

PROCESSO DE MICRONIZAÇÃO DO PESTICIDA CLOROTALONIL 700 g/L

J. F. R. NETO¹, A. M. B. SILVA²

^{1,2} Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

RESUMO – Para alcançar a micronização em micropartículas moinhos agitadores são frequentemente utilizados. Também são utilizadas esferas para a etapa de moagem, que são: esferas de vidro, esferas de silicato de zircônio e esferas de óxido de zircônio. Uma suspensão com o ingrediente ativo clorotalonil em 700 g/L foi preparada, sendo 2 litros para cada tipo de esferas. Para isso, foi utilizada uma câmara de moagem de 1 litro, com 0,7 litros de esferas. A rotação do moinho foi setada em 2000 rpm e a rotação da bomba de alimentação a 250 rpm. Ademais, a temperatura do produto, antes da moagem, era de 26°C. A micronização com as esferas de vidro durante o processo, apresentou a menor temperatura 30°C, porém com a menor vazão 0,09 L/min e maior tempo de moagem com 32 minutos. Já com as esferas de silicato de zircônio, a temperatura atingida foi de 38°C, a vazão foi de 0,15 L/min e o tempo de moagem foi de 20 minutos. O melhor resultado obtido foi com as esferas de óxido de zircônio, porém com a maior temperatura 42°C, mas com a maior vazão 0,19 L/min, e o menor tempo de moagem com 16 minutos, respectivamente. Ao determinar o preço do kWh consumido pelo equipamento ao usar os diferentes tipos de esferas foi auferido que, com as esferas de óxido de zircônio, alcança-se uma economia de até 50% do consumo de energia elétrica, em comparação com uso das esferas de vidro. Já as esferas de silicato de zircônio com as esferas de vidro conseguem-se uma economia de 37%. Por fim, com as esferas de óxido de zircônio sendo confrontadas as de silicato de zircônio obteve-se uma economia de 25% no consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Micronização; Tipo de esferas; Micropartículas e nanopartículas; Tamanho de partícula ideal.

ABSTRACT – To achieve micronization in microparticles agitator mills are often used. Spheres are also used for the grinding step, which are: glass spheres, zirconium silicate spheres and zirconium oxide spheres. A suspension with the active ingredient chlorothalonil at 700 g/L was prepared, 2 liters for each type of sphere. For this, a 1 liter grinding chamber with 0.7 liters of spheres was used. Mill rotation was set at 2000 rpm and feed pump rotation at 250 rpm. Furthermore, the temperature of the product, before grinding, was 26°C. Micronization with the glass spheres during the process had the lowest temperature at 30°C, but with the lowest flow rate of 0.09 L/min and the longest grinding time with 32 minutes. With the zirconium silicate spheres, the temperature reached was 38°C, the flow rate was 0.15 L/min and the grinding time was 20 minutes. The best result obtained was with the zirconium oxide spheres, but with the highest temperature at 42°C, but with the highest flow rate of 0.19 L/min, and the lowest grinding time with 16 minutes, respectively. When determining the price of kWh consumed by the equipment when using the different types of spheres, it was verified that, with zirconium oxide spheres, savings of up to 50% in electrical energy consumption are achieved, compared to the use of zirconium oxide spheres. glass. On the other hand, zirconium silicate spheres with glass spheres save 37%. Finally, with the zirconium oxide

spheres being compared to the zirconium silicate spheres, a saving of 25% in electrical energy consumption was obtained.

Keywords: Micronization; Ball type; Microparticles and nanoparticles; Optimal particle size.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente grande parcela dos produtos industrializados existentes contém partículas com distribuição de tamanho controlada em sua constituição. Partículas orgânicas ou inorgânicas e minerais também são utilizados na formulação de concretos, compósitos poliméricos, tintas, remédios, agroquímicos e cosméticos. O tamanho desejado da partícula depende da aplicação, mas normalmente encontra-se na escala micrométrica (Ohenoja, 2014).

