

CONFIABILIDADE COMO CRITÉRIO AUXILIAR À TOMADA DE DECISÃO NA MANUTENÇÃO: ESTUDO DE CASO APLICADO A UMA FROTA DE MINI CARREGADEIRAS MECÂNICAS¹

*Bruna Passos Arpiní²
Renan Mantuanelli de Aquino³
Rafael Barcelos⁴
Marcos Guimarães⁵*

Resumo

Este trabalho trata de um estudo de caso realizado em um setor empresarial pertencente a uma empresa mineradora, cuja atuação centra-se na logística e em reparos inerentes a equipamentos móveis. Dada a relevância da confiabilidade como critério auxiliar à tomada de decisão na manutenção, o objetivo deste trabalho é obter a função confiabilidade para cada equipamento, comparar resultados para grupos de equipamento de cada fabricante e identificar os motivos que mais contribuíram para valores mais baixos de confiabilidade. Para isto, considerou-se uma frota de mini carregadeiras mecânicas, para as quais por meio da distribuição exponencial, obteve-se a função da confiabilidade através da taxa de falhas ao longo das horas de utilização. Os resultados mostram o desempenho muito superior dos equipamentos de um fabricante em relação ao outro e que, embora a confiabilidade seja um importante parâmetro nas decisões e contribua para a segurança das operações logísticas, outros fatores devem ser considerados.

Palavras-chave: Confiabilidade; Tomada de decisão; Segurança.

RELIABILITY AS A AUXILIAR CRITERIA IN MAINTENANCE DECISION MAKING: A CASE STUDY APPLIED TO A FLEET OF SKID STEER LOADERS

Abstract

This paper is about a case study realized in a business sector of a mining company, which operations focuses are in logistics and mobile equipments repair. As the relevance of reliability as an auxiliary criterion for decision making in maintenance, the objective of this work is to obtain the reliability function for each equipment, compare results for groups of equipment from each manufacturer and identify the reasons that contributed to lower values of reliability. Hence, it was considered a fleet of skid steer loaders and using exponential distribution the reliability by the failure rate during hours of use was obtained. The results show a higher performance equipment from one manufacturer to the other, and although reliability is an important parameter in decisions and contribute to the security of logistics operations, other factors must be considered.

Keywords: Reliability; Decision making; Safety.

¹ *Contribuição técnica ao 32º Seminário de Logística – Suprimentos, PCP, Transportes, 18 a 21 de junho de 2013, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

² *Graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Espírito Santo. Estagiária da Vale. Vitória, ES, Brasil.*

³ *Engenheiro mecânico. Engenheiro de Manutenção da Vale. Vitória, ES, Brasil.*

⁴ *Sistema da Informação. Supervisor IPPCM e Execução de Manutenção da Vale. Vitória, ES, Brasil.*

⁵ *Administrador. Gerente de Equipamentos Móveis da Pelotização da Vale. Vitória, ES, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A atividade de manutenção é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual este possa desempenhar uma função requerida”.⁽¹⁾

No contexto de frotas veiculares, a atividade de manutenção pode ocorrer no intuito de prevenir falhas de equipamentos e seus componentes intrínsecos ou de forma corretiva, quando é voltada à recuperação do sistema ao seu estado operante. Assim sendo, define-se como principal objetivo deste serviço a conservação e a melhoria da confiabilidade e regularidade de operação do sistema na qual a manutenção é provida.⁽²⁾

No que tange a confiabilidade de um item, segundo a norma brasileira NBR 5462-1994, pode-se defini-la como “a probabilidade de que este item desempenhe a função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso”.⁽¹⁾

Sellito⁽³⁾ salienta as transformações que vem ocorrendo na função manutenção na medida em que os gestores das organizações se atentam ao quanto as falhas em equipamentos afetam a segurança, a qualidade e os custos da produção. Ele propõe a formulação de estratégias de manutenção que se fundamentem na teoria da confiabilidade, ao invés de embasamento unicamente em convicções e experiência pessoal.

