

Comparativo de Uso de Compactador de Resíduos e Tratores de Esteira Convencionais em um Aterro Sanitário no Estado de Pernambuco

Caio Duque Estrada Amendola
Progen, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, caiodeamendola@gmail.com

Manuella Suellen Vieira Galindo
ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, manuella.galindo@altageotecnia.com

Álvaro Bruno Farias da Silva
Centro Universitário dos Guararapes, Jaboatão dos Guararapes, PE, Brasil, alvarobrunofarias@gmail.com

RESUMO: A compactação de resíduos sólidos é de fundamental importância para as operações de um aterro sanitário, visto que maiores densidades geram volumes adicionais de disposição com o consequente aumento de vida útil, bem como contribui na resistência da massa, redução de recalques e na estabilidade dos maciços de resíduos. O presente trabalho mostra uma breve descrição do recebimento e operacionalização de um rolo compactador de resíduos em um aterro sanitário de Pernambuco, no período de outubro de 2019 a maio de 2020, sendo apresentados os dados de consumo de horas, consumo de combustível, massa específica operacional dos resíduos antes e após a utilização do equipamento, e comparação com dados de utilização dos tratores de esteira usuais. Destaca-se que o uso do compactador aumentou em até 20% a massa específica operacional ao comparar com a média histórica do empreendimento. Entretanto, pontua-se o maior consumo médio mensal de combustível, aproximadamente 2,4 vezes maior do que os tratores de esteira convencionais, além de ser mais custoso nas manutenções e somente funcionou em conjunto com os tratores de esteira. Entende-se que o equipamento deve ser adequado aos períodos de estiagem, visando a performance otimizada, de modo a aumentar a vida útil do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, Compactação, Vida útil.

ABSTRACT: The compaction of solid waste is fundamental for the operations of a landfill, as greater densities generate additional volumes of disposal with a consequent increase in its operation life, as well as contributing to mass resistance, slope stability and settlement reduction. This article compares the use of a waste compactor roller and conventional bulldozers in a solid waste landfill in Pernambuco, from October 2019 to May 2020, presenting data on hourly use, monthly fuel consumption and unit weight of waste. The use of the waste compactor increased the density of the waste mass by up to 20% compared to the historical data. However, it has a higher average monthly fuel consumption, approximately 2.4 times greater than the bulldozers, in addition to being more expensive to maintain and only working with the bulldozers. This equipment is mostly suitable for dry periods, aiming to increase the operating life of the project by optimizing the performance.

KEYWORDS: Solid waste landfill, Compaction, Operating life.

1 INTRODUÇÃO

A otimização da capacidade dos aterros sanitários é fundamental para que o empreendimento se mantenha economicamente viável ao longo do tempo e a sua vida útil seja mantida.

Um dos fatores que influenciam na vida útil de aterros sanitários é a composição gravimétrica e volumétrica dos materiais presentes nos resíduos sólidos urbanos (RSU). A caracterização dos resíduos permite prever o comportamento geral de um aterro sanitário, levando-se em consideração que os parâmetros

geotécnicos são majoritariamente definidos pelos materiais que existam em maior quantidade no maciço e que possuem maior influência na massa (FARIAS, 2014).

Ademais, o peso específico dos resíduos depositados constitui um outro fator importante, pois sendo a razão entre a massa de RSU por unidade de volume, seu valor indica maior ou menor capacidade de disposição de resíduos em um mesmo espaço.

De acordo com Marques (2001), a compactação em aterros sanitários objetiva a redução volumétrica dos RSU, sendo as principais vantagens de uma boa compactação o aumento de vida útil, a melhoria na trafegabilidade sobre os resíduos, a diminuição da vazão de líquidos percolados e o aumento da migração controlada de líquidos percolados e gases. Portanto, torna-se vital para as operações de um aterro sanitário, visto que maiores pesos específicos geram volumes adicionais de disposição com o consequente aumento na longevidade do empreendimento.

Segundo Boscov (2008), os tratores de esteira são usualmente empregados para a compactação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Também cita que há rolos compactadores específicos para aterros sanitários, porém ainda em menor expressividade se comparado aos tratores de esteira. Além disso, em função do porte dos equipamentos, os compactadores de resíduos empregam uma maior energia de compactação.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o histórico de uso de rolo compactador de resíduos em um aterro sanitário do Estado de Pernambuco, no período de outubro de 2019 a março de 2020, mostrando os dados de consumo de horas, de consumo de combustível, do peso específico, e comparação com dados de utilização dos tratores de esteira usuais.

