

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UBERLÂNDIA-MG: ANÁLISE TEMPORAL

Juliana Messias Dornelas¹
Ednaldo Carvalho Guimarães²

Resumo: A destinação de resíduos sólidos nas cidades é de fundamental importância do ponto de vista ambiental, social e econômico. A presente pesquisa, tem por finalidade descrever o comportamento temporal do quantitativo da coleta de resíduos sólidos na cidade de Uberlândia-MG, identificando a ocorrência de sazonalidade e tendências no quantitativo da coleta regular e da coleta seletiva e obtendo modelos de séries temporais para realizar previsões do quantitativo de resíduos sólidos. Foram ajustados os modelos SARIMA (3,0,0) (2,1,0) com deslocamento e SARIMA (3,1,0) (0,0,2), respectivamente, para os resíduos destinados ao aterro sanitário e para os resíduos destinados à reciclagem. A análise de séries temporais se mostrou eficaz na descrição e previsão da geração de resíduos sólidos em Uberlândia - MG.

Palavras-chave: Meio ambiente. Resíduos sólidos. Séries temporais.

SOLID URBAN WASTE IN UBERLÂNDIA-MG: TIME ANALYSIS

Abstract: The disposal of solid waste in cities is of fundamental importance from an environmental, social and economic point of view. This research aims to describe the temporal behavior of the quantity of solid waste collection in the city of Uberlândia-MG, identifying the occurrence of seasonality and trends in the quantity of regular collection and selective collection and obtaining time series models to make predictions of the amount of solid waste. The SARIMA (3,0,0) (2,1,0) with displacement and SARIMA (3,1,0) (0,0,2) models were adjusted, respectively, for the waste destined to the sanitary landfill and for the waste destined for recycling. The time series analysis proved to be effective in the description and prediction of solid waste generation in Uberlândia - MG.

Keywords: Environment. Solid waste. Time series.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN UBERLÂNDIA-MG: ANÁLISIS DEL TIEMPO

Resumen: La disposición de los residuos sólidos en las ciudades es de fundamental importancia desde el punto de vista ambiental, social y económico. Esta investigación tiene como objetivo describir el comportamiento temporal de la cantidad de residuos sólidos recolectados en la ciudad de Uberlândia-MG, identificando la ocurrencia de estacionalidad y tendencias en la cantidad de recolección regular y selectiva y obteniendo modelos de series de tiempo para hacer predicciones de la cantidad de residuos sólidos. Se ajustaron los modelos SARIMA (3.0.0) (2.1.0) con desplazamiento y SARIMA (3.1.0) (0.0.2), respectivamente, para los residuos destinados a relleno sanitario y para los residuos destinados a reciclaje. El análisis de

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil, julianamd@ufu.br, <https://orcid.org/0000-0002-9313-6155>

² Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil, ecg@ufu.br, <https://orcid.org/0000-0001-8328-9687>

series de tiempo demostró ser efectivo en la descripción y predicción de la generación de residuos sólidos en Uberlândia - MG.

Palabras clave: Medio ambiente. Resíduos sólidos. Series de tiempo.

Introdução

A degradação ambiental é multifacetária, global e se constitui num dos problemas mais desafiadores da humanidade, na atualidade. Os danos ao meio ambiente, com destaque aqui para a grande quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados pela sociedade com crescente padrão consumista, causa efeitos negativos não apenas no espaço local, mas que podem ser sentidos em todo o planeta.

Diante dessa realidade mundial, Waldman (2010) afirma que “a sociedade contemporânea está diante de um verdadeiro dilúvio de lixo”, e a dimensão desse problema para o meio ambiente lança um desafio recorrente para a atual sociedade e gerações futuras. Diversos países do mundo têm promulgado legislações para garantir o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e tem tentando mitigar os danos causados pelo lixo no solo, no ar e para os recursos hídricos.

Diante deste contexto, frente à necessidade de manejo adequado dos resíduos sólidos, no Brasil, foi editada a Lei nº 12.305/2010, da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), que prevê o desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar, através de seus instrumentos, a formulação, implementação e avaliação de programas eficientes de gestão de resíduos, como por exemplo, regulamentação de aterros sanitários, ou adesão a programas de coleta seletiva, priorizando a Redução, o Reuso, a Reciclagem, o Tratamento e a Disposição com a destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2013).

Dados divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) demonstram que a quantidade de lixo produzido no Brasil vem crescendo anualmente. “Entre 2010 e 2019, a geração de RSU no Brasil registrou considerável incremento, passando de 67 milhões para 79 milhões de

tonelada por ano. Por sua vez, a geração per capita aumentou de 348 kg/ ano para 379 kg/ano” (ABRELPE,2021).

Marchi et al (2018) destacam que a gestão inadequada dos resíduos tem efeitos prejudiciais à saúde pública e à degradação ambiental em geral, além de gerar mal-estar no sentido urbanístico na paisagem da cidade. Na visão de Calderoni (1998) lixo é todo material inútil e que é descartado. Entretanto, cabe ressaltar que o lixo para uns pode ser o sustento para outros.

A realidade do setor de resíduos no saneamento brasileiro é marcada por um cenário bastante complexo e heterogêneo. Segundo a ABRELPE (2019), um em cada 12 brasileiros ainda não tem acesso à coleta regular de lixo.

Aliado a esse cenário, observa-se a escassez de investimento público nos serviços ligados a resíduos, carência de regulação e controle social, e baixos índices de coleta seletiva e recuperação de materiais (MARCHI et al, 2018).

De acordo com Selur (2010) e Dutra et al (2018) muitos estudiosos do assunto defendem a cobrança de taxas de coleta de lixo pelo “caráter pedagógico” como meio de estimular condutas ambientalmente corretas e fator de estímulo para a redução na produção de resíduos.

A Reciclagem, que se inicia com a coleta seletiva, é o termo utilizado para o ato de reaproveitamento de materiais para a confecção de um novo produto (PNRS, 2010). Marchi et al (2018) destacam a contribuição da reciclagem no desempenho econômico das empresas, nos resultados ambientais advindos da redução de resíduos sólidos destinados aos aterros sanitários e aos lixões e, principalmente, na geração de trabalho e renda para os catadores das cooperativas de materiais recicláveis.

Uberlândia é o segundo maior município do estado de Minas Gerais, com população estimada de 700.000 habitantes em 2021 (IBGE, 2021) e apresenta grandes desafios em relação a gestão dos resíduos sólidos produzidos na cidade.

