



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MARIANA MOREIRA DE OLIVEIRA

**MODELOS PARA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

João Pessoa - Paraíba
Março - 2016

MARIANA MOREIRA DE OLIVEIRA

**MODELOS PARA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa
Athayde Júnior**

João Pessoa - Paraíba

Março - 2016

O48m Oliveira, Mariana Moreira de.
 Modelos para estimativa da geração de resíduos sólidos
 urbanos em municípios brasileiros / Mariana Moreira de
 Oliveira.- João Pessoa, 2016.
 132f.
 Orientador: Gilson Barbosa Athayde Júnior
 Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
 1. Engenharia civil e ambiental. 2. Resíduos Sólidos
 Urbanos (RSU). 3. Fatores socioeconômicos. 4. Modelos.

UFPB/BC

CDU: 624:504(043)

**“MODELOS PARA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS”**

MARIANA MOREIRA DE OLIVEIRA

**Dissertação aprovada em 31 de março de 2016
Período Letivo: 2015.2**

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior - UFPB
Orientador



Prof. Dr.ª Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Examinador Interno



Prof. Dr. Valderi Duarte Leite
Examinador Externo

**João Pessoa/PB
2016**

Dedico este trabalho a toda a família que sempre acreditou na realização dos meus sonhos e se esforçou muito para que eu pudesse realizá-los.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por se fazer presente em todos os momentos dela.

A meus pais, Ana Valdete Lima Moreira e Adeilton Dantas de Oliveira, por toda dedicação e empenho prestados na minha educação, pelo incentivo e apoio nas decisões tomadas e, principalmente, por todo amor demonstrado.

A minha irmã, Juliana Moreira de Oliveira, pelo companheirismo e ajuda ofertada sempre que preciso. A toda a família, avós, tios (as) e primos (as) que sempre me incentivaram a correr atrás dos meus objetivos.

Ao meu orientador, professor Gilson Barbosa Athayde Júnior, por me acompanhar e orientar desde o início da graduação até a conclusão do mestrado, assim como pela sua benevolência, compreensão, dedicação e ensinamentos.

Aos professores Elisângela Maria Rodrigues Rocha e a Valderi Duarte Leite, pela gentileza em aceitar o convite para participar da banca examinadora.

A todos os professores do PPGCAM - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, por todo o ensinamento transmitido ao longo do mestrado.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos para a realização das atividades do mestrado.

Aos amigos do mestrado, pela vivência e aprendizado trocados, em especial à amiga Mariana Medeiros, presente desde o início dessa caminhada, pela amizade e ajuda prestada. Aos amigos próximos, em particular a Juliana Gambarra e a Nathalia Alcântara, pela amizade e apoio demonstrado. E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta etapa da minha vida.

RESUMO

A fim de conhecer, bem como, entender a relação da geração dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com os aspectos demográficos, econômicos e culturais da população, por exemplo, modelos matemáticos podem ser utilizados. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi formular modelos matemáticos a partir de informações disponíveis no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, capazes de estimar a geração de RSU em municípios do Brasil, a partir de indicadores de renda e porte dos municípios. Para tal, foi utilizada a análise de regressão múltipla. Em função da grande heterogeneidade nas características dos municípios brasileiros, a amostra foi dividida em diferentes classes de população e renda. Formulou-se modelos para cada uma das variáveis dependentes: massa de RSU, taxa 1 RSU (calculada com base na população urbana do município) e taxa 2 de RSU (calculada com base na população total do município). Foi separado aproximadamente 25% do total de dados, em cada classificação, para validação dos modelos. Os resultados mostraram que o agrupamento da amostra com base na população do município apresentou modelos válidos para quase todas as classes e que em municípios com até 3.000.000 habitantes a produção de RSU aumentou nos municípios mais populosos. Ao agrupar a amostra com base na população e subclasses de renda do município, observou-se que a classe de municípios com população entre 30.001 e 100.000 habitantes, a qual não possuía um modelo dentro da limitação fixada, apresentou um modelo válido para estimativa da geração de RSU em municípios com PIB *per capita* superior a 29 mil reais. Ainda com base no mesmo agrupamento, percebeu-se que para municípios com até 250.000 habitantes a geração *per capita* de RSU é diretamente proporcional à renda. No agrupamento da amostra com base na renda e subclasses de população, a análise dos dados de geração *per capita* permitiu concluir que o aumento do porte do município é acompanhado pelo crescimento da geração *per capita* de RSU. Os modelos formulados apresentaram média do erro percentual de 23% e contemplam um total de municípios que abrangem a 60,1% da população (relativa ao ano de 2015) total do Brasil. Diante dos resultados, pôde-se concluir que a geração de RSU esteve relacionada ao porte e à renda do município. Percebeu-se ainda que a taxa 2 de RSU apresentou comportamento mais estável que a taxa 1 de RSU, possivelmente devido a menor imprecisão na estimativa da população total do município, em comparação com a estimativa da população urbana do mesmo. Foi possível delinear modelos para a massa de RSU, bem como para as taxas 1 e 2 de RSU.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos urbanos (RSU). Fatores socioeconômicos. Modelos.

ABSTRACT

In order to know and understand the relationship between Municipal Solid Wastes (MSW) generation and demographic, economic and cultural aspects of the population, for example, mathematical models can be employed. In this context, the objective of this study was to develop mathematical models to predict the amount of MSW generated, based on the database from *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS*, and socioeconomic variables. Multiple regression was used. Because of the high diversity of municipalities in Brazil, the sample was grouped into some class of population size and income. It was formulated models for each of the dependent variables: mass of MSW, *per capita* generation rate 1 (calculated based on the municipal urban population) and *per capita* generation rate 2 (calculated based on the municipal total population). About 25% of database was saved for models validation. Results showed that grouping the sample based on the municipal population resulted in valid models for almost all the class and that for municipalities with population up to 3,000,000 inhabitants the generation of USW increased with increasing population. When grouping the sample by population classes and income subclasses it was observed that, for municipalities with population between 30,001 and 100,000 inhabitants, which had not presented any valid model for the condition adopted, presented one valid model for income rate above R\$ 29,000.00 *per capita*. For population up to 250,000 inhabitants, it was observed a direct correlation between MSW generation intensity and income level. When grouping the sample into income classes and population subclasses, the analysis of *per capita* generation rate showed that an increase on the municipal population is associated with an increase on the MSW generation intensity. The valid models formulates presents mean relative error of 23%, and can be employed at municipalities that corresponds to 60.1% of Brazilian population (relative to the year 2015). Given such results, it can be concluded that the generation of MSW was related to the income level and size of the municipal population. Moreover, results showed that the *per capita* generation rate calculated based on the total municipal population presented a more uniform behaviour than that of the *per capita* generation rate calculated based on the total urban population, possibly because the degree of uncertainty associated with the prediction of the urban population of the municipality. It was possible develop mathematical models for mass MSW and to rates 1 and 2 of MSW.

KEYWORDS: Municipal Solid Waste (MSW). Socioeconomic factors. Model. 10-15
PALAVRAS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos urbanos por regiões do mundo	22
Figura 2 - Geração de RSU.....	23
Figura 3 - Destinação final de RSU (t.dia ⁻¹) – Ano 2014.....	25
Figura 4 - Evolução comparada da população total e da produção de resíduos sólidos urbanos - tonelada (1) Município de Belo Horizonte – 1980-2006.....	29
Figura 5 - Geração de resíduos urbanos por ano e nível de renda.....	29
Figura 6 - Geração de RSD (g.hab ⁻¹ .dia ⁻¹) por setores da cidade	30
Figura 7 - RSU total x População	32
Figura 8 - RSU <i>per capita</i> x População.....	32
Figura 9 - Evolução da participação dos municípios brasileiros no SNIS – Resíduos sólidos	50
Figura 10 - População urbana e total da amostra e do Brasil	62
Figura 11 - Comportamento da dispersão entre a Massa de RSU e a população total (n= 3072)	63
Figura 12 - Comportamento da dispersão entre a Massa de RSU e a população urbana (n= 3072).....	64
Figura 13 - Comportamento da entre a Massa de RSU e o PIB total (n= 3072)	64
Figura 14 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n= 3072)	65
Figura 15 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n= 3072).....	65
Figura 16 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n= 3072)	66
Figura 17 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n= 3072)	66
Figura 18 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n= 3072).....	67
Figura 19 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n= 3072)	67
Figura 20 - Valores médios para a Massa de RSU por classes de população	68
Figura 21 - Valores médio para as taxa 1 por classes de população	69
Figura 22 - Valores médio para as taxa 2 por classes de população	70
Figura 23 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 330) – classe 3.....	74
Figura 24 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 330) – classe 3	74
Figura 25 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 330) – classe 3.....	74
Figura 26 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 218) – classe 4.....	75
Figura 27 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 218) – classe 4	75

Figura 28 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 218) – classe 4.....	75
Figura 29 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 218) – classe 4.....	75
Figura 30 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 218) – classe 4.....	75
Figura 31 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 218) – classe 4.....	75
Figura 32 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 17) – classe 6.....	76
Figura 33 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 17) – classe 6.....	76
Figura 34 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 17) – classe 6.....	76
Figura 35 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 17) – classe 6.....	76
Figura 36 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 17) – classe 6.....	76
Figura 37 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 17) – classe 6.....	76
Figura 38 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasses de PIB <i>per capita</i> – classe 1	77
Figura 39 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasses de PIB <i>per capita</i> – classe 2	78
Figura 40 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasses de PIB <i>per capita</i> – classe 3	78
Figura 41 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasses de PIB <i>per capita</i> – classe 4	79
Figura 42 - Valores médios para a Taxa 1 de RSU por subclasses de PIB <i>per capita</i> – classes 1 a 4	79
Figura 43 - Valores médios para a Taxa 2 de RSU por subclasses de PIB <i>per capita</i> - classes 1 a 4	80
Figura 44 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 173) – classe 2.3.....	86
Figura 45 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 173) – classe 2.3	86
Figura 46 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 173) – classe 2.3.....	86
Figura 47 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 173) – classe 2.3.....	86
Figura 48 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 173) – classe 2.3	86

Figura 49 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 173) – classe 2.3.....	86
Figura 50 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 112) – classe 3.3.....	87
Figura 51 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 112) – classe 3.3	87
Figura 52 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 112) – classe 3.3.....	87
Figura 53 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 112) – classe 4.3.....	87
Figura 54 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 112) – classe 4.3	87
Figura 55 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 112) – classe 4.3.....	87
Figura 56 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 74) – classe 4.3.....	88
Figura 57 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 74) – classe 4.3.....	88
Figura 58 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 74) – classe 4.3.....	88
Figura 59 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 7.....	89
Figura 60 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 8.....	90
Figura 61 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 9.....	90
Figura 62 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 10...	91
Figura 63 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 11...	91
Figura 64 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 12...	92
Figura 65 - Valores médios para a Taxa 1 de RSU por subclasses de população	92
Figura 66 - Valores médios para a Taxa 2 de RSU por subclasses de população	93
Figura 67 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 121) – classe 8.3.....	98
Figura 68 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 121) – classe 8.3	98
Figura 69 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 121) – classe 8.3.....	98
Figura 70 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 121) – classe 9.3.....	98
Figura 71 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 121) – classe 9.3	98
Figura 72 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 121) – classe 9.3.....	98
Figura 73 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 121) – classe 9.3.....	99

Figura 74 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 121) – classe 9.3	99
Figura 75 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 121) – classe 9.3.....	99
Figura 76 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 127) – classe 11.3.....	99
Figura 77 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 127) – classe 11.3	99
Figura 78 - Comportamento da dispersão entre	99
Figura 79 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 127) – classe 11.3.....	100
Figura 80 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 127) – classe 11.3	100
Figura 81 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 127) – classe 11.3.....	100
Figura 82 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 118) – classe 12.2.....	100
Figura 83 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 118) – classe 12.2	100
Figura 84 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 118) – classe 12.2.....	100
Figura 85 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 118) – classe 12.2.....	101
Figura 86 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 118) – classe 12.2	101
Figura 87 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB <i>per capita</i> (n = 118) – classe 12.2.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de RSU – Projeção para 2025 por regiões do mundo	23
Tabela 2 - Estimativa da massa coletada de RSU em 2014, segundo faixa populacional.....	24
Tabela 3 - Índices <i>per capita</i> de RSU em função da população urbana.....	28
Tabela 4 - Geração de RSU e indicadores desenvolvimento	33
Tabela 5 - Coeficiente de regressão e quadrado do coeficiente de correlação semiparcial (sr2) de fatores que explicam a quantidade de geração de resíduos em Oyo.....	36
Tabela 6 - Análise de regressão de geração <i>per capita</i> de RO (kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	36
Tabela 7 - A análise de regressão de geração quantidade de RO (kg.dia ⁻¹)	37
Tabela 8 - Modelos baseados em equações de regressão multivariada	39
Tabela 9 - Modelo logaritmo para estimativa de RSU (tonelada).....	40
Tabela 10 - Modelos de Regressão para a Geração de Resíduos Sólidos (tonelada) na AP	42
Tabela 11 - Coeficientes de regressão e respectivos coeficientes de determinação	43
Tabela 12 - Fatores relacionados à geração de RSD	45
Tabela 13 - Fatores relacionados à geração <i>per capita</i> de resíduos	46
Tabela 14 - IPCA geral por ano.....	54
Tabela 15 - Agrupamento da amostra por classes de população (situação 1)	55
Tabela 16 - Agrupamento da amostra por classe de população e subclasses de PIB <i>per capita</i> (situação 2)	55
Tabela 17 - Agrupamento da amostra por classe de PIB <i>per capita</i> (situação 3).....	56
Tabela 18 - Agrupamento da amostra por classe de PIB <i>per capita</i> e subclasses de população (situação 4)	56
Tabela 19 - Valores extremos para a taxa 1 de RSU	57
Tabela 20 - Variáveis dos modelos	58
Tabela 21 - Simbologia e unidades das variáveis.....	59
Tabela 22 - Quantidade de dados em cada classificação, modelo e validação.....	61
Tabela 23 - Representatividade da amostra.....	62
Tabela 24 - Modelos para massa de RSU por classes de população	72
Tabela 25 - Modelos para as taxas de RSU por classes de população	74
Tabela 26 - Modelos para massa de RSU por classes de população e subclasses de PIB <i>per capita</i>	83
Tabela 27 - Modelos para as taxas de RSU por classes de população e subclasses de PIB <i>per capita</i>	85
Tabela 28 - Modelos para massa de RSU por classes de PIB <i>per capita</i> e subclasses de população.....	94
Tabela 29 - Modelos para as taxas de RSU por classes de PIB <i>per capita</i> e subclasses de população.....	97
Tabela 30 - Abrangência dos modelos em relação ao número de municípios e população total brasileira – classes de população	103
Tabela 31 - Abrangência dos modelos em relação ao número de municípios e população total brasileira – classes de população e subclasses de PIB <i>per capita</i>	103
Tabela 32 - Abrangência dos modelos em relação ao número de municípios e população total – classes de PIB <i>per capita</i> e subclasses de população	104

Tabela 33 - Quantidade total de municípios contemplados com modelos para estimativa da geração de RSU 105

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a forma de operacionalização dos serviços de coleta.....	21
Quadro 02 - Efeitos na saúde humana.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Análise de Cluster
ACP	Análise de Componentes Principais
ALBRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AP	Áreas de ponderação
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IQVU	Índice de Qualidade de Vida Urbana
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PIB	Produto Interno Bruto
PMSS	Programa de Modernização do Setor Saneamento
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RO	Resíduos orgânicos
RPU	Resíduos públicos
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SLU	Superintendência de Limpeza Urbana
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo Geral.....	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1	Definição e classificação dos resíduos sólidos.....	21
3.2	Geração de resíduos sólidos	22
3.3	Impactos relacionados aos resíduos sólidos.....	24
3.4	Gestão de Resíduos Sólidos	26
3.5	Fatores que influenciam a geração de RSU.....	27
3.5.1	UTILIZAÇÃO DE MODELOS PARA ESTIMATIVA DE RSU	31
3.6	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.....	46
4	MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1	Delimitação do estudo.....	51
4.2	Descrição das variáveis.....	51
4.2.1	MASSA DE RSU COLETADA	51
4.2.2	TAXA 1 DE GERAÇÃO DE RSU (TX₁)	52
4.2.3	TAXA 2 DE GERAÇÃO DE RSU (TX₂)	52
4.2.4	POPULAÇÃO URBANA SNIS	53
4.2.5	POPULAÇÃO TOTAL	53
4.2.6	PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB)	53
4.2.7	PIB <i>PER CAPITA</i>	54
4.3	Classificação da amostra	54
4.4	Análise dos dados.....	57
4.4.1	CRITÉRIOS RESTRITIVOS	57
4.4.2	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	57
4.5	Modelos.....	58
4.5.1	FORMULAÇÃO DOS MODELOS	59
4.5.2	VALIDAÇÃO DOS MODELOS	59
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
5.1	Modelos.....	68

5.1.1	SITUAÇÃO 1: MODELOS POR CLASSE DE POPULAÇÃO.....	68
5.1.1.1	Modelos para a massa de RSU	70
5.1.1.2	Modelos para a taxa <i>per capita</i> de RSU	73
5.1.2	SITUAÇÃO 2: MODELOS POR CLASSE DE POPULAÇÃO E SUBCLASSES DE PIB <i>PER CAPITA</i>	77
5.1.2.1	Modelos para a massa de RSU	81
5.1.2.2	Modelos para a taxa <i>per capita</i> de RSU	84
5.1.3	SITUAÇÃO 4: MODELOS POR CLASSE DE PIB <i>PER CAPITA</i> E SUBCLASSES DE POPULAÇÃO	89
5.1.3.1	Modelos para a massa de RSU	93
5.1.3.2	Modelos para a taxa <i>per capita</i> de RSU	95
5.1.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE E ESCOLHA DOS MODELOS	102
5.1.5	ABRANGÊNCIA DOS MODELOS	102
5.1.6	RESSALVAS PARA UTILIZAÇÃO DOS MODELOS	105
6	CONCLUSÕES.....	106
7	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	107
	REFERÊNCIAS.....	108
	APÊNDICE A - Estatísticas por classes de população	113
	APÊNDICE B - Estatísticas por classes de população e subclasses de PIB <i>per capita</i>	114
	APÊNDICE C - Estatísticas por classes de PIB <i>per capita</i> e subclasses de população.....	117
	APÊNDICE D – Gráficos dos valores observados x previstos	120

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional ocorrido em nosso planeta nas últimas décadas resultou em várias mudanças no âmbito socioeconômico e ambiental, dentre as quais está o aumento da quantidade gerada de resíduos sólidos. Além do crescimento populacional, a mudança do perfil de consumo da população, os avanços tecnológicos, bem como a urbanização vem contribuindo para intensificar tal geração.

No Brasil, bem como em vários países, essa situação é um problema para as municipalidades. Ocorre que grande parte dos municípios não consegue dar uma destinação ambientalmente adequada para seus resíduos. Como resultado da inadequada destinação, diversos impactos ambientais e na saúde humana podem ser elencados, a exemplo da poluição ambiental.

Dentre os resíduos sólidos, estão incluídos os resíduos sólidos urbanos (RSU), representados pelos resíduos sólidos domiciliares (RSD) e resíduos de limpeza urbana.

Em 2014, de acordo com a ALBRELPE (2014), o crescimento dos RSU no Brasil, 2,9% em relação ao ano anterior, foi superior a taxa de crescimento populacional no mesmo período, que foi de 0,9%.

Do total de municípios brasileiros, com referência ao ano de 2014, 41,6% destinavam seus resíduos de forma inadequada, somando um total de 81 mil toneladas diárias de RSU que seguiram para lixões ou aterros controlados, sendo estes, do ponto de vista ambiental, considerados semelhantes a lixões, por não possuírem sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública (ABRELPE, 2014).

Neste sentido, torna-se essencial a adoção de medidas que visem contornar essa situação, por meio da gestão desses resíduos. Esse tem sido um tema amplamente discutido na atualidade, especialmente no Brasil, onde desde 2010 foi instituída, através da Lei nº 12.305/10, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada pela Decreto 7.404/10 (BRASIL, 2010).

Conhecer as estimativas presentes e futuras das quantidades de resíduos geradas é importante para o adequado gerenciamento dos mesmos. Uma importante etapa da gestão dos resíduos sólidos é a fase de diagnóstico, a qual está prevista em vários instrumentos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, e consiste em realizar um levantamento da situação atual dos diferentes tipos de resíduos sólidos, compreendendo uma análise quantitativa e qualitativa dos resíduos gerados, coletados, transportados, reutilizados, recuperados,

reciclados, tratados, beneficiados, ou que sejam destinados no território do município, bem como da disposição final dos resíduos e rejeitos (BRASIL, 2014).

A quantificação dos resíduos sólidos de um município pode ser uma atividade difícil, representar um custo adicional na fase do diagnóstico dos planos municipais, bem como protelar a adequada gestão desses resíduos.

Diversos fatores socioeconômicos podem estar associados à geração dos RSU. A geração de RSU é função, primariamente, do contingente populacional, uma vez que para atender às necessidades de mais pessoas é necessária a produção de mais itens. Paralelamente, quanto maior o poder aquisitivo da população, maior será o poder de compra, e consequentemente, a produção de resíduos.

A fim de conhecer, bem como, entender a relação da geração desses resíduos com os aspectos demográficos, econômicos e culturais, por exemplo, modelos matemáticos podem ser utilizados. Eles são capazes de projetar cenários futuros e estabelecer relações entre diferentes elementos. Nesse contexto, o uso de modelos matemáticos para representar a geração de resíduos sólidos pode auxiliar no processo de gestão.

Segundo as hipóteses de que existe correlação entre a quantidade gerada de RSU e variáveis socioeconômicas e de que é possível utilizar modelos matemáticos para estimativa da geração de RSU a partir destas variáveis, o objetivo do presente trabalho foi formular modelos matemáticos a partir de informações disponíveis no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, capazes de estimar a geração de RSU em municípios do Brasil.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Formular modelos matemáticos que estimem a quantidade de resíduos sólidos urbanos em municípios brasileiros, a partir de dados socioeconômicos e informações disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a influência da renda e da população na geração de resíduos sólidos urbanos;
- Analisar o comportamento da massa e taxas de RSU em cada faixa de população e renda definida no trabalho;
- Formular modelos para a massa e taxas de geração de RSU;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Definição e classificação dos resíduos sólidos

É possível encontrar na literatura várias definições para os resíduos sólidos. De acordo com NBR 10.004/2004, tais resíduos são definidos como aqueles nos:

Estado sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável, em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004 p.1).

Devido a grande heterogeneidade desses resíduos, existem diversas maneiras de classificá-los, a depender do enfoque de interesse (BARROS, 2012). Uma das classificações sugeridas por Barros (2012) é com base na forma de operacionalização dos serviços de coleta. No Quadro 1 são apresentadas as definições de resíduos sólidos em função de sua classificação.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos segundo a forma de operacionalização dos serviços de coleta

Tipo	Definição
Domiciliar	Material constituído de diversos tipos de resíduos, normalmente precedentes de unidades de residenciais, comerciais, serviço em geral e atividades institucionais. São formados principalmente de matéria orgânica (biodegradável), mas também contêm substâncias recalcitrantes, como a celulose de papeis.
Público	Resíduos provenientes das atividades de limpeza urbana (varrição e capina de vias e logradouros públicos, de mercados e feiras, resíduos provenientes dos cestos e lixeiras públicos, podas de árvores etc)
Especial	Constituído por resíduos que normalmente não são recolhidos pelo serviço regular de coleta, em função de grande volume e/ou de apresentarem riscos de contaminação, requerendo cuidados especiais para o acondicionamento e coleta, como é o caso daqueles oriundos de unidades de saúde e radioativos. Podem ser classificados em (pelo menos) 3 grandes grupos: • Resíduos contaminados ou resíduos de saúde e congêneres (provenientes de hospitais, laboratórios, farmácias, etc); • Resíduos sólidos inertes (pneus e acessórios de veículos, resíduos volumosos, moveis, eletroeletrônicos, resíduos provenientes de construção etc); • Resíduos nocivos (resíduos radioativos, poluentes, corrosivos, agressivos etc).

Fonte: Barros (2012, p.47).

O presente trabalho aborda os dois primeiros tipos de resíduos, que segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), constituem os resíduos sólidos urbanos (RSU). Estes

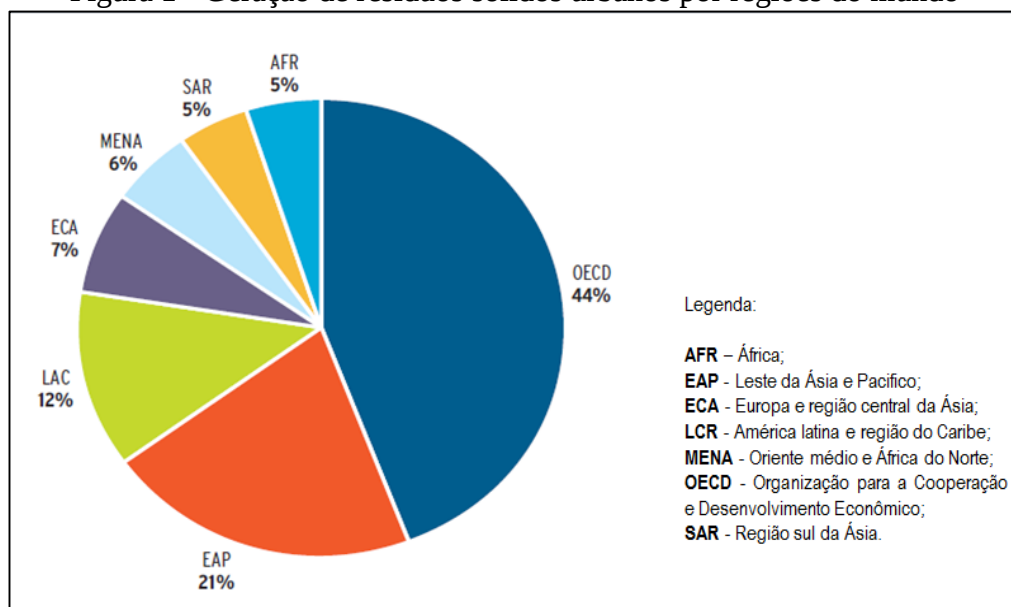
são representados pelos resíduos sólidos domiciliares (RSD), resultantes de atividades domésticas em residências, e pelos resíduos de limpeza urbana, sendo estes originados dos serviços de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

3.2 Geração de resíduos sólidos

O aumento a quantidade de resíduos sólidos é um tema atual em todo mundo. Um estudo realizado pelo Banco Mundial de desenvolvimento urbano e a unidade de governo local da rede de desenvolvimento sustentável apresentou as estimativas e composição para os RSU a nível mundial, bem como projetou um cenário para esses resíduos em 2025 (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

De acordo com o trabalho, os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) são responsáveis pela geração de quase metade dos resíduos do mundo, enquanto que a África e sul da Ásia são as regiões com menor produção de RSU. A Figura 1 ilustra esse panorama.

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos urbanos por regiões do mundo



Fonte: Hoornweg e Bhada-Tata (2012).

A projeção dos dados para o ano de 2025 sugere que os níveis de produção de RSU irão dobrar, passando de 3.535.252 para 6.069.703 t.dia⁻¹. A geração *per capita* também aumentará, de 1,2 para 1,4 kg.hab⁻¹.dia⁻¹. Na Tabela 1 podem ser observados os valores

estimados para o ano de 2025, de acordo com as tendências de crescimento da população em cada região.

Tabela 1 - Geração de RSU – Projeção para 2025 por regiões do mundo

Região	Dados atualmente disponíveis			Projeção para 2025			
	População urbana total (milhões)	Geração de RSU		Projeção da população		Projeção do RSU	
		Per capita (Kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	Total (t.dia ⁻¹)	População total (milhões)	População urbana (milhões)	Per capita (Kg/hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	Total (t.dia ⁻¹)
AFR	260	0,65	169.119	1.152	518	0,85	441.840
EAP	777	0,95	738.958	2.124	1.229	1,5	1.865.379
ECA	227	1,1	254.389	339	239	1,5	354.810
LCR	399	1,1	437.545	681	466	1,6	728.392
MENA	162	1,1	173.545	379	257	1,43	369.320
OECD	729	2,2	1.566.286	1.031	842	2,1	1.742.417
SAR	426	0,45	192.410	1.938	734	0,77	567.545
Total	2.980	1,2	3.535.252	7.644	4.285	1,4	6.069.703

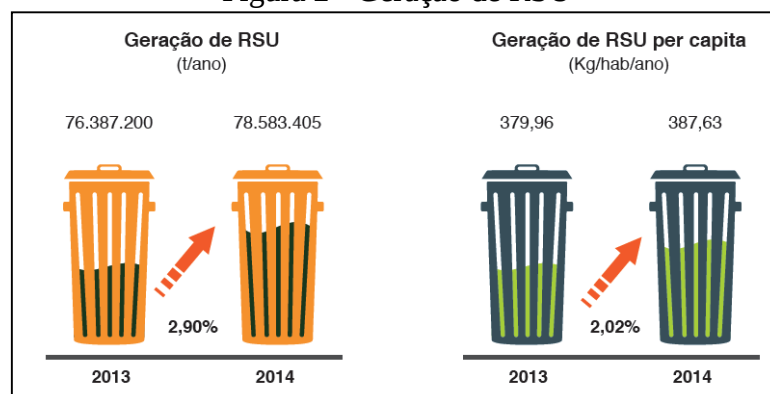
Legenda: AFR – África; EAP - Leste da Ásia e Pacífico; ECA - Europa e região central da Ásia; LCR - América latina e região do Caribe; MENA - Oriente médio e África do Norte; OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico; SAR - Região sul da Ásia.

Fonte: Hoornweg e Bhada-Tata (2012, p.10).

No Brasil, existem alguns estudos que buscam conhecer a quantidade de resíduos gerados. Duas fontes importantes são: a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza pública e Resíduos especiais (ABRELPE) e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, em 2014 foi gerado no país aproximadamente 78,6 milhões de toneladas de RSU (ABRELPE, 2014). A comparação entre os dados de 2013 e 2014, observados na Figura 2, mostra um crescimento de 2,9% na quantidade total gerada de RSU e de aproximadamente 2% no índice de geração *per capita*.

Figura 2 - Geração de RSU



Fonte: ABRELPE (2014).

Esses valores estão condizentes com os apresentados pelo SNIS para o mesmo ano. Conforme a décima terceira edição do Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos foi coletada aproximadamente 64,4 milhões de toneladas de RSU na área urbana do país (SNIS, 2016a). Se for utilizado o índice médio de $1,05 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em função da população total obtém-se um valor aproximado de 78 milhões toneladas, próximo daquele apresentado pela ABRELPE.