2 MATERIAS E MÉTODOS

O objeto de estudo trata-se de um aterro sanitário de médio a grande porte no Estado de Pernambuco. De acordo com o gráfico apresentado na Figura 1, que compara as taxas mensais de recebimento de resíduos no empreendimento e as precipitações mensais, verifica-se que a média mensal para o período de janeiro de 2019 a junho de 2020 foi de 124.938t/mês, com um pequeno aumento nos meses de janeiro a março de 2020. Ressalta-se que mesmo com a deflagração da quarentena em virtude da pandemia causada pelo COVID-19, observa-se a manutenção da taxa de recebimento de resíduos.

No que tange a precipitação, cujos dados foram extraídos do pluviômetro instalado no local, nota-se que o ano de 2020 foi menos chuvoso se comparado ao mesmo período do ano anterior. Não se observa uma relação direta entre a precipitação e o recebimento de resíduos, este mais relacionado aos aumentos em épocas festivas (ex.: Natal e Réveillon).

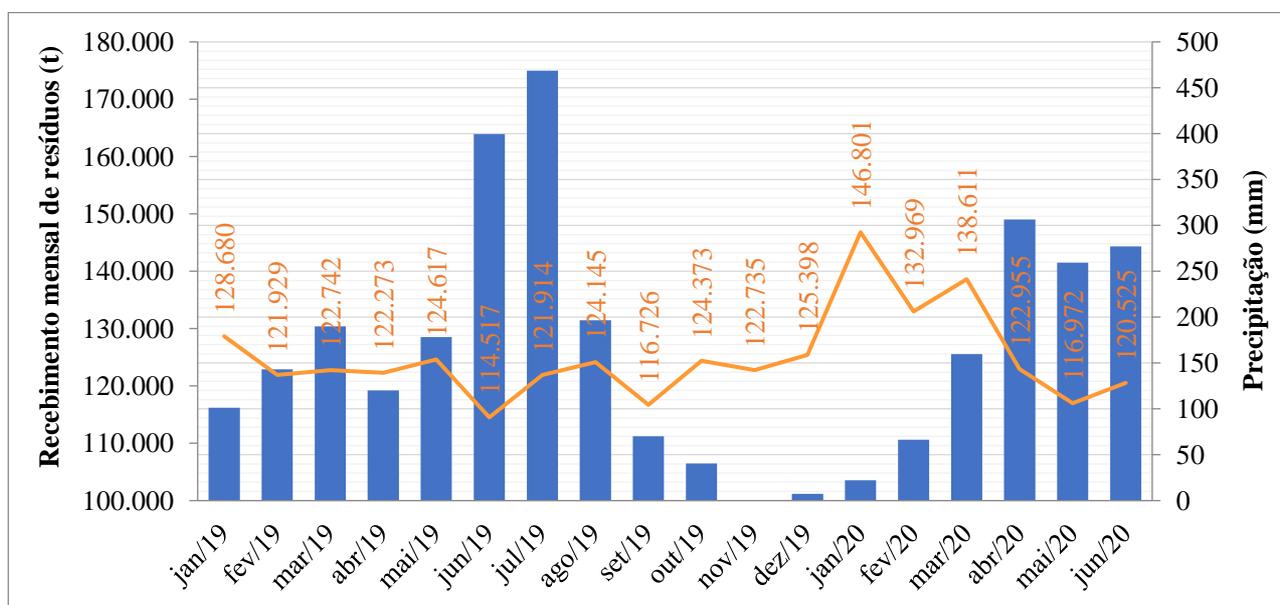


Figura 1. Comparativo das taxas de recebimento de resíduos (linha laranja) e a precipitações mensais (barras azuis) entre janeiro de 2019 e junho de 2020.

A metodologia usada neste artigo consistiu em apresentar o histórico de uso de rolo compactador de resíduos em um aterro sanitário de Pernambuco, no período de outubro de 2019 a março de 2020, obtidos por meio de relatos da operação e “diários de obra”. Também foram coletados e plotados graficamente os dados de consumo de horas trabalhadas e de consumo de combustível para um rolo compactador de resíduos e para um conjunto de tratores de esteira, cujas características estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos equipamentos.