Nesse sentido, destaca-se o papel que a confiabilidade exerce no contexto da manutenção veicular, uma vez que o controle do período de tempo no qual o equipamento é hábil para exercer a sua função sem falhas serve como ferramenta para evitar a ocorrência daquelas que possam implicar em riscos à segurança do operador.

Além disso, ressalta-se também o papel do controle da confiabilidade como fator direcionador à tomada de decisão inerente à gestão da manutenção, como a escolha de equipamento de comportamento similar para substituição de outro que tenha quebrado, ou como critério de grande peso na tomadas de decisão de substituição de equipamentos (como fator complementar ao estudo de *Life Cycle Cost*).

1.1 Objetivo

Neste trabalho será analisada a confiabilidade de 9 mini carregadeiras mecânicas, sendo 5 delas do modelo A do Fabricante X e 4 do modelo B do Fabricante Y, para direcionar a tomada de decisão na gestão da manutenção. Objetiva-se, com isso, obter a função de confiabilidade dos equipamentos, comparar o desempenho entre os equipamentos de cada fabricante e verificar os motivos que mais contribuíram para valores mais baixos de confiabilidade.

1.2 Revisão da Literatura

1.2.1 Tempo médio entre falhas

O Tempo Médio entre Falhas é o valor esperado do tempo de falhas de um item, cuja sigla MTBF (*Mean Time Between Failures*) é originária do inglês (NBR 5462, 1994)⁽¹⁾. É dado por:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Sendo λ a taxa de falhas do item.

O MTBF é geralmente utilizado como um guia para estabelecer o intervalo entre tarefas de manutenção nos casos em que a taxa de falhas é constante (NASA, 2000 apud Zaions, 2003).⁽⁴⁾

1.2.2 Sistemas reparáveis

De acordo com Guzzon,⁽⁵⁾ sistemas reparáveis são aqueles em que se pode restabelecer a operação de forma satisfatória após a ocorrência de uma falha, a partir de uma ação (seja ela a troca de peças ou a realização de ajustes). Utiliza-se para este tipo de sistema o MTBF.

1.2.3 Função de confiabilidade

A função de Confiabilidade designa-se por $R(t)$ (o R remete ao termo em inglês, isto é, *reliability*), expressa a probabilidade (Pr) de o equipamento operar sem falhas num determinado período de tempo t , sendo $t \geq 0$. Assim:

$$R(t) = \Pr(T \leq t), \quad t \geq 0$$

A função de confiabilidade sempre será decrescente com o tempo, haja visto que, quanto mais se usa um equipamento, maior são as chances de haver desgaste ou fadiga nos componentes do mesmo, ou seja, maior é a probabilidade do equipamento falhar.⁽⁶⁾

1.2.4 Função taxa de falha

Segundo Pinto,⁽⁶⁾ a probabilidade de um item falhar durante um intervalo $(t; t + \Delta t]$, sabendo-se que o item está funcionando no instante de tempo t , é dada por:

$$\Pr(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t) = \frac{\Pr(t < T \leq t + \Delta t)}{\Pr(T > t)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

A definição da função taxa de falha $z(t)$ é determinada dividindo-se essa probabilidade pelo intervalo de tempo Δt , e fazendo $\Delta t \rightarrow 0$:

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t)}{\Delta t} = \frac{\Pr(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

em que $f(t)$ é a função densidade de probabilidade. Portanto:

$$\Pr(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t) \approx z(t) \Delta t$$

1.2.5 Função confiabilidade e taxa de falha para distribuições exponenciais

A definição matemática que definirá essa função será exponencial, uma vez que é a este tipo de distribuição exponencial a que os tempos para falha estão associados. Assim, temos que:

$$z(t) = \lambda$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$\Pr (t < T \leq t + \Delta t \mid T > t) \approx \lambda \Delta t$$

Portanto:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0$$

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo de caso, considerou-se uma frota de 9 mini carregadeiras mecânicas, sendo 5 delas do modelo A do Fabricante X e 4 do modelo B do Fabricante Y. Foram utilizados dados do período de janeiro de 2011 a fevereiro de 2013 (inclusive) para o presente estudo.