As técnicas de análises estatísticas de dados podem contribuir com o conhecimento do comportamento temporal dessa variável e contribuir com a gestão dos RSU na cidade.

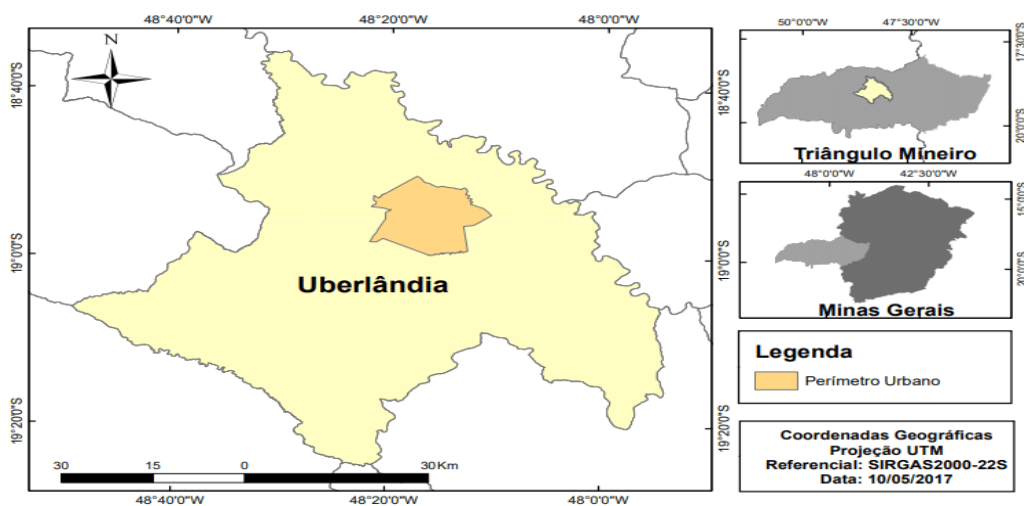
Dentre as diversas metodologias de análises estatísticas de dados tem-se a análise de séries temporais, definida por Morettin e Tolo (2018) como sendo a análise de dados medidos ao longo do tempo, em que um dos objetivos é obter modelos que descrevam e destacam a ocorrência de sazonalidade e tendência na variável em análise.

Diversos estudos e em várias áreas de conhecimento, têm sido realizados em séries temporais. Como exemplos pode-se citar: Dias et al (2017) que avaliaram a gestão de resíduos sólidos da construção civil, na cidade de João Pessoa – PB, utilizando metodologias de séries temporais; Merelles et al (2019) que utilizaram séries temporais para prever a geração de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário de Aparecida de Goiás e concluíram que a modelagem pode contribuir com o gerenciamento dos resíduos sólidos e reduzir impactos ambientais; Pereira et al (2021) trabalharam com a análise temporal do consumo de energia elétrica na Universidade Federal de Uberlândia; e utilizaram a técnica de séries temporais aplicadas a dados climáticos.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi o de descrever o comportamento temporal do quantitativo de resíduos sólidos urbanos destinados ao aterro sanitário e às cooperativas de recicladores, na cidade de Uberlândia – MG, utilizando a modelagem por séries temporais.

Desenvolvimento

O município de Uberlândia – MG situa-se na região do Triângulo Mineiro (Figura 1) e conta com o serviço de coleta de resíduos destinados ao aterro sanitário e também com a coleta seletiva de resíduos destinados à cooperativas e associações de recicladores, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 1 - Mapa de localização de Uberlândia-MG.

Fonte: Silva e Leite (2018).

Figura 2 - Localização do aterro sanitário em Uberlândia-MG e o processo de coleta seletiva.

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico-Uberlândia (2018).

Os dados referentes ao quantitativo de resíduos sólidos na cidade de Uberlândia – MG são de domínio público e encontram-se disponibilizados no site do Departamento Municipal de Água e Esgoto- DMAE- Uberlândia (DMAE, 2021). Para este estudo os quantitativos totais mensais, em kg, foram divididos pela população urbana da cidade no respectivo ano, obtendo-se o quantitativo per capita mensal, também expresso em kg.

Na análise do quantitativo per capita de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário, foram utilizadas as informações referentes ao período de janeiro de 2010 a dezembro de 2020 e para o quantitativo por capita de resíduos sólidos destinados a coleta seletiva, considerou-se o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2020. As informações disponíveis para o ano de 2021 foram utilizadas para verificar a qualidade e capacidade do modelo ajustado fazer as previsões.

A coleta regular de RSU, em Uberlândia-MG, consiste no recolhimento do lixo domiciliar, das feiras livres, das instituições urbanas (escolas, comércio, lixo comum de hospitais), estradas da zona rural, varrição e capina das ruas e avenidas, além dos rejeitos dos materiais não aproveitados pela coleta seletiva e são destinados ao Aterro Sanitário (DMAE, 2021).

A coleta seletiva teve início, no município, em 2011 sob a gestão da prefeitura municipal e em 2017 passou a ser gerida pelo DMAE, que vem ampliando gradativamente a cobertura do serviço na cidade. Os materiais recicláveis são recolhidos em dias específicos conforme a programação de cada bairro e são encaminhados para as associações e cooperativa conveniadas à prefeitura municipal. Todo material encaminhado para os galpões é triado e comercializado pelos próprios catadores, promovendo a inclusão social dos catadores e gerando trabalho e renda. O município conta atualmente com 5 associações e 1 cooperativa (UBERLÂNDIA, 2021).

As análises descritivas das séries foram feitas por meio de gráficos e do cálculo das medidas de posição e de dispersão. As componentes de sazonalidade e de

tendência foram verificadas, preliminarmente, por meio de análise de variância (ANOVA), no delineamento em blocos ao acaso (DBC) em que os anos foram considerados como tratamentos e indicam a presença ou não de tendência e os meses foram considerados os blocos e indicaram a presença ou ausência de sazonalidade. Esses procedimentos foram realizados em conformidade com Araújo et al (2009).

Em seguida os dados foram submetidos aos procedimentos de análise de séries temporais visando obter o modelo que representasse os quantitativos per capita de RSU destinados ao aterro sanitário e os destinados às cooperativas de recicladores, na cidade.