A Tabela 2 mostra a estimativa da massa total coletada de RSU no Brasil, bem como nas seguintes faixas de população: 1 - até 30 mil habitantes; 2 - de 30.001 a 100.000 habitantes; 3 - de 100.001 a 250.000 habitantes; 4 - de 250.001 a 1.000.000 de habitantes; 5 - de 1.000.001 a 3.000.000 de habitantes; e 6 - acima de 3.000.001 habitantes.

Tabela 2 - Estimativa da massa coletada de RSU em 2014, segundo faixa populacional

Faixa Populacional	Estimativa da massa coletada de (RDO + RPU) a partir dos indicadores IN021				
	Quantidade de municípios	População urbana	Indicador médio	Quantidade de [RDO+RPU], em função da pop. Urbana	Quantidade de [RDO+RPU], Em termos percentuais
	(municípios)	(habitantes)	(Kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	(milhões de toneladas.ano ⁻¹)	(%)
1	4.439	29.242.864	0,87	9,24	14,3%
2	831	32.708.330	0,94	11,27	17,5%
3	190	26.344.400	0,91	8,74	13,6%
4	93	38.773.455	1,00	14,17	22,0%
5	15	25.990.860	1,30	12,35	19,2%
6	2	18.242.641	1,30	8,67	13,5%
Brasil 2014	5.570	171.302.550	1,05	64,4	100,0%
Brasil 2013	5.570	169.780.605	1,01	61,1	100,0%
Brasil 2012	5.570	163.722.797	1,00	57,9	100,0%

Fonte: SNIS (2016a, p. 58).

3.3 Impactos relacionados aos resíduos sólidos

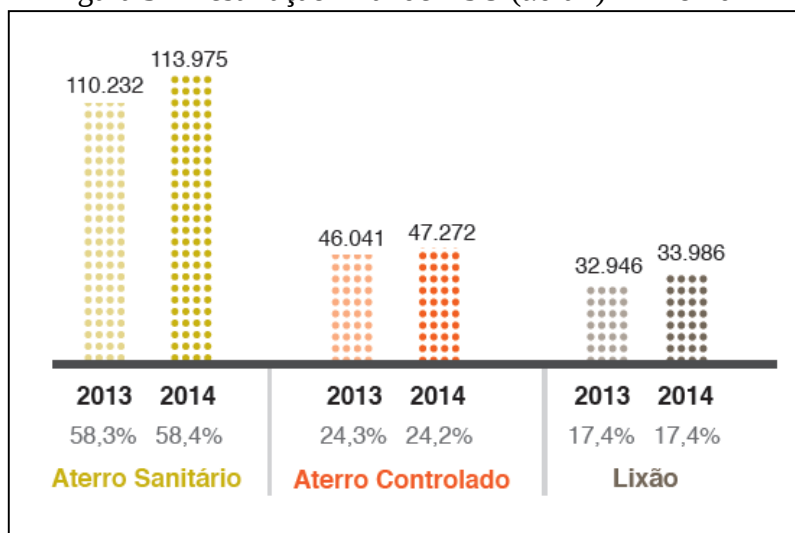
Diversos impactos ambientais podem ser associados aos resíduos sólidos. A maioria deles é originada da disposição inadequada desses resíduos nas margens de ruas ou cursos d'água, terrenos baldios e fundos de vale. Essas práticas geram tanto impactos ambientais quanto na saúde da população.

Do total de resíduos produzidos, segundo a ABRELPE (2014) 58,4% possuem uma destinação adequada (Figura 3).

A presença dos resíduos sólidos no meio ambiente pode originar vários danos, pois a decomposição da matéria orgânica presente, resulta na produção de um líquido tóxico, o

chorume, que pode causar a contaminação do solo, corpos d'água e lençol freático. Além disso, a destinação incorreta também pode provocar assoreamento, enchentes e proliferação de vetores e outros agentes transmissores de doenças, a exemplo dos mosquitos, moscas, ratos e baratas.

Figura 3 - Destinação final de RSU (t.dia⁻¹) – Ano 2014



Fonte: ABRELPE (2014).

Quanto à saúde da população, Ferreira e Anjos (2001) apontam alguns efeitos que os resíduos sólidos podem provocar nas pessoas. O Quadro 2 exibe os efeitos por tipo de agente.

Quadro 2 - Efeitos na saúde humana

Tipo de agente	Efeito
Agentes físicos	Odor: pode causar mal estar, cefaléias e náuseas nas pessoas próximas aos equipamentos de coleta ou aos sistemas de manuseio, transporte e destinação final
	Ruídos: podem provocar a perda parcial ou permanente da audição, cefaléia, estresse, tensão nervosa e hipertensão arterial
	Poeira: pode causar desconforto e perda momentânea da visão, problemas respiratórios e pulmonares
Agentes químicos	Metais pesados: podem ser incorporados à cadeia biológica, e por efeito acumulativo, provocar algumas doenças, tais como: saturnismo e distúrbios no sistema nervoso
	Pesticidas e herbicidas: podem levar à magnificação biológica e provocar intoxicações agudas no ser humano e causar efeitos crônicos (KUPCHELLA; HYLAND, 1993 apud FERREIRA; ANJOS, 2001)
Agentes biológicos	Microorganismos patogênicos: podem está presentes os agentes responsáveis por doenças do trato intestinal (<i>Ascaris lumbricoides</i> ; <i>Entamoeba coli</i> ; <i>Schistosoma mansoni</i>); o vírus causador da hepatite (principalmente do tipo B), entre outros

Fonte: Ferreira e Anjos (2001).

A disposição dos resíduos sólidos por si só também traz malefícios. Segundo Gouveia (2012) essa atividade pode:

- Contribuir de maneira significativa com o processo de mudanças climáticas, devido à liberação de gases do efeito estufa na decomposição da matéria orgânica. No panorama nacional, os resíduos contribuem com 2% do total das emissões; e
- Representar riscos à saúde dos profissionais diretamente envolvidos no manejo dos resíduos, como o pessoal do operacional do setor, que geralmente não conta com medidas mínimas de prevenção e segurança ocupacional, e também os indivíduos que trabalham com a reciclagem de resíduos, principalmente os catadores, os quais estão sujeitos a condições insalubres, tornando-se assim, mais suscetíveis a adquirir doenças.

3.4 Gestão de Resíduos Sólidos

Diante da quantidade de resíduos que vem sendo gerada, bem como do seu potencial de causar impactos negativos, medidas que visem garantir a gestão dos resíduos sólidos tem se tornado cada vez mais importantes.

No Brasil, um avanço nesse sentido foi a instituição da PNRS, que traz os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. A política prever a redução da geração de resíduos, bem como a expansão da reciclagem e reutilização dos mesmos; valoriza os agentes ambientais no processo de gestão dos resíduos sólidos; institui a destinação ambientalmente adequada dos resíduos; estabelece metas para eliminação dos lixões; valoriza os agentes ambientais no processo de gestão dos resíduos sólidos; institui a responsabilidade compartilhada entre os geradores de resíduos; dentre outras medidas.

A gestão integrada de resíduos sólidos é definida como um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, levando em consideração os aspectos políticos, econômicos, ambientais, culturais e sociais, com controle social e respeitando a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

O passo inicial da gestão é realizar o levantamento da situação atual dos diferentes tipos de resíduos sólidos, ação prevista na fase do diagnóstico. Segundo Abdoli, Falahnezhad e Behboudian (2011) conhecer a quantidade de resíduos gerada é essencial para realizar o adequado planejamento do sistema de gestão de resíduos, podendo-se assim, adotar providências necessárias para o investimento em máquinas, capacidade de disposição, assim como determinar futuras áreas para aterro sanitário.

A fase de diagnóstico está prevista em vários instrumentos da PNRS. Dentre tais instrumentos estão os planos de resíduos sólidos. Segundo o Art.14 Lei nº 12.305/10, estes são: o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, Planos Estaduais de Resíduos Sólidos, Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, dentre outros.

Ainda na mesma lei, é apresentado o conteúdo mínimo exigido para esses planos, nos quais a fase de diagnóstico está presente, tal como apresentado a seguir:

- Planos Nacionais de Resíduos Sólidos: Art. 15, inciso I - “diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos” (BRASIL, 2010, p.8).
- Planos Estaduais de Resíduos Sólidos: Art. 17, inciso I - “diagnóstico, incluída a identificação dos principais fluxos de resíduos no Estado e seus impactos socioeconômicos e ambientais” (BRASIL, 2010, p.9).
- Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Art 19, inciso I - “diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas” (BRASIL, 2010, p.10)

3.5 Fatores que influenciam a geração de RSU

A geração RSU é influenciada por diversos fatores, tais como, densidade demográfica, economia local, hábitos e costumes da população, variações sazonais e climáticas, leis e regulamentações específicas, entre outros (OLIVEIRA et al., 2004). Nesse sentido, alguns estudos vêm buscando identificar tais relações.

Segundo Daskalopoulos, Badr e Probert (1998) os dois principais fatores que afetam a geração de RSU são a população e o padrão de vida do país. Os autores explicam que os RSU são uma consequência direta das atividades humanas; quanto mais pessoas em uma localidade, maior é a produção de resíduos. O outro fator mencionado, o padrão de vida, indica a capacidade da população de consumir bens e produtos, e consequentemente, de gerar resíduos (DASKALOPOULOS; BADR; PROBERT, 1998). De acordo com os autores, o Produto Interno Bruto (PIB) tem sido um parâmetro largamente utilizado para descrever o nível econômico de um país. Ainda de acordo com Melo, Sautter e Janissek (2009) o PIB de um país é considerado o principal fator que influencia na produção de RSU.

Ko e Poon (2009) encontraram uma correlação positiva ($r^2 = 0,95$) entre a geração de RSD e o PIB em Hong Kong. Por outro lado, estes autores enfatizam que esta correlação pode ser alterada por práticas de reciclagem.

A relação entre a geração *per capita* RSU e o porte populacional dos municípios pode ser verificada nos dados apresentados no último diagnóstico de resíduos sólidos do SNIS. De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, pode-se concluir que maiores valores (indicador médio - $\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) encontrados estão nas classes com maior população: com 1.000.001 a 3.000.000 de habitantes (classe 5) e acima de 3.000.001 habitantes (classe 6).

De acordo com os dados apresentados no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos (São Paulo), publicado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), pode-se concluir que a produção *per capita* de RSU é crescente quanto maior for a população no município. O índice médio dos valores *per capita* de RSU por habitante é apresentado na Tabela 3.

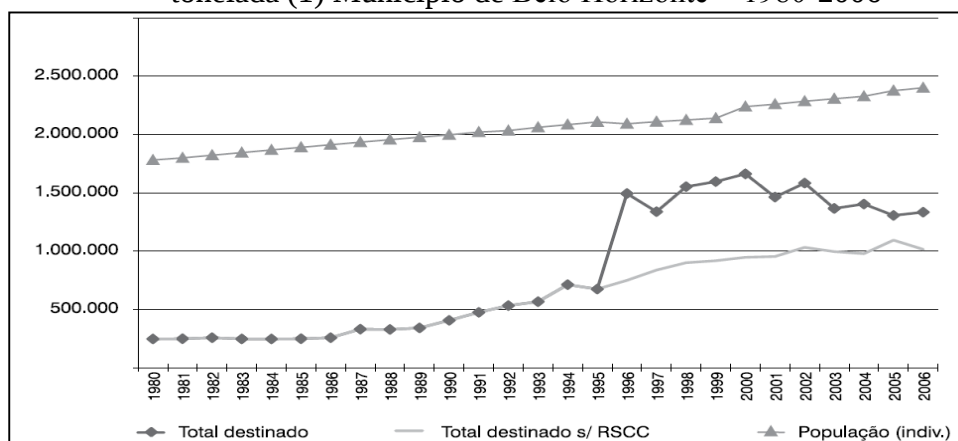
Tabela 3 - Índices *per capita* de RSU em função da população urbana

População (habitantes)	Produção ($\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$)
Até 25.000	0,7
De 25.001 a 100.000	0,8
De 100.001 a 500.000	0,9
Maior que 500.000	1,1

Fonte: CETESB (2015, p.23).

Silva, Barbieri e Monte-Mor (2012) sugerem, com base na Figura 4, que o contingente populacional e taxa de crescimento da população, apesar de importantes, não são os únicos fatores que influenciam a geração de resíduos, visto que o ritmo de crescimento da população foi menor do que o da produção de resíduos. Ainda no mesmo estudo, os autores identificaram que a concentração de domicílios unipessoais, população e chefes com 60 anos e mais, e idade média elevada são aspectos demográficos mais influentes na diferenciação de áreas de maior geração *per capita* de RSU. Os autores ressaltam que estes fatores são associados à renda e escolaridade elevadas.

Figura 4 - Evolução comparada da população total e da produção de resíduos sólidos urbanos - tonelada (1) Município de Belo Horizonte – 1980-2006

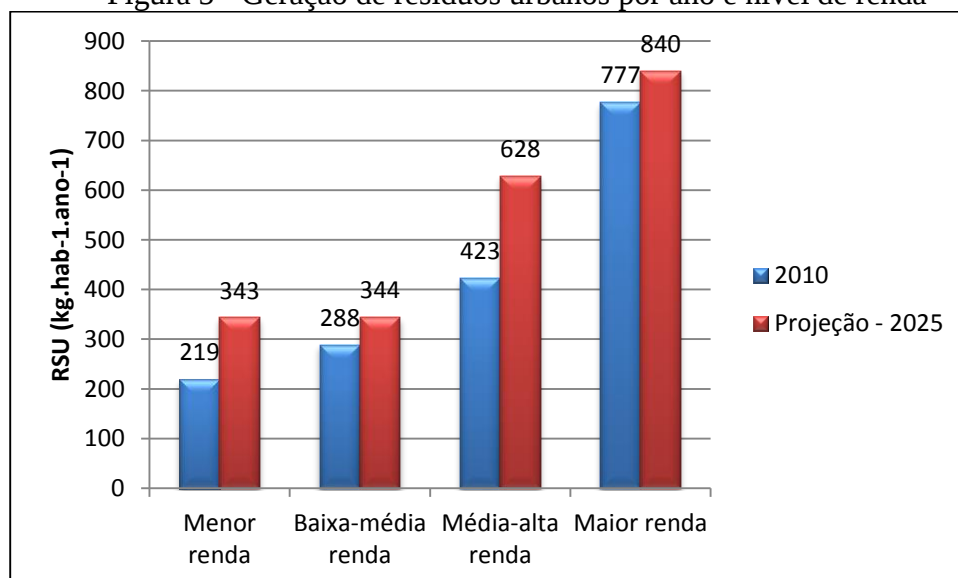


⁽¹⁾ A partir de 1996, a SLU passou a computar os resíduos sólidos produzidos pela construção civil como parte do total aterrado; por isso a forte divergência entre as duas curvas de “Total destinado” e “Total destinado s/RSCC” a partir desse ano.

Fonte: Silva, Barbieri e Monte-Mor (2012).

Maiores taxas de urbanização e nível de desenvolvimento estão relacionadas a produções mais elevadas de resíduos sólidos. Essa relação é de fácil compreensão ao passo que o aumento do rendimento e no nível de vida, eleva o consumo de bens e serviços (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). Pode-se observar na Figura 5, que países com menores rendas apresentam valores de produção *per capita* inferiores (219 – 343 kg.hab⁻¹.ano⁻¹), quando comparados aos de maior renda (777 – 840 kg.hab⁻¹.ano⁻¹).

Figura 5 - Geração de resíduos urbanos por ano e nível de renda



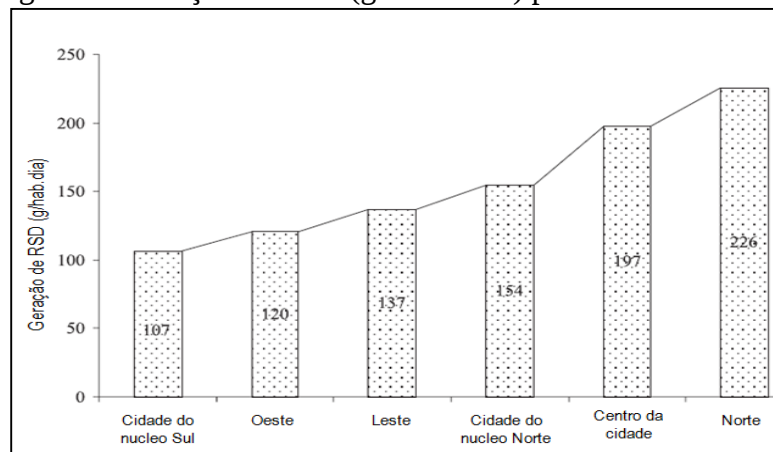
Fonte: Hoornweg e Bhada-Tata (2012).

Em estudo de caso realizado na cidade de Campina Grande (PB), nordeste do Brasil, foi possível verificar a relação entre a geração *per capita* de RSD e o poder aquisitivo da população. De acordo com o diagnóstico feito, a geração *per capita* de RSD, que variou de aproximadamente 400 a 1200 g.hab⁻¹.dia⁻¹, com média de 664,62 g.hab⁻¹.dia⁻¹, foi inferior em localidades cuja população possui menor poder aquisitivo (OLIVEIRA et al., 2004).

Segundo Abramovay, Speranza e Petitgand (2013) a geração de resíduos sólidos é avassaladoramente maior em países mais ricos quando comparados aos em desenvolvimento. Este fato é compreensível, pois a composição do lixo domiciliar em regiões com menor renda apresenta maior parcela de fração orgânica, menores quantidades de embalagens, bem como há um maior controle no desperdício dos alimentos. Uma pesquisa desenvolvida pelo Banco Mundial verificou que quanto maior a riqueza de um país, maior é a participação de papel, metais e de outros produtos não bióticos na composição do lixo, sendo a fração orgânica aproximadamente 28% do total dos resíduos (World Bank, 2012 apud ABRAMOVAY; SPERANZA; PETITGAND, 2013).

Dangi et al. (2008) realizaram um trabalho em Catmandu, capital do Nepal, cujo objetivo foi estimar, a nível familiar, a geração de RSD e caracterizá-los, bem como analisar as condições socioeconômicas, a geografia e a demografia com o nível de geração de resíduos. Os dados foram divididos nos seguintes setores: leste, centro da cidade, centro sul, centro norte, oeste e norte. Com base nos resultados obtidos, há uma relação positiva entre a taxa de geração de resíduos e o nível de renda em todos os setores da cidade. O setor norte, que possui maior renda, foi o que apresentou maior taxa de geração de RSD, e o centro sul, que tem a menor atividade econômica, teve menor valor da taxa de resíduos (Figura 6).

Figura 6 - Geração de RSD (g.hab⁻¹.dia⁻¹) por setores da cidade



Fonte: Dangi et al. (2008).

Liu e Wu (2011), em levantamento realizado na China, identificaram três componentes relacionadas à geração de RSU. O estudo foi realizado com base na série histórica de dados, fornecido pelo *State Statistical Bureau* da China, para os anos de 1985 a 2006.

Duas metodologias de análise múltipla foram selecionadas, a Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Cluster (AC). Através do ACP, os 12 fatores socioeconômicos investigados resultaram na identificação de três novos componentes: economia e desenvolvimento urbano; consumo de energia; e escala urbana. Os três componentes juntos foram responsáveis por 99,1% da variância inicial (LIU; WU, 2011),.

Os autores observaram que a economia e desenvolvimento urbano foram responsáveis por 90,7% da variância da variável dependente, desempenhando assim um papel importante na geração de RSU. Dentre os fatores da primeira componente, a proporção da população urbana e população urbana tiveram maiores carregamentos. A segunda componente também influencia na geração de RSD, respondendo por 6,6% da variação inicial, no entanto, em menor proporção quando comparada a componente 1. Nessa componente o consumo *per capita* anual de energia é o fator que está mais relacionado à produção de RSD. A última componente, a escala urbana, respondeu por 1,8% da variância inicial.

3.5.1 UTILIZAÇÃO DE MODELOS PARA ESTIMATIVA DE RSU

Outra vertente de estudos presente na literatura é voltada para o uso de modelos matemáticos que possam representar, baseada em fatores variados, a geração de RSU, em diferentes localidades.

Através de modelos matemáticos pode-se analisar a influência de fatores socioeconômicos na produção de RSU, compreender seus efeitos, prever estimativas de geração e desenvolver planos de gestão (ABDOLI; FALAHNEZHAD; BEHBOUDIAN, 2011)

Hockett, Lober e Pilgrim (1995) realizaram um trabalho na Carolina do Norte, Estados Unidos, no qual estudou a influência de variáveis econômicas, demográficas e estruturais na geração de RSU, em 100 condados do estado. As variáveis analisadas pelos autores foram: econômicas (vendas no varejo *per capita*, valor *per capita* adicionado por fabricação e custos de construção *per capita*); estrutural (custo por tonelada para eliminar os resíduos no aterro,

que é chamado de taxa de uso); demográficas (renda *per capita* e percentual da população urbana).

Alguns modelos de regressão foram formulados a fim de conhecer a significância das variáveis relacionadas à geração dos resíduos. O resultado obtido no estudo citado é apresentado na Equação 1.

$$\text{RSU} = 3,725 - 0,034 \cdot \text{Tx} + 0,323 \cdot \text{VV} + 0,059 \cdot \text{VA} + 0,227 \cdot \text{C} - 0,000 \cdot \text{R} + 0,007 \cdot \text{POP}_u \quad r^2 = 0,497 \quad (1)$$

Onde:

RSU: Resíduo Sólido Urbano ($\text{lbs.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$)

Tx: Taxa de uso ($\text{\$.ton}^{-1}$)

VV: Vendas no varejo ($\text{\$1000.hab}^{-1}$)

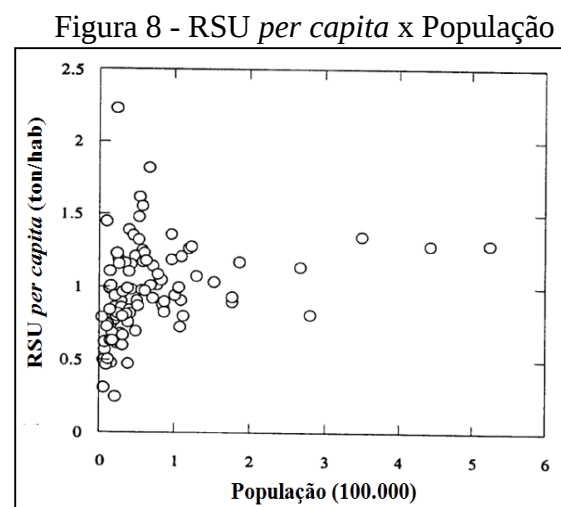
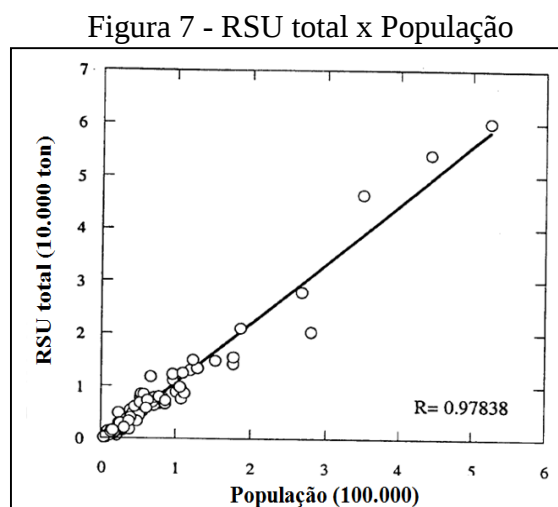
VA: Valor adicionado por fabricação ($\text{\$1000.hab}^{-1}$)

C: Custo de construção ($\text{\$1000.hab}^{-1}$)

R: Renda *per capita* ($\text{\$.hab}^{-1}$)

POP_u: Porcentagem da população urbana (%)

No mesmo trabalho, os autores identificaram forte correlação da população e a quantidade total de resíduos produzidos (Figura 07), no entanto, na análise em termos *per capita* tal relação não foi verificada (Figura 08).



Fonte: Hockett, Lober e Pilgrim (1995).

Estudo realizado por Beigl et al. (2004), em algumas cidades europeias, objetivou identificar os parâmetros que ajudam a explicar a geração de RSU, bem como estimar as quantidades futuras desses resíduos.

Os indicadores socioeconômicos analisados pelos autores foram: população, estrutura etária da população (0 a 14 anos / 15-59 anos / 60 e mais anos), densidade populacional, emprego (agricultura, indústria e serviços), taxa de mortalidade infantil, PIB, esperança de vida ao nascer, tamanho médio da família e taxa de desemprego.

Foi realizado um agrupamento dos dados com padrões sociais e econômicos similares, através da Análise Cluster, em níveis de prosperidade (BEIGL et al., 2004), como pode ser visto na Tabela 4. Com base no agrupamento, os autores perceberam que menores taxas de geração de RSU estão associadas a valores inferiores do PIB *per capita*, maiores taxas de mortalidade infantil e predominância do trabalho agrícola.

Tabela 4 - Geração de RSU e indicadores desenvolvimento

Indicadores de desenvolvimento	Nível de prosperidade			
	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Nacional e Geração de RSU				
PIB <i>per capita</i>	5841	11400	19418	21317
Taxa de mortalidade Infantil	15,0	8,7	7,6	5,5
Setor agrícola	24,0	18,7	4,8	3,2
Setor de Serviços	44,4	52,2	59,4	66,2
RSU (kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	287	367	415	495

Fonte: Beigl et al. (2004, p.3).

Para formulação do modelo, os dados de geração passaram pelo procedimento regressão *backward*, resultando nos modelos apresentados nas equações de 2 a 4, respectivamente, para os níveis de prosperidade: muito alta, alta, e alta e média (BEIGL et al., 2004). Os modelos 2, 3 e 4 explicaram 51%, 52% e 60% da variância da geração de RSU, respectivamente (BEIGL; LEBERSORGER; SALHOFER, 2008). O mesmo foi validado com uma amostra que inclui 59% dos casos e obteve erro percentual absoluto de 8% (BEIGL et al., 2004).

$$\boxed{RSU = 359,5 + 0,014*PIB - 197,1* \log (TM_{urb})} r^2 = 0,510 \quad (2)$$

$$\boxed{RSU = 276,5 + 0,016*PIB - 126,5* \log (TM_{urb})} r^2 = 0,520 \quad (3)$$

$$\boxed{RSU = - 360,7 - 375,6* \log (TM_{urb}) + 8,93*Pop_{15-59} - 123,9*TMF + 11,7*EVN} r^2 = 0,600 \quad (4)$$

Onde:

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos (kg.hab⁻¹.ano⁻¹)

PIB: Produto Interno Bruto *per capita*

TM_{urb}: Taxa de mortalidade infantil por 1.000 habitantes nascidos do país

Pop₁₅₋₅₉: Porcentagem da população com idade entre 15 a 59 anos

TMF: Tamanho médio da família

EVN: Expectativa de vida ao nascer

Com o objetivo de analisar o efeito de diferentes cenários de gestão sobre a massa de resíduos de comida urbana a serem depositados em aterros em todo o mundo, até o ano de 2025, Adhikari, Barrington e Martinez (2006), previram a quantidade de RSU do país através da relação estabelecida entre PIB e porcentagem da população que vivem em áreas urbanas. A massa de RSU foi estimada pela equação 5.

$$\boxed{RSU = 3,65 \times 10^{-9} (P_u) * (RSU_{pc}) * (P_t)} \quad r^2 = \text{não informado} \quad (5)$$

Onde:

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos (Gkg.ano⁻¹)

P_u: População urbana (%)

RSU_{pc}: Resíduos Sólidos Urbanos *per capita* (kg.hab⁻¹.dia⁻¹)

P_t: População total

A produção *per capita*, presente na equação 5, é calculada anteriormente pela equação 6 (ADHIKARI; BARRINGTON; MARTINEZ, 2006),:

$$\boxed{RSU_{pc} = 0,00006 * PIB + 0.5656} \quad r^2 = \text{não informado} \quad (6)$$

Onde:

RSU_{pc}: Resíduos Sólidos Urbanos *per capita* (kg.hab⁻¹.dia⁻¹)

PIB: Produto Interno Bruto (US\$)

Um trabalho semelhante foi desenvolvido na cidade de Curitiba (PR), Brasil, no qual se objetivou estudar diferentes cenários para o gerenciamento de RSU na cidade (MELO; SAUTTER; JANISSEK, 2009). Os autores utilizaram dados históricos de RSU e

correlacionaram, respectivamente com a população e PIB total da cidade, através de regressão múltipla linear. A estimativa do RSU futuro, foi obtida através da equação 7.

$$\boxed{\text{RSU} = 1,5657 * \text{PIB} - 3,6861 * \text{POP} + 5,5416} \quad r^2 = 0,84 \quad (7)$$

Onde:

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos (t/ano)

PIB: Produto Interno Bruto (R\$/ ano)

POP: População urbana (habitante)

No estudo desenvolvido por Afon e Okewole (2007) na cidade de Oyo, Nigéria, buscou-se quantificar a geração de resíduos sólidos e identificar a relação destes com alguns fatores socioeconômicos. Os autores identificaram as seguintes variáveis: renda familiar, tamanho da família, escolaridade, status social, profissão e época do ano.

Os dados coletados foram analisados por meio da estatística descritiva e inferencial. A primeira foi utilizada para estabelecer as quantidades de resíduos geradas, e a segunda, para determinar a relação entre a variável dependente e as independentes (AFON; OKEWOLE, 2007).

O modelo obtido pelos autores (Equação 8) apresentou coeficiente de determinação significativo ao nível de 0,001. A Tabela 5 mostra as estatísticas para o modelo. A massa de RSU é apresentada em kg.

$$\boxed{Y = -0,325 + 0,485x_1 + 1,175x_2 + 1,540x_3 + 1,560x_4 + 1,265x_5 + 1,205x_6} \quad r^2 = 0,888 \quad (8)$$

Onde:

x_1 : Renda familiar

x_2 : Tamanho da família

x_3 : Escolaridade

x_4 : Status social

x_5 : Profissão

x_6 : Época do ano

Tabela 5 - Coeficiente de regressão e quadrado do coeficiente de correlação semiparcial (sr^2) de fatores que explicam a quantidade de geração de resíduos em Oyo

Modelo	Coeficiente não padronizado		Coeficiente padronizado	T	Sig.	sr^2 (Cum)
	B	Erro padrão	Beta			
Constante	-0,325	0,337	-	-0,964	0,336	-
X ₁	0,485	0,147	0,029	3,298	0,001	0,001
X ₂	1,175	0,058	0,223	20,261	0,000	0,025 (0,026)
X ₃	1,540	0,071	0,268	21,806	0,000	0,029 (0,055)
X ₄	1,560	0,059	0,296	26,285	0,000	0,042 (0,097)
X ₅	1,265	0,069	0,226	18,424	0,000	0,020 (0,117)
X ₆	1,205	0,070	0,213	17,193	0,000	0,018 (0,135)

Fonte: Afon e Okewole (2010, p.377).