Descrição	Compactador de Resíduos	Trator de Esteira
Peso Operacional	36.967kg	17.997kg
Altura	4,20m	2,95m
Comprimento	8,33m	5,82m
Largura	3,80m	2,97m
Forma de locomoção	Rodas	Esteiras

O peso específico foi estimado ao comparar a massa de resíduos recebidos no período, extraída do histórico da balança do empreendimento, e o volume ocupado. Este foi obtido com auxílio de levantamento topográfico da área de disposição de resíduos (via VANT ou estação total) e, posteriormente, os pontos foram utilizados para geração de superfícies tridimensionais, as quais foram comparadas em períodos subsequentes. Os dados foram apresentados de forma gráfica, com um comparativo de sua média histórica. Ao final, os resultados foram discutidos e algumas recomendações operacionais foram apresentadas.

3 PESO ESPECÍFICO DOS RSU DO EMPREENDIMENTO

De acordo com Boscov (2008), o peso específico dos resíduos sólidos urbanos depende principalmente da composição gravimétrica (resíduos com alto teor de matéria orgânica ou materiais leves acarretam menores pesos específicos), da distribuição granulométrica e do grau de compactação (resíduos compactados são mais densos do que resíduos soltos). Ainda, observa-se uma tendência de aumento de peso específico com a profundidade, em consequência da compressão e recalques devidos à sobrecarga das camadas subjacentes (KAVAZANJIAN *et al.*, 1995).

Silveira (2004), considerando o lixão de Paracambi (RJ), o aterro controlado de Gramacho (RJ) e os aterros Sanitários de Nova Iguaçu (RJ) e Santo André (SP), relatou valores de pesos específicos dos RSU entre 9,15 e 19,74kN/m³.

Já o trabalho de Carvalho (2006) apresentou um compilado de valores de pesos específicos encontrados na literatura, tendo uma ampla faixa de variação: desde valores de 4kN/m³, para aterros não compactados a escassamente compactados, até valores de 20kN/m³, para aterros com alto grau de compactação.

Borgatto (2010) mostra que o grau de compactação é um dos principais fatores que influenciam no valor do peso específico, sendo obtidos valores entre 3,0 e 7,0kN/m³ para resíduos não compactados, e entre 9,0 e 13,0kN/m³ quando aplicada uma compactação controlada utilizando-se tratores de esteira apropriados.

No trabalho de Salamoni (2019), realizado em um aterro sanitário do município de Santa Maria (RS), os valores obtidos em campo para o peso específico dos RSU, após compactação, variaram entre 6,0 e 14,0kN/m³, com valor médio de 10,0kN/m³.

Dai-Prá *et al.* (2022) reportaram valores de pesos específicos de 6,8 a 13,5kN/m³, para resíduos recém-descartados e aterrados em um aterro sanitário localizado na região Sul do Brasil.

No que tange o presente trabalho, o empreendimento realiza mensalmente levantamento topográfico da área de disposição de resíduos, com auxílio de estação total, e os resultados são dispostos em forma de curvas de nível. Em seguida, é feita uma sobreposição entre as superfícies tridimensionais dos meses subsequentes. Com a massa de resíduos recebidos no referido período e o volume ocupado, é possível estimar uma massa específica relativa. É importante ressaltar que este método não considera os recalques e demais deslocamentos ocorridos nas camadas inferiores, de modo que as massas específicas apresentadas devem ser relativizadas, e não tomados como exatas. Em função disso, são aqui chamadas de massa específica operacional.

Os valores obtidos entre janeiro de 2018 e junho de 2020 estão mostrados na Figura 2. Conforme observado, há oscilações entre 0,95t/m³ e 1,51t/m³, com uma média de 1,19t/m³. Ainda, convertendo as unidades para compatibilizar com peso específico, temos valores entre 9,32 e 14,81kN/m³, com a média de 11,67kN/m³. Nota-se que os valores estão coerentes com outros trabalhos reportados na literatura.

Adicionalmente, constata-se que a sazonalidade pluviométrica não apresentou uma relação direta com a massa específica dos resíduos, acompanhada mensalmente. Historicamente, no Estado de Pernambuco, o período de maior precipitação ocorre entre os meses de março e agosto. Apesar de não retratado no presente trabalho, sabe-se que a precipitação influencia mais na cobertura, na ocupação de lagoas de chorume e geração de lixiviados.