Estes dados são compostos por horas de utilização e número de falhas de cada equipamento, agrupadas nos 26 meses supracitados. O software utilizado foi o Microsoft Office Excel 2007.

Após a revisão bibliográfica, o primeiro passo foi, com as informações em uma única base de dados (planilha), a realização da soma da utilização total e do número de falhas total de cada equipamento. Destaca-se que a utilização total também poderia ser obtida a partir do valor do horímetro do equipamento no instante desejado (final de fevereiro de 2013).

Logo após, calculou-se a taxa de falha de cada equipamento, para a frota e também para o grupo de equipamentos de cada fabricante. A partir deste valor, descobriu-se a função confiabilidade (para distribuição exponencial) para os mesmos.

Finalmente, fez-se o cálculo da confiabilidade ao longo das horas operacionais do ciclo de vida, sendo estas de 10 a 250 horas, variando de 10 horas.

Com os equipamentos ranqueados de acordo com seus respectivos valores de confiabilidade para 250h, verificaram-se os motivos que contribuíram para os valores mais baixos de confiabilidade e comparou-se o desempenho entre os equipamentos de cada fabricante.

3 RESULTADOS

A título de simplificação textual, chamar-se-ão os equipamentos agrupados pelo fabricante X de grupo A (visto que é composto por equipamentos de modelo A), e pelo fabricante Y de grupo B (por analogia).

Obtida a função confiabilidade para todos os equipamentos, conforme mostrado na Tabela 1, elaborou-se o gráfico da confiabilidade ao longo das horas operacionais para os mesmos, e agrupado por frotas, que pode ser visto nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Taxa de Falhas, Função confiabilidade e seus *inputs* (utilização e falhas)

Fabricante	Equipamento	Utilização	Falhas	Taxa de Falhas (λ)	Função Confiabilidade ($R(t)$)
Y (Grupo B)	1MC	1785,00	36	0,02017	$e^{(0,02017*t)}$
	2MC	1799,16	26	0,01445	$e^{(0,01445*t)}$
	8MC	1486,80	10	0,00673	$e^{(0,00673*t)}$
	9MC	1320,90	15	0,01136	$e^{(0,01136*t)}$
X (Grupo A)	3MC	1771,83	38	0,02145	$e^{(0,02145*t)}$
	4MC	1098,39	53	0,04825	$e^{(0,04825*t)}$
	5MC	1554,74	41	0,02637	$e^{(0,02637*t)}$
	6MC	1024,99	41	0,04000	$e^{(0,04000*t)}$
	7MC	1038,56	25	0,02407	$e^{(0,02407*t)}$
-	Frota	12880,37	285	0,02213	$e^{(0,02213*t)}$
-	Grupo B	6391,86	87	0,01361	$e^{(0,01361*t)}$
-	Grupo A	6488,51	198	0,03052	$e^{(0,03052*t)}$

Percebe-se que, os equipamentos que constituem a do grupo A superaram a utilização do grupo B em apenas 1,5%, mas obtiveram 127,6% a mais de falhas que a mesma frota, o que reflete um desempenho inferior dos equipamentos produzidos pelo fabricante X.