Na etapa seguintes os modelos ajustados foram utilizados para fazer previsões para os quantitativos mensais no ano de 2021. E, para verificar a qualidade de ajuste dos modelos, os valores mensais previstos foram comparados com os valores realizados no ano de 2021, utilizando cálculos de erros percentuais médios e análise gráfica.

Todas as análises estatísticas dos dados foram feitas no programa computacional de livres acesso R (R Core Team, 2020).

Resultados e discussão

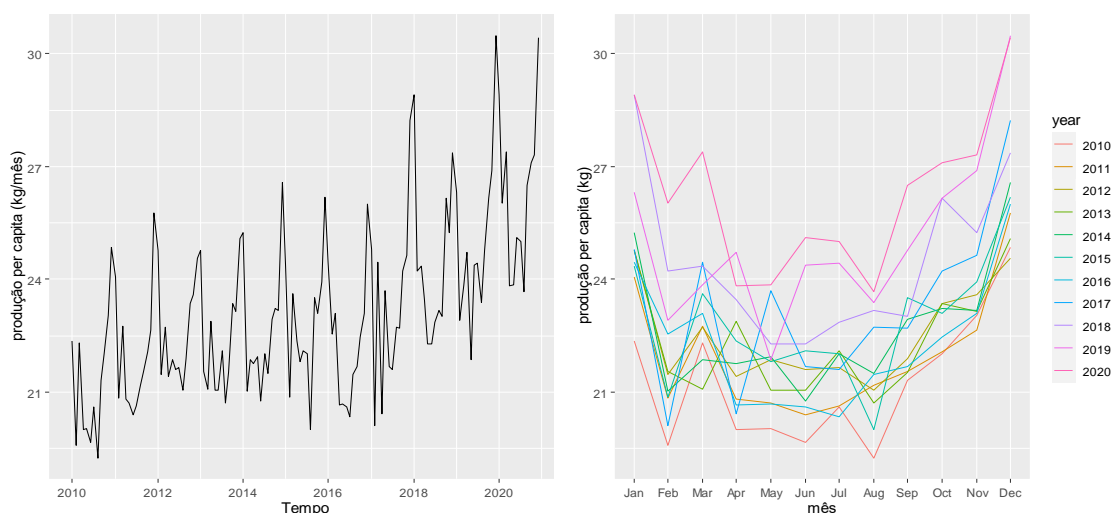
RSU destinados ao aterro sanitário:

Na Figura 3a e 3b é possível visualizar o comportamento geral da série do quantitativo (kg/hab-mês) de resíduos sólidos que foram destinados ao aterro sanitário de Uberlândia, no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2020. Verifica-se, a princípio, a tendência de crescimento médio ao longo dos anos e também a possível sazonalidade deste quantitativo que é representado pelos picos observados na Figura 3a.

Na Figura 3b, nota-se que os menores quantitativos foram observados nos anos iniciais da série e que os maiores quantitativos foram observados nos anos finais. Ainda na Figura 3b, pode-se observar que os meses de janeiro e dezembro são aqueles que, no geral, apresentam os maiores quantitativos e os meses de maio a

junho são os com os menores quantitativos. Resultados semelhantes foram obtidos por Merelles et al (2019) ao avaliarem a série de RSU na cidade de Aparecida de Goiás.

Figura 3. Representação gráfica da série temporal do quantitativo per capita de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG. a) representação geral; b) representação dos meses para cada ano.



Ao se proceder a análise de variância (anova), considerando os fatores de análise como sendo os anos (representado a tendência dos dados) e os meses (representando a sazonalidade, observaram-se valores-p altamente significativos (valor- $p < 0,00001$). Portanto, verifica-se a ocorrência significativa de tendência e de sazonalidade na série do quantitativo de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário de Uberlândia, confirmando as observações feitas nas Figuras 3a e 3b.

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios dos quantitativos per capita de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário e os respectivos grupos formados por meio do teste de Scott-Knott.

Tabela 1- Valores médios dos quantitativos per capita de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.

Ano	Média*	Mês	Média*
2010	21.249 ^a	Janeiro	25.358 ^d

2011	21.948b	Fevereiro	21.917 ^a
2012	22.492c	Março	23.410b
2013	22.358c	Abril	22.029 ^a
2014	22.668c	Mai	21.799 ^a
2015	22.821d	Junho	21.779 ^a
2016	22.256c	Julho	22.111 ^a
2017	23.273d	Agosto	21.645 ^a
2018	24.438e	Setembro	22.849b
2019	25.013e	Outubro	23.926c
2020	26.260f	Novembro	24.245c
		Dezembro	26.869e

-
- Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com significância de 5%.

Os grupos formados revelaram que o maior quantitativo per capita ocorreu no ano de 2020 e que este se diferiu estatisticamente de todos os demais anos e ainda, os grupos formados para os anos, enfatizam o crescimento da produção de lixo residencial destinado ao aterro, com pequenos períodos de estabilidade. Neste caso nota-se, na cidade, o crescimento per capita RSU e que está em consonância com as observações realizadas por ABRELPE (2021) em que enfatiza que a geração per capita de RSU aumentou de 348 kg/ ano para 379 kg/ano, entre 2010 e 2019.

Na análise dos meses, destaca-se dezembro com o maior quantitativo per capita. Neste mês espera-se que o quantitativo seja aproximadamente 15% superior à média anual. Já os meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho e agosto apresentam os menores quantitativo, sendo, em média, 5% inferior à média anual.

Essa análise demonstra que o comportamento sazonal identificado pode estar relacionado a maior injeção de recursos financeiros na economia brasileira nos últimos meses de cada ano e também em função das datas comemorativas de fim de ano. Dias et al. (2012) argumentam que, nos últimos meses do ano, são injetados bilhões de reais na economia, aumentando o poder de compra dos consumidores, principalmente dos período das festas de final de ano (dezembro) e férias escolares

(Janeiro), favorecendo o aumento do consumo em geral e conseqüentemente a maior geração de RSU, dos quais grande parte são destinados aos aterros sanitários.

Esse movimento crescente da produção per capita de RSU, na cidade de Uberlândia, indica a urgente necessidade de repensar as práticas individuais e coletivas junto ao meio ambiente e faz o alerta quanto a necessidade do descarte correto do lixo. Também mostra que, na política de gestão dos RSU, há a necessidade de campanhas de conscientização da população para a redução da produção de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário. Uma dessas campanhas pode ser a que incentiva a separação dos resíduos para a destinação à coleta seletiva.