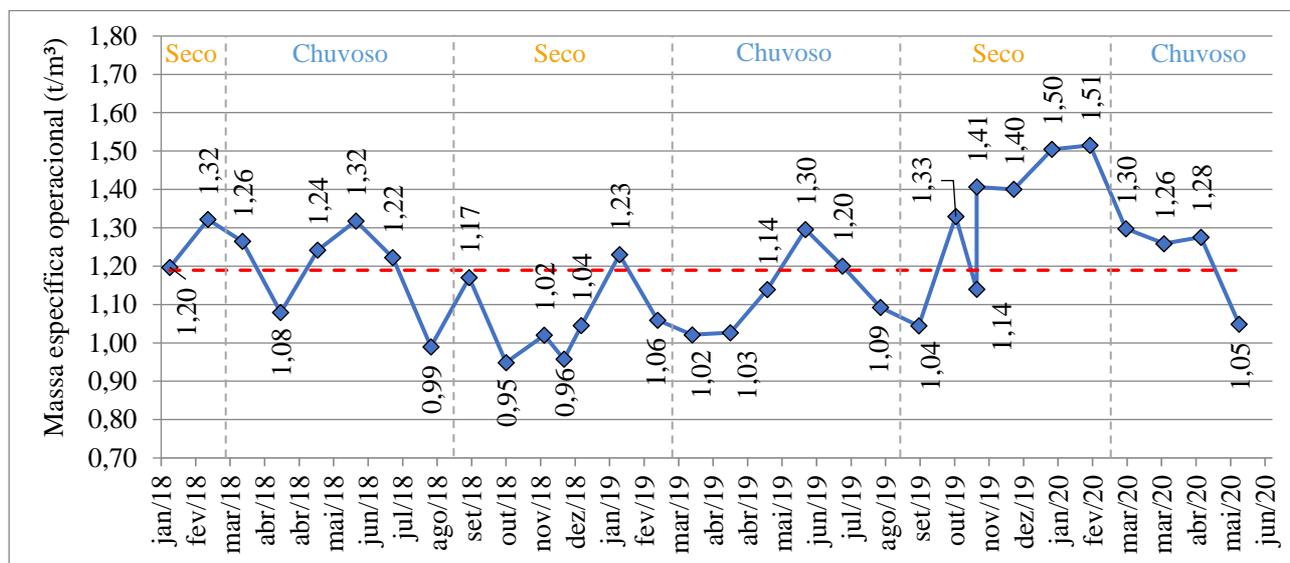


Figura 2. Evolução da massa específica operacional entre janeiro de 2018 e junho de 2020.

4 BREVE HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO DO COMPACTADOR DE RESÍDUOS NO EMPREENDIMENTO

A chegada do equipamento ocorreu em 04 de outubro de 2019, sendo os testes iniciados no dia seguinte, para compactação dos resíduos recém-dispostos. É válido pontuar que, num primeiro momento, ele foi utilizado na manobra em *flat* com a operação em *uphill* (modo ascendente). Nesta primeira forma de atuação, a eficiência não foi considerada adequada, tendo sido verificado um avanço rápido da linha de base do talude de resíduos, algo em torno de 15m/dia, sendo que a média usual seria em torno de 5m/dia.

Diante do cenário descrito, o *layout* da área de disposição foi modificado para uma operação em *downhill*, com os trabalhos de descarga e espalhamento dos resíduos no sentido de cima para baixo (descendente), o que diminui os esforços dos equipamentos durante o transporte de resíduos e aumenta a velocidade de espalhamento, além de permitir um maior controle do avanço da linha de base do talude de resíduos.

A Tabela 2 mostra, para cada período entre os levantamentos topográficos realizados entre outubro de 2019 e março de 2020, os valores obtidos para a massa específica operacional, com os respectivos comentários relacionados às questões operacionais e a representação gráfica da disposição de resíduos no período em questão.

No período de 05 a 31 de outubro de 2019, diversas modificações nas práticas operacionais foram implantadas, conforme recomendações da fabricante do equipamento. Neste primeiro mês, a massa específica operacional foi de 1,33t/m³. Apesar de mais elevada do que a média histórica do aterro, atribui-se a esse valor a falta de prática dos operadores com o equipamento e o desconhecimento das boas práticas operacionais.

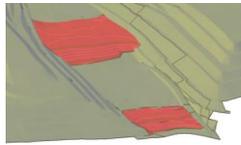
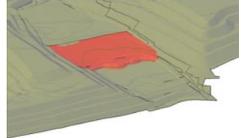
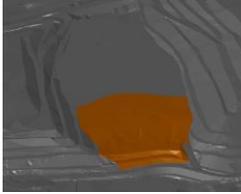
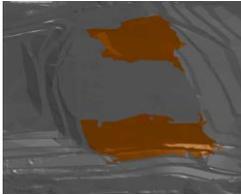
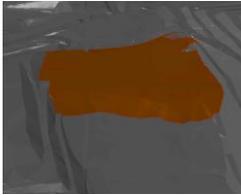
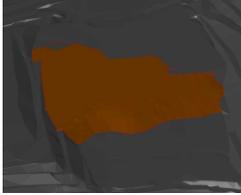
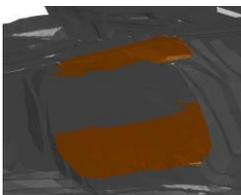
No dia 31/10/2019, a operação com o compactador de resíduos foi interrompida pela ausência de raspadores, só sendo retomada no dia 18/11/2019. Portanto, neste período, o espalhamento e compactação se deu apenas com os tratores de esteira convencionais, tendo sido possível uma massa específica operacional de 1,14t/m³, valor consolidado próximo à média histórica.