Para o caso dos pesticidas, a obtenção de partículas cada vez menores tornou-se crucial no processo industrial e fundamental para aplicação, pois quanto menor a partícula do produto, melhor é sua absorção nas plantações e lavouras; muito embora, isto acarrete o aumento do custo de produção e eleve o preço final do defensivo para o consumidor (Nandi & Montedo, 2009).

Assim, as indústrias de defensivos agrícolas têm interesse nesses produtos em escala nanométrica e continuarão investindo em PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação). Diante disso as empresas do setor agroquímico utilizam cada vez mais inovações tecnológicas para manter-se competitivas no mercado (Nandi & Montedo, 2009).

A moagem é o último estágio do processo de fragmentação e nesta etapa, as partículas são reduzidas pela combinação de impacto e cisalhamento, compressão, abrasão e atrito, até um tamanho desejado (Rocha et al., 2020). Deste modo, no que se refere à moagem em busca de pequenas partículas utiliza-se moinhos agitadores (MULTIESFERAS., 2017). À vista disso, também para os pesticidas líquidos denominados de suspensão concentrada, os moinhos agitadores (que estão em constante evolução tecnológica) são frequentemente utilizados para produção de micro e nanopartículas (Ullah et al., 2014).

Visto essa necessidade, novas esferas surgiram no mercado. Ou seja, surgiram as esferas de silicato de zircônio muito utilizadas nas indústrias agroquímicas pelo ganho de vazão e produtividade com um valor agregado bem mais elevado do que as esferas de vidro. Surgiram também as esferas de óxido de zircônio, ainda pouco utilizadas pelas empresas do setor por terem um custo de aquisição relativamente alto, embora apresente um ganho ainda mais significativo de produção em comparação com as outras esferas relacionadas.

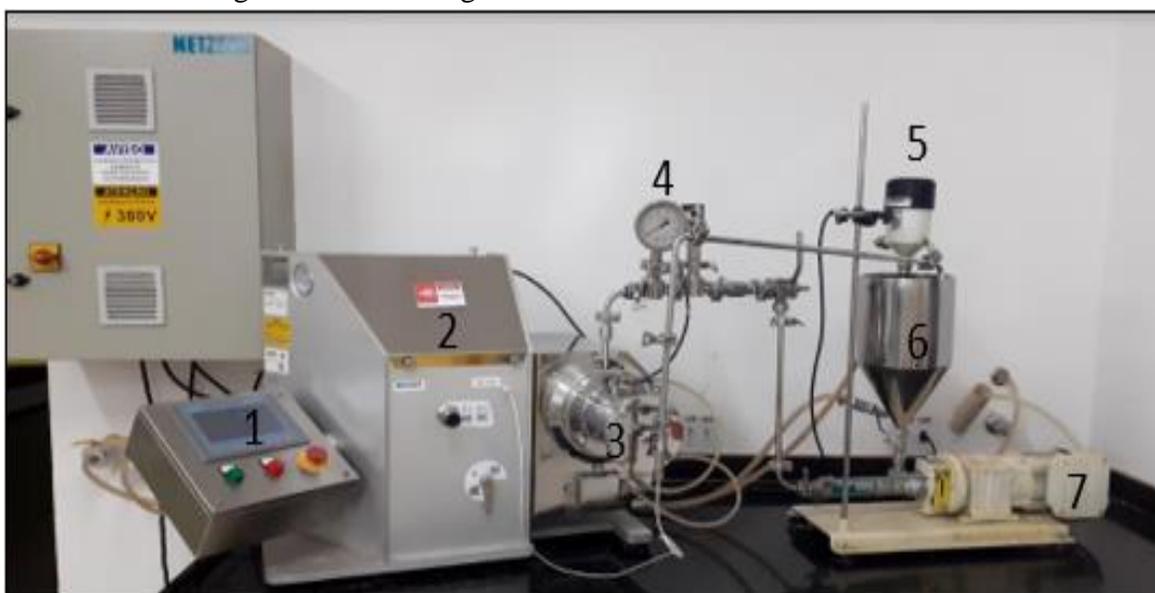
Neste contexto, o objetivo deste artigo é mostrar a viabilidade e o custo de micronização do pesticida clorotalonil (CHEBI., 2021., MACBEAN., 2010), e verificar qual tipo de esfera, ao ser utilizada no processo de micronização, que resulta em melhor eficácia em proporcionar o alcance do tamanho ideal da partícula, além de apresentar o menor custo e tempo de micronização, com ganho de vazão na produção e economia energia elétrica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O processo de micronização do pesticida clorotalonil exige a execução de vários estágios subsequentes (PUBCHEM). O processo inicia-se na etapa da formulação, em qual, o ingrediente ativo clorotalonil é misturado com outras matérias primas para que seja disperso no veículo, que nesse caso é a água. Após a dispersão do ingrediente ativo o produto é colocado em um tanque sob agitação. Esse tanque é acoplado com uma bomba helicoidal NEMO afogada, em qual se dá a etapa de transferência do produto do tanque para o moinho de esferas. Essa transferência é mantida com uma constância determinada pela frequência da bomba setada em 250 rpm.