Bandara et al. (2007) desenvolveram estudo em *Moratuwa*, área suburbana do *Sri Lanka*, a fim de determinar a taxa de geração e composição dos RSU, e relaciona-los com fatores socioeconômicos. As variáveis independentes analisadas foram: valor da propriedade, o número total de pessoas por habitação, número de famílias em uma casa, número total de membros empregados em uma casa, e o número de veículos automóveis pertencentes a um agregado familiar.

Os autores realizaram uma análise de regressão em diferentes grupos baseado na renda, a saber: baixa renda (valor de avaliação de propriedades abaixo de 1.000 rúpias), baixa a média renda (valor de avaliação de propriedades entre 1.000 rúpias e 3.000 rúpias); média a alta renda (valor de avaliação de propriedades entre 3.000 rúpias e 6.000 rúpias); e alta renda (valor de avaliação de propriedades acima de 6.000 rúpias).

A Tabela 6 os resultados obtidos pelos autores.

Tabela 6 - Análise de regressão de geração *per capita* de RO ($\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$)

Variável	Coeficiente não padronizado B	Erro padrão	Coeficiente padronizado Beta	T	Sig.
Grupo de baixa renda					
Constante	0,597	0,082		7,236	0,000
Pessoas por domicílio	-4,672E-02	0,015	-0,377	-3,126	0,003
Grupo de baixa a média renda					
Constante	0,559	0,090		6,179	0,000
Pessoas por domicílio	-4,221E-02	0,017	-0,277	-2,476	0,016
Grupo de média a alta renda					
Constante	0,628	0,088		7,178	0,000
Pessoas por domicílio	-5,014E-02	0,016	-0,347	-3,047	0,003
Grupo de alta renda					
Constante	0,662	0,063		10,544	0,000
Pessoas por domicílio	-5,744E-02	0,013	-0,387	-4,518	0,000
Números de empregados	6,952E-04	0,000	0,183	2,135	0,035

Fonte: Bandara et al. (2007).

Com base nos resultados, os autores observaram que na análise de regressão de geração *per capita* de resíduos orgânicos (RO) a quantidade de pessoas por domicílio possui correlação negativa com geração de RO e foi estatisticamente significativa em todos os grupos de renda, para o grupo com alta renda, além dessa variável, o número de pessoas empregadas em uma casa também foi significativo (Tabela 6).

Ao analisar a quantidade total de RO (Tabela 7), os autores observaram que para o grupo de baixa renda, a quantidade de RO não apresentou nenhuma relação com as variáveis independentes. Nos grupos de baixa a média e média a alta renda, o número de pessoas empregadas em uma casa foi significativo (BANDARA et al., 2007). Já nos grupos de alta renda, os autores verificaram, que a quantidade de pessoas por domicílio foi mais significativo.

Tabela 7 - A análise de regressão de geração quantidade de RO (kg.dia⁻¹)

Variável	Coefficiente não padronizado B	Erro padrão	Coefficiente padronizado Beta	T	Sig.
Grupo de baixa a média renda					
Constante	1,228	0,234		5,244	0,000
Números de empregados	0,244	0,116	0,238	2,107	0,039
Grupo de média a alta renda					
Constante	1,611	0,128		12,619	0,000
Números de empregados	8,091E-03	0,004	0,264	2,254	0,027
Grupo de alta renda					
Constante	1,087	0,271		4,016	0,000
Pessoas por domicilio	0,137	0,054	0,227	2,508	0,014

Fonte: Bandara et al. (2007).

Os autores concluíram que o aumento da quantidade de pessoas reduz a produção *per capita* de resíduos, e que quanto mais pessoas empregadas em uma casa maior é a geração de resíduos, possivelmente relacionado ao aumento do consumo nos níveis com maior renda.

Um estudo realizado por Benítez et al. (2008) em Mexicali, capital do Estado da Baixa Califórnia, noroeste do México, buscou estabelecer modelos matemáticos que se correlacionam com a geração *per capita* de RSD para as seguintes variáveis: educação, renda familiar e número de moradores por domicílio.

A variável educação foi dividida nos seguintes níveis: primário, secundário, preparatório e profissional, sendo essa a ordem crescente do conhecimento adquirido, aos quais foram atribuídos valores de 1 a 4 para os diferentes níveis (BENITEZ et al., 2008). Os autores verificaram que a quantidade de RSD gerada foi maior nos níveis mais básicos de educação, assim como, nos domicílios onde há população no nível profissional.

Outra variável analisada no estudo supracitado foi a densidade populacional. Segundo os dados obtidos no estudo, a taxa de geração de RSD é superior nas residências com 2 e 3 de habitantes, reduzindo com o aumento do número de residentes. A terceira variável estudada foi a renda familiar. Neste estudo, os domicílios que possuem renda entre 400 e 725 pesos mexicanos (faixa intermediária da renda), geram mais RSD.

O trabalho apresentou 7 modelos distintos considerando duas, três ou quatro parcelas (BENITEZ et al., 2008). O modelo proposto pelos autores foi o modelo linear com três variáveis independentes: educação, número de habitantes e renda familiar (Equação 9).

$$Y_{\text{RSWPC}} = 1560,70 - 64,1X_{\text{EDU}} - 187,5X_{\text{HAB}} + 0,1X_{\text{INC}} \quad r^2 = 0,51 \quad (9)$$

Onde:

Y_{RSWPC} : Produção *per capita* de resíduos sólidos residenciais (RSW) por dia (Unidade: g.hab⁻¹.dia⁻¹)

X_{EDU} : Média de educação por família

X_{HAB} : Número de moradores por domicílio (densidade)

X_{INC} : Renda por família

Diante dos diversos métodos de abordagem no estudo dos resíduos sólidos, Beigl, Lebersorger e Salhofer (2008) realizaram uma revisão dos modelos de RSU publicados na literatura e constataram que diferentes técnicas de modelagem vem sendo aplicada. Dos 45 modelos analisados, foram observados os seguintes métodos: regressão (simples e múltipla), comparações entre grupos, análise de correlação, análise input-output, análise de séries temporais e sistemas dinâmicos (BEIGL; LEBERSORGER; SALHOFER, 2008).

Com base nos dados apresentados dos autores acima citados, observou-se que aproximadamente 34% dos modelos utilizaram o método de regressão. O segundo método mais utilizado foi o de comparação de grupos, com valor aproximado de 30%.

Na Tabela 8 é possível observar a variância explicada de alguns modelos, bem como o tamanho da amostra e quantidade de parâmetros identificados.

Tabela 8 - Modelos baseados em equações de regressão multivariada

Referência	Variável dependente (kg.hab ⁻¹ .ano ⁻¹ , se não indicado de outra forma)	Tamanho da amostra	Parâmetros identificados	Variância explicada (r ²)
	Resíduos	1071	14	0,50
	Resíduos de vidro	507	7	0,53
Bach et al. (2003)	Embalagens leves – coletados em pontos de entrega voluntária	71	3	0,400
	Embalagens leves – coleta seletiva	216	7	0,388
	Resíduos de metais	156	7	0,538
Bach et al. (2004)	Resíduos de papel	649	8	0,487
Beigl et al. (2004)	RSU	550 ^a	6	0,65
Grossman et al. (1974)	RSU (galões.semana ⁻¹)	103	3	0,36
Hockett et al. (1995)	RSU	100	2	0,497
	Resíduos ^b (Libras.hab ⁻¹ .mês ⁻¹)	600 ^c	27 ^d	0,921
Jenkins (1993)	Resíduos ^b (Libras.hab ⁻¹ .ano ⁻¹)	49 ^c	27 ^d	0,998
Salhofer e Graggaber (1999)	RSU	118	4	s.c

s.c – sem comentário; ^a Série temporal – 55 cidades; ^b Inclui resíduos do sector residencial e comercial; ^c Séries temporais a partir de 9 comunidades; ^d 13 regressores e 14 variáveis binárias regionais

Fonte: Beigl, Lebersorger e Salhofer (2008, p. 208).

Diferentemente dos trabalhos apresentados até o momento, um estudo realizado por Abdoli, Falahnezhad e Behboudian (2011) em *Mashhad*, no Irã, buscou identificar tanto a influência de fatores socioeconômicos quanto a relação de fatores climáticos na geração de RSU. Segundo os autores, o consumo de frutas pesadas e volumosas na cidade, a exemplo de melancia e melão, bem como de alguns legumes são superiores em estações quentes, devido a grande disponibilidade e baixo custo dos mesmos. Assim, afirmam os autores, a quantidade de RO aumenta nesse período.

Um modelo de regressão multivariada foi desenvolvido para prever a estimativa de RSU, a partir de um conjunto de dados de 120 meses, entre os anos de 2000 e 2009 (ABDOLI; FALAHNEZHAD; BEHBOUDIAN; 2011). As variáveis analisadas no estudo foram classificadas em três grupos: social (população, número de empregados e tamanho da família), econômico (renda familiar e PIB) e fatores climáticos (precipitação e temperatura).

Realizada a regressão, o modelo obtido pelos autores apresentou quatro variáveis independentes e foi capaz de explicar 70% da variância de RSU produzido. A Tabela 9 mostra os resultados do modelo.

Tabela 9 - Modelo logaritmo para estimativa de RSU (tonelada)

Variável	Coefficientes	Erro padrão	Estatística – t	Probabilidade
Log (nível de emprego)	0,160826	0,065823	2,443300	0,0161
Log (temperatura máxima)	0,103640	0,020814	4,979443	0,0000
Log (renda familiar)	0,482124	0,105928	4,551447	0,0000
Log (população)	0,552556	0,098560	5,606296	0,0000
Estatística de Durbin-Watson	1,931311	r ²	0,705994	
Soma dos quadrados residuais	0,758497	r ² ajustado	0,690190	
Erro padrão da regressão	0,082294	Critério de Akaike		- 2,107529
Critério de Schwarz	- 1,966647			

Fonte: Abdoli, Falahnezhad e Behboudian (2011, p.631).

No Brasil, Dias et al. (2012) apresentaram um modelo matemático para estimar a geração de resíduos sólidos residenciais urbanos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. O modelo foi desenvolvido a partir do cruzamento de microdados de pesquisas socioeconômicas conjunturais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e dados de coleta de RSU de microrregiões específicas município. Constituiu objeto do estudo apenas os resíduos gerados por edificações residenciais, comerciais, públicas e de prestação de serviços.

Depois de realizadas as regressões entre as variáveis renda *per capita* deflacionada, geração domiciliar *per capita* e geração domiciliar total, foi estabelecido que a produção domiciliar de resíduos sólidos em Belo Horizonte pode ser representada pela Equação 10.

$$Y = - 0,00000005 x^2 + 0,0006 x + 0,2848 \quad r^2 = 0,8525 \quad (10)$$

Onde:

Y: Produção *per capita* diária de resíduo sólido (kg.hab⁻¹.dia⁻¹);

x : Renda *per capita* mensal (R\$.hab⁻¹.mês⁻¹).

Outro trabalho em Belo Horizonte, foi realizado por Pinto, Pereira e Freitas (2012), que teve por objetivo identificar os fatores socioeconômicos e demográficos associados a geração de resíduos sólidos. O estudo analisou a influência dos seguintes fatores: características dos responsáveis pelos domicílios (sexo, raça/cor, idade, anos de estudo, renda), quantidade de moradores do domicílio e tipo de esgotamento sanitário. Outro fator analisado pelos autores foi o do IQVU (Índice de Qualidade de Vida Urbana) de 2000, que quantifica a oferta de equipamentos, bens e serviços dentro da cidade.

Os autores adotaram o método dos Modelos Lineares de Regressão Múltipla, no qual resultou em nove modelos (Tabela 10). O primeiro modelo inclui apenas IQVU como variável

independente, o segundo, o número de moradores na AP e o terceiro, ambas as variáveis independentes (PINTO; PEREIRA; FREITAS, 2012). Dos três, o modelo 3 foi o que apresentou maior r^2 (PINTO; PEREIRA; FREITAS, 2012). Os demais modelos (4 a 9) foram derivados deste último, acrescentando-se uma de cada vez as variáveis domiciliares: % das AP cujo responsável pelo domicílio é homem; % das AP cujo responsável pelo domicílio é branco; % das AP cujo responsável pelo domicílio tem 60 ou mais anos de idade; % das AP cujo responsável pelo domicílio tem mais de 8 anos de estudo; % das AP cujo responsável pelo domicílio possui renda superior a 5 salários mínimos; e % das AP cujo domicílio possui rede de esgoto geral, pluvial ou fossa séptica (PINTO; PEREIRA; FREITAS, 2012).

Os autores observaram que as variáveis domiciliares, incluídas a partir do modelo 3, não foram significativas. Assim, concluíram que o modelo 3 é o mais apropriado e que o IQVU e o número de moradores são as variáveis que mais impactam a geração de RS no município. Destacando a importância do IQVU, que segundo os autores, nenhum estudo tinha comprovado essa relação.

Outro trabalho na mesma temática foi realizado por Athayde Jr, Onofre e Beserra (2014). Os autores objetivaram elaborar um modelo matemático para estimativa da quantidade gerada de RSD, em edifícios residenciais multifamiliar e residenciais unifamiliares, ambos de nível socioeconômico médio a alto, no qual foi avaliada a influência do consumo de água e energia elétrica como variáveis de relação indireta, indicadoras da intensidade de utilização do domicílio.

Para formulação do modelo de estimativa de RSD, do estudo citado acima, foi empregado o método de regressão múltipla com nível de significância de 1%. Os autores obtiveram dois modelos distintos, um para apartamentos e outro para residências.

A Tabela 11 apresenta coeficientes de regressão e r^2 para os todos os grupos estudados. O consumo de água permaneceu nos sete casos possíveis; a população por sua vez, permaneceu em cinco dos sete possíveis casos, já o consumo de energia permaneceu em apenas um dos casos (ATHAYDE JR; ONOFRE; BESERRA, 2014). Para o conjunto de dados, a variável eletricidade foi excluída, pois ela possui significativa correlação com o consumo de água ou população, detectado pela técnica de regressão múltipla *stepwise* (ATHAYDE JR; ONOFRE; BESERRA, 2014). Os autores perceberam, que a correlação entre a geração de RSD e consumo de energia foi sempre inferior a respectiva entre a geração de RSD e consumo de água.

Tabela 10 - Modelos de Regressão para a Geração de Resíduos Sólidos (tonelada) na AP

Modelo 1-Resíduos Sólidos = IQVU				R²=0,37
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-8192,15	2914,18	0,007	
Índice IQVU	32100,53	5636,70	0,000	
Modelo 2- Resíduos Sólidos = Morador				R²=0,37
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	1689,21	1244,85	0,180	
Número de Moradores por AP	0,19	0,03	0,000	
Modelo 3-Resíduos Sólidos = IQVU+ Morador				R²=0,67
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-12598,51	2208,66	0,000	
Índice IQVU	29204,48	4119,00	0,000	
Número de Moradores por AP	0,17	0,02	0,000	
Modelo 4-Resíduos Sólidos = IQVU+ Morador+Sexo				R²=0,69
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-853,41	6695,17	0,899	
Número de Moradores por AP	0,17	0,02	0,000	
Índice IQVU	24645,48	4720,65	0,000	
Perc. das AP cujo Resp. Domicílio é Homem	-136,80	73,81	0,069	
Modelo 5-Resíduos Sólidos = IQVU+ Morador+Raça				R²=0,68
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-11598,04	2362,35	0,000	
Número de Moradores por AP	0,18	0,02	0,000	
Índice IQVU	22370,57	7151,70	0,003	
Perc. das AP cujo Resp. Domicílio é Branco	39,59	33,93	0,248	
Modelo 6-Resíduos Sólidos = IQVU+ Morador+Idade				R²=0,69
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-11494,13	2324,01	0,000	
Número de Moradores por AP	0,17	0,02	0,000	
Índice IQVU	22309,58	6362,41	0,001	
Perc. das AP cujo Resp. Domicílio tem 60 anos ou mais de Idade	121,90	86,29	0,164	
Modelo 7-Resíduos Sólidos = IQVU+ Morador+Estudo				R²=0,68
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-11045,35	2759,31	0,000	
Número de Moradores por AP	0,18	0,02	0,000	
Índice IQVU	23474,63	7354,74	0,002	
Perc. das AP cujo Resp. Domicílio tem 8 ou mais anos de Estudo	25,35	26,94	0,351	
Modelo 8-Resíduos Sólidos = IQVU+ Morador+Renda				R²=0,68
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-11658,25	2726,19	0,000	
Número de Moradores por AP	0,17	0,03	0,000	
Índice IQVU	25698,70	7201,08	0,001	
Perc. das AP cujo Resp. Domicílio tem Renda Sup. a 5 S.M.	16,37	27,49	0,554	
Modelo 9-Resíduos Sólidos = IQVU+ Morador+Esgoto				R²=0,67
	Coefficiente	Erro – padrão	Sig t	
(Constant)	-12346,46	5863,22	0,040	
Número de Moradores por AP	0,17	0,02	0,000	
Índice IQVU	29343,92	5127,02	0,000	
Perc. das AP cujos Domicílios tem esgotamento em r.g., pl.. ou f.s.	-3,43	73,85	0,963	

AP: Área de Ponderação

Fonte: Pinto, Pereira e Freitas (2012, p.38).

Tabela 11 - Coeficientes de regressão e respectivos coeficientes de determinação

Residência/edifício	População (habitante)	Consumo de água (m ³ /dia)	Consumo de energia (kWh/dia)	Termo constante	r ²
Edifício A	-	1,73	-	52,832	0,320
Edifício B	-	0,84	-	10,802	0,108
Edifício D	2,645	1,63	-	-228,235	0,344
Dados para os 3 edifícios	0,204	1,62	-	-6,527	0,935
Residência A	0,374	2,58	-	-0,045	0,652
Residência B	0,357	3,14	0,075	-0,845	0,659
Dados para as 2 residências	0,559	1,19	-	0,361	0,666

Fonte: Athayde Jr, Onofre e Beserra (2014, p.19).

Os modelos propostos pelos autores dividiram-se para aplicação em apartamentos e em residências, como podem ser vistos nas equações 11 e 12, respectivamente.

$$MRSW_A = 0,204POP + 1,62WC - 6,527 \quad r^2 = 0,935 \quad (11)$$

$$MRSW_H = 0,558POP + 1,19WC + 0,367 \quad r^2 = 0,666 \quad (12)$$

Onde:

$MRSW_A$: massa de RSD gerada em apartamentos residenciais (kg.dia⁻¹)

$MRSW_H$: massa de RSD gerada em residências unifamiliares (kg.dia⁻¹)

POP: população residente (habitante)

WC: consumo de água (m³.dia⁻¹)

Soares et al. (2015) buscaram formular modelos para geração *per capita* de RSU em municípios situados na mesorregião do sertão do estado da Paraíba com menos de 10.000 habitantes. O trabalho considerou duas possibilidades para o cálculo da taxa de geração de RSU: uma em relação à população urbana do município (TX1), em kg.hab⁻¹.dia⁻¹; e outra relativa à população total do município (TX2), na mesma unidade. Para modelagem da taxa de geração *per capita* os autores estudaram as seguintes variáveis independentes: PIB *per capita*, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), população total e urbana do município.

Os dados foram submetidos a uma análise de regressão múltipla, na qual foi possível formular um modelo para a taxa 2 (SOARES et al., 2015). O modelo apresentado pelos autores (Equação 13) apresentou a população urbana, o PIB *per capita* e o IDHM como variáveis independentes.

$$\boxed{TX2 = 0,00484PU + 0,1208PIB + 2,716IDHM - 1,983} \quad r^2 = 0,996 \quad (13)$$

Onde:

TX2: taxa de geração *per capita* de RSU em função da população total do município (kg.hab⁻¹.dia⁻¹)

PU: população urbana do município (mil habitantes)

PIB: produto interno bruto *per capita* do município (mil R\$)

IDHM: índice de desenvolvimento humano municipal

Para estimar a taxa de geração total no município, basta multiplicar a TX2 pela população total do mesmo, conforme apresentado na Equação 14.

$$\boxed{M = TX2 \times PT} \quad (14)$$

Onde:

M: massa de RSU (kg dia⁻¹)

TX2: taxa de geração *per capita* de RSU em função da população total do município (kg.hab⁻¹.dia⁻¹)

PT: população total do município (habitantes)

Com base nos trabalhos revisados nessa seção, as Tabelas 12 e 13, além dos fatores relacionados à geração da massa de RSU/RSD, apresentam a possível natureza da relação entre eles, a saber: direta ou indireta. A primeira, como próprio nome sugere, indica uma relação explícita, por exemplo, quanto maior a população de uma amostra, maior será a massa de resíduo. Já na segunda, a influência se dá pela representatividade do fator, por exemplo, o consumo de água revela a intensidade de uso da residência, não sendo ele diretamente responsável por gerar o resíduo de fato.

Tabela 12 - Fatores relacionados à geração de RSD

Fatores relacionados à geração de RSU e RSD (massa.tempo⁻¹)	Fonte	Contexto	Possível natureza da relação
Consumo de água	Leite (2006) apud Onofre (2011) ²	Domicílios urbanos	Indireta
	D'Ella (2000) apud Onofre (2011) ²	Domicílios urbanos	Indireta
	Athayde Jr, Onofre e Beserra (2014) ²	Casa e apartamentos	Indireta
Consumo de energia elétrica	Leite (2006) apud Onofre (2011) ²	Domicílios urbanos	Indireta
Área construída	Leite (2006) apud Onofre (2011) ²	Domicílios urbanos	Indireta
Renda	D'Ella (2000) apud Onofre (2011) ²	Municipal	Direta
	Afon e Okewole (2007) ²	Domicílios urbanos	Direta
	Daskalopoulos, Badr e Probert (1998) ¹	Nacional	Direta
	Afon e Okewole (2007) ¹	Nacional	Direta
	Melo, Sautter e Janissek (2009)	Municipal	Direta
Tamanho da família	Afon e Okewole (2007) ²	Domicílios urbanos	Direta
	Pinto, Pereira e Freitas (2012) ²	Municipal	Direta
	Bandara et al. (2007) ²	Domicílios urbanos	Direta
Escolaridade	Afon e Okewole. (2007) ²	Domicílios urbanos	Indireta
Status social	Afon e Okewole (2007) ²	Domicílios urbanos	Indireta
Profissão	Afon e Okewole (2007) ²	Domicílios urbanos	Indireta
Época do ano	Afon e Okewole (2007) ²	Domicílios urbanos	Indireta
População	Daskalopoulos, Badr e Probert (1998) ¹	Nacional	Direta
	SNIS (2016a) ¹	Municipal	Direta
	Silvia (2012) ¹	Municipal	Direta
	Abdoli et al. (2011) ¹	Nacional	Direta
	Athayde Jr, Onofre e Beserra (2014) ²	Casa e apartamentos	Direta
	Adhikari, Barrington e Martinez (2006)	Nacional	Direta
	Melo, Sautter e Janissek (2009)	Municipal	Direta
Índice de qualidade de vida urbana	Pinto, Pereira e Freitas (2012) ²	Municipal	Indireta
Número de pessoas empregadas em uma casa	Bandara et al. (2007) ²	Domicílios urbanos	Indireta
	Abdoli, Falahnezhad e Behboudian (2011) ¹	Nacional	Indireta
Temperatura	Abdoli, Falahnezhad e Behboudian (2011) ¹	Nacional	Indireta

¹Fator relacionado aos RSU; ²Fator relacionado aos RSD

Fonte: Autora (2016)

De acordo com os trabalhos presentes na literatura pode-se perceber que, apesar de apresentar semelhanças entre as pesquisas, os fatores que influenciam na geração de RSU,

bem como o quanto cada um deles exerce influência, variam de um estudo para outro. Tal fato pode ser explicado devido ao estudo de diferentes variáveis, e também por se tratar de localidades distintas, que por sua vez possuem características próprias (Tabelas 12 e 13)

Na Tabela 13 é apresentada a síntese de alguns fatores que interferem na geração *per capita* de RSU e RSD.

Tabela 13 - Fatores relacionados à geração *per capita* de resíduos

Fatores relacionados à geração de RSU e RSD (massa.hab ⁻¹ .tempo ⁻¹)	Fonte	Contexto	Possível natureza da relação
Escolaridade	Benítez et al. (2008) ²	Domicílios urbanos	Indireta
Densidade populacional	Benítez et al. (2008) ²	Domicílios urbanos	Direta
	Silva, Barbieri e Monte-Mor (2012) ¹	Municipal	Direta
	Beigl et al. (2004) ¹	Municipal	Direta
Renda	Benítez et al. (2008) ²	Domicílios urbanos	Direta
	Dias et al. (2012) ¹	Municipal	Direta
	Oliveira et al. (2004) ²	Domicílios urbanos	Direta
	Hoornweg e Bhada-Tata (2012) ¹	Nacional	Direta
	Dangi et al. (2008) ²	Domicílios urbanos	Direta
	Beigl et al. (2004) ¹	Municipal	Direta
	CETESB (2015)	Municipal	Direta
Idade	SNIS (2016) ¹	Municipal	Direta
	Silva, Barbieri e Monte-Mor (2012) ¹	Municipal	Indireta
Taxa de mortalidade	Beigl et al. (2004) ¹	Municipal	Indireta
Expectativa de vida ao nascer	Beigl et al. (2004) ¹	Municipal	Indireta
IDHM	Soares et al. (2015) ¹	Municipal	Indireta
População	Soares et al. (2015) ¹	Municipal	Direta

¹Fator relacionado aos RSU; ²Fator relacionado aos RSD

Fonte: Autora (2016)

3.6 Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

O SNIS, criado pelo Governo Federal, no âmbito do Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS, é uma relevante iniciativa do Ministério das Cidades, vinculada à Secretaria Nacional. O sistema é considerado o maior e mais importante no setor de saneamento do Brasil, sendo utilizado como referência para comparação e na medição de desempenho (SNIS, 2016a).

O banco de dados do SNIS contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, de balanço contábil e de qualidade sobre a prestação de serviços de água e esgotos, bem como aos serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos (SNIS, 2016a).

Alguns estudos já objetivaram sistematizar as informações primárias disponibilizadas pelo SNIS (BOUERI et al., 2009; FERNANDES NETO, 2003; MELO; MIRANDA; MENDONÇA, 2009; OLIVEIRA; BATISTA; ATHAYDE JR, 2015; UBIRAJARA, MENDONÇA; MELO, 2009).

Boueri et al. (2009) calcularam a eficiência relativa social do setor de saneamento brasileiro. O resultado, de caráter preliminar, indicou que a ineficiência global do sistema era em torno de 38,7%. Além disso, também existia uma forte heterogeneidade nos níveis de eficiência. Enquanto a maioria dos prestadores eficientes se localizava na região Sudeste, os menos eficientes estavam localizados na região Norte. Os resultados indicaram que caso todos os prestadores tivessem o mesmo nível de eficiência daqueles mais eficientes em termos relativos, a quantidade de serviços disponíveis à população poderia ser fortemente expandida.

Fernandes Neto (2003), fazendo uso do banco de dados do SNIS, referente ao ano 2000, avaliou diversas variáveis, denominadas independentes e representativas de parâmetros intervenientes no consumo *per capita* de água – variável dependente, para um universo amostral composto por 96 municípios do Estado de Minas Gerais.

Melo, Miranda e Mendonça (2009), utilizando a base de dados do SNIS, analisaram o comportamento do consumidor, por demanda pela prestação de serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário no Brasil para o período de 1995 a 2006, e de forma complementar analisaram suas elasticidades-preço e renda da demanda, assim como, as variações ocorridas para cada uma das variáveis determinísticas, em relação à variável dependente ou explicada, tratada no modelo adotado para este estudo. Segundo estes autores, os resultados obtidos em sua maioria foram considerados satisfatórios segundo teorias microeconômicas e econométricas.

Porém, mesmo economicamente, algumas variáveis do SNIS apresentaram características muito fortes para este estudo, carecendo de melhores análises e de uma melhor avaliação do impacto para o setor saneamento em particular. As variáveis que mais se destacaram com um alto coeficiente, foram: a extensão da rede de água, a quantidade de economias de água e quantidade de ligações ativas de esgotos, os sinais esperados

apresentaram-se de acordo, porém, com percentuais respectivamente altos na ordem de: 8%; 9% e 11%.

Scriptore e Toneto Jr. (2012) comentam que o,

banco de dados do SNIS é auto declaratório e, por isso, tende a apresentar uma série de imperfeições que podem gerar um problema de seleção amostral. Contudo, desde que sejam feitas as ressalvas necessárias e tomados os devidos cuidados na análise, o conjunto de informações pode ser utilizado para a obtenção dos resultados (SCRIPTORE; TONETO JR., 2012, p. 1482).

Oliveira, Batista e Athayde Júnior (2015) analisaram a evolução temporal de alguns indicadores de esgotamento sanitário frente às metas do Plansab, utilizando a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Estes autores relataram que está havendo uma melhoria nos serviços de esgotamento sanitário a nível nacional, retratada pela tendência crescente nos valores dos índices analisados. Como consequência, a meta prevista pelo Plansab para tratamento de esgotos coletados deverá ser alcançada. Por outro lado, o índice de coleta de esgoto vem aumentando numa taxa que não será suficiente para atendimento da meta correspondente. Esta condição demonstra que, apesar dos crescentes investimentos em esgotamento sanitários realizados entre 1998 e 2013, os mesmos não devem ser suficientes para atendimento da meta de coleta de esgotos sanitários em áreas urbanas no Brasil, necessitando de uma atenção especial por parte dos gestores dos serviços de saneamento no país.

Ubirajara, Mendonça e Melo (2009) utilizaram Análise Fatorial dos Componentes Principais tendo como principais objetivos a redução dos dados, a verificação da consistência interna dos indicadores do SNIS e a sua correlação com variáveis exógenas afetas ao saneamento básico. A respeito do SNIS, os autores afirmam que:

são [...] centenas de informações primárias e dezenas de indicadores calculados para formar a base de dados de informações. Com tantas informações, o desafio que se coloca é como utilizá-las na produção de um diagnóstico global que exiba os diferenciais que sabemos existir quanto à qualidade e abrangência dos serviços prestados pelo setor do saneamento, mas que também revele que outras dimensões latentes estariam associadas às dificuldades para a melhoria da qualidade e para a universalização dos serviços de saneamento no país (UBIRAJARA; MENDONÇA; MELO, 2009, p. 1).

Para a componente resíduos sólidos, existe atualmente (2016) uma série histórica de 13 anos (2002 - 2014). As informações, coletadas anualmente, são fornecidas pelos próprios prestadores de serviços.