Para BARROS (2012), a gestão integrada de resíduos sólidos é uma tarefa difícil devido a sua complexidade, pois envolve diversos tipos de profissionais, necessita de um arranjo legal-institucional compatível e, além disso é necessário o controle social e uma contínua negociação política, com ajustes contínuos para conseguir estabelecer sistemas de gestão integrada sustentável de resíduos sólidos.

Em complementação da análise descritiva dos dados de RSU, verificaram-se autocorrelações significativas para a série, o que possibilitou a aplicação da função auto arima do programa R para a obtenção de um modelo que descreva o comportamento dessa variável ao longo do tempo.

O modelo ajustado aos quantitativos per capita, no período de 2010 a 2020, foi o SARIMA (3,0,0) (2,1,0) com deslocamento (drift), cujas estimativas dos parâmetros encontram-se na Tabela 2.

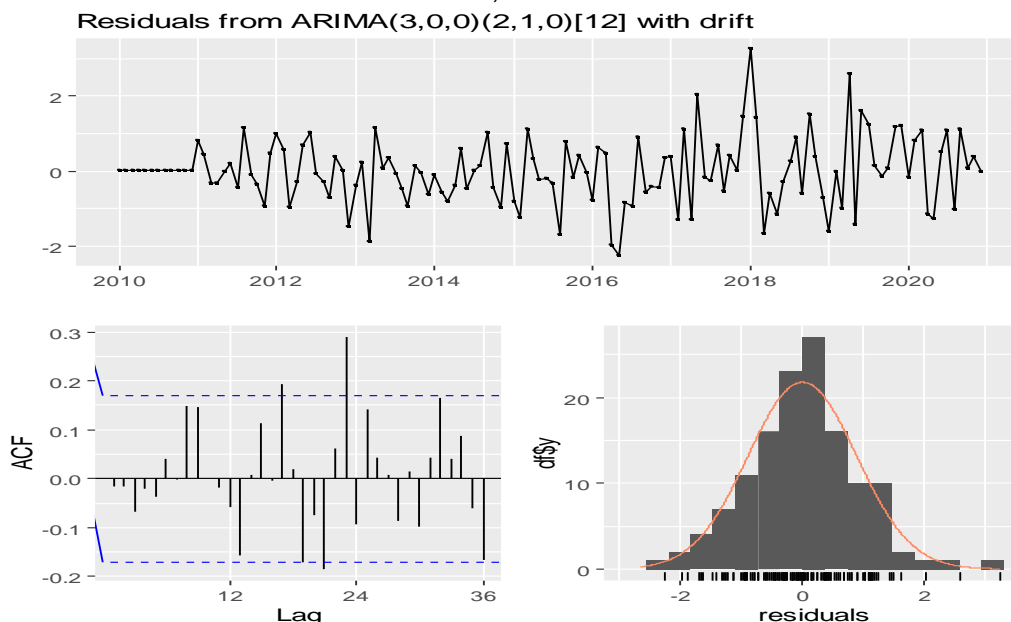
Tabela 2- Estimativas dos parâmetros do modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) ajustado à série temporal de RSU destinados ao aterro sanitário, em Uberlândia - MG.

Estimativas	Componentes do modelo					
	Ar1	Ar2	Ar3	Sar1	Sar2	Drift
coeficientes	-	0,3021	0,4642	-0,7345	-0,2251	0,0415
	0,0209					
Erro padrão	0,0863	0,0772	0,0909	0,0996	0,0998	0,0143

O modelo ajustado pode ser utilizado tanto na descrição do comportamento temporal do quantitativo de RSU produzidos pela população de Uberlândia quanto

para a previsão da produção em tempos futuros. Esse modelo indicou que o comportamento temporal é descrito por três componentes autoregressivos na parte não sazonal e por dois componentes autoregressivos que descrevem a sazonalidade dos dados.

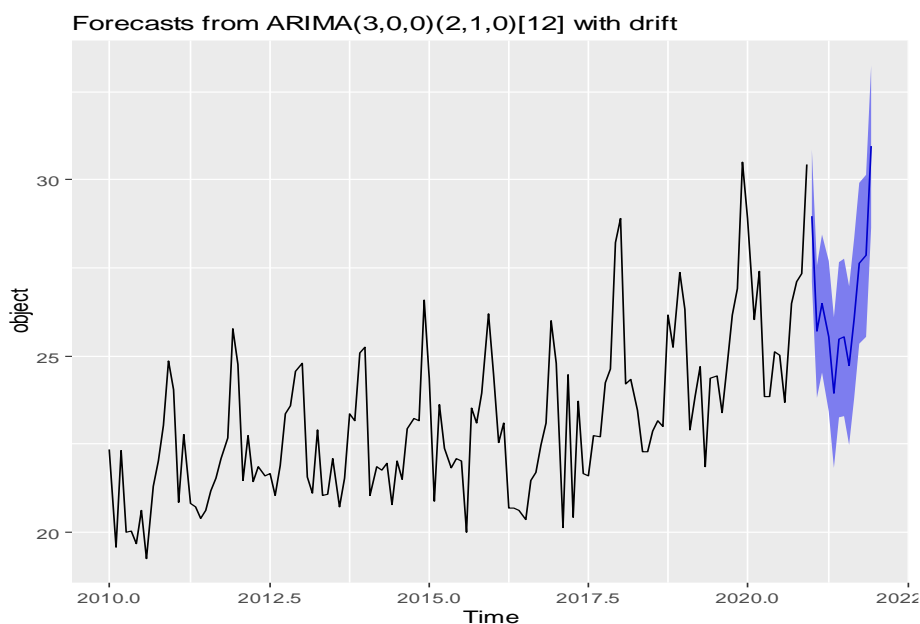
Figura 4- Análise dos resíduos do modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) ajustado à série temporal de RSU destinados ao aterro sanitário, em Uberlândia – MG.



Na Figura 4, são apresentadas as análises dos resíduos do modelo ajustado, indicando uma performance satisfatória do mesmo, em que se observa resíduos aleatórios, com distribuição tendendo à normal e a maioria das autocorrelações dos resíduos do modelo dentro do intervalo de confiança de 95%, o que indica autocorrelações estatisticamente iguais a zero. O fato de algumas autocorrelações de resíduos extrapolarem o intervalo de confiança podem estar associados a presença de valores discrepantes na série, fato comum em séries de dados reais.