Para dar início ao processo de micronização, foi utilizado o moinho agitador de esferas da empresa alemã NETZSCH Group, empregando o modelo ZETA (NETZSCH., 2020), conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1. Moinho agitador de esferas NETZSCH modelo ZETA.

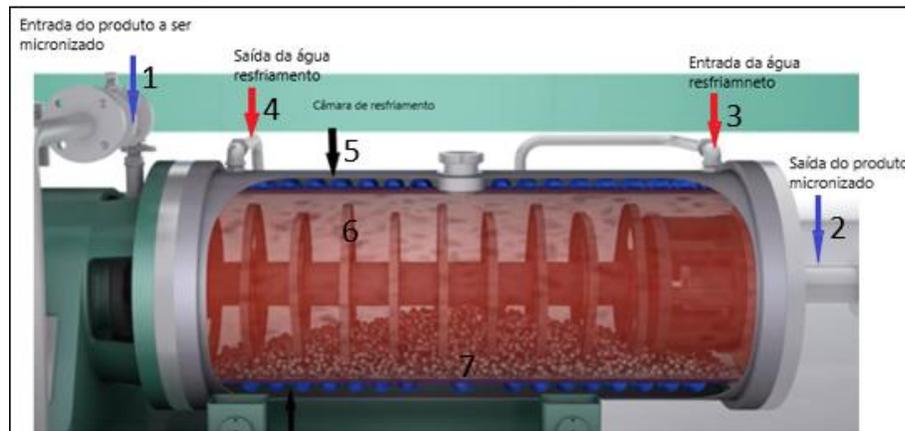


Fonte: Autor (2021).

O moinho é composto por um painel de controle (1), um motor que aciona o moinho opera com velocidade de rotação ajustável por inversor de frequência, entre 1000 e 4500 rpm. Para a micronização do clorotalonil foi usado a frequência de 2000 rpm (2), uma câmara de moagem em aço inox 316, com capacidade de volume de 1(um) litro (3), um manômetro para controle de pressão, a pressão ideal para o trabalho de micronização é de 3 a 5 bar (4), um agitador, no caso em questão, a frequência de agitação é de aproximadamente 600 rpm (5), um tanque encamisado (6), e uma bomba helicoidal NEMO afogada (7).

A Figura 2, mostra a área interna do moinho horizontal, mostrando toda a sua funcionalidade operacional.

Figura 2. Câmara de micronização horizontal.



Fonte: Netzsch (2021).

Onde tem-se entrada do produto no moinho para ser micronizado (1), saída do produto micronizado (2), entrada da água de resfriamento (3), saída da água de resfriamento (4), câmara de resfriamento (5), rotor de pinos (6) e esferas para micronização (7).

Para que esse trabalho fosse realizado foi preparado 6,0 kg de amostra contendo 700 g/L de clorotalonil em uma suspensão aquosa com densidade de 1,250 g/cm³. As amostras foram divididas em três, sendo 2,0 kg para ser micronizado com esferas de vidro, 2,0 kg para esferas de silicato de zircônio e 2,0 kg para esferas de óxido de zircônio. Na câmara de moagem foi adicionado 70% de esferas. Uma constante rotação do moinho foi setada a 2000 rpm e para a bomba de alimentação a rotação foi fixada em 250 rpm. As esferas foram adicionadas dentro da câmara de micronização justamente em qual está o rotor de pinos, com os quais são conduzidos os testes de micronização para avaliar qual deles apresenta a melhor rentabilidade durante o processo.