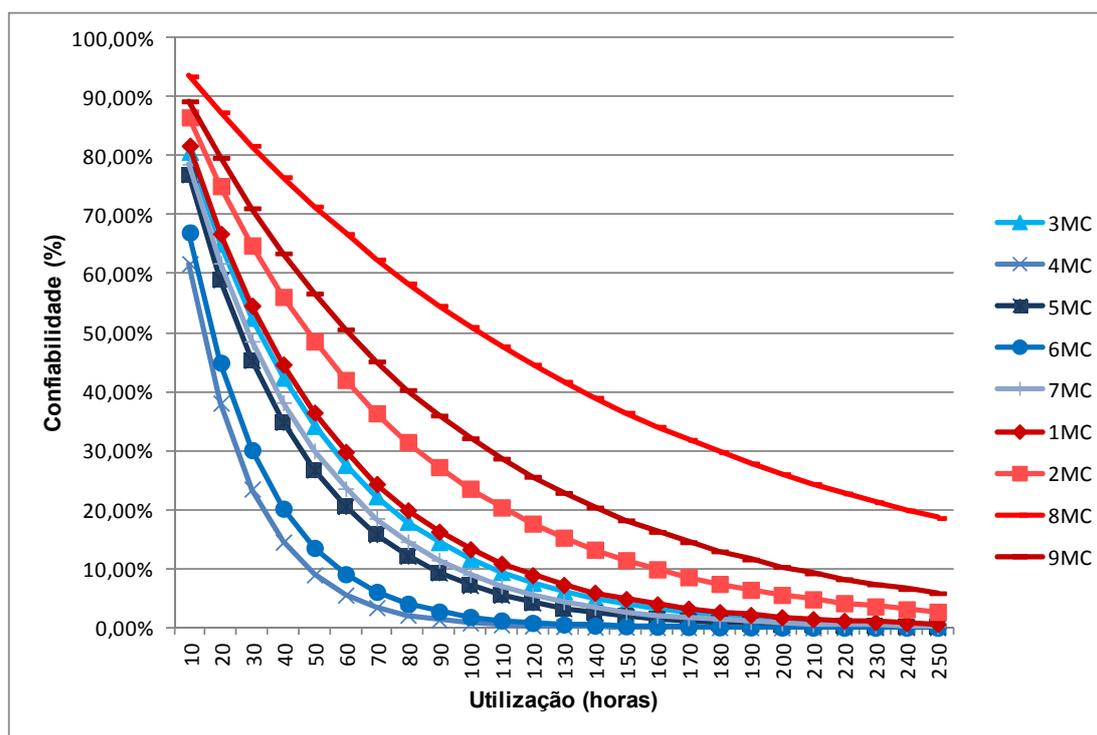


Figura 1. Gráfico da Confiabilidade das Mini Carregadeiras Mecânicas

Outro aspecto relevante é o comportamento das curvas exponenciais que expressam a função confiabilidade de cada equipamento. Pela Figura 1, observa-se que os equipamentos do grupo A (indicados pelas curvas em tons de azul) possuem confiabilidade estritamente inferior aos do grupo B (indicados pelas curvas em tons de vermelho).