A metodologia adotada pelo SNIS foi evoluindo ao longo dos anos, no entanto, essa sequência pode ser observada: processo de coleta, tratamento, organização, armazenamento, recuperação e divulgação dos dados. Até o diagnóstico referente ao ano de 2010, os dados eram coletados e tratados em um software específico desenvolvido para esta finalidade, elaborado a partir do aplicativo Microsoft Access®. No diagnóstico seguinte, referente ao ano de 2011, a coleta dos dados vem sendo realizada através do sistema denominado *SNISWeb*, disponível apenas via internet. Ambos os programas possuem um sistema de análise de consistência das informações, informando ao prestador as possíveis inconsistências.

Após o recebimento dos dados, estes são submetidos a uma análise manual e automática, na qual, ao serem verificadas inconsistências, os municípios são questionados. Quando corrigidos, os dados são substituídos no banco de dados, em caso de confirmação do valor original ou não manifestação dos municípios, os dados são mantidos (SNIS, 2016a).

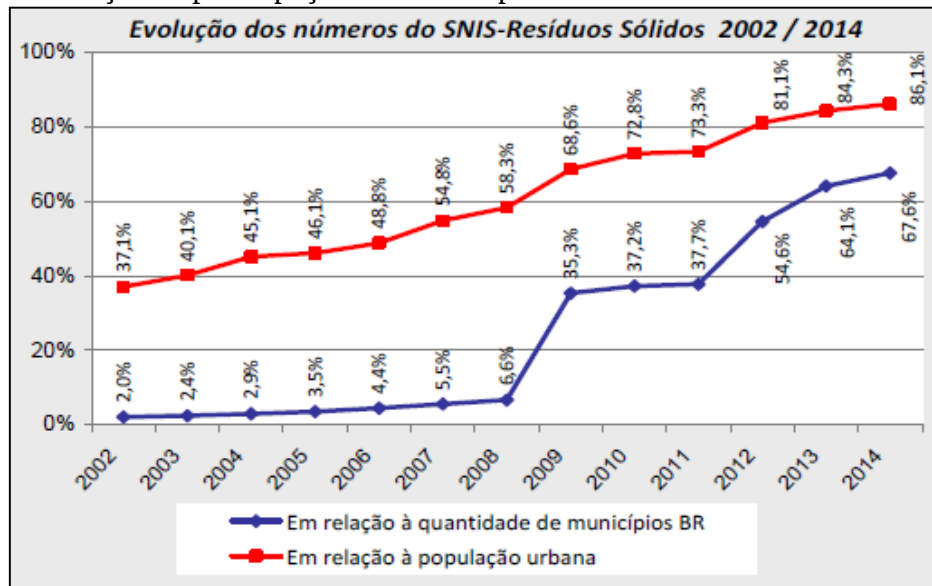
Outra medida adotada pelos SNIS, face a permanência de algumas inconsistências, é a imposição de condições restritivas no cálculo dos indicadores, evitando assim a distorção no padrão do indicador, devido a valores atípicos (SNIS, 2016b). A metodologia de expurgo de valores de indicadores ocorre através de procedimentos estatístico com o estabelecimento de um intervalo de confiança (“média $\pm$ 2,54 x desvio padrão”) (SNIS, 2016b).

Em seguida, uma versão preliminar do Diagnóstico completo é enviada para todos os prestadores de serviços que forneceram informações, para críticas, análises, sugestões e revisões. Quando julgadas pertinentes, as alterações são efetivadas e inseridas no banco de dados e utilizadas na versão final.

A partir do diagnóstico referente ao ano 2009, o SNIS passou a convidar todos os municípios brasileiros a participar da amostra (SNIS, 2016b).

A Figura 9 mostra a evolução da participação dos municípios brasileiros nos diagnósticos de resíduos sólidos. Nota-se que houve um incremento dos pequenos e médios municípios, visto que ocorreu um maior crescimento na quantidade de municípios, quando comparada com o aumento da população urbana.

Figura 9 - Evolução da participação dos municípios brasileiros no SNIS – Resíduos sólidos



Fonte: SNIS (2016a).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delimitação do estudo

De acordo com a sequência metodológica proposta por Appolinário (2006), a presente pesquisa possui natureza quantitativa, ao passo que prever a mensuração de variáveis predeterminadas, estudando a influência sobre outras variáveis. Em relação à finalidade, trata-se de uma pesquisa aplicada, na qual, segundo Moresi (2003), objetiva aplicar os conhecimentos adquiridos na solução de problemas específicos. Quanto ao tipo, a pesquisa é classificada como descritiva, visto que, como próprio nome sugere, descreve as características de uma população ou fenômeno ou, estabelece relações entre variáveis (GIL, 2002). A pesquisa possui delineamento correlacional, buscando descrever as variáveis envolvidas no fenômeno, bem como conhecer a correlação entre elas (APPOLINARIO, 2006).

A pesquisa foi desenvolvida em âmbito nacional. Foram utilizados dados de todos os municípios brasileiros presentes nos Diagnósticos do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2010 a 2013, publicado anualmente pelo SNIS. Apenas para os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro, utilizou-se dados de 2002 a 2013.

Optou-se por usar os dados a partir de 2010, pois neste ano houve uma reformulação na metodologia de cálculo do PIB, uma das variáveis de entrada dos modelos. Outro fator considerado foi que em 2010 o convite para participação da amostra do SNIS já era enviado a todos os municípios brasileiros, abrangendo assim maior diversidade de municípios.

4.2 Descrição das variáveis

As variáveis utilizadas no trabalho foram divididas em dependentes e independentes. As primeiras são o objeto de estudo da pesquisa, representadas pela massa de RSU, taxa 1 de RSU e taxa 2 de RSU. O segundo grupo tenta explicar as mudanças produzidas na variável dependente (SILVA, 2010), que para o trabalho foram: população total, população urbana, PIB total e PIB *per capita*.

4.2.1 MASSA DE RSU COLETADA

Essa variável foi obtida no SNIS. Segundo a definição apresentada pelo mesmo, ela

representa o valor anual da soma das quantidades totais de resíduos domiciliares (RDO) e resíduos públicos (RPU) coletados por todos os agentes mencionados, públicos, privados e outros agentes, exceto cooperativas de catadores (SNIS, 2016c). A unidade adotada é tonelada.ano⁻¹.

A codificação para essa variável no SNIS é Co119. Apenas no ano de 2002 a massa de RSU foi obtida através da soma dos parâmetros Co15, Co16 e Co17 do SNIS, definidos como o total anual de resíduos sólidos domiciliares ou domiciliares misturados com resíduos públicos coletados, respectivamente, por agente público, privado e outros agentes (SNIS, 2004).

4.2.2 TAXA 1 DE GERAÇÃO DE RSU (TX₁)

A taxa 1 representa a massa *per capita* de RDO e RPU coletada em relação a população urbana. A definição para esta taxa é apresentada na Equação 15. A unidade adotada é: kg.hab⁻¹.dia⁻¹.

$$Tx1 = \frac{\text{Quantidade total coletada}}{\text{População urbana}} \quad (15)$$

Essa variável foi obtida a partir da massa de RSU. No entanto, o SNIS possui um indicador semelhante, o IO21. Nos anos de 2002 a 2004 o parâmetro é indicado por I21.

4.2.3 TAXA 2 DE GERAÇÃO DE RSU (TX₂)

A taxa 2 representa a massa *per capita* de RDO e RPU coletada em relação a população total. A Equação 16 apresenta a definição para a taxa. A unidade adotada é em kg.hab⁻¹.dia⁻¹.

$$Tx2 = \frac{\text{Quantidade total coletada}}{\text{População total}} \quad (16)$$

Objetiva-se com essa abordagem contornar as dificuldades relativas ao real valor da população urbana, uma vez que o valor da população total está sujeito a menos imprecisão que o da população urbana. Soares et al. (2015) adotaram essa mesma abordagem e obtiveram melhores resultados para taxa de geração *per capita* baseada na população total do município.

Apesar da taxa de geração *per capita* calculada em função da população total do município não representar um valor real, tal taxa pode ser utilizada para fins de estimativa futura de resíduos gerados no município, desde que se utilize no tempo futuro também a população total.

4.2.4 POPULAÇÃO URBANA SNIS

É a população urbana de um município. Os dados para essa variável foram obtidos do SNIS. Este realiza a estimativa através da multiplicação da taxa de urbanização do último Censo ou Contagem de População do IBGE, pela população total estimada pelo IBGE em determinado ano (SNIS, 2016a). Unidade: habitante

4.2.5 POPULAÇÃO TOTAL

A população total é resultante da soma das populações urbana e rural de um determinado município. Essa variável foi obtida do SNIS, o qual retirou das projeções populacionais realizadas pelo IBGE. Unidade: habitante.

4.2.6 PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB)

Segundo o IBGE (2015a, p.54), o PIB é constituído pelo “total dos bens e serviços produzidos pelas unidades produtoras [...] sendo, portanto, equivalente à soma dos valores adicionados pelas diversas atividades econômicas acrescida dos impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos”.

A partir do ano de 2010 esse parâmetro foi reformulado, modificando e atualizando a composição interna e os valores nominais do PIB do Brasil, bem como das Unidades da Federação (IBGE, 2015a).

Considerando a inflação ao longo dos anos, todos os dados de PIB foram corrigidos monetariamente para o ano de 2013, último ano com dados disponíveis. Para tal foi utilizado o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que mede a inflação de produtos e serviços comercializados no varejo (IBGE, 2016). A Tabela 14 mostra o valor do IPCA geral por ano.

Tabela 14 - IPCA geral por ano

Ano	Inflação – IPCA (%)
2002	12,53
2003	9,3
2004	7,6
2005	5,69
2006	3,14
2007	4,46
2008	5,9
2009	4,31
2010	5,91
2011	6,5
2012	5,84

Fonte: Ipeadata (2016).

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) é responsável pela atualização dos valores para um mesmo referencial monetário. Os valores do PIB são expressos em mil reais.

4.2.7 PIB *PER CAPITA*

É definido pela razão entre o PIB e a população total de um município. O mesmo procedimento de atualização dos valores para um mesmo referencial monetário foi realizado para o PIB *per capita*. Os valores são expressos em mil reais.hab⁻¹.ano⁻¹.

4.3 Classificação da amostra

Em função da grande heterogeneidade nas características dos municípios brasileiros a amostra foi dividida em diferentes classes. A totalidade da amostra foi agrupada de quatro formas distintas, a saber:

- Situação 1: por classes de população
- Situação 2: por classes de população e subclasses de PIB *per capita*
- Situação 3: por classes de PIB *per capita*
- Situação 4: por classes de PIB *per capita* e subclasses de população

As classes de população definidas foram as mesmas utilizadas pelo SNIS nas análises presentes nos diagnósticos. Em relação ao porte dos municípios, a amostra foi dividida

conforme a Tabela 15.

Tabela 15 - Agrupamento da amostra por classes de população (situação 1)

Classes	Definição
1	Municípios com população até 30.000 habitantes
2	Municípios com população entre 30.001 e 100.000 habitantes
3	Municípios com população entre 100.001 e 250.000 habitantes
4	Municípios com população entre 250.001 e 1.000.000 habitantes
5	Municípios com população entre 1.000.001 e 3.000.000 habitantes
6	Municípios com população a partir de 3.000.001 habitantes

Fonte: Autora (2016).

Para os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro, que compõem a classe 6, considerou-se a utilização de todos os anos (2002 a 2013), uma vez que o conjunto de dados de 2010 a 2013 para tais municípios é pequeno, não tendo apresentado modelos estatisticamente significativos quando utilizado apenas o período mencionado.

Na tentativa de encontrar modelos para as faixas de municípios que não apresentaram resultados desejados, bem como obter modelos mais confiáveis para as outras classes, isto é, como menor erro % e maior r_a^2 , foram criadas subclasses de PIB *per capita* em cada classe de população. Ao considerar tanto o porte municipal quanto a renda *per capita* do mesmo, a amostra foi dividida nas mesmas classes do porte municipal, acrescidas de três subclasses relacionadas à renda. Estas foram definidas de modo que apresentassem quantidades próximas de dados em cada uma delas. Tal classificação pode ser observada na Tabela 16.

Tabela 16 - Agrupamento da amostra por classe de população e subclasses de PIB *per capita* (situação 2)

Classes	Definição	Subclasse de PIB <i>per capita</i>
1	Municípios com população até 30.000 habitantes	1.1 - PIB <i>per capita</i> anual até 15 mil reais
		1.2 - PIB <i>per capita</i> anual de 15 a 22 mil reais
		1.3 - PIB <i>per capita</i> anual maior que 22 mil reais
2	Municípios com população entre 30.001 e 100.000 habitantes	2.1 - PIB <i>per capita</i> anual até 20 mil reais
		2.2 - PIB <i>per capita</i> anual de 20 a 29 mil reais
		2.3 - PIB <i>per capita</i> anual maior que 29 mil reais
3	Municípios com população entre 100.001 e 250.000 habitantes	3.1 - PIB <i>per capita</i> anual até 21 mil reais
		3.2 - PIB <i>per capita</i> anual de 21 a 33 mil reais
		3.3 - PIB <i>per capita</i> anual maior que 33 mil reais
4	Municípios com população entre 250.001 e 1.000.000 habitantes	4.1 - PIB <i>per capita</i> até 21 mil reais
		4.2 - PIB <i>per capita</i> de 21 a 35 mil reais
		4.3 - PIB <i>per capita</i> maior que 35 mil reais

Fonte: Autora (2016).

Contudo, por apresentar menor quantidade de dados, ou seja, valores de um determinado município/ano, as classes 5 e 6 não foram divididas em subclasses de PIB *per capita*.

Considerando apenas a renda *per capita* dos municípios, a amostra foi dividida em seis classes (7 a 12) com quantidades de dados aproximadamente semelhantes. A definição de cada classe pode ser vista na Tabela 17.

Tabela 17 - Agrupamento da amostra por classe de PIB *per capita* (situação 3)

Classes	Definição
7	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual até 13 mil reais
8	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 13 a 17 mil reais
9	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 17 a 21 mil reais
10	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 21 a 27 mil reais
11	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 27 a 37 mil reais
12	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual maior que 37 mil reais

Fonte: Autora (2016).

Na Tabela 18 são apresentadas as definições do agrupamento da amostra considerando o PIB *per capita* e a população.

Tabela 18 - Agrupamento da amostra por classe de PIB *per capita* e subclasses de população (situação 4)

Classes	Definição	Subclasse de PIB <i>per capita</i>
7	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual até 13 mil reais	7.1 - População até 8.000 habitantes
		7.2 - População de 8.000 a 24.000 habitantes
		7.3 - População maior que 24.000 habitantes
8	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 13 a 17 mil reais	8.1 - População até 10.000 habitantes
		8.2 - População de 10.000 a 35.000 habitantes
		8.3 - População maior que 35.000 habitantes
9	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 17 a 21 mil reais	9.1 - População até 11.000 habitantes
		9.2 - População de 11.000 a 42.000 habitantes
		9.3 - População maior que 42.000 habitantes
10	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 21 a 27 mil reais	10.1 - População até 15.000 habitantes
		10.2 - População de 15.000 a 57.000 habitantes
		10.3 - População maior que 57.000 habitantes
11	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual de 27 a 37 mil reais	11.1 - População até 28.000 habitantes
		11.2 - População de 25.000 a 120.000 habitantes
		11.3 - População maior que 120.000 habitantes
12	Municípios com PIB <i>per capita</i> anual maior que 37 mil reais	12.1 - População até 37.000 habitantes
		12.2 - População de 37.000 a 160.000 habitantes
		12.3 - População maior que 160.000 habitantes

Fonte: Autora (2016).

Assim como se procedeu com as classes de população, as com base no PIB *per capita* também foram divididas em subclasses, dessa vez, de população. As subclasses de população foram definidas de modo que a quantidade de dados em cada uma delas fosse próxima.

4.4 Análise dos dados

4.4.1 CRITÉRIOS RESTRITIVOS

Apesar das análises de inconsistência dos dados, realizadas pelo SNIS, foram utilizados no trabalho apenas os dados dos municípios que afirmaram fazer uso de balança na pesagem dos RSU, fornecida pela informação CO021 do SNIS.

Outra medida adotada com a finalidade de obter maior precisão dos dados foi a exclusão dos municípios que apresentaram taxa 1 de geração de RSU fora do intervalo de confiança proposto pelo SNIS. Os valores extremos aos intervalos apresentados na Tabela 19 não foram considerados.

Tabela 19 - Valores extremos para a taxa 1 de RSU

Ano	Intervalo Taxa 1 (kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)
2010	0,10 a 2,72
2011	0,10 a 2,53
2012	0,10 a 2,55
2013	0,10 a 2,69

Fonte: SNIS (2012, 2013, 2014, 2015).

4.4.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Nos procedimentos relacionados às análises estatísticas foi utilizado o software *Statistica*. Iniciou-se elaborando gráficos de dispersão entre as variáveis dependentes (massa, taxa 1 e taxa 2 de RSU) e as independentes (população total e urbana, PIB total e PIB *per capita*), a fim de conhecer a relação entre elas.

Objetivando conhecer as características em cada classificação foi realizada uma análise descritiva de todas as variáveis do trabalho.

Os dados foram submetidos a uma regressão linear multivariada, na qual para cada variável dependente analisada, gerou-se uma reta de regressão capaz de explicar, de forma geral, a relação daquela variável com as variáveis independentes. A regressão foi realizada para a totalidade dos dados, bem como por cada classe definida.

Segundo Kasznar e Gonçalves (2016) análise de regressão múltipla é uma técnica estatística que prevê valores de uma ou mais variáveis dependentes, a partir de um conjunto de variáveis independentes.

A forma geral do modelo de regressão múltipla é apresentada na Equação 17.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (17)$$

Onde:

Y : variável dependente

a : constante

b_k : coeficientes atrelados as variáveis independentes

X_k : variáveis independentes

4.5 Modelos

Formulou-se modelos para cada uma das variáveis dependentes: massa de RSU, taxa 1 RSU e taxa 2 de RSU. Para cada tipo de modelo foram analisadas as influências de diferentes variáveis independentes (Tabela 20).

Para a massa de RSU não foi analisada a influência do PIB *per capita*, pois essa variável poderia distorcer o resultado desejado, visto que municípios com grandes populações, normalmente apresentarão quantidade de massa de RSU superior, comparado a municípios de menor porte, independente do nível de desenvolvimento daquele. O mesmo não ocorre quando anulamos o porte do município na análise. Logo, para as taxas de RSU (1 e 2) é possível estudar a influência dessa variável independente.

Tabela 20 - Variáveis dos modelos

Variável dependente	Variáveis independentes
Massa de RSU	PIB total, População total e População urbana
Taxa 1 de RSU	PIB <i>per capita</i> , População total e População urbana
Taxa 2 de RSU	PIB <i>per capita</i> , População total e População urbana

Fonte: Autora (2016).

Em relação aos modelos que representam a geração da Taxa de RSU (1 e 2), não se estudou a relação com PIB total, pois também é uma variável vinculada ao porte do município.

As variáveis com as respectivas simbologias, bem como unidades são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Simbologia e unidades das variáveis

Variável	Simbologia	Unidade
População total	P_t	Habitantes
População urbana	P_u	Habitantes
Massa de RSU	M	Tonelada. ano ⁻¹
Taxa 1 de RSU	T_{x1}	kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹
Taxa 2 de RSU	T_{x2}	kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹
Produto Interno Bruto	PIB	Mil reais.ano ⁻¹
Produto Interno Bruto <i>per capita</i>	PIB _{PC}	Mil reais.hab ⁻¹ .ano ⁻¹

Fonte: Autora (2016).

4.5.1 FORMULAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos foram formulados através do software *Statistica*. Foi utilizada a análise de regressão múltipla segundo o método *Stepwise*. Esta é uma técnica de construção de modelo que busca encontrar o conjunto de variáveis mais adequadas para prever respostas em uma variável dependente (STATSOFT, 2007).

Dentre as modalidades de *Stepwise*, utilizou-se a popular modalidade *Forward stepwise* que avalia a adição ou exclusão das variáveis independentes no modelo, a cada passo, baseado no valor da estatística F de Fisher, até obter o melhor modelo (STATSOFT, 2007). O valor de F utilizado para incluir foi 1, e 0 para excluir.

4.5.2 VALIDAÇÃO DOS MODELOS

A fim de verificar a capacidade dos modelos de prever valores para variável dependente, a partir de dados não utilizados nas estimativas dos coeficientes da regressão, foi separado aproximadamente 25% do total de dados, em cada classificação, para validação dos modelos.

A retirada dos dados para validação realizou-se de forma que não houvesse tendência entre eles. Foram selecionados 12,5% do início e 12,5% do final de uma lista dos municípios em ordem alfabética, incluindo, portanto os diversos anos da série de dados, não existindo nenhuma relação entre ordem alfabética e geração de RSU.

O erro percentual relativo, ou seja, a diferença entre o valor real e o calculado pelo modelo foi limitado a no máximo 30%. Logo, do total de modelos formulados foram selecionados apenas aqueles que apresentaram erro percentual inferior ao estabelecido.

O erro percentual relativo é calculado pela Equação 18.

$$Er \% = \left| \frac{Valor\ real - Valor\ calculado}{Valor\ real} \right| * 100 \quad (18)$$

A Tabela 22 mostra a quantidade de dados presentes em cada classificação, bem como o número de dados usados na formulação e validação do modelo.

Tabela 22 - Quantidade de dados em cada classificação, modelo e validação

Situa- ção	Clas- ses	Subclasses	Dados ¹ - classificação	Dados ¹ - modelo	Dados ¹ - validação
1	1	-	1578	1182	396
	2	-	696	521	175
	3	-	439	330	109
	4	-	292	218	74
	5	-	55	41	14
	6	-	23	17	6
2	1.1 - PIB <i>per capita</i> anual até 15 mil reais		553	414	139
	1	1.2 - PIB <i>per capita</i> anual de 15 a 22 mil reais	513	385	128
		1.3 - PIB <i>per capita</i> anual maior que 22 mil reais	515	387	128
	2.1 - PIB <i>per capita</i> anual até 20 mil reais		243	182	61
	2	2.2 - PIB <i>per capita</i> anual de 20 a 29 mil reais	222	166	56
		2.3 - PIB <i>per capita</i> anual maior que 29 mil reais	231	173	58
	3.1 - PIB <i>per capita</i> anual até 21 mil reais		145	109	36
	3	3.2 - PIB <i>per capita</i> anual de 21 a 33 mil reais	145	109	36
		3.3 - PIB <i>per capita</i> anual maior que 33 mil reais	149	112	37
	4.1 - PIB <i>per capita</i> até 21 mil reais		99	74	25
	4	4.2 - PIB <i>per capita</i> de 21 a 35 mil reais	95	71	24
		4.3 - PIB <i>per capita</i> maior que 35 mil reais	99	74	25
3	7	-	557	418	139
	8	-	481	361	120
	9	-	494	371	123
	10	-	545	408	137
	11	-	521	391	130
	12	-	472	353	119
4	7.1 - População até 8.000 habitantes		192	144	48
	7	7.2 - População de 8.000 a 24.000 habitantes	184	138	46
		7.3 - População maior que 24.000 habitantes	181	136	45
	8.1 - População até 10.000 habitantes		163	122	41
	8	8.2 - População de 10.000 a 35.000 habitantes	157	118	39
		8.3 - População maior que 35.000 habitantes	161	121	40
	9.1 - População até 11.000 habitantes		169	127	42
	9	9.2 - População de 11.000 a 42.000 habitantes	164	123	41
		9.3 - População maior que 42.000 habitantes	161	121	40
	10.1 - População até 15.000 habitantes		185	138	47
	10	10.2 - População de 15.000 a 57.000 habitantes	183	137	46
		10.3 - População maior que 57.000 habitantes	177	133	44
	11.1 - População até 28.000 habitantes		176	132	44
	11	11.2 - População de 25.000 a 120.000 habitantes	176	132	44
		11.3 - População maior que 120.000 habitantes	169	127	42
	12.1 - População até 37.000 habitantes		156	116	40
	12	12.2 - População de 37.000 a 160.000 habitantes	157	118	39
		12.3 - População maior que 160.000 habitantes	159	119	40

¹ Quantidade de informações município - ano

Fonte: Autora (2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizadas as exclusões definidas na metodologia, a população urbana e total dos municípios que compõe a totalidade da amostra da pesquisa variou de 92.559.349 a 110.377.760 habitantes e de 95.840.695 a 116.107.886 habitantes, respectivamente. Esses valores representam uma média de 61,60% da população urbana brasileira e 54,24 % da população total do Brasil. Na Tabela 23 pode-se observar o aumento gradual da representatividade da amostra em relação à população brasileira no decorrer dos anos.

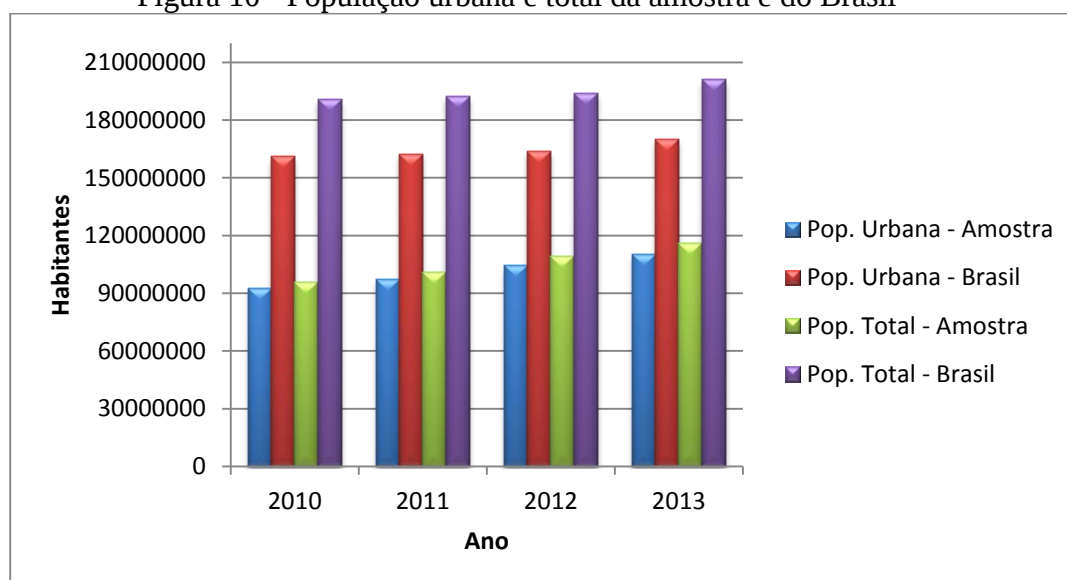
Tabela 23 - Representatividade da amostra

Ano	População urbana (%)	População total (%)
2010	57,52	50,24
2011	59,85	52,51
2012	63,81	56,25
2013	65,01	57,75
Todos os anos	61,60	54,24

Fonte: Autora (2016).

A Figura 10 apresenta a população urbana e total da amostra em relação às do Brasil, ao longo dos anos.

Figura 10 - População urbana e total da amostra e do Brasil



Fonte: Autora (2016).

Para os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro, nos quais foram utilizados dados de 2002 a 2013, a amostra abrangeu, respectivamente, 95,66% e 94,84% do conjunto da

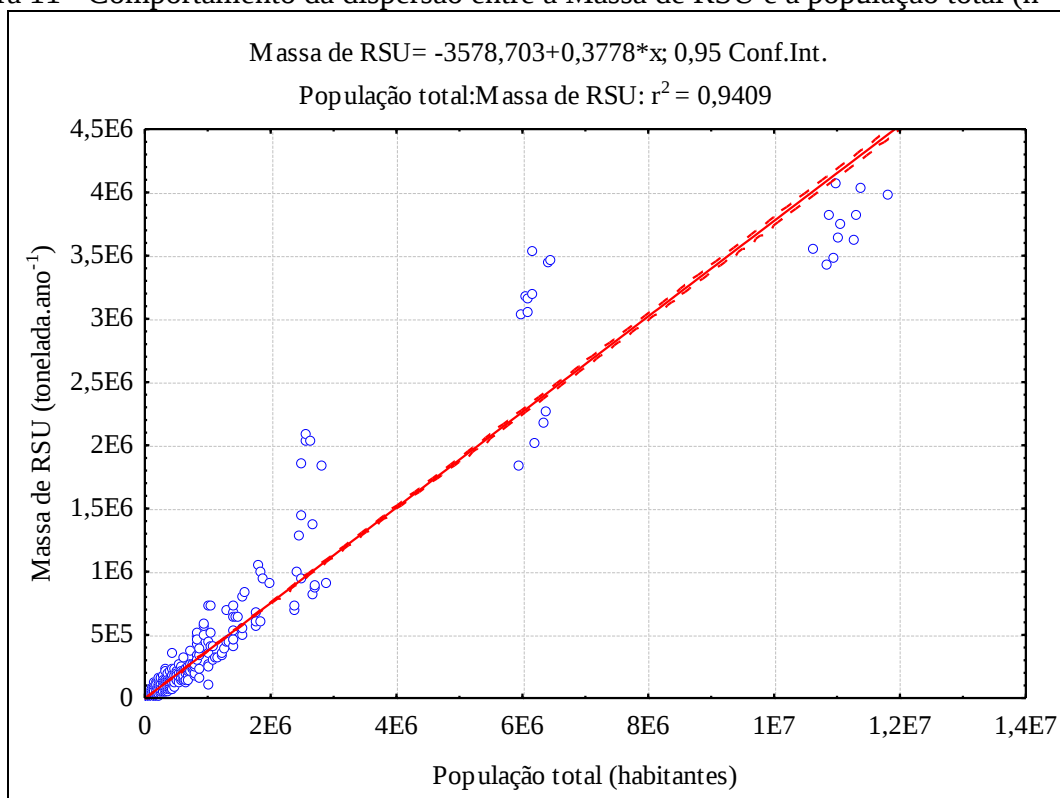
população urbana e total desses municípios. Apenas o ano de 2003 não apresentou dados para os dois municípios.

A pesquisa teve como passo inicial conhecer a relação de cada variável dependente (massa de RSU, Taxa 1 de RSU e Taxa 2 de RSU) com as independentes (população total, população urbana, PIB total e PIB *per capita*). As Figuras de 11 a 19 mostram o comportamento da dispersão do conjunto da amostra para tais variáveis. Sendo a de 11 a 13, para massa de RSU, a de 14 a 16 para taxa 1 de RSU, e de 17 a 19 para taxa 2 de RSU.

De modo geral, observa-se que a massa de RSU aumenta linearmente com o crescimento da população total, urbana e PIB total. Contudo, tanto a taxa 1 de RSU quanto a taxa 2 não apresentaram comportamento semelhante. O comportamento da dispersão da massa e taxas de RSU em relação à população assemelha-se ao observado nas Figuras 07 e 08, elaboradas no estudo realizado por Hockett, Lober e Pilgrim (1995).