O primeiro teste foi realizado com as esferas de vidro, o segundo teste foi realizado com as esferas de silicato de zircônio e o terceiro teste foi realizado com as esferas de óxido de zircônio conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Tipos de esferas utilizados para micronização.



Fonte: Autor (2021).

As esferas de vidro possuem em sua composição química 72% de dióxido de silício (SiO₂), 14% de sulfato de sódio (Na₂SO₄), 9% de óxido de cálcio (CaO), 4% de óxido de magnésio (MgO) e 1% de inertes,

tendo uma micro dureza de 400 HV (ABNT NBRNM188., 1999), módulo de elasticidade em 70 GPa (CALLISTER., 2002) uma densidade específica de $2,5 \text{ g/cm}^3$. As esferas de silicato de zircônio, que em sua composição química consiste em 60% de dióxido de zircônio (ZrO_2), 35% de dióxido de silício (SiO_2) e 5% de inertes e tem-se uma micro dureza de 1000 HV (ABNT NBRNM188., 1999), módulo de elasticidade em 100 GPa (CALLISTER., 2002), a densidade específica de $4,1 \text{ g/cm}^3$. As esferas de óxido de zircônio com yttria possuem em sua composição química 94,5% de dióxido de zircônio (ZrO_2), 5,3% de óxido de yttria (Y_2O_3) e 0,2% de inertes, tendo uma micro dureza de 1150 HV (ABNT NBRNM188., 1999), módulo de elasticidade de 210 GPa (CALLISTER., 2002), a densidade específica de $6,0 \text{ g/cm}^3$.

Por meio de uma bomba afogada NEMO, o produto é transferido para o moinho, iniciando-se a etapa de micronização, que pode ser por reciclo. O moinho consiste em uma câmara de moagem com um rotor de discos ou pinos e uma câmara de refrigeração. E o processo é efetuado em reciclo até atingir o tamanho de partícula ideal, que nesse caso é monitorado em intervalos de tempo para que as partículas fiquem com formas simétricas. Para determinar o tamanho de partículas do material a ser micronizado foram coletadas amostras e realizado estudo no equipamento de medição de partículas Cilas 1090, ilustrado na figura 4.

Figura 4. Equipamento de medição de partículas Cilas 1090.



Fonte: Autor (2021).

O medidor de partículas Cilas 1090 possui tecnologia de lasers múltiplos, que funcionam por difração oferecendo medição de uma ampla variedade de tamanhos de partículas. De acordo com o fabricante, ele possui faixa de medição molhada de $0,04 \mu\text{m}$ a $2500 \mu\text{m}$. A precisão do equipamento é maior que 3% e a repetibilidade é maior que 1%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obter os resultados, cada processo com os diferentes tipos de esferas foi monitorado, abrangendo o tempo de micronização, a vazão, a temperatura de moagem e o tamanho de partícula alcançado. Uma suspensão com o ingrediente ativo clorotalonil em 700 g/L foi empregada. Para adquirir a massa do ingrediente ativo foi utilizada a equação 1 para consecução do balanço de massa.

$$m(i.a) = \frac{c(i.a)}{(p)} \times 100 \quad (1)$$

Após realizar os cálculos, foi encontrado $m(i.a) = 714,29 \text{ g}$ de ingrediente ativo de clorotalonil em 1 L de suspensão. Ou seja, para preparar um 1 L de uma suspensão a 700 g/L é necessário medir a massa 714,29 g de ingrediente ativo de clorotalonil. Utilizando um densímetro digital, essa suspensão obteve uma densidade de 1,250 g/cm³.

Posteriormente é calculado a porcentagem de ingrediente ativo que se tem no processo, empregando equação 2.

$$\% (i.a) = \frac{\left(\frac{m(i.a)}{\rho} \times 100\right)}{1000} \quad (2)$$

Após realizar os cálculos o resultado encontrado foi $\% (i.a) = 57,143 \%$. Através destes cálculos encontra-se a porcentagem do ingrediente ativo clorotalonil e da solução dispersante, multiplicando-se pela densidade, encontra-se a massa em g, para formular 1 L da suspensão.