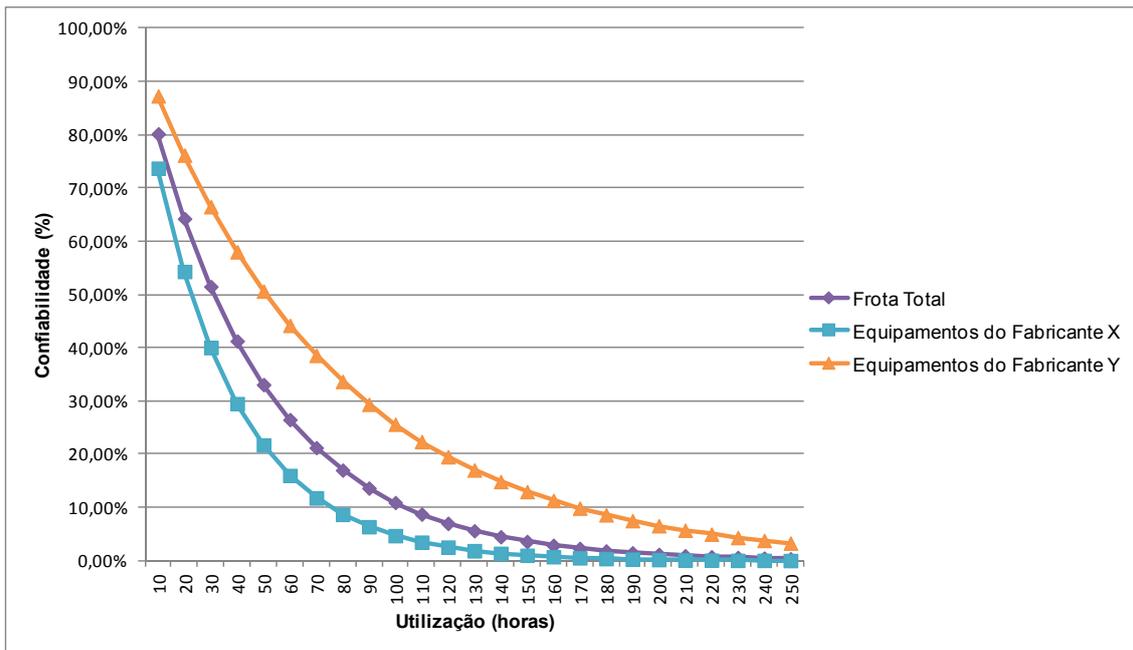


Figura 2. Gráfico da Confiabilidade das Mini Carregadeiras Mecânicas agrupadas por frota total e por fabricantes.

Dada consideração que foi feita partir da Tabela 1, a respeito de utilização e falhas de cada fabricante, e o desempenho individual de cada equipamento, exposto na Figura 1, o comportamento gráfico mostrado na Figura 2 já era esperado. A imagem em questão ratifica que os equipamentos do fabricante X contribuem negativamente para os resultados de confiabilidade da frota.

Na Tabela 2 mostra-se um ranking decrescente da confiabilidade das mini carregadeiras mecânicas para 250 horas de utilização (R(250)).

Tabela 2. Ranking de Confiabilidade em 250h

Fabricante	Equipamento	Confiabilidade 250h
Y (Grupo B)	8MC	18,610%
	9MC	5,849%
	2MC	2,698%
	1MC	0,646%
X (Grupo A)	3MC	0,469%
	7MC	0,243%
	5MC	0,137%
	6MC	0,005%
	4MC	0,001%

A Tabela 2 evidencia que o equipamento de pior valor de confiabilidade em 250 horas do grupo B (1MC) supera o que possui maior valor de confiabilidade neste mesmo período de tempo do grupo A (3MC). Além disso, expõe que, embora haja melhor desempenho de um fabricante em relação ao outro, o valor de confiabilidade no geral está aquém do que se considera razoável (em torno de 70%).

4 DISCUSSÃO

Dada a acentuada diferença entre a confiabilidade dos equipamentos dos grupos A e B, serão analisados os fatores contribuintes; cita-se como exemplos de causas as diferenças no conhecimento processual, o acumulado de horas de utilização dos equipamentos e o número total de falhas.

No que se refere ao parâmetro utilização, constata-se que a maior contribuição para que se usasse menos as mini carregadeiras do grupo A foi o estudo de confiabilidade (em questão) fornecido desde 2012 ao setor de programação da operação. Enfatiza-se que os dois grupos tiveram a mesma média de disponibilidade física acumulada no período de estudo (cerca de 85%).

Quanto ao fator falhas, que foi o de contribuição mais notória para os resultados (já que o grupo A teve cerca de 2 vezes mais falhas que o grupo B), atribui-se maior responsabilidade aos sistemas de ar condicionado e elétrico, em que houve maior reincidência de falhas.

No sistema de ar condicionado, que corresponde a cerca de 20% do total de falhas do grupo A, destaca-se a falha de quebra do suporte do compressor como a mais recorrente. Isso se explica porque todos os equipamentos (deste modelo) do fabricante X não possuem ar condicionado original, e, por necessidade da área em que se realizou o estudo de caso, foram fornecidos com ar condicionado adaptado.

O sistema elétrico por sua vez está associado a 25% do montante de falhas do grupo A, e a falha de maior repetição de ocorrência é a queima do relé de acionamento de partida.

Embora haja participação dos outros sistemas nas demais falhas (como estrutura, hidráulico, locomoção, iluminação, motor e transmissão) não haverá aprofundamento, pois o montante de falhas em cada situação não excede 15%.