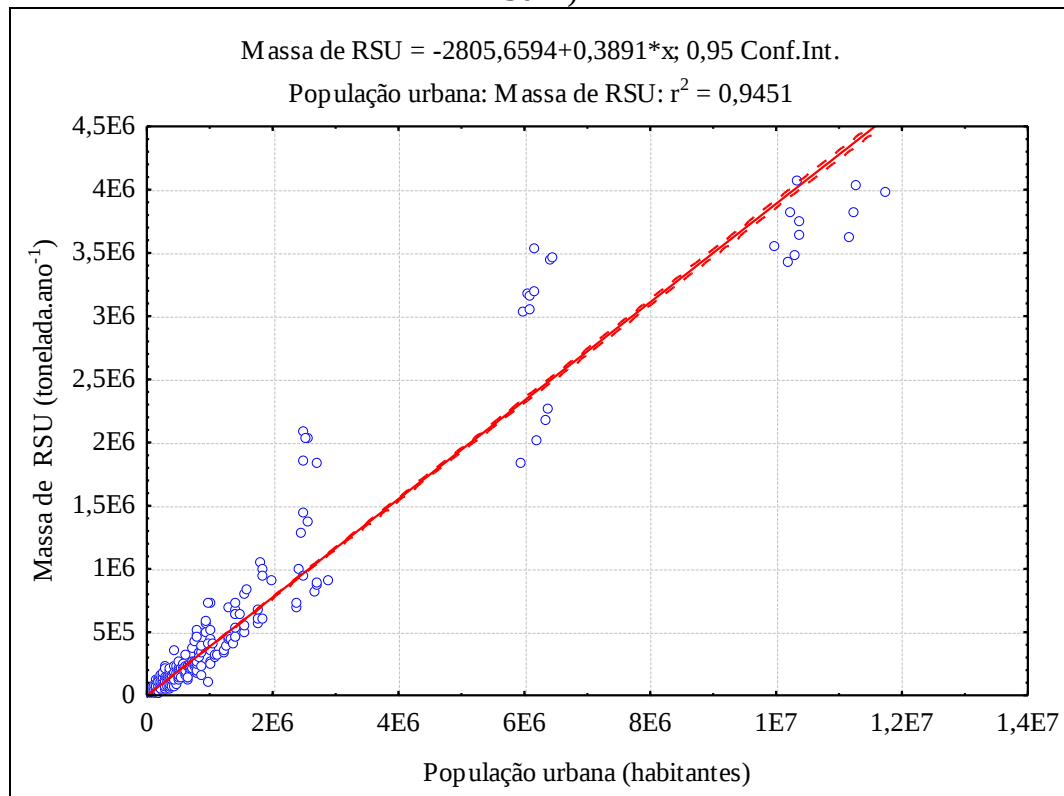
A fim de descobrir possíveis tendências específicas num espaço amostral menor, procederam-se as análises nas diferentes classes definidas na metodologia, inclusive para as taxas.

Figura 11 - Comportamento da dispersão entre a Massa de RSU e a população total (n= 3072)



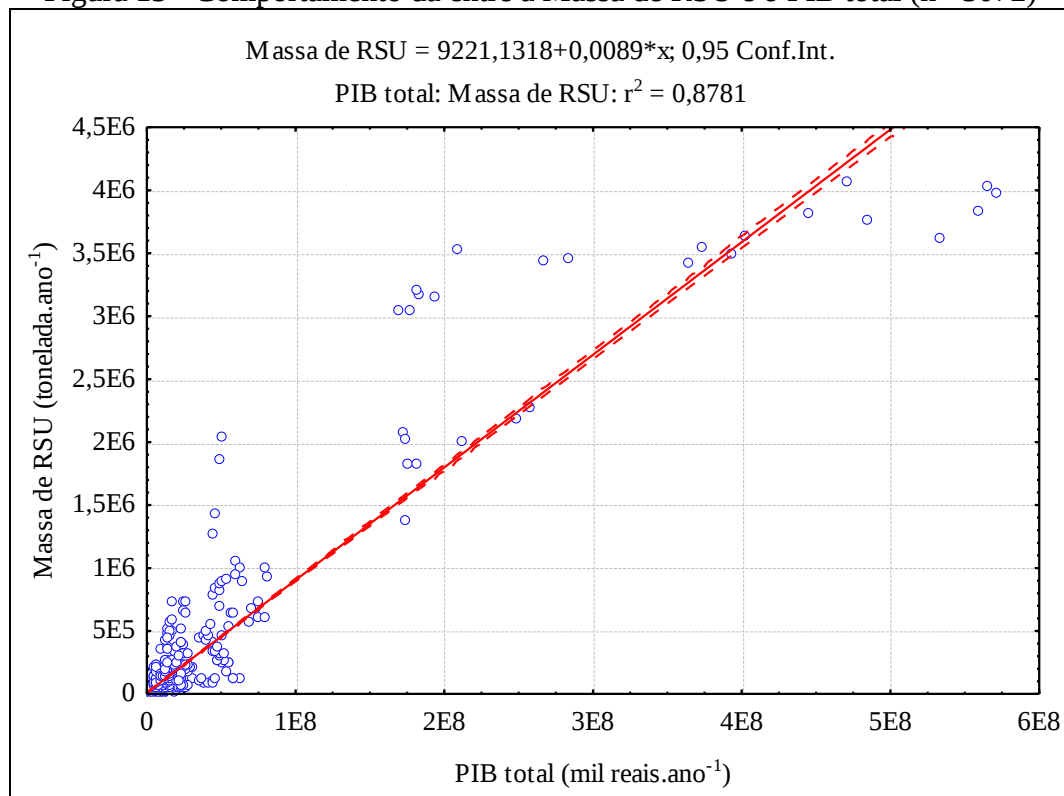
Fonte: Autora (2016).

Figura 12 - Comportamento da dispersão entre a Massa de RSU e a população urbana (n= 3072)



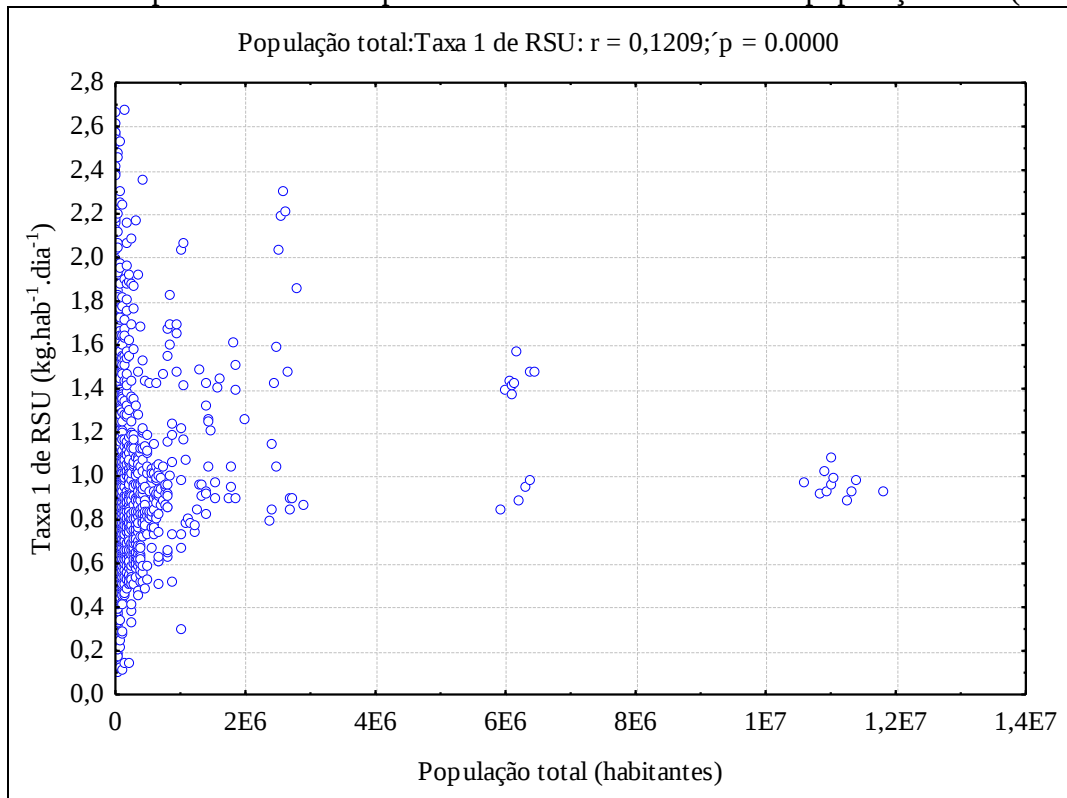
Fonte: Autora (2016).

Figura 13 - Comportamento da entre a Massa de RSU e o PIB total (n= 3072)



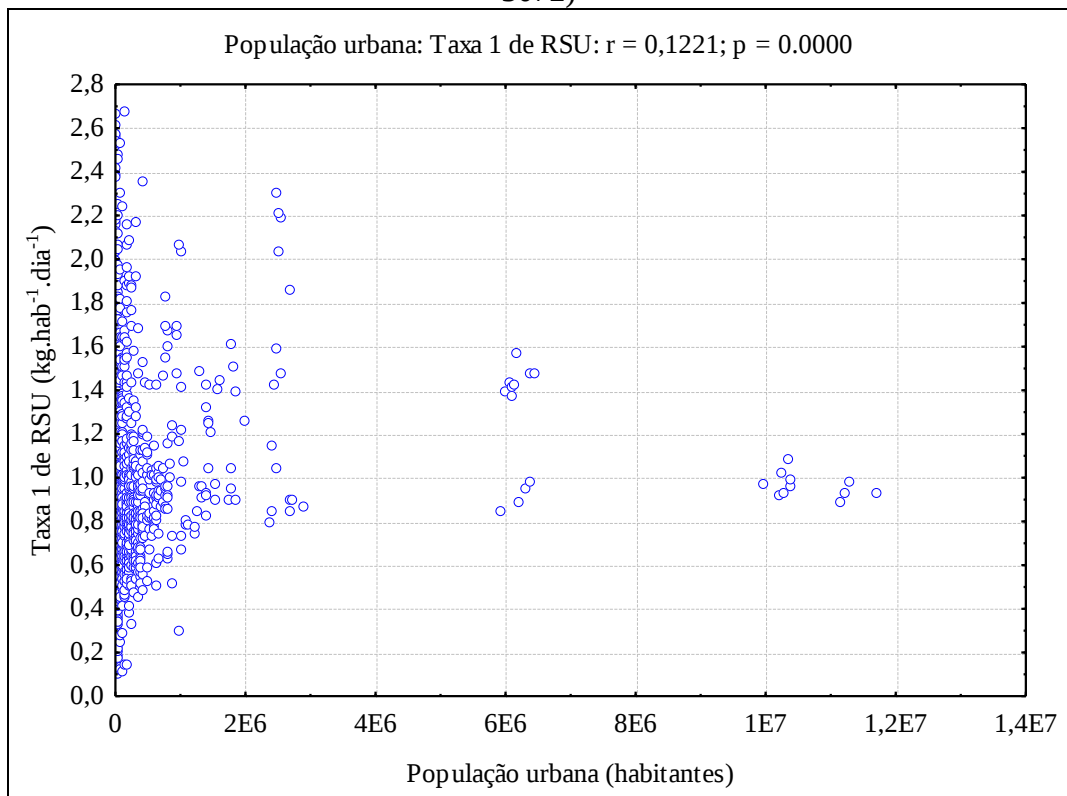
Fonte: Autora (2016).

Figura 14 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n= 3072)



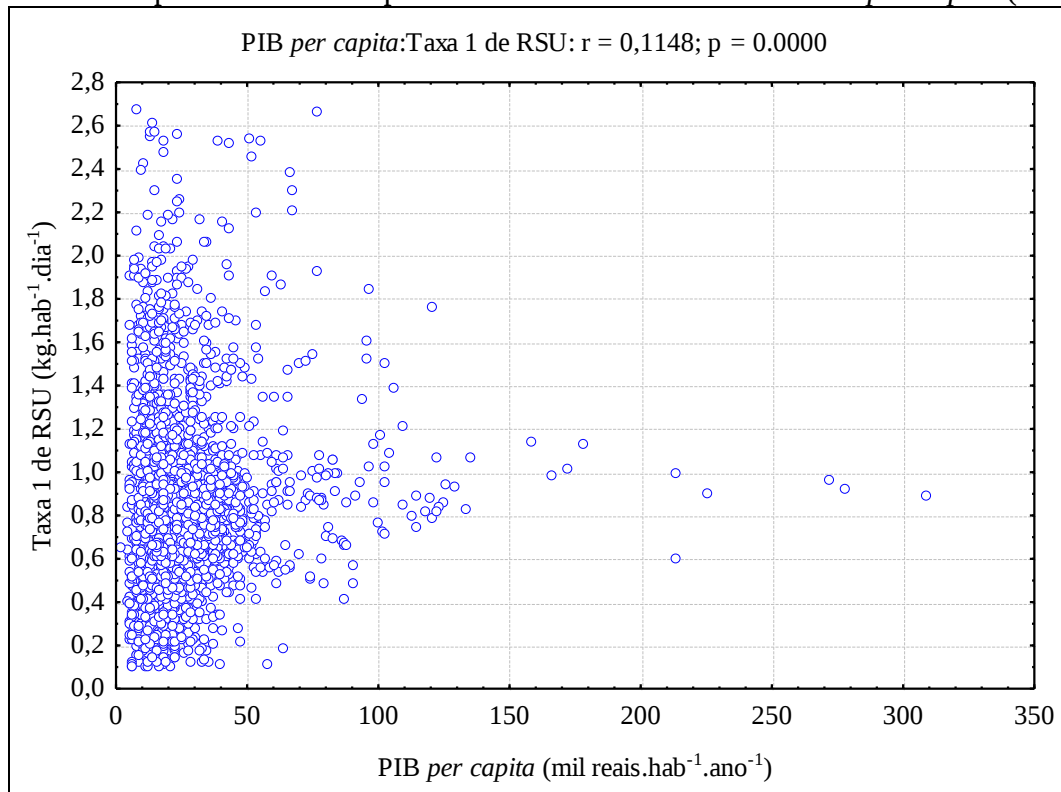
Fonte: Autora (2016).

Figura 15 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n= 3072)



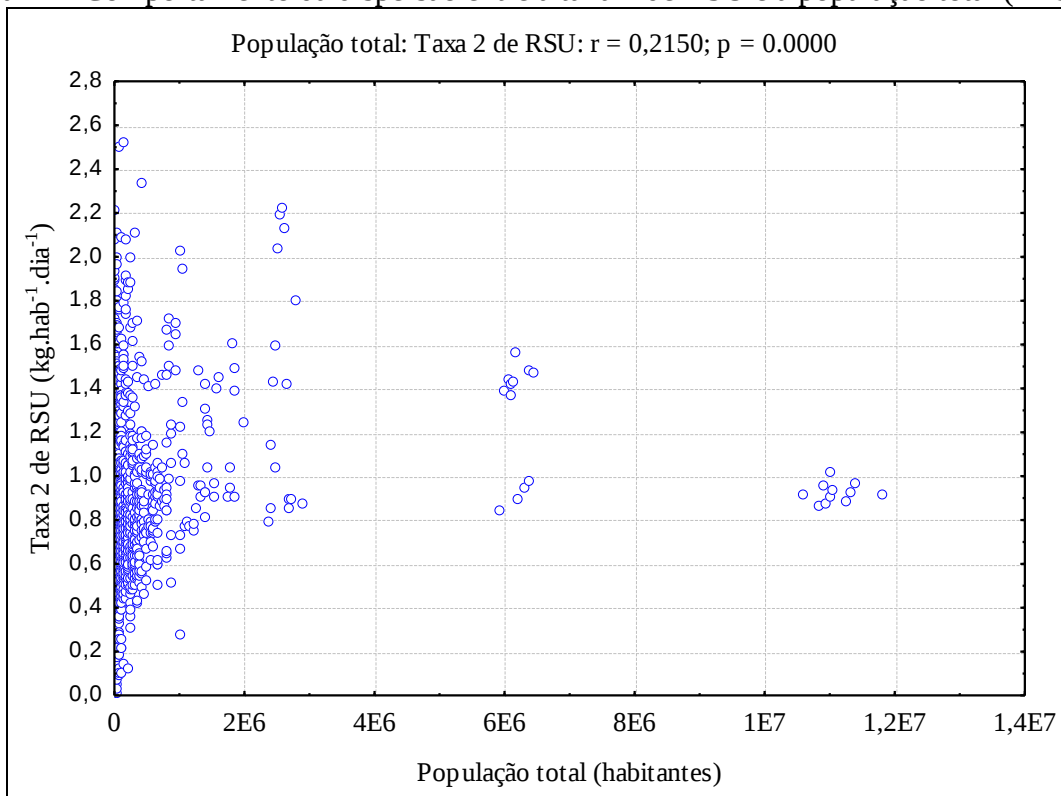
Fonte: Autora (2016).

Figura 16 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n= 3072)



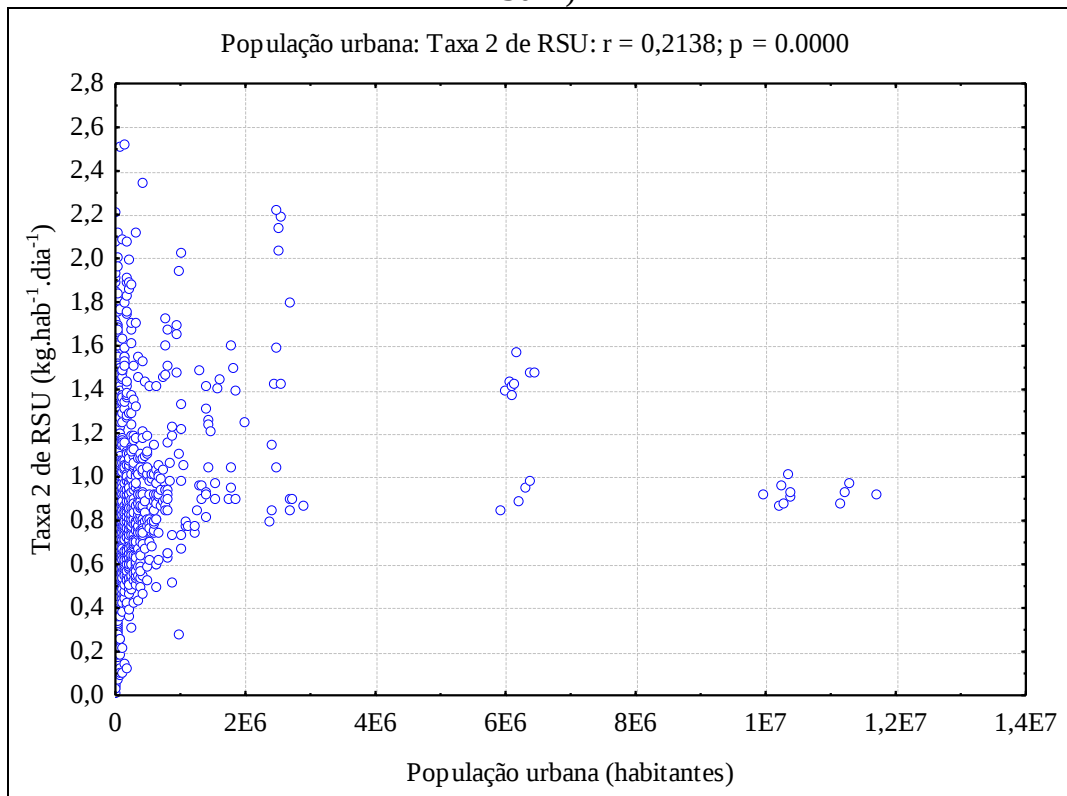
Fonte: Autora (2016).

Figura 17 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n= 3072)



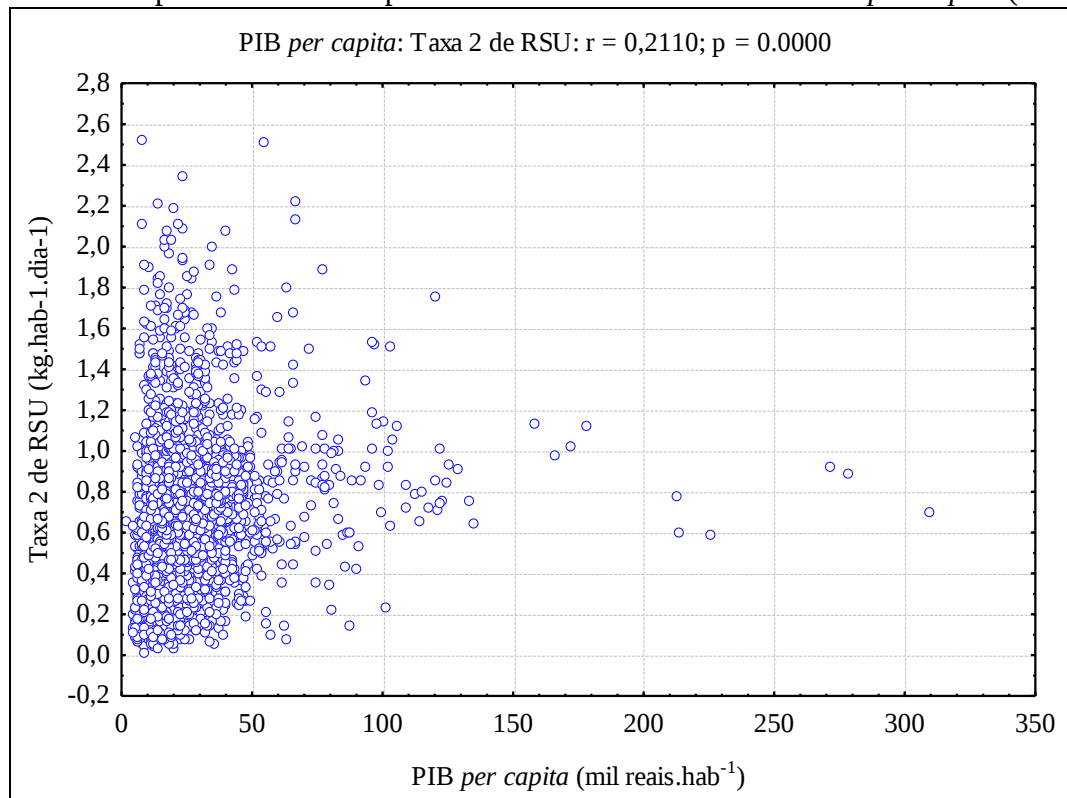
Fonte: Autora (2016).

Figura 18 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n= 3072)



Fonte: Autora (2016).

Figura 19 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n= 3072)



Fonte: Autora (2016).

5.1 Modelos

O presente subtópico apresenta os modelos formulados para as três situações que obtiveram resultados dentro do limite estabelecido (erro percentual relativo $< 30\%$), a saber: modelos por classe de população (situação 1), modelos por classe de população e subclasses de PIB *per capita* (situação 2), e modelos por classes de PIB *per capita* e subclasses de população (situação 4).

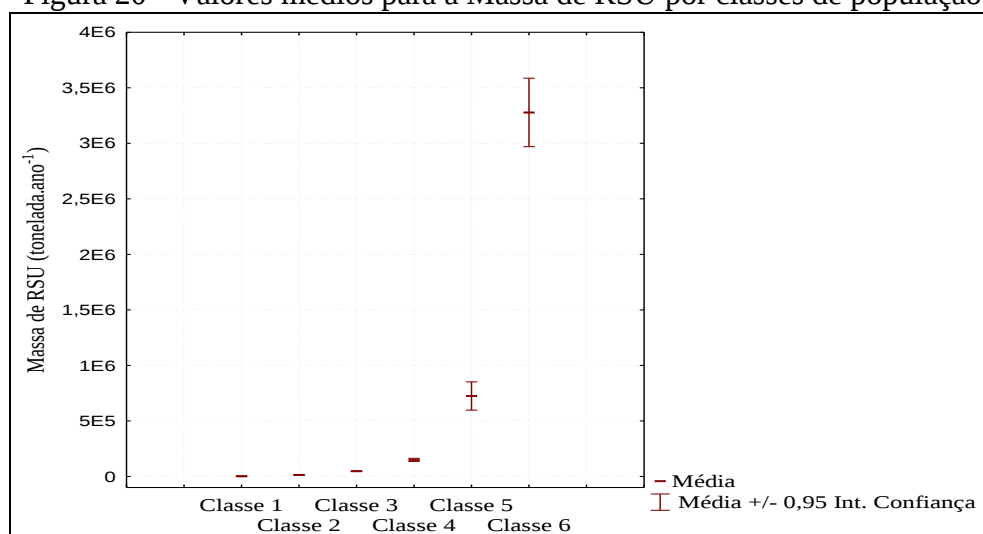
Nenhum dos modelos formulados para todo o conjunto da amostra (sem dividir em classes), nem para aqueles por classes de PIB *per capita* (situação 3) se enquadraram no limite considerado.

5.1.1 SITUAÇÃO 1: MODELOS POR CLASSE DE POPULAÇÃO

O agrupamento da amostra com base no porte populacional não apresentou modelos com erro percentual inferior a 30%, para os municípios com população total inferior a 100.000 habitantes (duas primeiras classes). As demais classes de população foram contempladas com modelos considerados adequados para utilização na estimativa da geração dos RSU.

No apêndice A podem ser observadas algumas estatísticas para todas as variáveis, por cada classe de população, bem como nas Figuras 20 a 22, para a massa e taxas de RSU.

Figura 20 - Valores médios para a Massa de RSU por classes de população

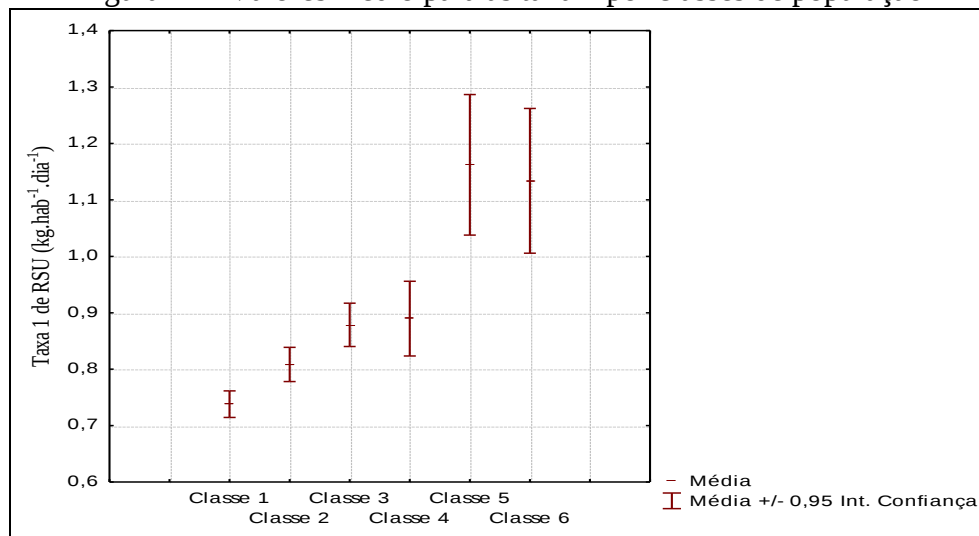


Classe 1 – população até 30.000 habitantes; Classe 2 – População de 30.001 a 100.000 habitantes; Classe 3 – População de 100.001 a 250.000 habitantes; Classe 4 – População de 250.001 a 1.000.000 habitantes; Classe 5 – População entre 1.000.0001 e 3.000.000; Classe 6- População maior que 3.000.000 habitantes

Fonte: Autora (2016).

A quantidade média da massa de RSU é crescente com o aumento do número de habitantes no município (Figura 20). As taxas 1 e 2 apresentam comportamento semelhante, com exceção da última classe, municípios com população maior que 3.000.000 habitantes, que apresentou valores inferiores para taxas quando comparadas com as da classe anterior (Figuras 21 e 22).

Figura 21 - Valores médio para as taxa 1 por classes de população



Classe 1 – população até 30.000 habitantes; Classe 2 – População de 30.001 a 100.000 habitantes; Classe 3 – População de 100.001 a 250.000 habitantes; Classe 4 – População de 250.001 a 1.000.000 habitantes; Classe 5 – População entre 1.000.0001 e 3.000.000; Classe 6- População maior que 3.000.000 habitantes

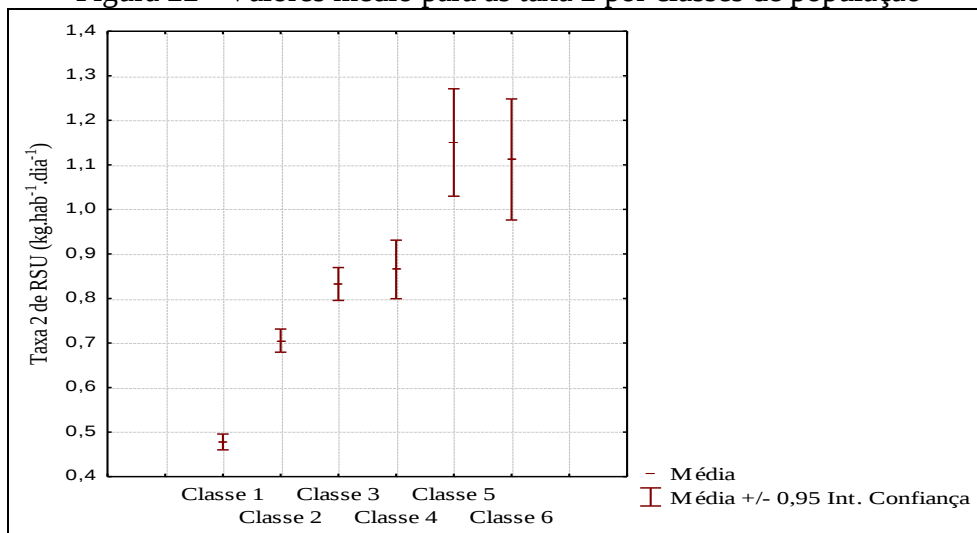
Fonte: Autora (2016).

O comportamento das classes 1 a 5 também foi verificado no último diagnóstico do SNIS, referente ao ano de 2014, no qual o valor do indicador *per capita* do RSU foi crescente com o aumento do porte do município. O mesmo foi verificado nos dados apresentados pela CETESB (2015).