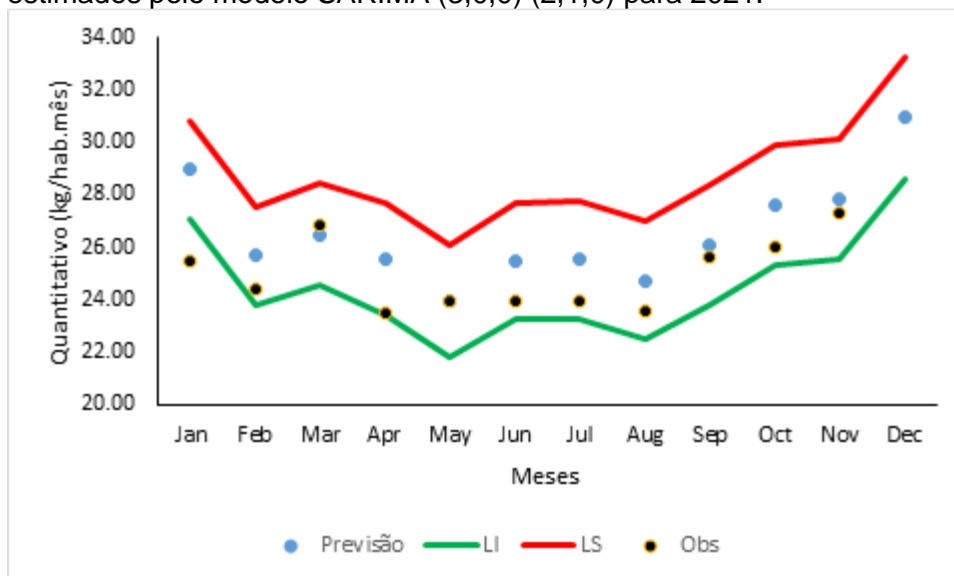
Enquanto, na Figura 5 a seguir, é mostrada a série temporal dos dados observados no período de 2010 a 2020, com as estimativas realizadas pelo modelo ajustado e o respectivo intervalo de confiança de 95%.

Figura 5- Série temporal dos RSU destinados ao aterro sanitário, na cidade de Uberlândia-MG, com as estimativas e os intervalos de confiança de 95% para o ano de 2021.



O comparativo entre os dados reais (observados) e os estimados pelo modelo com os intervalos de confiança de 95%, para o ano de 2021, é apresentado na Figura 6.

Figura 6- Comparativo entre os dados reais de RSU destinados ao aterro sanitário e os estimados pelo modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) para 2021.

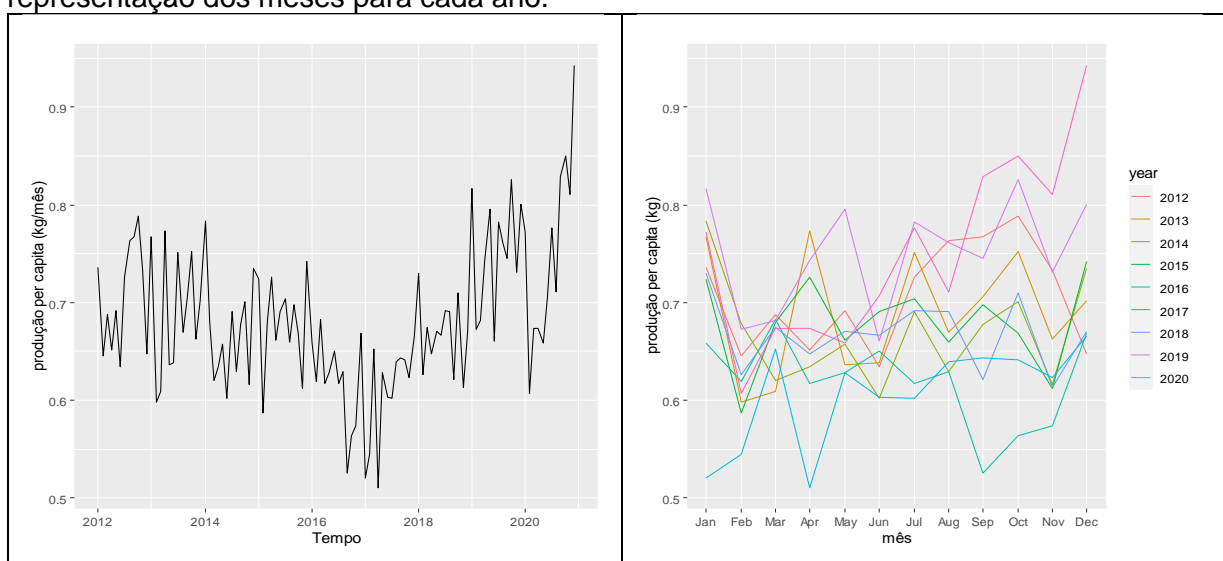


Nota-se que, na maior parte dos meses de 2021, o modelo ajustado superestimou o quantitativo de resíduos sólidos. Este fato pode estar associado a ampliação do programa de coleta seletiva na cidade de Uberlândia e a maior conscientização da população em relação a destinação correta dos RSU na cidade. Entretanto, cabe salientar que o percentual de crescimento anual no quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia está em consonância com a média do Brasil, que de acordo com ABRELPE (2021) foi de 4% em 2020. Já no município foi observado crescimento de 5% no quantitativo per capita de 2019 para 2020.

RSU destinados à reciclagem:

As Figuras 7a e 7b mostram o comportamento da série temporal do quantitativo de RSU destinados à reciclagem, por meio da coleta seletiva, em Uberlândia-MG, no período de janeiro de 2012 a dezembro de 2020.

Figura 7- Produção per capita dos resíduos da coleta seletiva a) representação geral; b) representação dos meses para cada ano.



Essas figuras mostram que, para os resíduos recicláveis, não ocorre um padrão claro de comportamento dos dados ao longo dos anos, como pôde ser observado nos

resíduos destinados ao aterro sanitário (Figuras 3a e 3b). Isso pode estar ocorrendo em função de que esse tipo de coleta ainda está em fase de implementação na cidade, com a inclusão de novos bairros no serviço de coleta seletiva. Portanto, a série temporal ainda não apresenta estabilidade no tempo e o quantitativo per capita coletado sofre a influência da inclusão de novos setores no programa da coleta.

A conscientização da população em relação a importância ambiental, social e econômica da separação dos resíduos sólidos recicláveis também se configura como fator relevante e que pode alterar significativamente a forma de destinação dos RSU na cidade.