A partir de 18/11 até 30/12/2019, a frente operacional ocorreu de forma descentralizada em função de aspectos técnicos, tendo sido realizado nesse período um novo levantamento topográfico (dia 06/12/2019). O valor da massa específica operacional foi de 1,41t/m³, atingindo um patamar superior ao período anterior em

que o equipamento estava em funcionamento, mesmo atuando de forma descentralizada na compactação dos resíduos.

No final de dezembro, um novo levantamento topográfico fora realizado (dia 26/12/2019), mantendo-se um valor para a massa específica operacional bem próxima da análise anterior ($1,40\text{t/m}^3$). A operação atuou em duas frentes até o dia 16/12/2019, e a partir de então em apenas uma frente. Constata-se que as massas específicas operacionais obtidas nos meses de janeiro e fevereiro de 2020 estão entre as mais elevadas da série histórica, na devida ordem, de $1,50$ e $1,51\text{t/m}^3$. Ao retornar para duas frentes de disposição, a massa específica operacional reduziu para $1,30\text{t/m}^3$. Vale ressaltar que o compactador de resíduos somente funcionou em conjunto com os tratores de esteira durante os períodos supracitados.

Tabela 2. Visão geral da disposição de resíduos e massa específica operacional por período.

Mês / Ano	Período	Massa específica operacional (t/m^3)	Observações	Visualização das áreas de disposição
Outubro 2019	05/10/2019 a 31/10/2019	1,33	Início da atuação do compactador de resíduos, com ajustes das práticas operacionais.	
Novembro 2019	31/10/2019 a 18/11/2019	1,14	Compactador de resíduos em manutenção; atuação somente com os tratores de esteira convencionais.	
Novembro 2019	18/11/2019 a 06/12/2019	1,41	Retorno do compactador a frente operacional; adoção de melhores práticas operacionais, sinalização da praça, descarga em fila nos horários de pico.	
Dezembro 2019	06/12/2019 a 27/12/2019	1,40	Atuação em duas frentes de disposição até o dia 16/12/2019, e a partir de então em apenas uma frente.	
Janeiro 2020	27/12/2019 a 03/02/2020	1,50	Atuação em apenas uma frente de disposição.	
Fevereiro 2020	03/02/2020 a 02/03/2020	1,51	Atuação em apenas uma frente de disposição.	
Março 2020	02/03/2020 a 09/04/2020	1,30	Atuação em duas frentes de disposição.	

5 DADOS OPERACIONAIS DOS EQUIPAMENTOS

No que diz respeito aos dados operacionais do compactador de resíduos (barras laranjas) e dos tratores de esteira convencionais (barras azuis), as Figuras 3 e 4 mostram as horas mensais trabalhadas e o consumo mensal de combustíveis (em litros) dos equipamentos, respectivamente.

Neste período, o parque de máquinas contou com disponibilidade de seis tratores de esteira, com uso de três a cinco simultaneamente mês a mês, com uma média mensal total de 1.269 horas trabalhadas e consumo total mensal médio de 24.007 litros de diesel. Já o compactador de resíduos fez média mensal de 251 horas trabalhadas e consumo mensal médio de 11.333 litros de diesel.