Neste último estudo, os valores médios observados foram coerentes aos encontrados no presente trabalho. Os municípios com população até 25.000 habitantes apresentaram produção de RSU de 0,7 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ (Tabela 03), próxima a média da taxa 1 de RSU observada para a classe 1 (população até 30.000 habitantes), de 0,74 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ (apêndice A). O conjunto de municípios com população entre 25.001 e 100.000 habitantes, que obteve produção de RSU de 0,8 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ (Tabela 03) foi semelhante ao valor de 0,81 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ da taxa 1 de RSU, encontrada para a classe 2 (população até 100.000 habitantes), observado no apêndice A. O grupo seguinte, municípios com população de 100.001 a 500.000 habitantes (Tabela 03), teve produção média de RSU de 0,9 kg.hab⁻¹.dia⁻¹, apenas um pouco superior ao valor de 0,88 kg.hab⁻¹.dia⁻¹, encontrado para a taxa 1 de RSU na classe 3

(apêndice A). O valor médio da produção de RSU dos municípios com população maior que 500.000 habitantes, $1,1 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (Tabela 03), foi próximo aos obtidos nas classes 4 ($0,91 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), classe 5 ($1,16 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e classe 6 ($1,10 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), todas com população superior a 500.000 habitantes.

Figura 22 - Valores médio para as taxa 2 por classes de população



Classe 1 – população até 30.000 habitantes; Classe 2 – População de 30.001 a 100.000 habitantes; Classe 3 – População de 100.001 a 250.000 habitantes; Classe 4 – População de 250.001 a 1.000.000 habitantes; Classe 5 – População entre 1.000.001 e 3.000.000; Classe 6- População maior que 3.000.000 habitantes
Fonte: Autora (2016).

5.1.1.1 Modelos para a massa de RSU

Os modelos formulados para a massa de RSU em cada classe são apresentados na Tabela 24.

A classe de municípios com população entre 100.001 e 250.000 habitantes apresentou apenas um modelo para a massa de RSU (modelo 1), o qual tem a população urbana e PIB total como variáveis independentes, possui erro percentual de 29,4 e r_a^2 de 0,372.

Para os municípios com população entre 250.001 e 1.000.000 habitantes foram formulados dois modelos para massa de RSU (modelo 2 e 3), aquele que obteve melhor resultado foi o que possui a população total e PIB total como variáveis independentes (modelo 2), com erro percentual de 25,8 e r_a^2 de 0,683.

Na classe que os municípios possuem população entre 1.000.001 e 3.000.000 habitantes, é possível estimar a geração de RSU através do modelo 4, que possui erro percentual de 29,6 e r_a^2 de 0,625.

A última classe, municípios com população superior a 3.000.001 habitantes apresentou dois modelos para massa de RSU (modelos 5 e 6). Ambos possuem apenas uma variável independente, a população total ou urbana. O modelo que apresenta a população total foi o que obteve melhores resultados, com erro percentual 9,9 e de r_a^2 de 0,538.

Todos os modelos para a massa de RSU apresentaram a população, seja total ou urbana, em suas equações. A relação entre a massa de RSU e população foi positiva. A influência dessa variável na geração de resíduos é facilmente compreendida, uma vez que cidades mais populosas terão maior quantitativo em massa de RSU, independente de outros fatores, quando comparado com municípios com menor contingente populacional. Outros autores, tais como Abdoli, Falahnezhad e Behboudian (2011), Athayde Jr, Onofre e Beserra (2014) e Melo, Sautter e Janissek (2009), também encontraram essa relação.

Outra variável presente em alguns modelos foi o PIB total. A relação da renda com a produção de resíduos também é observada em diversos trabalhos. Afon e Okewole (2007), Daskalopoulos, Badr e Probert (1998), Abdoli, Falahnezhad e Behboudian (2011) e Melo, Sautter e Janissek (2009) determinaram em seus estudos uma relação direta com geração de resíduos. Apenas os modelos da classe 4 apresentaram um comportamento diferente, no qual o aumento do PIB diminui a geração de RSU.

Tabela 24 - Modelos para massa de RSU por classes de população

Classes	Variáveis independentes	Modelo	Equação	r	r ²	r _a ²	Er %	p	n
3 - População entre 100.001 e 250.000 habitantes	P _u e PIB	1	$M = 0,3025 * P_u + 0,0008 * PIB - 1036,3283$	0,6131	0,3759	0,3721	29,4328	0,0000	330
4 - População entre 250.001 e 1.000.000 habitantes	P _t e PIB	2	$M = 0,4836 * P_t - 0,0008 * PIB - 54228,9696$	0,8280	0,6856	0,6827	25,8437	0,0000	218
	P _u e PIB	3	$M = 0,4789 * P_u - 0,0008 * PIB - 46687,3677$	0,8260	0,6823	0,6794	26,0324	0,0000	218
5 - População entre 1.000.001 e 3.000.000 habitantes	P _t e PIB	4	$M = 0,3953 * P_t + 0,0008 * PIB - 135101,1148$	0,8022	0,6435	0,6247	29,5709	0,0000	41
6 - População maior que 3.000.001 habitantes	P _t	5	$M = 0,2101 * P_t + 1435028,9579$	0,7527	0,5665	0,5376	9,8755	0,0005	17
	P _u	6	$M = 0,2271 * P_u + 1338092,2038$	0,7480	0,5595	0,5301	9,8849	0,0006	17

Fonte: Autora (2016).

5.1.1.2 Modelos para a taxa *per capita* de RSU

No Tabela 25 pode-se observar os modelos para as taxas de RSU.

A formulação dos modelos em termos *per capita* foi possível para os municípios com população entre 100.001 e 1.000.000 habitantes (classes 3 e 4), assim como, aqueles com população superior a 3.000.001 habitantes (classe 6). Tais modelos (7 a 15) apresentaram erro percentual entre 9,8 e 29,3 e r_a^2 variando de 0,012 a 0,293. Os modelos 8 a 15 possuem somente a população total ou urbana como variável independente, fato observado para os modelos de massa de RSU da mesma classe. Isso sugere que para esses municípios, a renda não é um fator significativo na geração de RSU. Apenas no modelo 7 observa-se a influência do indicador de renda.

Nos modelos 7 a 11 a população total e urbana foram correlacionadas positivamente com as taxas de RSU, seguindo a tendência apresentada pelos dados dos SNIS (2016) e da CETESB (2015), de que quanto maior a população, maior é a taxa de resíduos. No entanto, os modelos 12 a 15 a correlação de tais variáveis independentes com as taxas foi negativa. Vale ressaltar que esta correlação é específica para os municípios com população superior a 3.000.000 habitantes.

O comportamento da dispersão das taxas com cada variável independente (população total e urbana, e PIB *per capita*), em cada classificação com modelos formulados (Tabela 25), pode ser observado nas Figuras 23 a 25 para classe 3, 26 a 31 para a classe 4, e 32 a 37 para classe 6. Percebeu-se que, de modo geral, as taxas de RSU apresentaram tendência linear com as populações total e urbana, e a variação dessas variáveis independentes produziu um efeito pequeno na variação da variável dependente. No tocante ao PIB *per capita*, não foi observado comportamento semelhante.

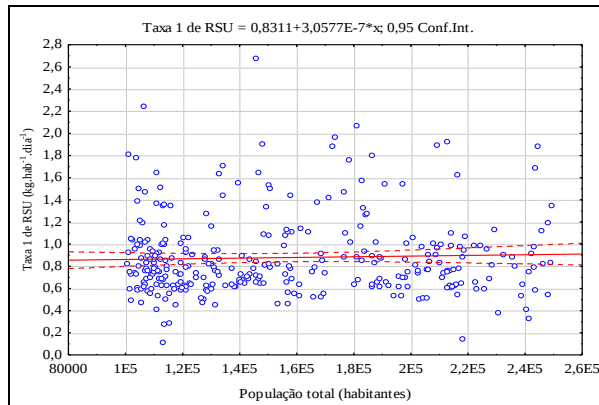
Na classe 3, os modelos apresentaram correlação significativa apenas com PIB *per capita*, já nas classes 4 e 6 a variável independente significativa foi a população total ou urbana.

Tabela 25 - Modelos para as taxas de RSU por classes de população

Classe	Variável dependente	Variáveis independentes	Modelo	Equação	r	r ²	r _a ²	Er %	p	n
3 - População entre 100.001 e 250.000 habitantes	$Tx1$	PIB_{PC}	7	$Tx1 = 0,0021 * PIB_{PC} + 0,8145$	0,1236	0,0153	0,0123	29,3001	0,0247	330
4 - População entre 250.001 e 1.000.000 habitantes	$Tx1$	P_t	8	$Tx1 = 0,00000049 * P_t + 0,6863$	0,2971	0,0883	0,0840	24,6437	0,00001	218
		P_u	9	$Tx1 = 0,00000048 * P_u + 0,6958$	0,2939	0,0864	0,0822	24,5869	0,00001	218
	$Tx2$	P_t	10	$Tx2 = 0,0000005 * P_t + 0,6417$	0,3287	0,1080	0,1039	24,7740	0,00000	218
		P_u	11	$Tx2 = 0,00000053 * P_u + 0,6464$	0,3332	0,1110	0,1069	24,6868	0,00000	218
6 - Maior que 3.000.001 habitantes	$Tx1$	P_t	12	$Tx1 = - 0,00000005 * P_t + 1,5207$	0,5244	0,2750	0,2266	9,8346	0,0307	17
		P_u	13	$Tx1 = - 0,00000005 * P_u + 1,5504$	0,5290	0,2798	0,2318	10,6270	0,0290	17
	$Tx2$	P_t	14	$Tx2 = - 0,00000006 * P_t + 1,5661$	0,5807	0,3372	0,2930	11,3091	0,0145	17
		P_u	15	$Tx2 = - 0,00000006 * P_u + 1,5937$	0,5784	0,3346	0,2902	12,3272	0,0150	17

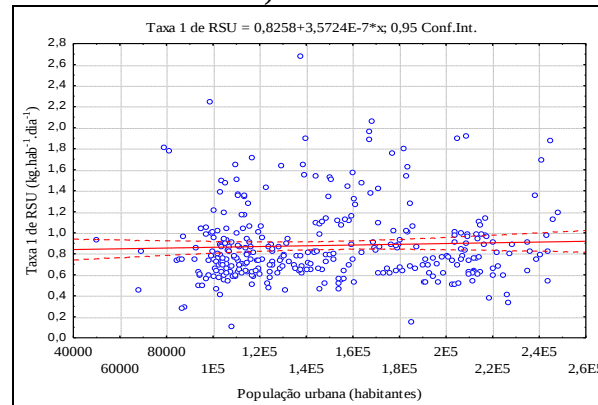
Fonte: Autora (2016).

Figura 23 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 330) – classe 3



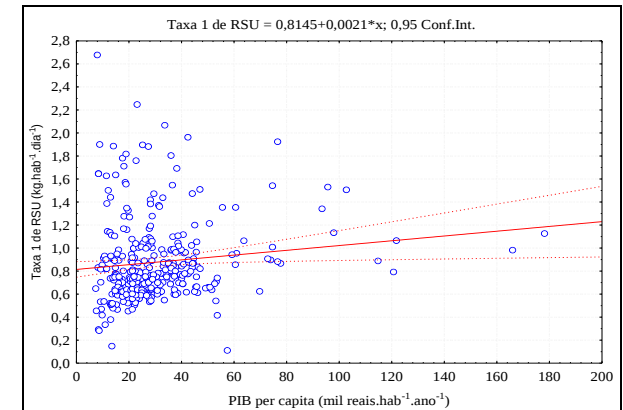
Fonte: Autora (2016).

Figura 24 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 330) – classe 3



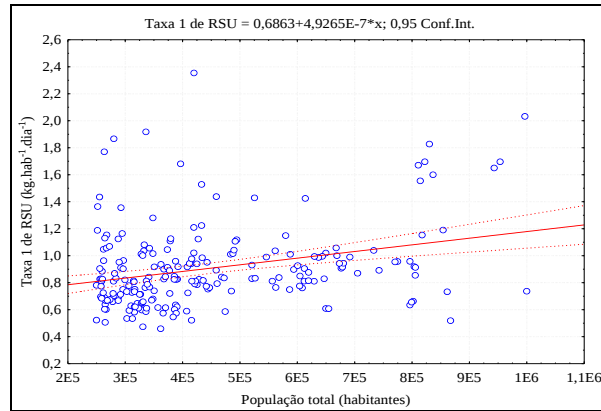
Fonte: Autora (2016).

Figura 25 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB per capita (n = 330) – classe 3



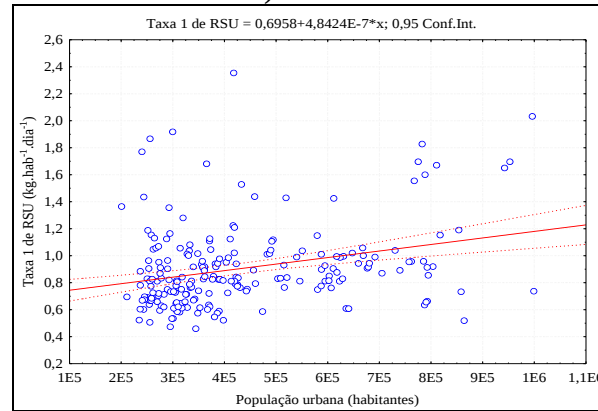
Fonte: Autora (2016).

Figura 26 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 218) – classe 4



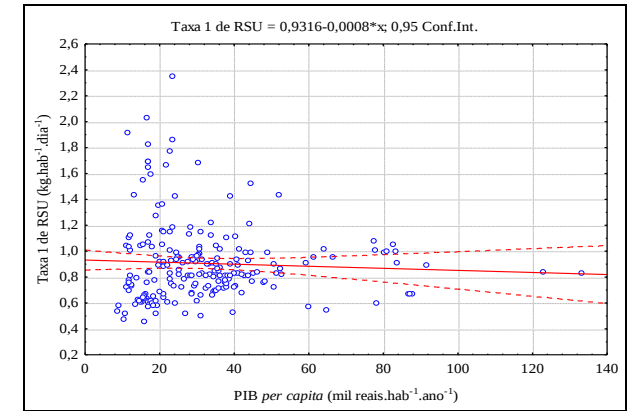
Fonte: Autora (2016).

Figura 27 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 218) – classe 4



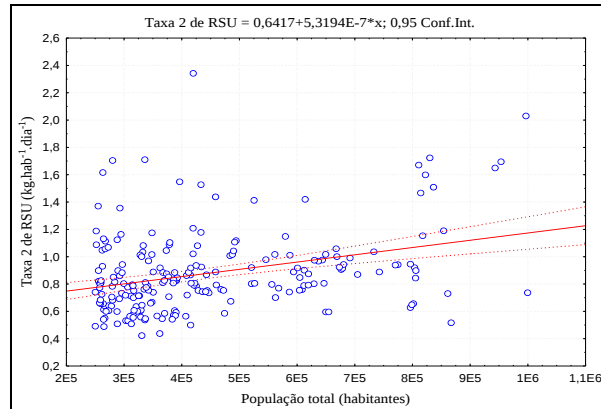
Fonte: Autora (2016).

Figura 28 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n = 218) – classe 4



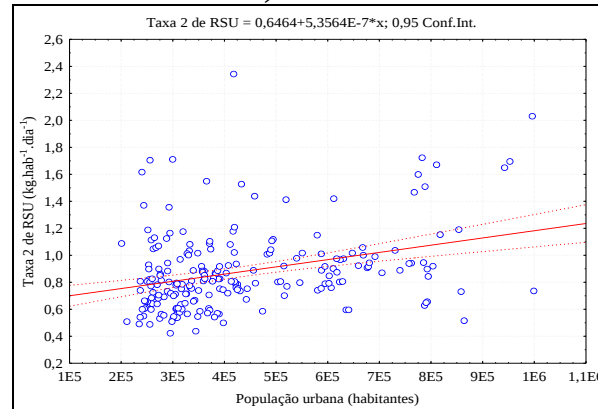
Fonte: Autora (2016).

Figura 29 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 218) – classe 4



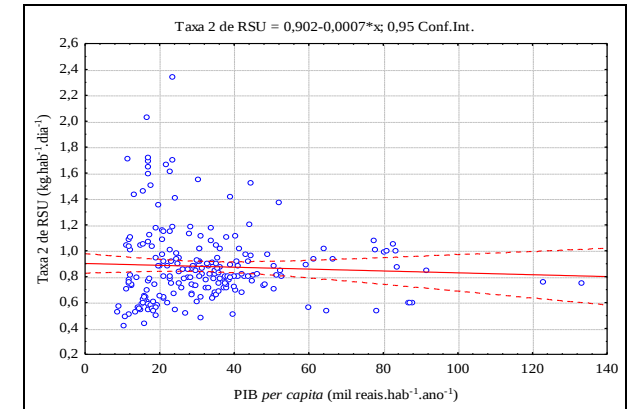
Fonte: Autora (2016).

Figura 30 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 218) – classe 4



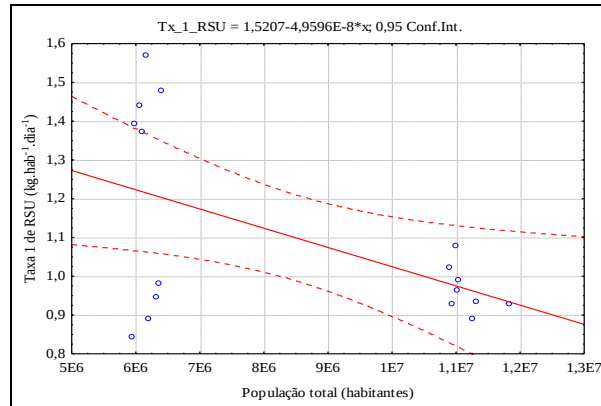
Fonte: Autora (2016).

Figura 31 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 218) – classe 4



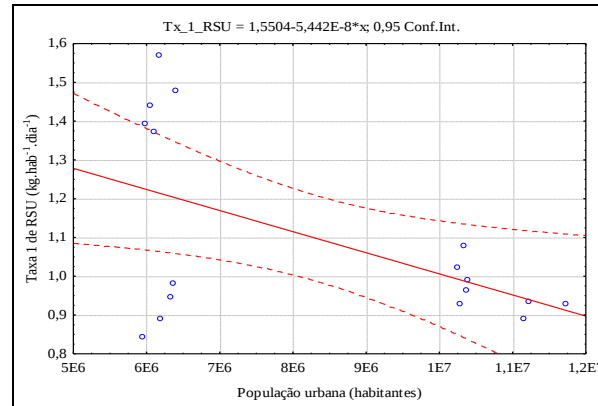
Fonte: Autora (2016).

Figura 32 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 17) – classe 6



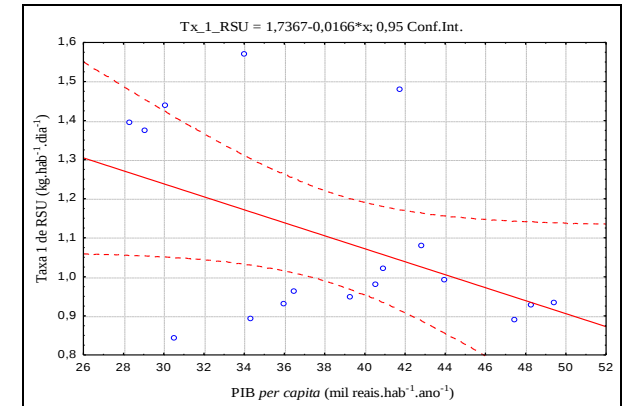
Fonte: Autora (2016).

Figura 33 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 17) – classe 6



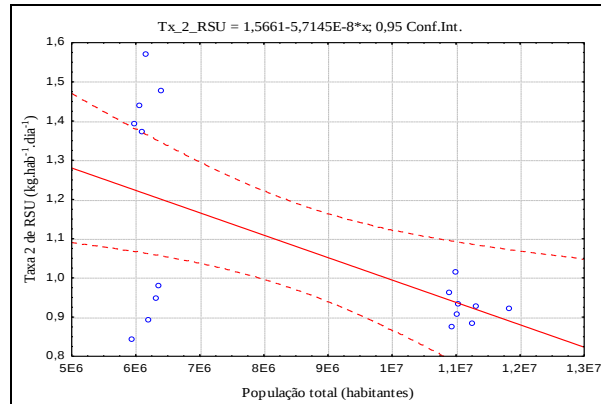
Fonte: Autora (2016).

Figura 34 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n = 17) – classe 6



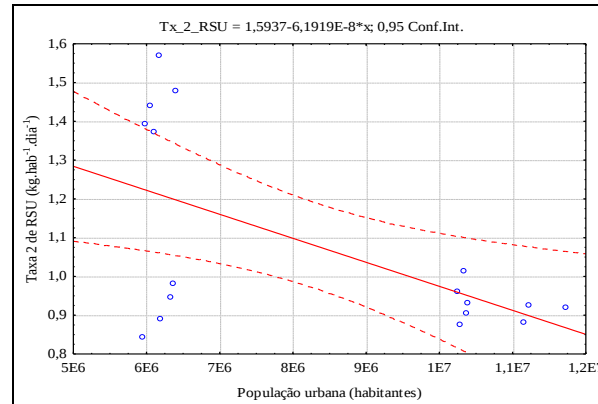
Fonte: Autora (2016).

Figura 35 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 17) – classe 6



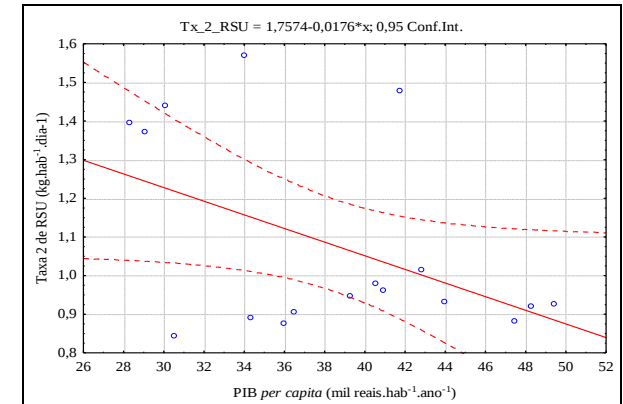
Fonte: Autora (2016).

Figura 36 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 17) – classe 6



Fonte: Autora (2016).

Figura 37 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 17) – classe 6



Fonte: Autora (2016).

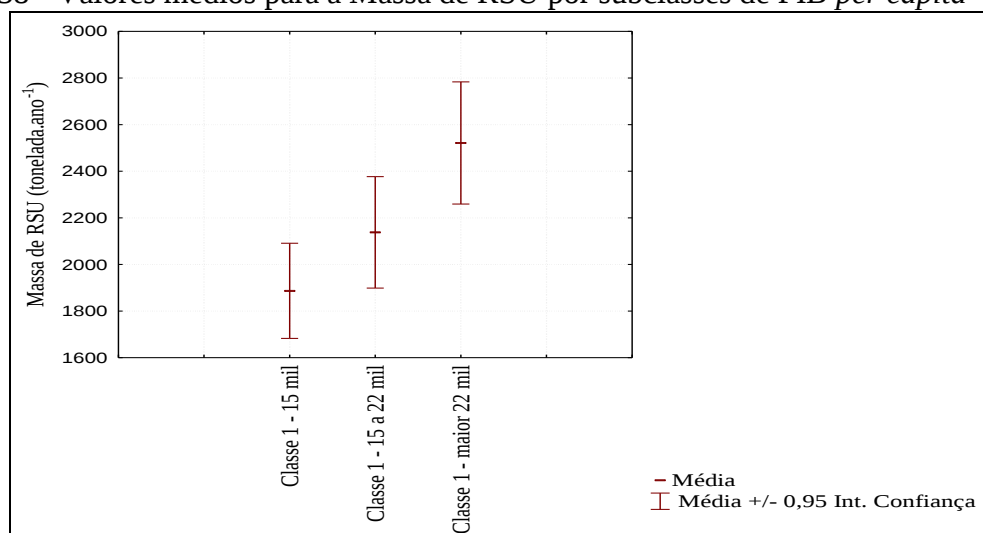
5.1.2 SITUAÇÃO 2: MODELOS POR CLASSE DE POPULAÇÃO E SUBCLASSES DE PIB *PER CAPITA*

Com essa configuração de agrupamento da amostra, a classe de municípios com população entre 30.001 e 100.000 habitantes, a qual não possuía um modelo dentro das limitações fixadas, apresentou uma possibilidade de estimativa da geração de RSU para alguns dos municípios situados nessa classe, para PIB *per capita* superior a 29 mil reais.

Algumas estatísticas para todas as variáveis por cada classe de população e subclasse de PIB *per capita* estão presentes no apêndice B. Nas Figuras 38 a 43 pode-se observar o comportamento para a massa e taxas de RSU.

Nas classes 1, 2 e 3, observou-se que a média da massa de RSU é crescente com o crescimento da renda (Figuras 38 a 40). Por se tratar de termos absolutos, essa tendência pode estar relacionada à população urbana do município, visto que nessas classes, as maiores rendas são de municípios com maior número de habitantes na zona urbana. No entanto, uma exceção ocorreu na classe 2 (ver apêndice B), na qual a subclasse de municípios com PIB *per capita* maior que 29 mil reais, apesar de ter média da população urbana inferior, tem média da massa de RSU maior que a subclasse com PIB *per capita* entre 20 a 29. Tal fato pode indicar a influência da renda na geração de RSU.

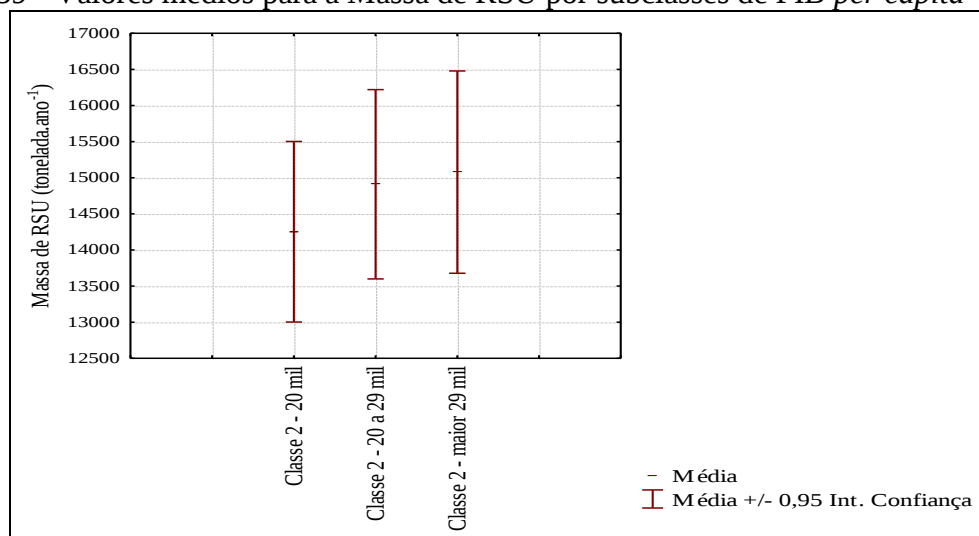
Figura 38 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasses de PIB *per capita* – classe 1



Classe 1 – população até 30.000 habitantes;

Fonte: Autora (2016).

Figura 39 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasses de PIB *per capita* – classe 2

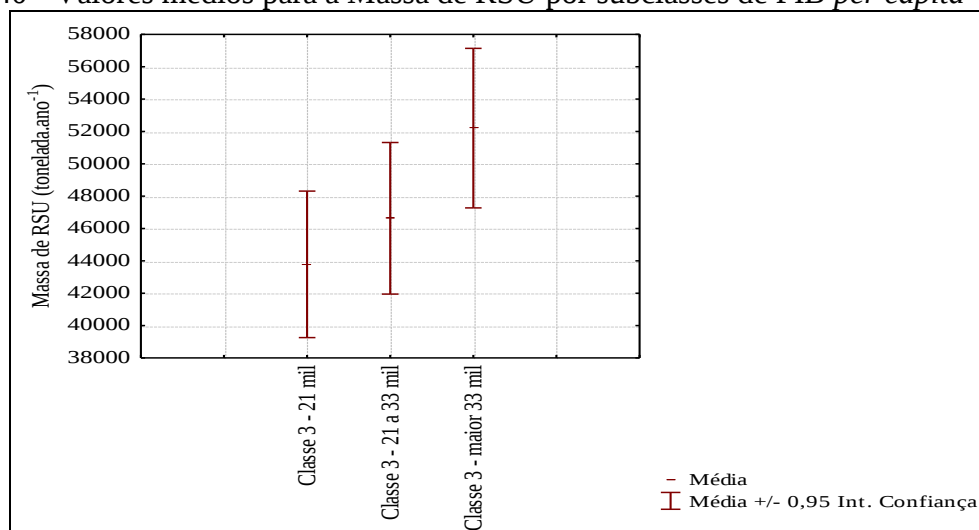


Classe 2 – População de 30.001 a 100.000

Fonte: Autora (2016).

Na classe 4, a média da massa de RSU foi maior nos municípios com renda *per capita* inferior (Figura 41). Os municípios com PIB *per capita* até 21 mil reais possuem média da população urbana maior que aquela dos municípios com PIB *per capita* de 21 a 35 mil reais, sendo essa a possível razão pela maior massa de RSU na primeira subclasse. Todavia, os municípios com PIB *per capita* maior que 35 mil reais, que tem a maior média de população urbana foram os que apresentaram menor média da massa de RSU.

Figura 40 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasses de PIB *per capita* – classe 3



Classe 3 – População de 100.001 a 250.000

Fonte: Autora (2016).

A análise dos dados em termos *per capita*s não apresentou nenhuma tendência específica. Nas classes 1 e 3, os maiores valores para taxa 1 são dos municípios com maior PIB *per capita*, seguidos pelos de menor PIB *per capita* e de PIB *per capita* intermediário. Já na classe 2, a subclasse com menor renda *per capita* que possui maior valor médio para a taxa 1. E, diferentemente das demais, na classe 4 o maior valor da média de taxa 1 foi na subclasse com renda *per capita* intermediária. A Figura 42 ilustra essa situação.

