcional ao seu diâmetro, considerando o valor unitário de $0,1 \text{ dm}$ para o misturador de maior dimensão considerado ($660 \times 2100 \text{ mm}$). Esses valores são indicados no **Quadro 1**, para alguns misturadores abertos encontrados na literatura ⁽³⁾. O **Quadro 1** mostra ainda os valores de V_L e de V_T , quando $V_L = V_B$.

De acordo com a equação (4)

$$V_T = (1 + x) \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e$$

$$V_T = (1 + 1) \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e$$

Quando $x = 1$

$$V_T = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot e \quad (12)$$

Como consideramos o valor do afastamento dos rolos proporcional ao valor do diâmetro dos rolos (tomando como base o valor de 0,1 dm para rolos de diâmetro 6,604 dm), teremos:

$$e = 0,1/6,604 \cdot D$$

$$e = 0,1514 \cdot D \quad (13)$$

Quadro 1

Dimensões do misturador, $\phi \times L$ mm	Diâmetro dos rolos, mm	Comprimento dos rolos, mm	Afastamento entre rolos, mm	V_L , dm ³	$V_T = 2 V_L$ dm ³
6 x 13	152,4	330,2	2,31	0,365	0,730
8 x 16	203,2	406,4	3,08	0,798	1,597
10 x 20	254,0	508,0	3,85	1,559	3,118
12 x 24	304,8	609,6	4,62	2,694	5,388
14 x 30	355,6	762,0	5,38	4,584	9,168
16 x 42	406,4	1067	6,15	8,382	16,76
18 x 48	457,2	1219	6,92	12,124	24,25
22 x 60	558,8	1524	8,46	22,638	45,28
24 x 72	609,6	1829	9,23	32,330	64,66
26 x 84	660,4	2134	10,0	44,266	88,53
28 x 84	711,2	2134	10,8	51,338	102,7

Combinando as equações (12) e (13), teremos

$$V_T = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot 0,01514 \cdot D$$

Simplificando, teremos que o Volume Total (capacidade de carga) de m misturador aberto pode ser calculado pela expressão:

$$V_T \approx 0,095 \cdot D^2 \cdot L \quad (14)$$

com V_T expresso em dm³(ou litros), e D e L expressos em dm.

Ou, em alternativa $V_T \approx 95 \cdot D^2 \cdot L \quad (15)$

com V_T expresso em dm³(ou litros), e D e L expressos em m.

Utilizando esta fórmula, foram calculadas as capacidades de carga para os mesmos misturadores abertos apresentados na **Tabela 1**. Os valores calculados são mostrados na **Tabela 2**, onde são comparados com os valores calculados pelos métodos referidos por Grossman, pelo método estabelecido por Stalinsky e ainda com os valores recomendados pela empresa Farrell Birmingham (consideramos os valores médios)⁽³⁾.

Na **Figura 3** estão representadas as cargas calculadas para os diferentes misturadores pelos métodos referidos e proposto e ainda as cargas recomendadas pela empresa Farrel Birmingham.