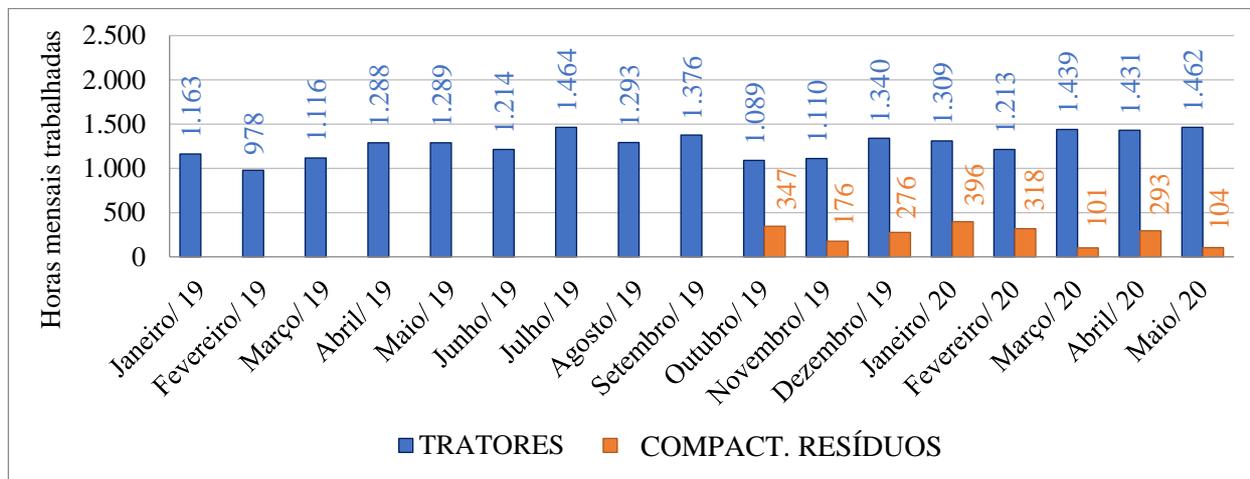


Figura 3. Horas mensais trabalhadas.

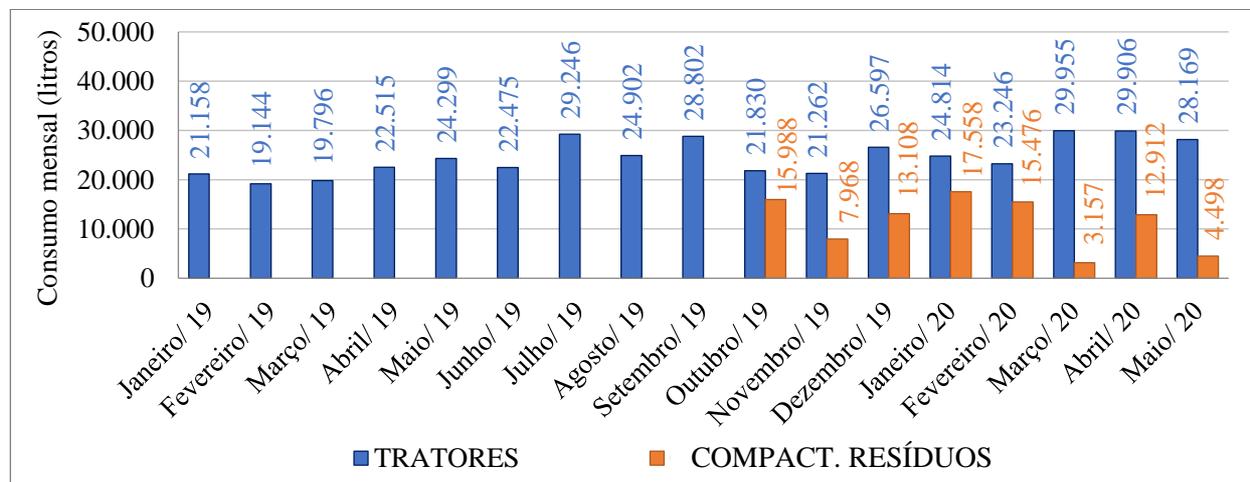


Figura 4. Consumo mensal de combustíveis.

Complementarmente, a Figura 5 apresenta o consumo médio mensal (em litros por hora) do conjunto de tratores de esteiras e do compactador de resíduos. Percebe-se que tratores obtiveram uma média de consumo de 19,2 litros/horas, ao passo que o consumo do compactador de resíduos foi 2,4 vezes maior, da ordem de 46,3 litros/hora.

Ao comparar as massas específicas operacionais e as horas mensais dos equipamentos combinados, tal como apresentado na Figura 6, percebe-se que o período de atuação do compactador em conjunto com os tratores de esteira, entre outubro de 2019 e maio de 2020, resultou em massas específicas operacionais mais elevadas que a média histórica, salvo o mês de novembro de 2019, pelo fato de o compactador ter ficado em manutenção. Ademais, não foi observado uma relação direta entre as horas produtivas dos equipamentos e as massas específicas operacionais. Também não foi possível separar a produção dos equipamentos de forma

individual, visto que os dois tipos de equipamentos atuaram em conjunto nas praças de disposição. A produção conjunta variou entre 0,20 e 0,60 litros/tonelada.