Figura 41 - Valores médios para a Massa de RSU por subclasse de PIB *per capita* – classe 4

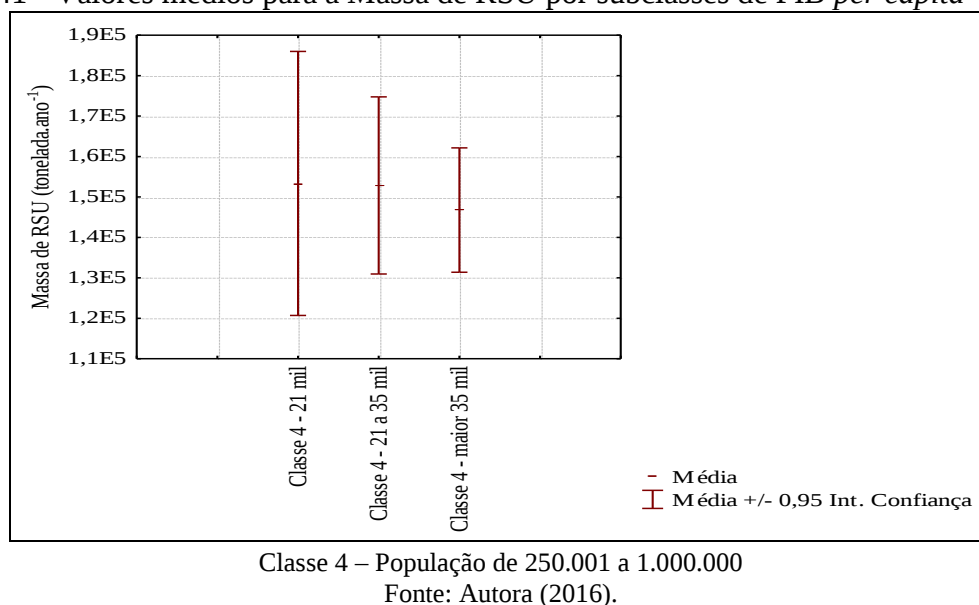
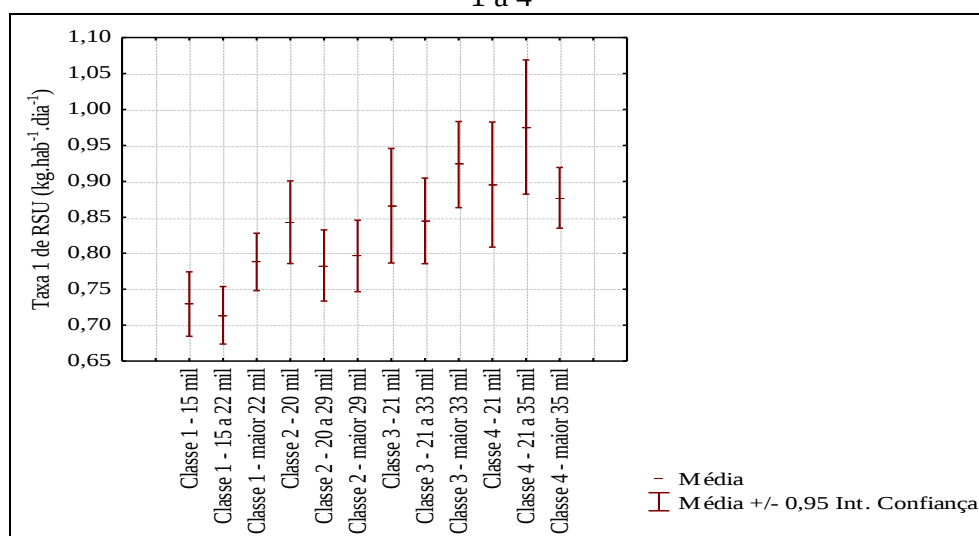


Figura 42 - Valores médios para a Taxa 1 de RSU por subclasse de PIB *per capita* – classes 1 a 4



Classe 1 – população até 30.000 habitantes; Classe 2 – População de 30.001 a 100.000; Classe 3 – População de 100.001 a 250.000; Classe 4 – População de 250.001 a 1.000.000.

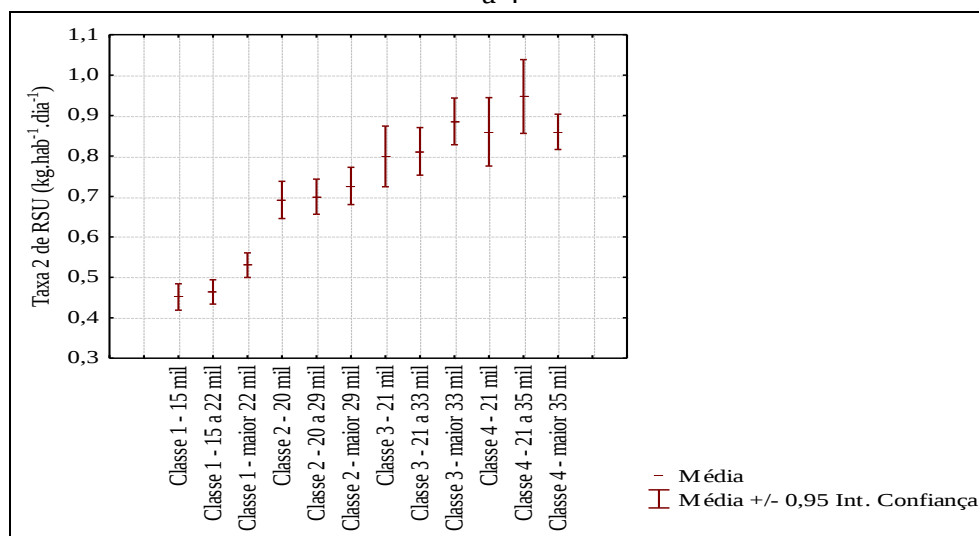
Fonte: Autora (2016).

O dado de geração de resíduos sólidos domiciliares obtidos por Onofre (2011) do município de João Pessoa (PB), de $800 \text{ g.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, está coerente com o valor encontrado de $0,88 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ para a taxa 1 de RSU (apêndice B) da classificação 4.3, ou seja, população de 250.001 a 1.000.000 e PIB *per capita* maior que 35.000, sendo esta a qual se enquadram as características do município citado. Os valores da produção *per capita* de RSU, possivelmente se aproximam mais, ao considerar a parcela de resíduos provenientes da limpeza urbana, não considerada por Onofre (2011) no seu estudo.

Os maiores valores para a taxa 2 de RSU estão nas mesmas subclasses dos maiores valores para a taxa 1, com exceção da classe 2, na qual observou-se maior valor na subclasse de maior renda *per capita*, e não na de menor, como aconteceu com a taxa 1. Provavelmente, devido à diferença entre as populações totais e urbanas de cada subclasse, distanciando mais os valores entre tais taxas.

A Figura 43 mostra as variações das médias da taxa 2 em cada subclasse.

Figura 43 - Valores médios para a Taxa 2 de RSU por subclasses de PIB *per capita*- classes 1 a 4



Classe 1 – população até 30.000 habitantes; Classe 2 – População de 30.001 a 100.000; Classe 3 – População de 100.001 a 250.000; Classe 4 – População de 250.001 a 1.000.000.

Fonte: Autora (2016).

Percebe-se que nas classes de 1 a 3 quanto maior a renda, mais elevados são os valores da taxa 2. O comportamento mais estável dessa taxa, quanto comparada com a taxa 1, pode estar relacionada a imprecisão da estimativa da população urbana, visto que é uma estimativa da estimativa da população total.

A influência da renda, verificada nas classes 1 a 3, tanto para massa quanto para taxa 2 de RSU, é reportada por outros trabalhos Afon e Okewole (2007), Oliveira et al. (2004) e Soares et al. (2015) também encontraram uma correlação positiva entre essa variável e a geração de RSU.

5.1.2.1 Modelos para a massa de RSU

Os modelos formulados para a massa de RSU em cada classificação são apresentados no Tabela 26.

Para a classe de municípios com população entre 30.001 e 100.000 habitantes, aqueles que tiverem o PIB *per capita* superior a 29 mil reais podem fazer uso dos modelos 16 e 17 na estimativa da massa de RSU. Dos dois modelos formulados nessa classe, o que apresentou melhores indicadores de qualidade foi o 17, com erro 23,8 % e r_a^2 de 0,509. Este tem como variáveis independentes a população urbana e o PIB total.

A classe de municípios com população entre 100.001 e 250.000 habitantes apresentou modelos adequados para duas das três subclasses definidas: com PIB *per capita* até 21 mil reais e PIB *per capita* maior que 33 mil reais.

Nesta primeira, foi formulado apenas um modelo (modelo 18), cujo valor do erro percentual e r_a^2 foram respectivamente, 28,6 e 0,187. Outro aspecto observado foi a presença de uma única variável independente, a população urbana.

A classe de municípios com população entre 100.001 e 250.000 habitantes e PIB *per capita* maior que 33 mil reais, apresentou modelos com indicadores de qualidade mais satisfatórios, com erro máximo de 22,2% e r_a^2 superior a 0,467. Distinto das duas situações antecedentes, a utilização da população total como variável independente (modelo 19) mostrou-se mais adequada nos modelos formulados (19 e 20).

Para a classe de municípios com população entre 250.001 e 1.000.000 de habitantes as seguintes subclasses apresentaram modelos adequados: com PIB *per capita* de 21 a 35 mil reais e com PIB *per capita* maior que 35 mil reais.

Na primeira situação foram formulados dois modelos (21 e 22). O que fez uso da população total como variável dependente apresentou erro de 23,8 % e r_a^2 0,5096. Ao utilizar a população urbana tais valores modificaram-se para 24,9% e 0,5138.

A situação seguinte, municípios com população entre 250.001 e 1.000.000 de habitantes e PIB *per capita* maior que 35 mil reais, apresentou modelos com elevados valores

de r_a^2 (0,8203 e 0,8365) e erro percentual de aproximadamente 20%. Dentre os modelos formulados (23 e 24), aquele que fez uso da população urbana como variável independente foi que obteve maior r_a^2 e menor erro percentual.

Assim como na situação 1, a população (total ou urbana) apareceu em todos os modelos para massa de RSU, bem como apresentou correlação positiva.

Em relação ao PIB total, observou-se que a correlação com a massa de RSU é positiva, com exceção para os municípios com população entre 250.001 e 1.000.000 habitantes e PIB *per capita* de 21 a 35 mil reais.

Tabela 26 - Modelos para massa de RSU por classes de população e subclasses de PIB *per capita*

Classes	Variáveis independentes	Modelo	Equação	r	r ²	r _a ²	Er %	p	n
2.3 - População entre 30.001 e 100.000 habitantes e PIB _{PC} maior que 29 mil reais	P _t e PIB	16	$M = 0,3202 * P_t + 0,0006 * PIB - 4179,6365$	0,7065	0,4992	0,4933	24,5183	0,0000	173
	P _u e PIB	17	$M = 0,3283 * P_u + 0,0005 * PIB - 3006,3835$	0,7172	0,5143	0,5086	23,8369	0,0000	173
3.1 - População entre 100.001 e 250.000 habitantes e PIB _{PC} até 21 mil reais	P _u	18	$M = 0,2421 * P_u + 9847,3987$	0,4407	0,1942	0,1867	28,6414	0,0000	109
3.3 - População entre 100.001 e 250.000 habitantes e PIB _{PC} maior que 33 mil reais	P _t e PIB	19	$M = 0,3450 * P_t + 0,0007 * PIB - 8089,6392$	0,6946	0,4825	0,4730	21,2921	0,0000	112
	P _u e PIB	20	$M = 0,3401 * P_u + 0,0007 * PIB - 5380,1050$	0,6900	0,4762	0,4666	22,2090	0,0000	112
4.2 - População entre 250.001 e 1.000.000 habitantes e PIB _{PC} de 21 a 35 mil reais	P _t e PIB	21	$M = 0,5309 * P_t - 0,0057 * PIB - 8154,1233$	0,7236	0,5236	0,5096	23,6788	0,0000	71
	P _u e PIB	22	$M = 0,5244 * P_u - 0,0057 * PIB + 508,3752$	0,7265	0,5277	0,5138	24,9491	0,0000	71
4.3 - População entre 250.001 e 1.000.000 habitantes e PIB _{PC} maior que 35 mil reais	P _t	23	$M = 0,3768 * P_t - 25434,9808$	0,9070	0,8227	0,8203	20,6214	0,0000	74
	P _u	24	$M = 0,3795 * P_u - 23314,7722$	0,9158	0,8387	0,8365	19,5545	0,0000	74

Fonte: Autora (2016).

5.1.2.2 Modelos para a taxa *per capita* de RSU

Os modelos para as taxas 1 e 2 de RSU podem ser observados no Tabela 27.

Para a classe de municípios com população entre 30.001 e 100.000 habitantes e PIB *per capita* maior que 29 mil reais foram formulados quatro modelos para as taxas de RSU. Dos modelos apresentados para a taxa 1 (25 e 26), o que fez uso da população total e PIB *per capita* como variáveis independentes obteve menor erro percentual e maior r_a^2 . Para a taxa 2, também foram formulados dois modelos, o 27 e 28, com erro percentual variando de 24,4167 a 24,4341 e r_a^2 0,0639 a 0,0782

Os municípios com população entre 100.001 e 250.000 habitantes e PIB *per capita* maior que 33 mil reais (classe 3.3) possuem duas possibilidade de estimarem a taxa de RSU, através dos modelos 29 e 30. O erro percentual foi de 21,1381 a 21,1400 e o r_a^2 0,0391 a 0,0403.

Os municípios com população entre 250.001 e 1.000.000 habitantes e PIB *per capita* maior que 35 mil reais (4.3) apresentaram quatro modelos para as taxas de RSU (31 a 34). Estes possuem erro percentual entre 19,1059 e 20,0937 e r_a^2 entre 0,0740 e 0,0992.

Nessa classificação da amostra a população urbana ou total correlacionou-se positivamente com a taxa de RSU, corroborando com o pensamento que a geração *per capita* de RSU cresce com o aumento da população. O PIB *per capita* também apresentou correlação positiva com as taxas de RSU, igualmente ao observado em outros trabalhos.

As Figuras 44 a 58 ilustram o comportamento da dispersão entre as taxas de RSU (1 e/ou 2) com cada variável independente (população total e urbana, e PIB *per capita*), em cada classificação com modelos formulados, apresentados na tabela 27.

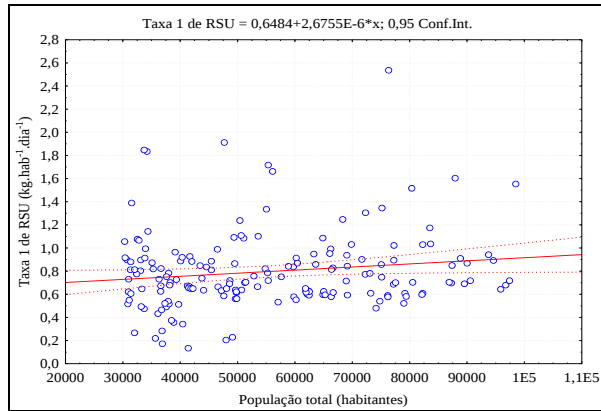
Com a análise do comportamento das taxas de RSU em um universo amostral menor, ou seja, em cada classificação definida, pôde-se perceber uma tendência de crescimento tanto da taxa 1 de RSU, quanto da taxa 2 de RSU, a medida que aumenta a população do município. Fato não observado com clareza para a totalidade dos dados amostra (Figuras 14, 15, 17 e 18). Contudo, o comportamento das taxas de RSU em relação ao PIB *per capita* em cada classificação foi semelhante ao verificado para todo o conjunto de dados, no qual, apesar apresentar tendência crescente, há uma concentração dos dados em faixas específicas. Para as classificações apresentadas, as taxas estão mais concentradas nos municípios com PIB *per capita* inferior a 50 mil reais.hab⁻¹.ano⁻¹ (Figuras 46, 49, 52, 55 e 58).

Tabela 27 - Modelos para as taxas de RSU por classes de população e subclasses de PIB *per capita*

Classes	Variável dependente	Variáveis independentes	Modelo	Equação	r	r ²	r _a ²	Er %	p	n
2.3 - População entre 30.001 e 100.000 habitantes e PIB _{PC} maior que 29 mil reais	Tx1	P _t e PIB _{PC}	25	$Tx1 = 0,0000028 * P_t + 0,0015 * PIB_{PC} + 0,5659$	0,2400	0,0576	0,0465	23,7993	0,0064	173
		P _u e PIB _{PC}	26	$Tx1 = 0,0000027 * P_u + 0,0014 * PIB_{PC} + 0,5837$	0,2370	0,0561	0,0450	29,0605	0,0073	173
	Tx2	P _t e PIB _{PC}	27	$Tx2 = 0,0000035 * P_t + 0,0013 * PIB_{PC} + 0,4659$	0,2736	0,0748	0,0639	24,4167	0,0013	173
		P _u e PIB _{PC}	28	$Tx2 = 0,000004 * P_u + 0,0013 * PIB_{PC} + 0,4568$	0,2983	0,0890	0,0782	24,4341	0,0003	173
3.3 - População entre 100.001 e 250.000 habitantes e PIB _{PC} maior que 33 mil reais	Tx2	P _t e PIB _{PC}	29	$Tx2 = 0,00000093 * P_t + 0,0022 * PIB_{PC} + 0,6243$	0,2376	0,0564	0,0391	21,1381	0,0421	112
		P _u e PIB _{PC}	30	$Tx2 = 0,00000096 * P_u + 0,0022 * PIB_{PC} + 0,6267$	0,2400	0,0576	0,0403	21,1400	0,0394	112
4.3 - População entre 250.001 e 1.000.000 habitantes e PIB _{PC} maior que 35 mil reais	Tx1	P _t	31	$Tx1 = 0,00000033 * P_t + 0,7235$	0,2945	0,0867	0,0740	19,2010	0,0109	74
		P _u	32	$Tx1 = 0,00000035 * P_u + 0,7178$	0,3122	0,0975	0,0850	19,1059	0,0068	74
	Tx2	P _t	33	$Tx2 = 0,00000036 * P_t + 0,6925$	0,3106	0,0965	0,0839	20,0937	0,0071	74
		P _u	34	$Tx2 = 0,00000039 * P_u + 0,6838$	0,3341	0,1116	0,0992	19,9232	0,0036	74

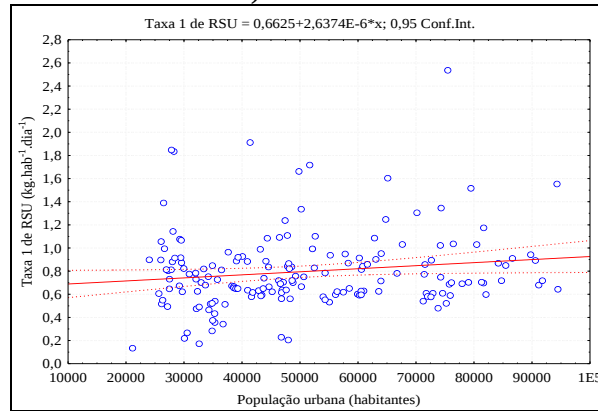
Fonte: Autora (2016).

Figura 44 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 173) – classe 2.3



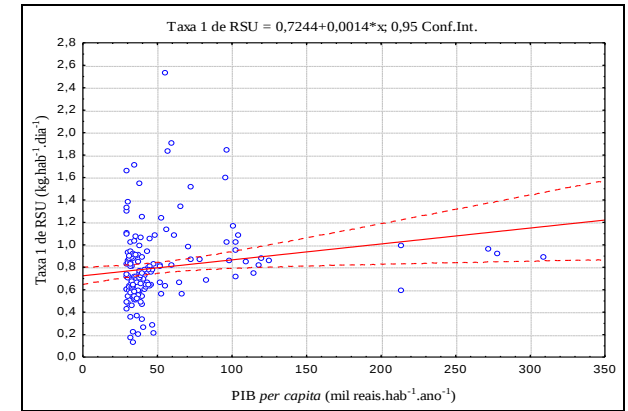
Fonte: Autora (2016).

Figura 45 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 173) – classe 2.3



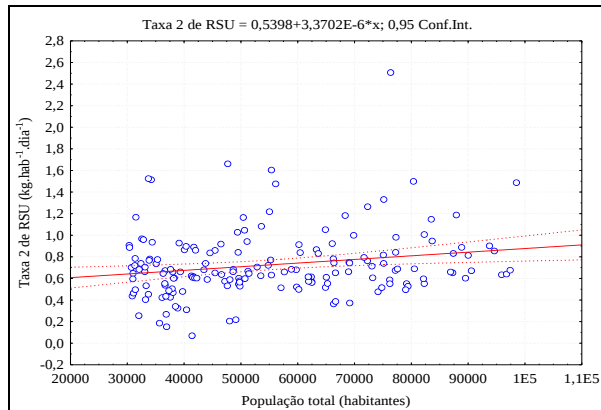
Fonte: Autora (2016).

Figura 46 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n = 173) – classe 2.3



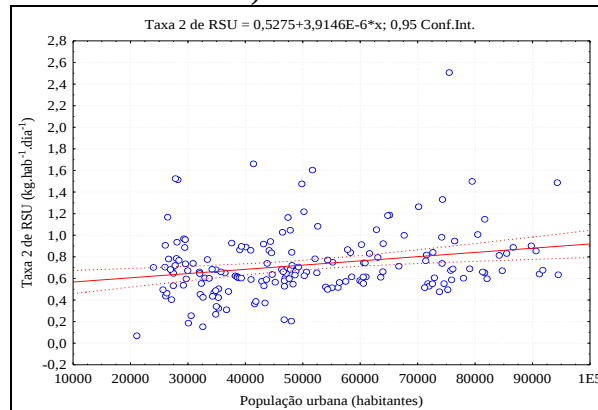
Fonte: Autora (2016).

Figura 47 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 173) – classe 2.3



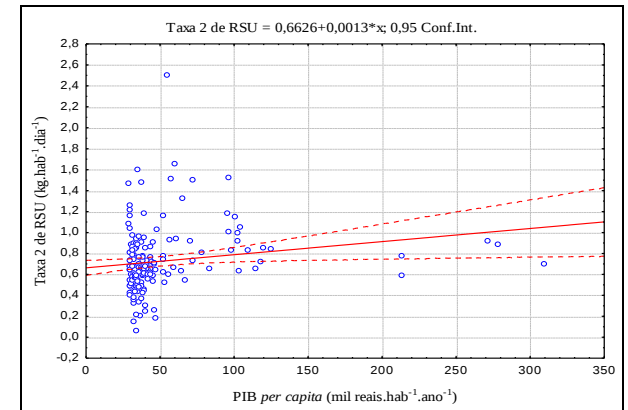
Fonte: Autora (2016).

Figura 48 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 173) – classe 2.3



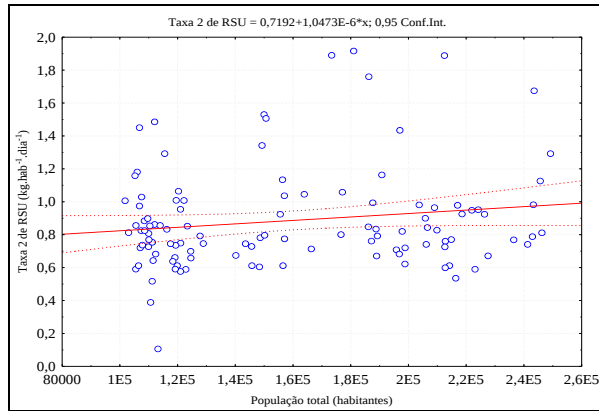
Fonte: Autora (2016).

Figura 49 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 173) – classe 2.3



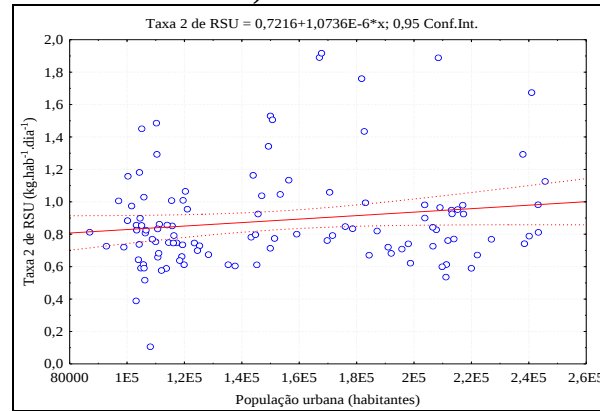
Fonte: Autora (2016).

Figura 50 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 112) – classe 3.3



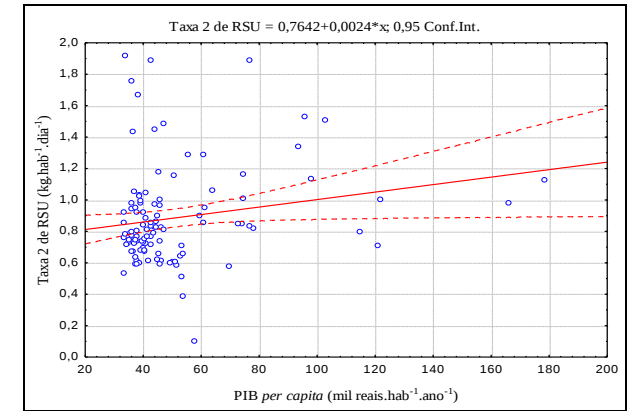
Fonte: Autora (2016).

Figura 51 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 112) – classe 3.3



Fonte: Autora (2016).

Figura 52 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 112) – classe 3.3



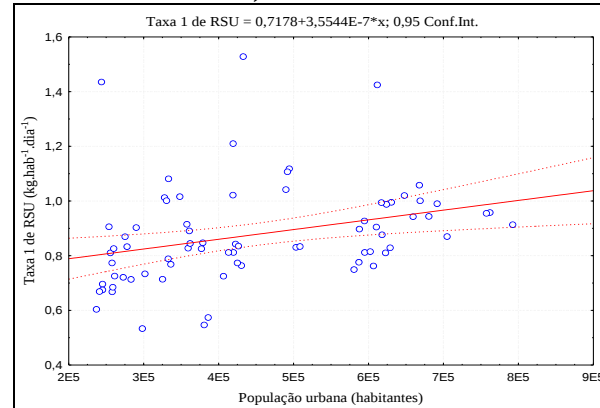
Fonte: Autora (2016).

Figura 53 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 112) – classe 4.3



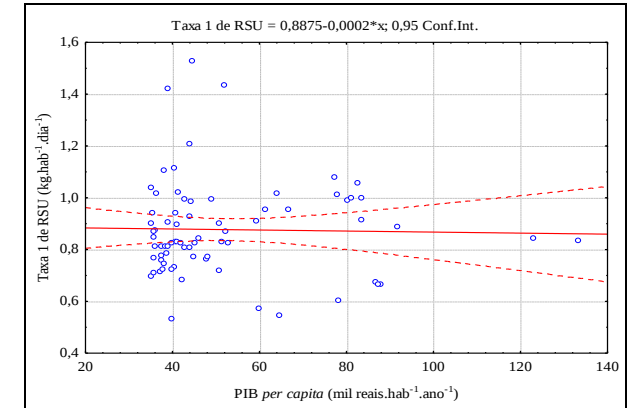
Fonte: Autora (2016).

Figura 54 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 112) – classe 4.3



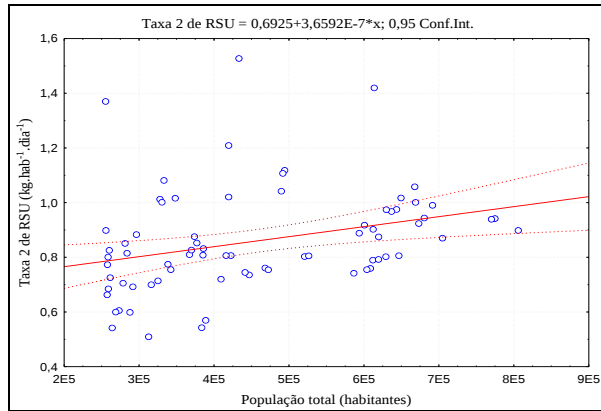
Fonte: Autora (2016).

Figura 55 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n = 112) – classe 4.3



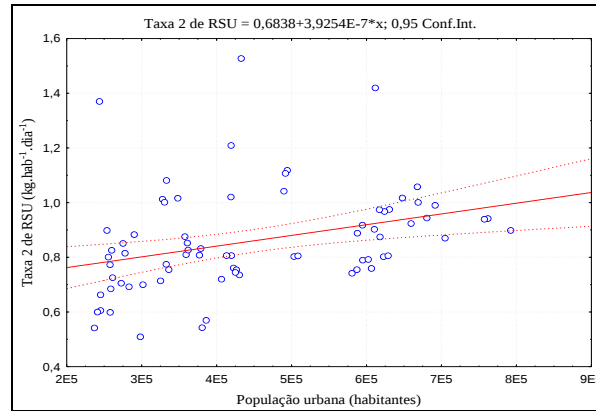
Fonte: Autora (2016).

Figura 56 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 74) – classe 4.3



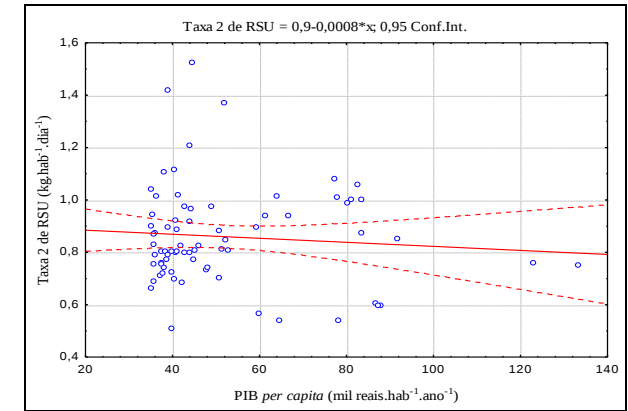
Fonte: Autora (2016).

Figura 57 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 74) – classe 4.3



Fonte: Autora (2016).

Figura 58 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 74) – classe 4.3



Fonte: Autora (2016).

5.1.3 SITUAÇÃO 4: MODELOS POR CLASSE DE PIB *PER CAPITA* E SUBCLASSES DE POPULAÇÃO

Outro agrupamento da amostra foi com base na renda *per capita* do município. Não obtendo nenhum resultado esperado, procedeu-se a formulação dos modelos por classes de PIB *per capita* e subclasses de população. Apenas as duas últimas classes (11 e 12), com os municípios com PIB *per capita* de 27 a 37 mil reais e aqueles com PIB *per capita* superior a 37 mil reais, apresentaram resultados dentro do limite de qualidade definido.

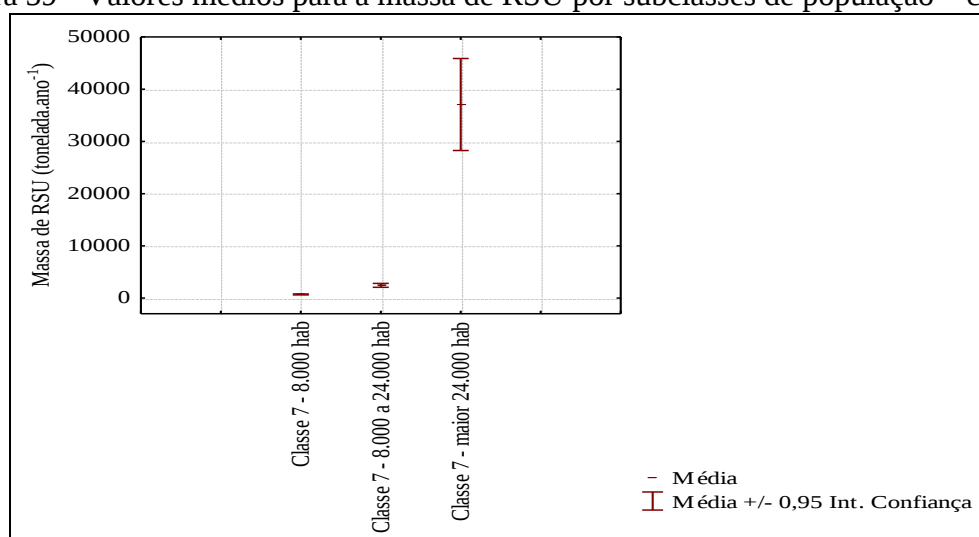
O apêndice C apresenta algumas estatísticas para todas as variáveis por cada classe de PIB *per capita* e subclasse de população.