Para produzir 6,0 litros do pesticida Clorotalonil 700 g/L, 4285,74g de clorotalonil técnico e 3214,26g da solução dispersante foram medidas as massas e colocados no tanque agitador para sua total dispersão. Em seguida o produto foi dividido em três partes: 2,0 litros para cada processo de micronização.

As variáveis do processo são: temperatura, vazão e tempo de moagem, posto que ocorrem mudanças nos resultados obtidos para cada tipo de esferas testado. O produto antes da moagem está com a temperatura de 26°C. A micronização com as esferas de vidro obteve a menor temperatura durante a moagem sendo de 30°C, porém com a menor vazão, qual seja 0,09 L/min, e maior tempo de moagem que alcançou 32 minutos. Com o emprego das esferas de silicato de zircônio a temperatura de moagem foi de 38°C, a vazão de 0,15 L/min e o tempo de moagem de 20 minutos. O resultado mais interessante foi obtido com a utilização das esferas de óxido de zircônio. Porém, para essa situação atingiu-se a maior temperatura 42°C, mas com a maior vazão e o menor tempo de moagem, sendo: 0,19 L/min e 16 minutos, respectivamente.

Antes de iniciar a operação de moagem foi necessário analisar o tamanho das partículas do defensivo, para se ter um parâmetro do produto a ser introduzido ao moinho de esferas. Para determinar o tamanho de partícula utilizando o equipamento medidor de partículas Cilas 1090 foram coletadas amostras da suspensão concentrada e efetuada a análise. Tem-se a medição de acordo com a porcentagem do diâmetro das partículas exposta na Tabela 1, de acordo com a distribuição granulométrica realizada no produto antes da moagem, onde X refere-se ao diâmetro (μm), $Q3$ ao valor cumulativo da fração mássica da amostra em (%), e $q3$ é o valor individual da fração mássica da amostra em (%).

Tabela 1. Distribuição granulométrica do produto e distribuição granulométrica detalhada - antes da moagem

	Medição		Resultados							
	D50		11,22 μm							
	D90		36,62 μm							
	D95		44,28 μm							
X (μm)	0,50	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	7,00	9,00	11,00	15,00
Q3 (%)	2,79	8,73	11,45	16,31	20,58	24,65	32,79	41,14	49,16	62,14
q3 (%)	2,79	5,94	2,72	4,86	4,27	4,07	8,14	8,35	8,02	12,98
X (μm)	20,00	25,00	30,00	40,00	45,00	50,00	75,00	100,00	300,00	500,00
Q3 (%)	72,46	79,02	84,14	92,47	97,42	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q3 (%)	10,32	6,56	5,12	8,33	2,90	2,05	2,58	0,00	0,00	0,00

A somatória do $Q3$ é de 100%, mas na primeira coluna $q3$ é de 2,79 e X igual à 0,5. Isso quer dizer que 2,79% das partículas possuem tamanho máximo de 0,50 μm e o diâmetro máximo encontrado foi de 75 μm , que se refere a um $q3$ de 2,58% das partículas. O diâmetro D90 está com o valor de 36,62 μm , ou seja, 90% das partículas estão com 36,62 μm . A partir desse resultado inicia-se o processo de moagem para cada tipo de esferas (GIULIO MASSARANI., 2001).

Levando em consideração que o tamanho de partícula ideal é menor que 5 μm , descritos como X (μm), verifica-se que a somatória da distribuição em porcentagem $Q3$ (%) de cada tipo de esferas apresenta os resultados aproximados expostos nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2. Distribuição granulométrica do produto e distribuição granulométrica detalhada - esferas de vidro

	Medição		Resultados							
	D50		1,78 μm							
	D90		4,73 μm							
	D95		5,93 μm							
X (μm)	0,50	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	7,00	9,00	11,00	15,00
Q3 (%)	17,93	43,58	54,90	73,31	84,90	91,46	97,37	99,36	99,93	100,00
q3 (%)	17,93	25,65	11,32	18,41	11,59	6,56	5,91	1,99	0,57	0,07

Tabela 3. Distribuição granulométrica do produto e distribuição granulométrica detalhada - esferas de silicato de zircônio.