Já a Tabela 3 mostra um resumo dos dados operacionais do compactador de resíduos e dos tratores de esteira. Vale lembrar que atuaram simultaneamente de três a cinco tratores a cada mês, de forma alternada.

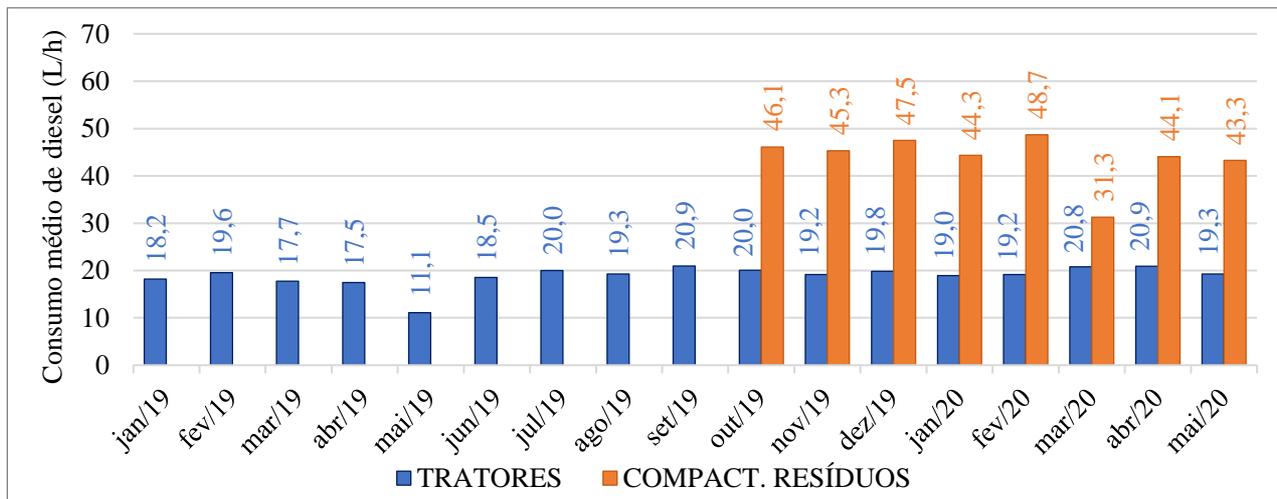


Figura 5. Consumo médio de diesel (em litros por hora).

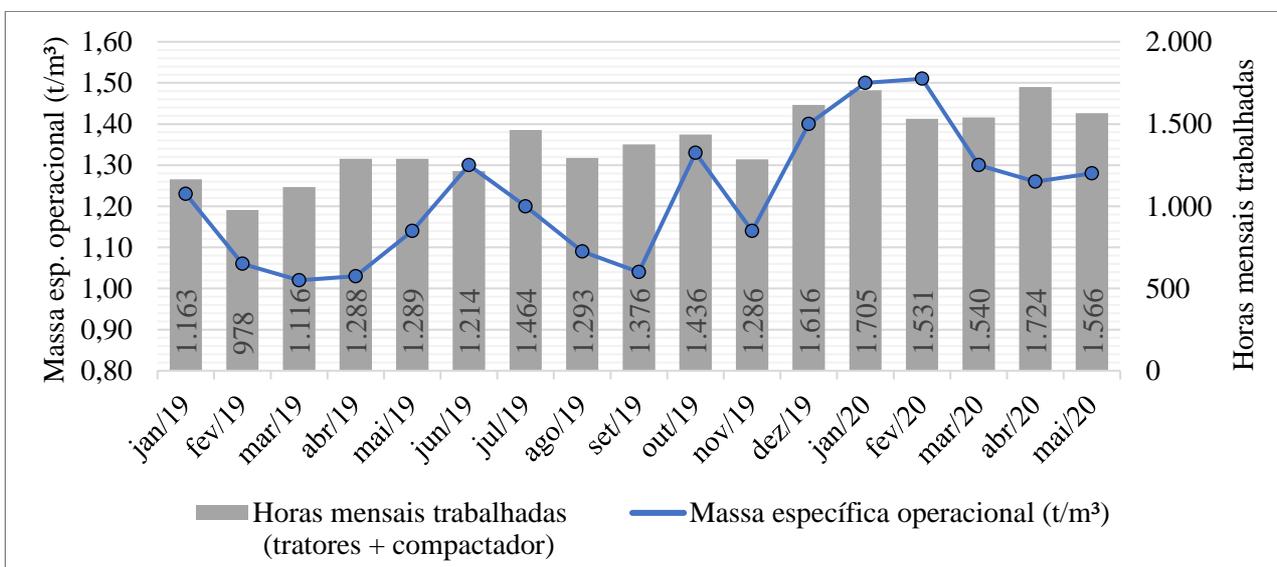


Figura 6. Comparativo entre o total de horas trabalhadas e as massas específicas operacionais.