Além da comparação entre frotas, os resultados tem como serventia auxiliar a tomada de decisão no contexto da gestão da manutenção, o que envolve: a substituição de equipamentos, a determinação da periodicidade das rotas de inspeção, a escolha de equipamento *backup*, a alocação correta de equipamentos para cada atividade (de acordo com a duração e o risco da tarefa), entre outros.

No que se refere a alocação de equipamentos por tarefa, o estudo se mostra bastante útil, pois auxilia em situações em que se faz estritamente necessário confiabilidade alta para o equipamento, como na priorização de alocação de equipamentos nas áreas operacionais mais críticas, para que não haja riscos de segurança, e em paradas de usina, em que uma falha pode acarretar em atraso da parada e consequentemente em perda de produção, ou seja, menor receita.

Quanto à rota de inspeção, o trabalho também tem grande aplicação. A citada rota é realizada atualmente no setor conforme as recomendações do fabricante. Contudo, é primordial que a periodicidade seja adequada ao ambiente corrosivo (presença de minério de ferro) em que os equipamentos atuam. A rota para o grupo A é de 21 dias, cerca de 35 horas de utilização, o que corresponde a 34,4% de confiabilidade; já para grupo B é de 15 dias, cerca de 30 horas de utilização, o que corresponde a 66,5% de confiabilidade, sendo que a confiabilidade aceitável para o setor é de 70%. Outro fato indicado é que o valor da confiabilidade em 250h (Tabela 2) está extremamente baixo, o que representa a necessidade em um aprofundamento no estudo das falhas que contribuem para tal, a fim de mitigá-las, visto que este é o valor da periodicidade mínima dos planos de manutenção.

5 CONCLUSÃO

Embora a confiabilidade seja de grande auxílio à tomada de decisão do setor de manutenção, são raras as decisões que se embasam em um único critério.

Embora os equipamentos do grupo A tenham desempenho extremamente inferior aos do grupo B, na decisão de substituição, outros aspectos que impactam na gestão manutenção deverão ser levados em conta. Entre esses, cita-se: preço de aquisição, preço dos componentes, prazo de entrega de materiais pelo fornecedor, consumo de combustível por hora, tempo médio necessário para reparo, entre outros. Até porque, para que um equipamento seja substituído, faz-se necessário um estudo de *Life Cycle Cost*, o que determinará o melhor momento para tal.

Da mesma forma, no que tange à rota de inspeção e aos planos de manutenção, salienta-se que em um cenário ideal, o valor da periodicidade seria reduzido de forma imediata para que a confiabilidade atingisse a meta aceitável do setor. Contudo, sabe-se que há limitações em termos de recursos materiais e humanos disponíveis, e que uma empresa para manter sua vantagem competitiva, deve alocá-los de forma estratégica. Seria, pois, mais prudente, em um primeiro momento, tratar as causas que contribuem para valores baixos de confiabilidade, como os problemas crônicos apontados, e posteriormente, a adequação de periodicidade levando em conta a viabilidade dos fatores mencionados.

Por fim, destaca-se que, mesmo com valores distantes da meta, ter o controle e monitoramento da confiabilidade, e, utilizá-lo como direcionamento de ações, acarreta a melhoria do setor e faz com que o mesmo convirja à excelência e ao aumento de segurança operacional a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- 1 ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- 2 FOGLIATTO, F. S. , RIBEIRO, J. L. D.. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- 3 SELLITTO, M. **Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos**. Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Ano 2, v. 3, p. 97-108, mai-jun 2007.
- 4 ZAIONS, D. T. **Manutenção Industrial com Enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós Graduação e Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.
- 5 GUZZON, S.O. **Proposta de Análise quantitativa de confiabilidade a partir de dados qualitativos provenientes da FMEA**. Porto Alegre, 2009.
- 6 PINTO, L. H.T. **Análise de falhas: Tópicos de engenharia de confiabilidade**, 2004. Disponível em: <www.mantenimentomundial.com/sites/mm/notas/failure.pdf>.