	Medição		Resultados							
	D50		1,90 μm							
	D90		4,52 μm							
	D95		5,38 μm							
X (μm)	0,50	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	7,00	9,00	11,00	15,00
Q3 (%)	11,67	39,87	52,19	72,06	85,46	93,14	98,98	99,94	100,00	100,00
q3 (%)	11,67	28,20	12,32	19,87	13,40	7,68	5,84	0,96	0,06	0,00

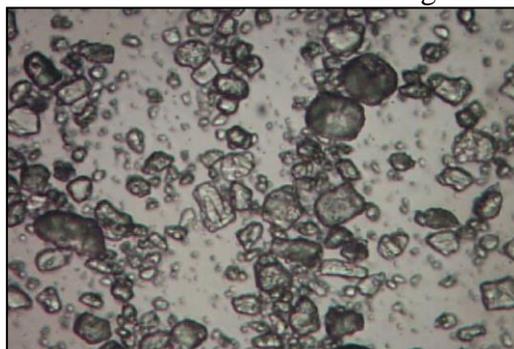
Tabela 4. Distribuição granulométrica do produto e distribuição granulométrica detalhada - esferas de óxido de zircônio.

	Medição		Resultados							
	D50		1,85 μm							
	D90		4,44 μm							
	D95		5,29 μm							
X (μm)	0,50	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	7,00	9,00	11,00	15,00
Q3 (%)	12,51	41,34	53,58	73,11	86,18	93,61	99,11	99,95	100,00	100,00
q3 (%)	12,51	28,83	12,24	19,53	13,07	7,43	5,50	0,84	0,05	0,00

O D90 da esfera de vidro obteve o resultado de 4,73 μm . Com as esferas de silicato de zircônio obteve-se um resultado de 4,52 μm . Mas, o melhor resultado foi obtido com as esferas de óxido de zircônio que foi de 4,44 μm .

Na imagem da Figura 5, obtidas por microscopia eletrônica em um aumento da lente de 40X, e em uma solução aquosa com 1% do produto, pode-se observar o tamanho das partículas antes da moagem.

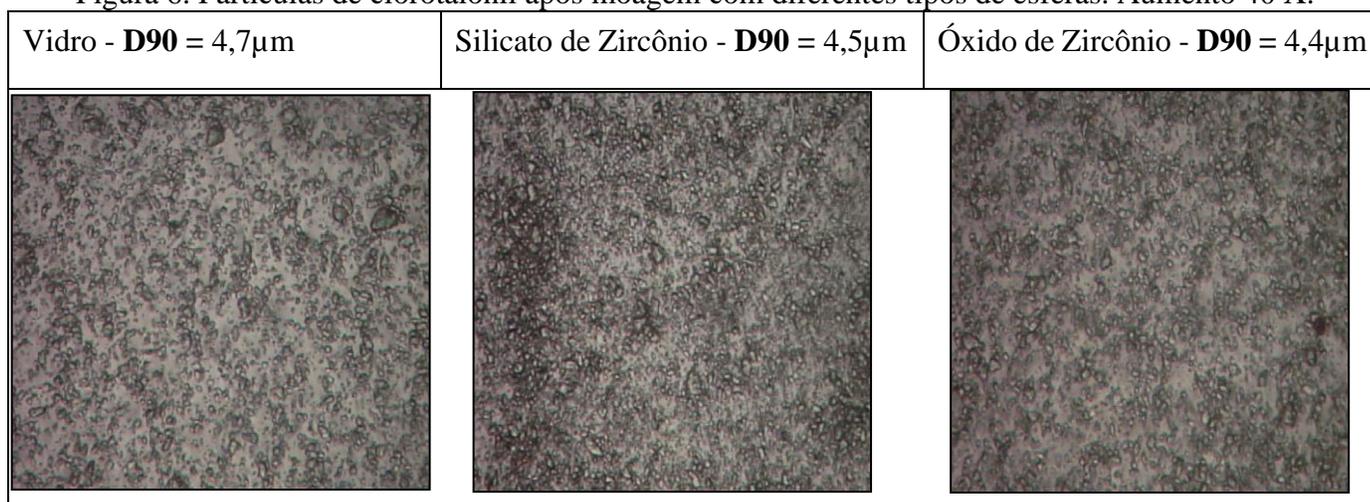
Figura 5. Partículas de clorotalonil antes da moagem. Aumento de 40 X.