Apesar da instabilidade do comportamento dos dados da coleta seletiva, neste período, os estudos e análises provenientes dessa variável podem dar suporte para que outras análises e inferências possam ser realizadas no futuro.

Em um comparativo geral entre os dados da coleta seletiva e da coleta convencional, no ano de 2020, verificou-se que o percentual médio dos resíduos que são destinados à reciclagem foi de apenas de 2,7% do total coletado no município, ou seja, aproximadamente 97% dos resíduos sólidos gerados nas residências são destinados ao aterro sanitário. Isso mostra que ainda existe um grande potencial para as ações do poder público e da sociedade civil que busquem o crescimento da coleta seletiva na cidade, impactando, de forma positiva, não só na melhoria da qualidade ambiental, mas também na qualidade de vida da população.

A análise da Figura 7a indica ainda que a partir do início da gestão da prefeitura no ano de 2017, a série dos resíduos destinados à reciclagem apresentou, no geral, tendência de crescimento, se assemelhando em comportamento à série de RSU destinados ao aterro (Figura 3a). Este fato mostra a importância da gestão do setor público nos serviços de coleta de RSU nas cidades, pois, geralmente, o poder público apresenta maior disponibilidade de recursos financeiros e materiais para sua execução. Também, destaca-se, que campanhas informativas e de conscientização sobre a coleta seletiva, assim como a maior abrangência da coleta seletiva na cidade podem ter influenciado no maior aporte do quantitativo per capita.

A anova para esses dados também revelou a ocorrência significativa (valor-p <0,001), tanto da componente de tendência como para a componente sazonal, o que indica que o modelo que explica o comportamento temporal do quantitativo de resíduos recicláveis deve considerar as componentes tendência, sazonalidade e ruído branco.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos quantitativos per capita de resíduos sólidos destinados à reciclagem e os respectivos grupos formados por meio do teste de Scott-Knott.

Conforme já discutido anteriormente, os agrupamentos para os anos não permitiram obter grupos com médias sequenciais crescentes ao longo do tempo, dificultando a detecção de tendência nos dados. Já para os agrupamentos formados pelos meses, verificou-se que os meses de janeiro, julho, setembro, outubro e dezembro são aqueles que apresentaram o maior quantitativo per capita de RSU recicláveis.

Tabela 3- Valores médios dos quantitativos per capita de resíduos sólidos destinados à reciclagem, na cidade de Uberlândia – MG.

Ano	Média*	Mês	Média*
2012	0,707c	Janeiro	0,723b
2013	0,689b	Fevereiro	0,621 ^a
2014	0,669b	Março	0,661 ^a
2015	0,679b	Abril	0,663 ^a
2016	0,605 ^a	Maio	0,671 ^a
2017	0,620 ^a	Junho	0,650 ^a
2018	0,667b	Julho	0,704b
2019	0,750d	Agosto	0,683 ^a
2020	0,751d	Setembro	0,691b
		Outubro	0,722b
		Novembro	0,662 ^a
		Dezembro	0,731b

*Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com significância de 5%.

Na análise prévia dos dados para o ajuste do modelo de séries temporais que descrevem o comportamento dos RSU recicláveis, pode-se verificar a presença de autocorrelações significativas tanto para a componente de tendência quanto para a componente sazonal, possibilitando o ajuste do modelo SARIMA às observações.

O modelo ajustado para os RSU recicláveis foi o SARIMA (3,1,0) (0,0,2) cujas as estimativas dos parâmetros desse modelo são apresentadas na Tabela 4.

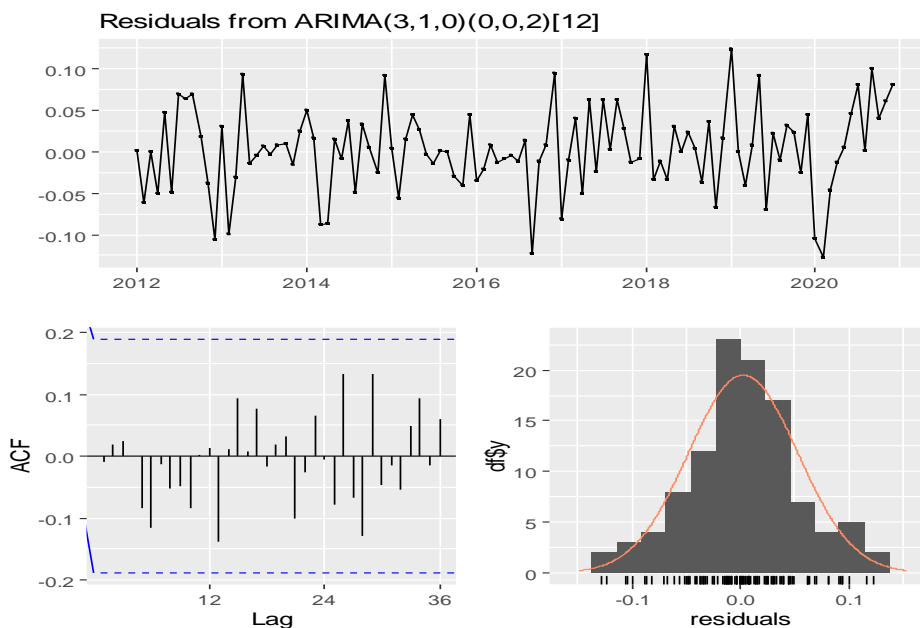
Tabela 4- estimativas dos parâmetros do modelo sarima (3,1,0) (0,0,2) ajustado à série de rsu destinados às cooperativas de reciclagem.

Estimativas	Componentes do modelo				
	Ar1	Ar2	Ar3	Sma1	Sma2
Coefficientes	-0,6323	-0,4102	0,1651	0,2568	0,3145
Erro padrão	0,0987	0,1079	0,0969	0,1059	0,1306

Neste caso, a parte não sazonal dos dados foi representada por três fatores autoregressivo e a componente sazonal é descrita por meio de dois componentes de médias móveis.