Tabela 3. Dados operacionais dos equipamentos.

Descrição	Compactador de resíduos			Tratores de esteira		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Horas mensais trabalhadas	101	251	396	978	1.269	1.464
Consumo mensal de diesel (L)	3.157	11.333	17.558	14.299	24.007	29.955
Consumo médio de diesel (L/h)	31,26	43,80	48,67	11,09	18,88	20,93

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho comparou a utilização de rolo compactador de resíduos em um aterro sanitário de Pernambuco, no período de outubro de 2019 a março de 2020, com tratores de esteira convencionais. Basicamente, a comparação se deu no consumo de horas, no consumo de combustível e na massa específica operacional dos resíduos antes e após a utilização do equipamento.

A partir dos dados obtidos e observações operacionais de campo, pontua-se como pontos fortes do compactador de resíduos a sua robustez e alta eficiência, gerando uma maior energia de compactação por passada e elevação da massa específica operacional e, conseqüentemente, ganho de vida útil no empreendimento. Tal fato é bastante relevante tendo em vista que uma tonelada no aterro sanitário gera de receita, no geral, entre R\$50 e R\$150. No presente trabalho, o uso do compactador de resíduos aumentou em até 20% a massa específica operacional se comparado com a média histórica do empreendimento.

Por outro lado, o equipamento se mostrou mais lento do que os tratores de esteira, teve um consumo de combustível mais elevado (aproximadamente 2,4 vezes maior), além de ser mais custoso nas manutenções e somente funcionou em conjunto com os tratores.

Entende-se que o equipamento deve ser adequado aos períodos de estiagem do ano, pois o ganho de performance é mais nitidamente notado (constatação empírica), visando performance adequada, de modo a aumentar a vida útil do empreendimento.

Com a adequação do custo à realidade brasileira, possibilita-se uma mudança de paradigmas e concepção operacional, isto é, uso em conjunto de tratores e de compactadores visando aumento de vida útil dos empreendimentos, com uma visão de longo prazo e diluição do investimento inicial. Assim, o investimento torna-se justificável, apesar de os custos operacionais mensais e eventuais manutenções ainda serem elevados na época, se comparado ao uso exclusivo de tratores de esteira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ALTA Geotecnia Ambiental, responsável técnica por projetos executivos e monitoramentos geotécnicos no empreendimento, pela autorização para publicação dos resultados aqui apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borgatto, A. V. A. (2010) *Estudo das propriedades geomecânicas de resíduos sólidos urbanos pré-tratados*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, COPPE / UFRJ, 306p.
- Boscov, M. E. G. (2008) *Geotecnia Ambiental*, 1 ed., Oficina dos Textos, São Paulo, SP, Brasil, 248 p.
- Carvalho, A. R. (2006) *Desenvolvimento de um equipamento para determinação de parâmetros geotécnicos de resíduos sólidos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, COPPE / UFRJ, 180 p.
- Dai-Prá, L. B., Gomes, L. P., Caetano, M. O., Ghesla, P. L., Santos, M. A. (2022) Estudo das propriedades geotécnicas de resíduos sólidos urbanos recém-descartados e aterrados em aterro sanitário localizado na região Sul do Brasil. *Revista DAE*, 70 (234), p. 17-30.
- Farias, R. M. S. (2014) *Estudo dos recalques em aterros de resíduos sólidos urbanos: uma abordagem experimental e estatística*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais / UFCG, 128 p.
- Kavazanjian, E. Matasovic, N. Bonaparte, R. Schmertmam, G. R. (1995) *Evaluation of MSW Properties for Seismic Analysis*. In: Geoenvironmental 2000. Geotechnical Special Publication 46, ASCE, v.2, p. 1126-1142.
- Marques, A. C. M. (2001) *Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos em Geotecnia*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 408 p.
- Salamoni, G. P. D. (2019) *Compressibilidade de resíduos sólidos urbanos devido aos processos de biodegradação em um aterro sanitário*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia / UFSM, 230 p.
- Silveira, A. M. M. (2004) *Estudo de peso específico de resíduos sólidos urbanos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, COPPE / UFRJ, 112 p.