Fonte: Autor (2021).

Na imagem da Figura 6, também obtida por microscopia eletrônica, em um aumento da lente de 40X, e em uma solução aquosa com 1% do produto, pode-se observar a homogeneidade das partículas obtida após o processo de micronização. Nesta, as amostras dos diferentes tipos de esferas apresentam formas similares das partículas.

Figura 6. Partículas de clorotalonil após moagem com diferentes tipos de esferas. Aumento 40 X.



Fonte: Autor (2021).

Quanto ao custo para a utilização dos diversos modelos de esferas no processo de micronização do pesticida Clorotalonil 700 g/L é necessário levar em consideração o preço por quilo de cada um de seus tipos. É possível obter que a variação de preço entre as esferas de vidro e as esferas de silicato de zircônio é de 37,5%. Entre as esferas de silicato de zircônio e as esferas de óxido de zircônio têm-se 81,82 % e entre as esferas de vidro com óxido de zircônio tem-se a maior variação, qual seja: 150%.

Para o processo de micronização empregou-se 70% da capacidade da câmara do moinho para a utilização das esferas. Considerando a densidade das esferas, obtém-se a quantidade em kg para cada tipo de esferas, versus o preço por quilograma das esferas. Assim, obtém-se o custo em Reais R\$ para cada tipo de esferas utilizadas em seu respectivo volume de 0,7 L conforme listados na tabela 5.

Tabela 5. Custo das esferas por 70% do volume da câmara de moagem.

Esferas	Densidade kg/l	Volume L	Quantidade kg	Kg – R\$	Custo R\$
Vidro	1,500	0,7	1,050	92,80	97,44
Silicato de Zircônio	2,700	0,7	1,890	127,60	241,16
Óxido de Zircônio	3,800	0,7	2,660	232,00	617,12

Referente ao custo, o preço por quilo das esferas sendo R\$ 92,80 para esferas de vidro, R\$ 127,60 para esferas de silicato de zircônio e R\$ 232,00 para esferas de óxido de zircônio, trata-se de um investimento, e não como despesa, pois as esferas são reutilizadas. Somente as esferas de vidro se desgastam em virtude dos atritos dando 4% de perda para cada 100 kg. Para as esferas de silicato de zircônio e de óxido de zircônio, não existe perda, pois trata-se de um material bem mais resistente ao atrito.

E referente ao consumo de energia elétrica destaca-se que a bomba de alimentação ou bomba NEMO apresenta um consumo de 1,47 kWh. O moinho de esferas para micronização tem um consumo de 2,94 kWh. E o chiller, um consumo de 15,44 kWh. A somatória resulta em consumo total igual a 19,85 kWh conforme Tabela 6.

Tabela 6. kWh dos equipamentos elétricos.

Equipamentos elétricos	kWh
Bomba NEMO	1,47
Moinho de esferas	2,94
Chiller	15,44
Total	19,85

Convertendo kWh da somatória utilizando os dados expostos na Tabela 7, e levando em consideração o custo médio do kWh igual a R\$ 0,80, tem-se o custo final em R\$ conforme Tabela 7, por cada tipo de esferas utilizadas no processo de micronização.

Tabela 7. Média kWh com o tempo de moagem.