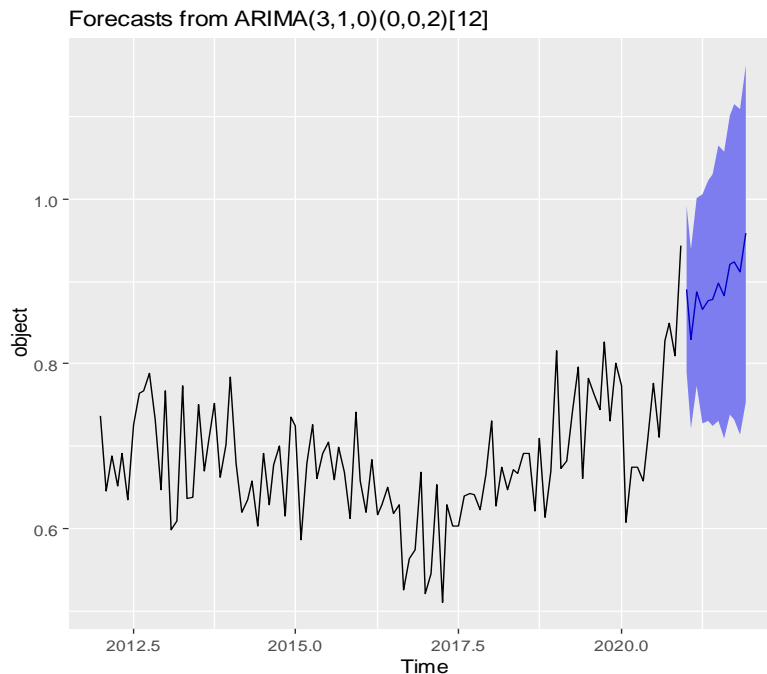
A análise dos resíduos do modelo ajustado (Figura 8) indica que o modelo ajustado pode ser utilizado, de forma satisfatória, na descrição dos dados, ou seja, o modelo atende os pressupostos da análise estatística, que são erros aleatórios, com media zero, com distribuição tendendo à normal e não correlacionados.

Figura 8- Análise dos resíduos do modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2) ajustado à série de RSU da coleta seletiva de Uberlândia – MG.



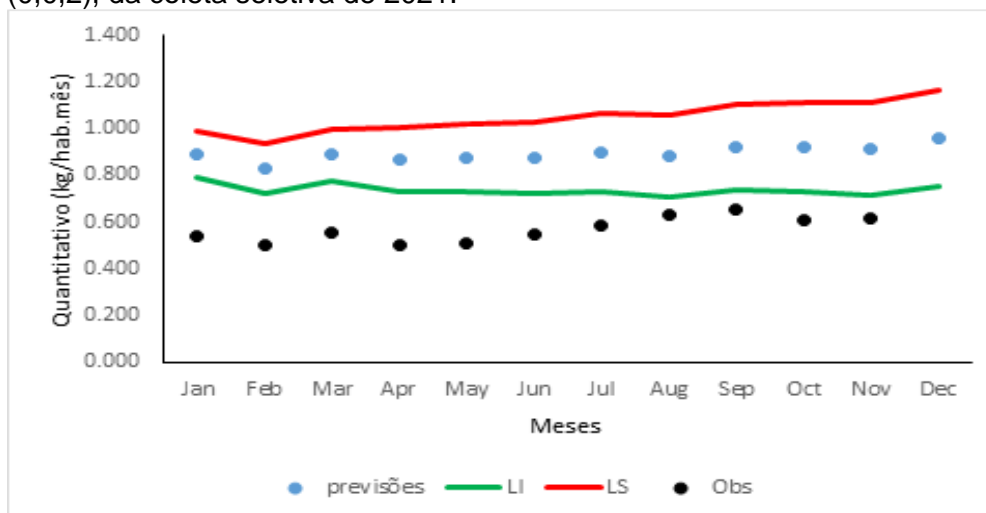
As estimativas realizadas pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2) com os respectivos intervalos de confiança são representadas na Figura 9.

Figura 9- Série temporal dos RSU da coleta seletiva, no período de 2012 a 2020, com os valores estimados pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), no ano de 2021 e os limites dos intervalos de confiança de 95% para as estimativas.



Na Figura 10, a seguir, são apresentados os dados observados e os estimados pelo modelo para os meses do ano de 2021.

Figura 10- Comparativo entre os dados reais e os estimados pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), da coleta seletiva de 2021.



As informações contidas, nesta figura, mostram que, para todos os meses de 2021, os quantitativos per capita da coleta ficaram abaixo dos valores previstos pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), inclusive, e principalmente nos primeiros meses do ano que se encontram bem aquém do limite inferior do intervalo de confiança de 95% das estimativas. O erro médio das estimativas no período de janeiro a dezembro de 2021 foi de 56,3%, que pode ser considerado um valor expressivo.

Cabe ressaltar que o ajuste do modelo leva em consideração toda a série temporal e que o comportamento inicial dos dados (2012 – 2017) estão influenciando no ajuste do modelo e, por consequência, nas estimativas realizadas pelo modelo o que pode ser visualizado na Figura 9. Espera-se que, com a finalização da implantação do serviço de coleta seletiva na cidade, se tenha uma série mais estável, que induzirá em ganho significativo na qualidade das previsões com a redução dos erros de estimativas.

As informações disponibilizadas em DMAE (2021) mostram que a população atendida pela coleta seletiva na cidade era de aproximadamente 300000 habitantes em 2020 e que em 2021 passou para 500000 habitantes. Desta forma, vislumbra-se

a necessidade de que esses 200000 novos habitantes inseridos no serviço, tenham um tempo para se adaptar e se habituar com a coleta seletiva e isso faz com que o quantitativo per capita apresente redução e que fique aquém do valor projetado pelo modelo.

Considerações Finais

Foi possível ajustar modelos de séries temporais que descreveram o comportamento do quantitativo de RSU destinados tanto ao aterro sanitário quanto às cooperativas de recicladores, na cidade de Uberlândia –MG. Esses modelos ajustados também podem ser utilizados para se fazer previsões para tempos futuros.

O modelo ajustado para RSU destinados ao aterro sanitário foi o SARIMA (3,0,0) (2,1,0) com dift e o modelo para RSU com destinação a reciclagem foi o SARIMA (3,1,0) (0,0,2). Para ambas as situações foram detectadas as componentes de tendência e de sazonalidade significativas na série.

A análise de séries temporais é uma proposta metodológica interessante para descrever o comportamento do quantitativo de RSU em Uberlândia e que podem apresentar boa precisão na realização de previsões dos quantitativos de resíduos produzidos pela população.