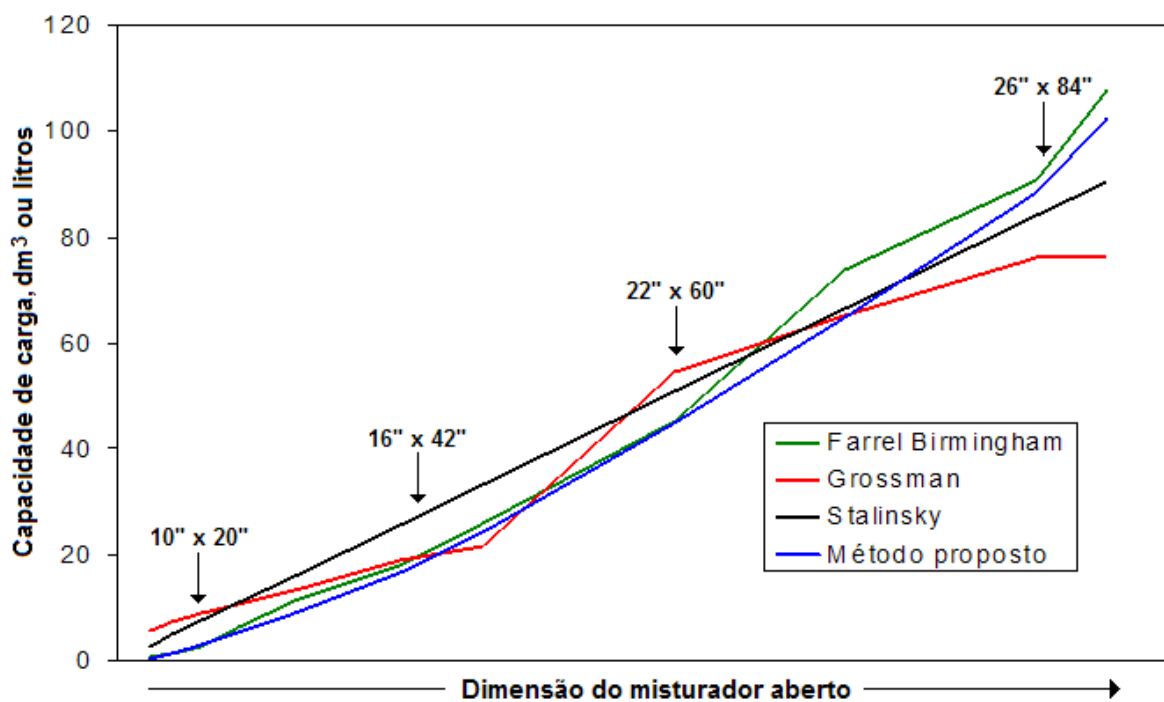


Figura 3 – Capacidades de carga de misturadores abertos calculadas por diferentes métodos

Pela análise do **Quadro 2** e da **Figura 3**, pode constatar-se o seguinte:

- Uma variação errática nos valores calculados pelo método referido por Grossman, conduzindo a valores inaceitáveis para misturadores abertos de pequenas dimensões (inferiores a 600 mm – 24 polegadas e superiores a 1800 mm – 72 polegadas);
- Uma aplicabilidade razoável do método proposto por Stalinsky para misturadores abertos com rolos de comprimento superior a 1500 mm (60 polegadas); para misturadores com rolos de comprimentos inferiores a 800 mm (cerca de 30 polegadas), os valores obtidos são também inaceitáveis;

- Uma aplicabilidade muito razoável e consistente da fórmula agora proposta em toda a gama de dimensões de misturadores abertos.

Referências

- 1) The Mixing of Rubber, R.F. Grossman, Chapman & Hall, 1997;
- 2) Détermination de la capacité et du débit horaire des mélangeurs à cylindres E. Stalinsky, R.G.C.P., vol. 33 N°1, 1956.
- 3) The Vanderbilt Rubber Handbook, (Antiga edição de 1968), página 624.

Porto, Novembro de 2009

Quadro 2

Dimensão do misturador, ϕ x L polegadas	Dimensão do misturador, ϕ x L mm	Área lateral do rolo, m ²	Capacidade de carga, litros			
			Carga recomendada, kg (*) (valor médio)	Método de Grossman	Método de Stalinsky	Método proposto
6 x 13	152,4 x 330,2	0,1581	0,793	5,880	3,004	0,729
8 x 16	203,2 x 406,4	0,2594	1,472	7,248	4,929	1,594
10 x 20	254 x 508	0,4054	2,945	9,060	7,703	3,114
12 x 24	304,8 x 609,6	0,5837	6,342	10,87	11,09	5,380
14 x 30	355,6 x 762	0,8513	11,33	13,59	16,17	9,154
16 x 42	406, x 1066,8	1,362	18,12	19,03	25,88	16,74
18 x 48	457,2 x 1219,2	1,751	26,05	21,74	33,27	24,21
22 x 60	558,8 x 1524	2,675	45,30	54,36	50,83	45,21
24 x 72	609,6 x 1828,8	3,502	73,61	65,23	66,54	64,56
26 x 84	660,4 x 2133,6	4,427	90,60	76,10	84,11	88,40
28 x 84	711,2 x 2133,6	4,767	107,6	76,10	90,57	102,5

(*) – Kg ou litros, para uma densidade do composto $d = 1,0$