Esferas	Tempo de moagem "min"	kWh	kWh R\$	Custo em R\$ / Esferas
Vidro	32	10,587	0,80	8,47
Silicato de Zircônio	20	6,617	0,80	5,29
Óxido de Zircônio	16	5,293	0,80	4,23

Analisando estes resultados pode-se observar que se as esferas de silicato de zircônio forem utilizadas para a moagem ao contrário das esferas de vidro obtém-se uma redução de 37,54% no consumo de energia. E por mais, pode-se acatar que, se as esferas de óxido de zircônio forem aplicadas para a

moagem ao invés das esferas de vidro, obtêm-se desempenho melhor, com uma redução de 50,06% no consumo de energia elétrica.

4. CONCLUSÃO

O processo de micronização utilizando moinhos de esferas, empregando a seu tempo, cada um de seus três tipos de esferas: as esferas de vidro, as esferas de silicato de zircônio e as esferas de óxido de zircônio, assegura a obtenção do tamanho ideal de partícula para o pesticida Clorotalonil 700 g/L, com mais de noventa por cento de suas partículas em dimensão menor que 5,0 μm .

E levando em consideração, a vazão, o tempo de moagem e o consumo de energia elétrica, que são as principais variáveis que encarecem a produção do defensivo agrícola, deduz-se que mesmo empregando de esferas de óxido de zircônio que exige um investimento maior, em virtude do seu custo de aquisição, essa aplicação dos recursos financeiros compensa, porquanto que este processo de micronização ocasiona o dobro da vazão, com tempo de moagem reduzido à metade e uma economia de até cinquenta por cento no consumo de energia elétrica, em comparação com o emprego das esferas de vidro

Correlacionando o uso das esferas de óxido de zircônio com o uso das esferas de silicato de zircônio também se infere que se obtém um bom desempenho com esse processo de micronização, posto que há um aumento de vinte e sete por cento na vazão, vinte e cinco por cento de redução do tempo de moagem e uma economia de igual porcentagem no consumo de energia elétrica.

Sugestões para futuras pesquisas e trabalhos sendo que esse processo de micronização em diferentes tipos de esferas aplica-se não somente em defensivos agrícolas, mas também no ramo fármaco e veterinário no caso dos remédios em suspensões concentradas SC, e no ramo alimentício na micronização do cacau para produção de chocolates, quanto menor for o tamanho de partículas do cacau mais saboroso e mais caro ele é.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

5. REFERÊNCIAS

ABNT NBRNM188. Materiais metálicos – Dureza Vickers – Parte 1: Medição da dureza Vickers - Parte 2: Calibração de máquinas de medir dureza Vickers – Parte 3: Calibração de blocos padrão a serem usados na calibração de máquinas de medir dureza Vickers, 1999.

Callister, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais - uma Introdução ed.5. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CHEBI. Nome de registro clorotalonil. <http://www.ebi.ac.uk /chebi/Search Id.do>.

Massarani, G. Fluidodinâmica em Sistemas Particulados; Programa de Engenharia Química COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro - 2ª Edição, 2001.

Macbean, C. e-pesticide Manual. 15 ed. Ver. 5.1, Alton, UK. British Crop Protection Council. Clorotalonil (1897-45-6), 2010.

Multiesferas. Tipos de moinhos. <http://www.multiesferas.com.br/esferas-de-óxido-de-zircônio>.

Nandi, V. S. & Montedo, O. R. K. (2009). Otimização do Processo de Moagem de Engobes Cerâmicos para Produção de Revestimento. *Cerâmica Industrial*. 14 (4), 24–8.

NETZSCH. <https://www.directindustry.com/pt/prod/netzsch-grinding-dispersing/product-16670-438862.html>.

Ohenoja, K. (2014). Particle size distribution and suspension stability in aqueous submicron grinding of CaCO₃ and TiO₂. 86 p. Doktoral Thesis, Faculty of Technology - University of Oulu, Finland.

PUBCHEM. <https://Pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>

Rocha, B. C., Teixeira, G. F., Trindade, R., S. Arruda, E. B., & Souza, D. L. (2020). Projeto, construção e operação de um moinho de bolas em escala piloto. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5149>.

Ullah, M., Ali, M. E., & Hamid, S. B. A. (2014). Surfactant-assisted ball milling: a novel route to novel materials with controlled nanostructure - a review. *Reviews on Advanced Materials Science*, v. 37, p. 1–14.