O modelo apresentou maior eficácia nas previsões para os RSU destinados ao aterro sanitário em função desse processo já se encontrar totalmente implantado no município a muitos anos. Entretanto, mesmo para os RSU destinados à reciclagem, que ainda se encontra em fase de implementação, a metodologia de análise de séries temporais se mostrou promissora no sentido do planejamento da coleta e de processos de melhorias do serviço no município.

Os modelos podem ser continuamente calibrados com a inclusão de novos valores, o que pode contribuir com as previsões e com o planejamento contínuo sobre ações a serem desenvolvidas neste setor.

Se faz necessário o aprimoramento de políticas públicas e a maior conscientização da população uberlandense visando a redução da produção de RSU destinados ao aterro sanitário e o aumento da produção dos resíduos destinados à reciclagem.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. F. C.; GUIMARÃES, E. C.; CARVALHO, D. F.; ARAÚJO, L. B. Precipitação pluviométrica mensal no estado do Rio de Janeiro: sazonalidade e tendência. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 90-100, 2009. Disponível em: Precipitação pluviométrica mensal no estado do Rio de Janeiro: sazonalidade e tendência. Acesso em: 19 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2012**. Edição Especial de 10 anos. [S. l.]: Abrelpe, 2012. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>. Acesso em: 12 maio 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2018-2019**. [S. l.]: Abrelpe, 2018. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 19 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2020-2021**. [S. l.]: Abrelpe, 2021. Disponível em <https://rmai.com.br/abrelpe-lanca-panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2021>. Acesso em 09 fev. 2022

BARROS, R. T. V. **Elementos de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Lançamento Diagnóstico Resíduos sólidos 2013**. Brasília, DF 2015. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-rs-2013>. Acesso em: 02 ago. 2021.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf. Acesso em: 19 jun. 2022.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária & Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000300009>

DUTRA, R. M. S. *et al.* **Avaliação de metodologias de cobrança para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos para municípios brasileiros**. [S. l.]: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. [S. l.]: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/uberlandia>. Acesso em: 23 jan. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Resíduos sólidos urbanos**. [S. l.]: IPEA, 2012. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acesso em: 13 mai. 2021.

LIMA, J. D. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 267 p.

MAIA, C. V. A.; *et al.* Reflexões sobre a cobrança pelos serviços de gestão dos resíduos sólidos em municípios cearenses consorciados. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, [S. l.], v. 9, p. 668-682, 28 out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v9i0.2226>.

MARCHI, C. M. D. F.; *et al.* **Gestão dos resíduos sólidos: conceitos e perspectivas de atuação**. Curitiba: Appris. 1.ed., 223 p.; 2018.

MERELLES, L. R. O.; SILVA; C. O.; LUZ; M. P.; MENEZES, J. E.; DIAS, V. S. Previsão de geração de resíduos sólidos para o aterro de Aparecida de Goiânia (GO) por séries temporais. **Engenharia sanitária e ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 537–546, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019183284>.

MORETIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais: modelos univariados**. São Paulo: Blucher, 2018.

PIMENTEL, C. H. L. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB - à luz das rotas tecnológicas de tratamento**. 2017. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, 2017. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/38723/4/TESE%20Cristine%20Helena%20Limeira%20Pimentel.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2022.

PEREIRA, Marcelo José. **Análise da demanda e consumo de energia elétrica, utilizando séries temporais no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia**, MG. 2018. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.862>

SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA (SELUR). **Três anos após a regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): seus gargalos e superações**. [S. l.]: Selur, 2014. Disponível em: https://selur.org.br/wp-content/uploads/2020/08/RELATORIO_EY-e-SELURB_Modelos-de-Cobran%C3%A7a-ao-Redor-do-Mundo-1.pdf.

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, [s. l.], v. 12, n.5, p. 480 - 485, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/9BR9BfCSCRsw4wBMnFN6tJP/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

SILVA, L. R. T.; LEITE, E. S. Planejamento urbano e impactos pluviométricos na cidade de Uberlândia (MG). In: XII SBCG/UFJF, **Anais [...]**. Juiz de Fora, MG, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342335165_PLANEJAMENTO_URBANO_E_IMPA

CTOS_PLUVIOMETRICOS_NA_CIDADE_DE_UBERLANDIA_MG/download. Acesso em: 19 jun. 2022.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Itajubá, 2012.

UBERLÂNDIA. Departamento de Água e Esgoto. **Serviços de coleta seletiva**. Uberlândia: DMAE, 2020. Disponível em: <<https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicos-dmae/residuos-solidos/coleta-seletiva>>. Acesso em: 03 out. 2021.

UBERLÂNDIA. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Programa de coleta seletiva: coleta, transporte e destinação de resíduos sólidos recicláveis para associações e cooperativas de catadores**. Uberlândia: DMAE, 2020. Disponível em: <<https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicosdmae/coleta-de-residuos/>>. Acesso em: 19 jun. 2020.

UBERLÂNDIA. **Lei Municipal nº 12.504, de 25 de agosto de 2016**. Dispõe sobre os serviços público de coleta solidária dos resíduos recicláveis no Município de Uberlândia. Uberlândia: DMAE, 2016. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/u/uberlandia/lei-ordinaria/2016/1250/12504/lei-ordinaria-n-12504-2016-dispoe-sobre-o-servico-publico-de-coleta-seletiva-solidaria-dos-residuos-reciclaveis-no-municipio-de-uberlandia-e-da-outras-providencias> .Acesso em: 20 jan. 2021.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. **Plano municipal de saneamento básico**. Uberlândia: Prefeitura, 2018. Disponível em :< <https://leismunicipais.com.br> > . Acesso em: 19 jun. 2022.

WALDMAN, M. **Lixo: cenários e desafios: abordagens para entender os resíduos sólidos**. São Paulo: Cortez, 2010.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. [S. l.]: Oficina de Texto. 2013, 216 p.

NOTAS DE AUTOR

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Juliana Messias Dornelas - Concepção. Coleta de dados, Análise de dados, Elaboração do manuscrito, revisão e aprovação da versão final do trabalho.

Ednaldo Carvalho Guimarães - Orientação. Participação ativa na análise dos dados e discussão dos resultados; Revisão e aprovação da versão final do trabalho.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Não há conflito de interesses.

LICENÇA DE USO

Este artigo está licenciado sob a [Licença Creative Commons CC-BY-NC](#). Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, sem uso comercial e desde que atribua a autoria da obra.

HISTÓRICO

Recebido em: 08-04-2022

Aprovado em: 13-12-2022