As Figuras 59 a 64 mostram os valores médios para a massa de RSU em cada classe de PIB *per capita* e subclasse de população. Percebe-se que em cada classe há um crescimento da média de RSU à medida que aumenta a população do município.

O mesmo ocorre para a taxa 2. Nesse caso pôde-se concluir, que o aumento do porte do município é acompanhado pelo crescimento da geração *per capita* de RSU, estando coerente com os dados apresentados pela CETESB (2015).

Em relação à taxa 1, somente as classe 7, 8, 9, 11 seguem a mesma tendência. Nas classes 10 e 12 o menor valor da taxa 1 estão nas subclasses com faixa de população intermediária.

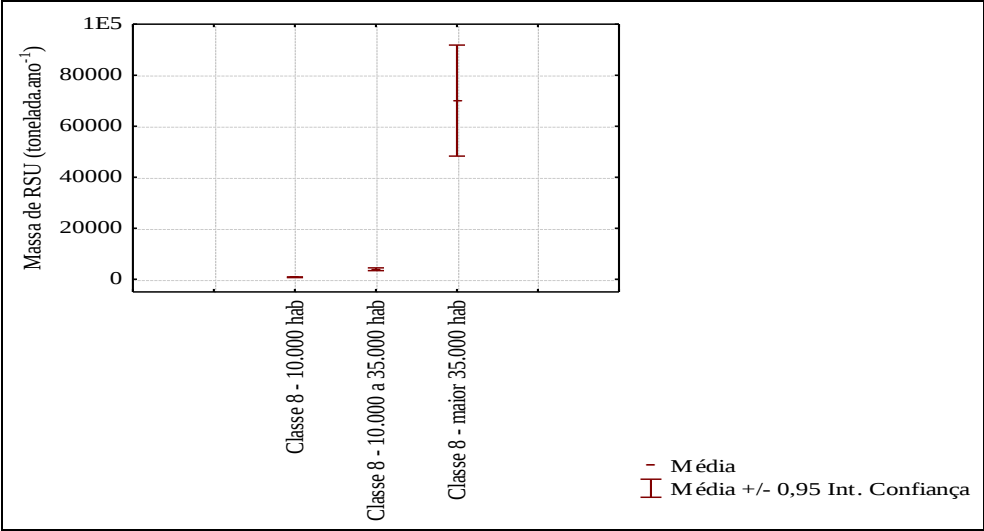
Figura 59 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 7



Classe 7 – PIB *per capita* até 13 mil reais

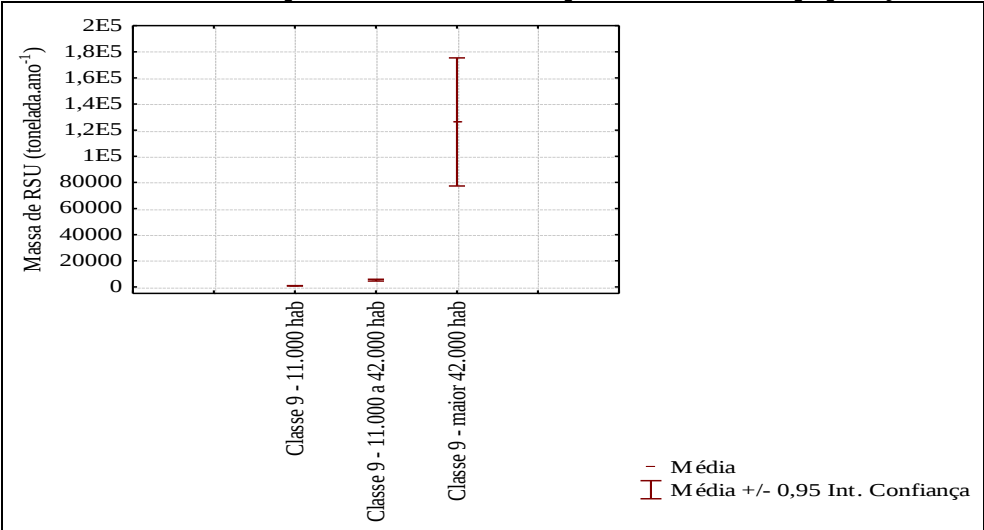
Fonte: Autora (2016).

Figura 60 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 8



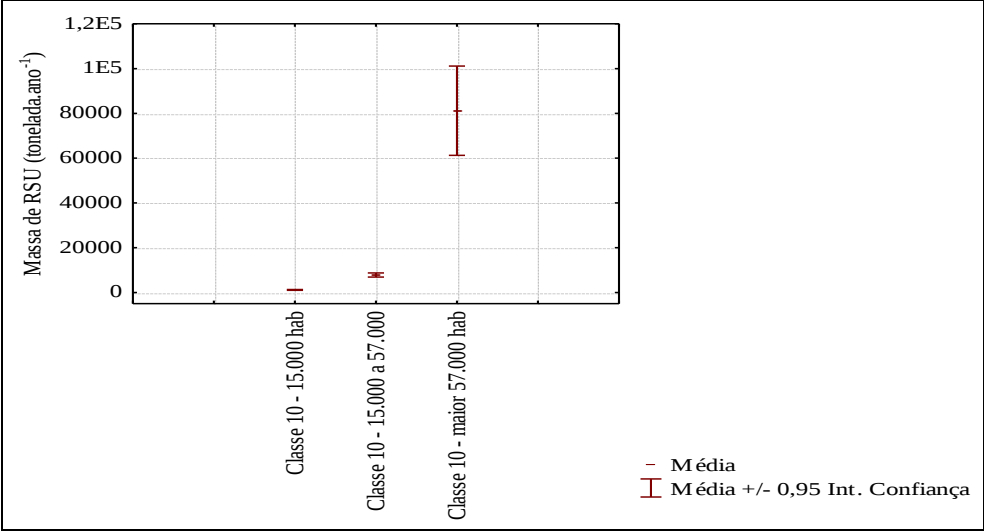
Classe 8 – PIB *per capita* de 13 a 17 mil reais
Fonte: Autora (2016).

Figura 61 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 9



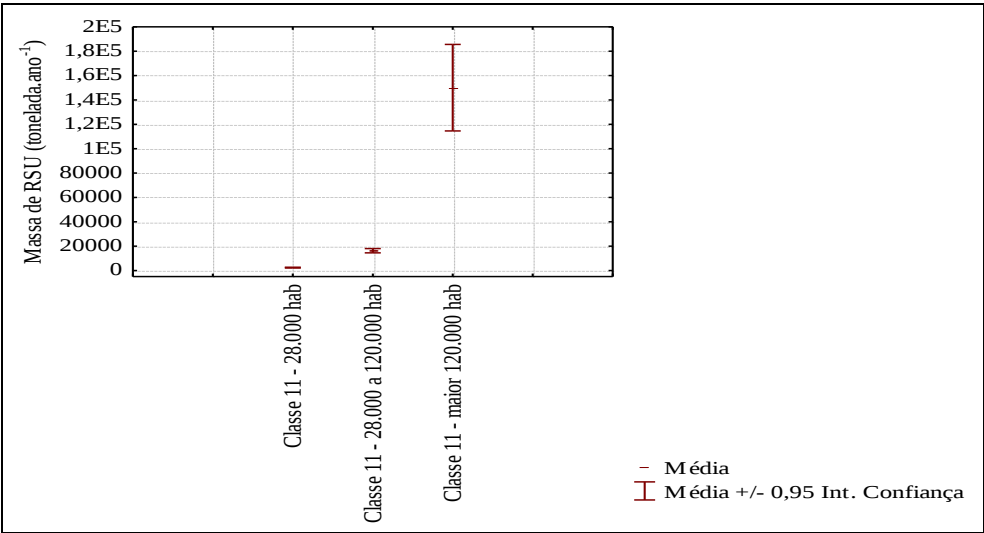
Classe 9 – PIB *per capita* de 17 a 21 mil reais
Fonte: Autora (2016).

Figura 62 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 10



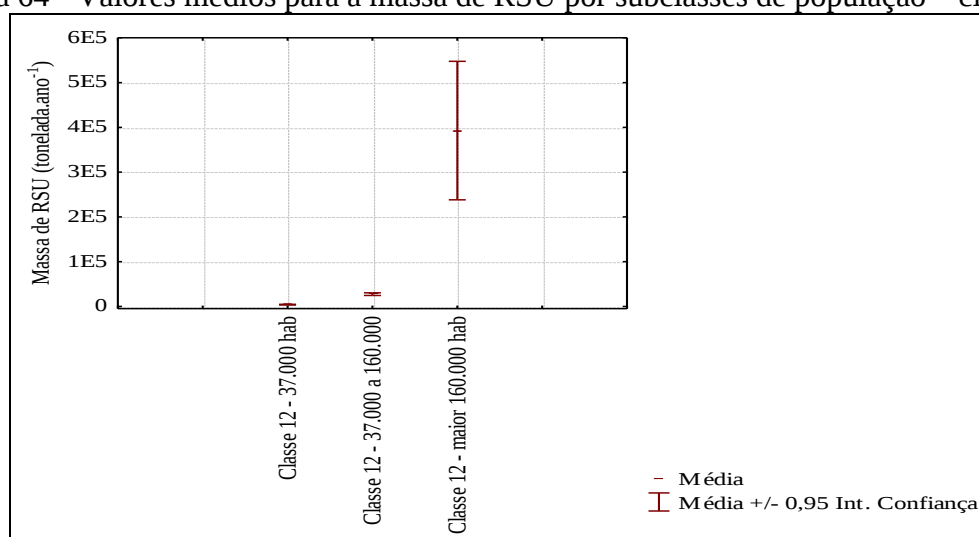
Classe 10 – PIB *per capita* de 21 a 27 mil reais
Fonte: Autora (2016).

Figura 63 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 11



Classe 11 - PIB *per capita* de 27 a 37 mil reais
Fonte: Autora (2016).

Figura 64 - Valores médios para a massa de RSU por subclasses de população – classe 12

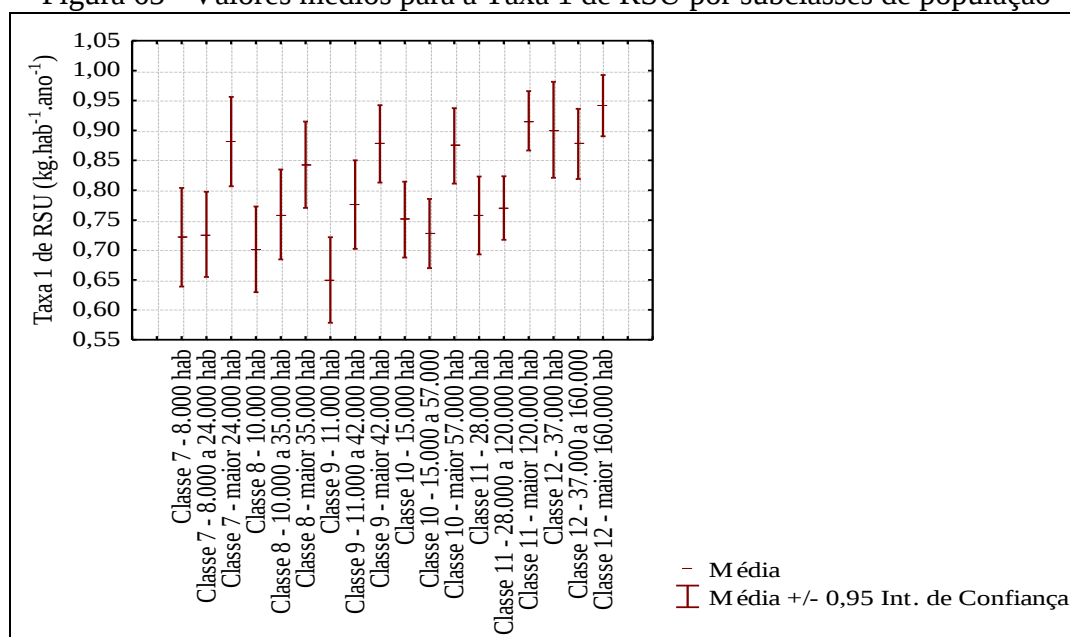


Classe 12 - PIB *per capita* maior que 37 mil reais.

Fonte: Autora (2016).

Os valores médios para as taxas 1 e 2 podem ser vistos nas Figuras 65 e 66, respectivamente.

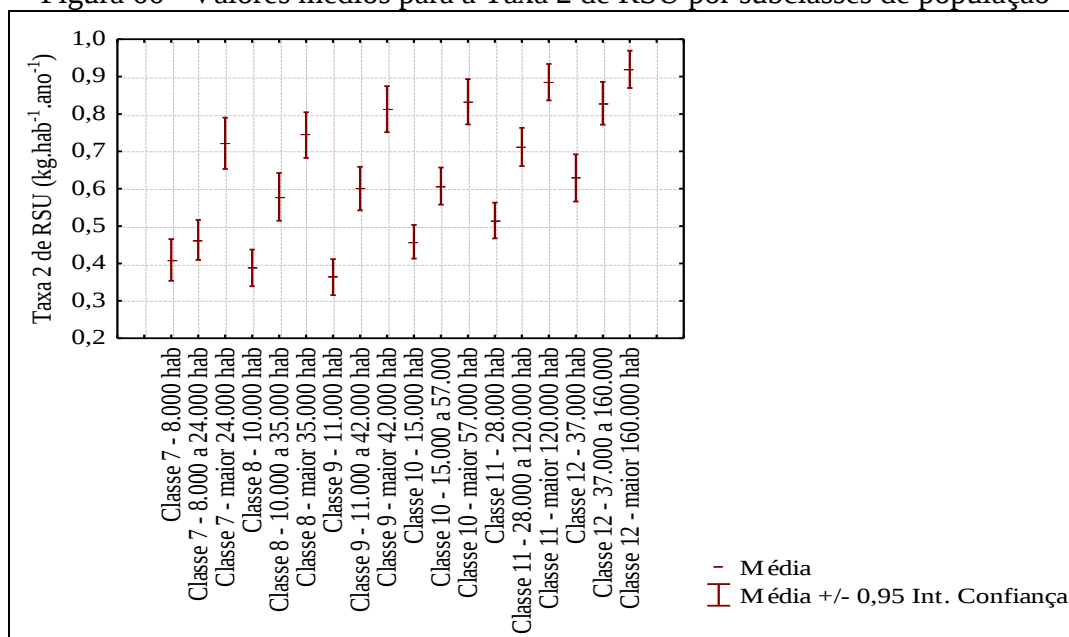
Figura 65 - Valores médios para a Taxa 1 de RSU por subclasses de população



Classe 7 – PIB *per capita* até 13 mil reais ; Classe 8 – PIB *per capita* de 13 a 17 mil reais ; Classe 9 – PIB *per capita* de 17 a 21 mil reais ; Classe 10 – PIB *per capita* de 21 a 27 mil reais; Classe 11 - PIB *per capita* de 27 a 37 mil reais ; Classe 12 - PIB *per capita* maior que 37 mil reais.

Fonte: Autora (2016).

Figura 66 - Valores médios para a Taxa 2 de RSU por subclasses de população



Classe 7 – PIB *per capita* até 13 mil reais ; Classe 8 – PIB *per capita* de 13 a 17 mil reais ; Classe 9 – PIB *per capita* de 17 a 21 mil reais ; Classe 10 – PIB *per capita* de 21 a 27 mil reais; Classe 11 - PIB *per capita* de 27 a 37 mil reais ; Classe 12 - PIB *per capita* maior que 37 mil reais.

Fonte: Autora (2016).

5.1.3.1 Modelos para a massa de RSU

Os modelos formulados para a massa de RSU em cada classe de PIB *per capita* e subclasse de população são apresentados na Tabela 28.

Nos municípios com PIB *per capita* entre 27 e 37 mil reais e maior que 120.000 habitantes (11.3), existem dois modelos para estimativa da massa de RSU (modelo 35 e 36). Os modelos formulados apresentaram erro percentual de aproximadamente 21% e alto valor de r_a^2 (0,928 e 0,927). Apesar dos bons resultados obtidos, os modelos tem apenas a população total ou urbana como variável independente. O modelo 35 apresentou o maior r_a^2 e menor erro percentual.

A estimativa da massa de RSU para a classe de municípios com PIB *per capita* maior que 37 mil reais e população maior que 160.000 habitantes (12.3), pode ser realizada através do modelo 37, que possui apenas a população urbana como variável independente e elevado valor de r_a^2 (0,9479) e erro percentual de aproximadamente 30%.

Igualmente às situações 1 e 2, a população total ou urbana está presente em todos os modelos para massa de RSU e apresentou correlação positiva, ou seja, quanto maior o contingente populacional do município, maior será o quantitativo em massa de RSU. Nenhum dos modelos para a massa de RSU (35 a 37) apresentou influência da renda.

Tabela 28 - Modelos para massa de RSU por classes de PIB *per capita* e subclasses de população

Classe	Variáveis independentes	Modelo	Equação	r	r ²	r _a ²	Er %	p	n
11.3 - PIBPC entre 27 e 37 mil reais e população maior que 120.001 habitantes	P _t	35	$M = 0,4260 \cdot P_t - 29867,4424$	0,9634	0,9282	0,9277	21,0371	0,0000	127
	P _u	36	$M = 0,4245 \cdot P_u - 25636,9178$	0,9631	0,9275	0,9269	21,9983	0,0000	127
12.3 - PIBPC maior que 37 mil reais e população maior que 160.000 habitantes	P _u	37	$M = 0,3702 \cdot P_u + 5885,1330$	0,9738	0,9483	0,9479	30,4964	0,0000	119

Fonte: Autora (2016).

5.1.3.2 Modelos para a taxa *per capita* de RSU

Com essa classificação da amostra obteve-se resultados com erro percentual inferior a 30% para quatro classificações (8.3, 9.3, 11.3 e 12.2). Os modelos podem ser observados na Tabela 29.

Os municípios com PIB *per capita* entre 13 e 17 mil reais e população maior que 35.000 habitantes apresentaram modelos apenas para a taxa 2 de RSU (38 e 99) e com a população total ou urbana como variável independente. Os valores do erro percentual e r_a^2 foram semelhantes para esses modelos.

As demais classificações apresentaram modelos tanto para a taxa 1 de RSU quanto para taxa 2 de RSU. Para os municípios com PIB *per capita* entre 17 e 21 mil reais e população maior que 42.000 habitantes foram formulados 4 modelos para as taxas de RSU, todos com apenas a população total ou urbana como variável independente. O erro percentual variou de 24,9968 a 25,6636 e o r_a^2 de 0,0715 a 0,1148.

A classe de municípios com PIB *per capita* entre 27 e 37 mil reais e população maior que 120.000 habitantes possui dois modelos para taxa 1 e RSU (44 e 45) e dois modelos para taxa 2 de RSU (46 e 47), bem como somente a população total ou urbana como variável independente. A diferença entre os erros percentuais foi pequena e o r_a^2 variou de 0,0543a 0,0810.

A última classificação com modelos válidos, municípios com PIB *per capita* maior que 37 mil reais e população entre 37.000 e 160.000 habitantes, apresentou dois modelos para taxa 1 de RSU (48 e 49) e dois modelos para taxa 2 de RSU (50 e 51). Tanto a população total e urbana, quanto o PIB *per capita* foram variáveis influentes na geração de RSU. O erro percentual nesses modelos foi aproximadamente 28% e o r_a^2 variou de 0,0489 a 0,0810.

As figuras 67 a 87 ilustram o comportamento da dispersão das taxas 1 e 2 de RSU em relação a cada variável independente, para as classificações que apresentaram modelos válidos.

Assim como na maioria das situações 1 e 2, ao analisar o comportamento das taxas de RSU em relação a cada variável independente, pôde-se observar uma tendência de crescimento das taxas de RSU, quanto há um aumento na população do município. Percebeu-se ainda, que grande parte dos dados concentra-se na faixa de municípios com população até 500.000 habitantes (Figuras 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 77, 79 e 80). Nas Figuras 82, 83, 85 e 86 os dados das taxas de RSU apresentaram-se mais distribuídos, visto que a população nesses casos foi de no máximo 180.000 habitantes.

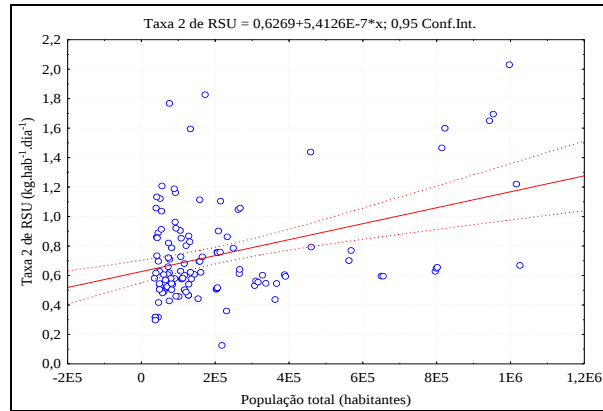
O comportamento das taxas em relação ao PIB *per capita* na classificação na qual esta variável foi significativa na geração de RSU, a 12.2, foi o mesmo observado para a totalidade da amostra. Observa-se uma tendência de crescimento das taxas, ao passo que se aumenta a renda *per capita* do município, e uma concentração dos dados nos municípios com PIB *per capita* inferior a 60 mil reais hab⁻¹.ano⁻¹.

Tabela 29 - Modelos para as taxas de RSU por classes de PIB *per capita* e subclasses de população

Classe	Variável dependente	Variáveis independentes	Modelo	Equação	r	r ²	r _a ²	Er %	p	n
8.3 - PIBPC entre 13 e 17 mil reais e população maior que 35.000 habitantes	Tx2	P _t	38	$Tx2 = 0,6268 + 0,00000054* P_t$	0,3862	0,1492	0,1420	29,4928	0,00001	121
		P _u	39	$Tx2 = 0,6304 + 0,00000055* P_u$	0,3939	0,1552	0,1480	29,2571	0,00001	121
9.3 - PIBPC entre 17 e 21 mil reais e população maior que 42.000 habitantes	Tx1	P _t	40	$Tx1 = 0,8183 + 0,00000017* P_t$	0,2847	0,0811	0,0733	24,9968	0,00155	121
		P _u	41	$Tx1 = 0,8208 + 0,00000017* P_u$	0,2815	0,0792	0,0715	25,0275	0,00176	121
	Tx2	P _t	42	$Tx2 = 0,7435 + 0,00000002* P_t$	0,3496	0,1222	0,1148	25,6636	0,00008	121
		P _u	43	$Tx2 = 0,7460 + 0,00000002* P_u$	0,3484	0,1214	0,1140	25,6526	0,00009	121
11.3 - PIBPC entre 27 e 37 mil reais e população maior que 120.000 habitantes	Tx1	P _t	44	$Tx1 = 0,8508 + 0,00000015* P_t$	0,2500	0,0625	0,0550	19,4795	0,00458	127
		P _u	45	$Tx1 = 0,8526 + 0,00000015* P_u$	0,2485	0,0618	0,0543	19,5041	0,00484	127
	Tx2	P _t	46	$Tx2 = 0,8092 + 0,00000018* P_t$	0,2971	0,0883	0,0810	19,8113	0,00069	127
		P _u	47	$Tx2 = 0,8109 + 0,00000018* P_u$	0,2972	0,0883	0,0810	19,8338	0,00069	127
12.2 - PIBPC maior que 37 mil reais e população entre 37.000 e 160.000 habitantes	Tx1	P _t e PIB _{PC}	48	$Tx1 = 0,6160 + 0,000001* P_t + 0,0020* PIB_{PC}$	0,2552	0,0651	0,0489	28,3652	0,02080	118
		P _u e PIB _{PC}	49	$Tx1 = 0,6201 + 0,0000016* P_u + 0,0019* PIB_{PC}$	0,2586	0,0669	0,0506	28,5817	0,01869	118
	Tx2	P _t e PIB _{PC}	50	$Tx2 = 0,5243 + 0,0000020* P_t + 0,0020* PIB_{PC}$	0,2934	0,0861	0,0702	28,6252	0,00566	118
		P _u e PIB _{PC}	51	$Tx2 = 0,5130 + 0,0000023* P_u + 0,0020* PIB_{PC}$	0,3120	0,0974	0,0817	28,4505	0,00276	118

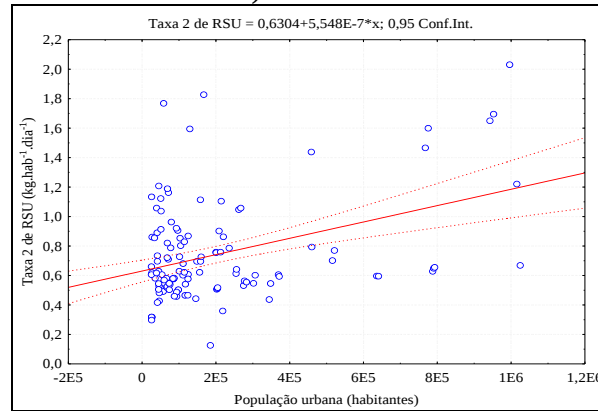
Fonte: Autora (2016).

Figura 67 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 121) – classe 8.3



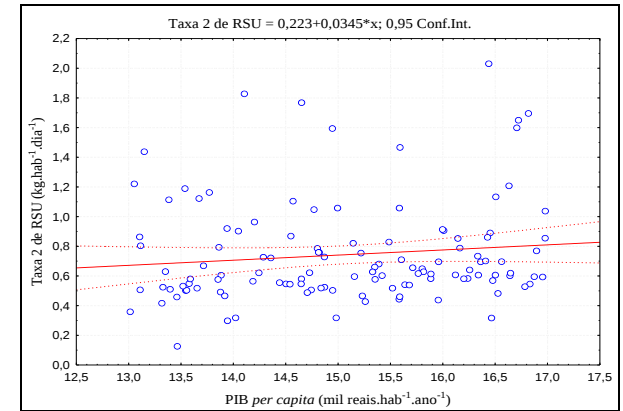
Fonte: Autora (2016).

Figura 68 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 121) – classe 8.3



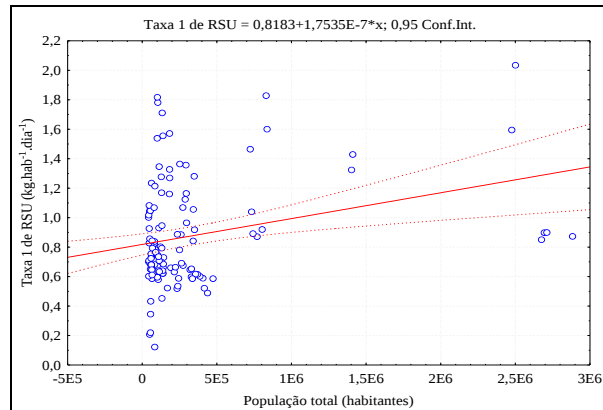
Fonte: Autora (2016).

Figura 69 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 121) – classe 8.3



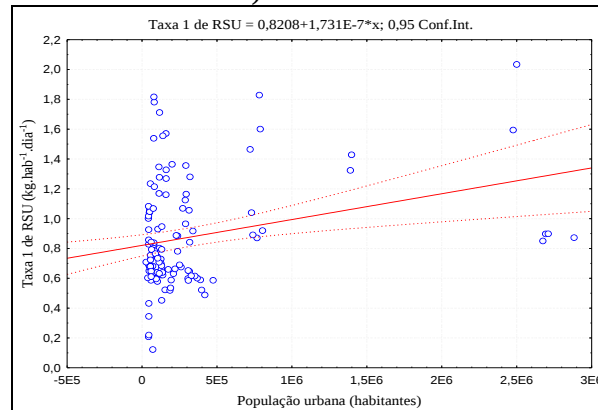
Fonte: Autora (2016).

Figura 70 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 121) – classe 9.3



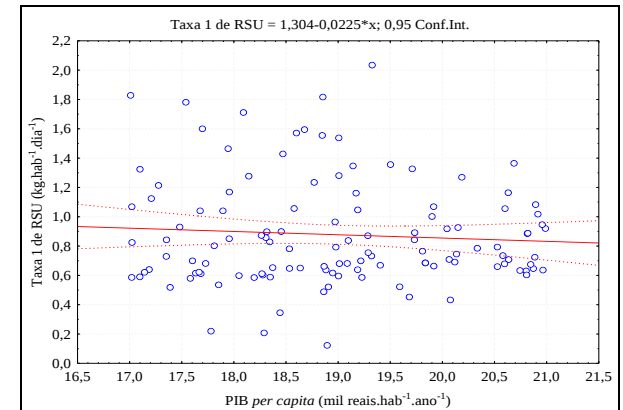
Fonte: Autora (2016).

Figura 71 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 121) – classe 9.3



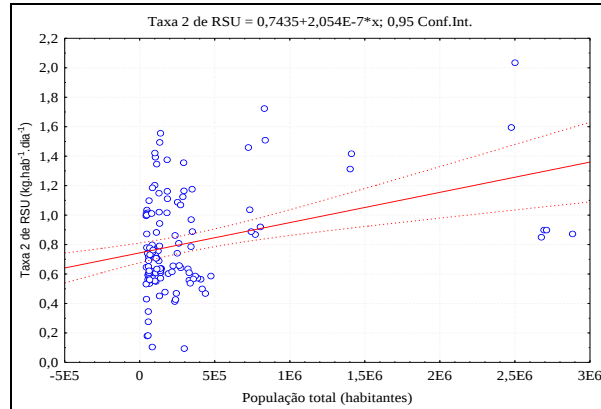
Fonte: Autora (2016).

Figura 72 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n = 121) – classe 9.3



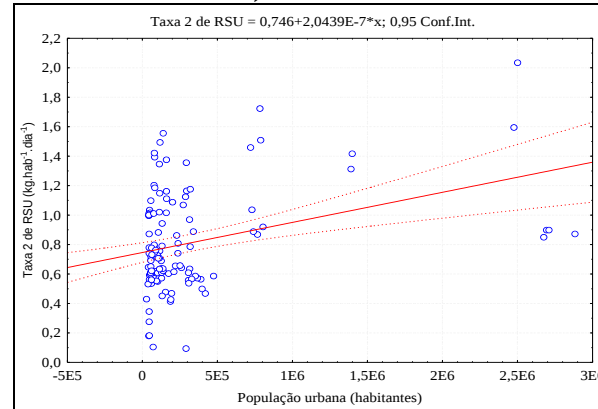
Fonte: Autora (2016).

Figura 73 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 121) – classe 9.3



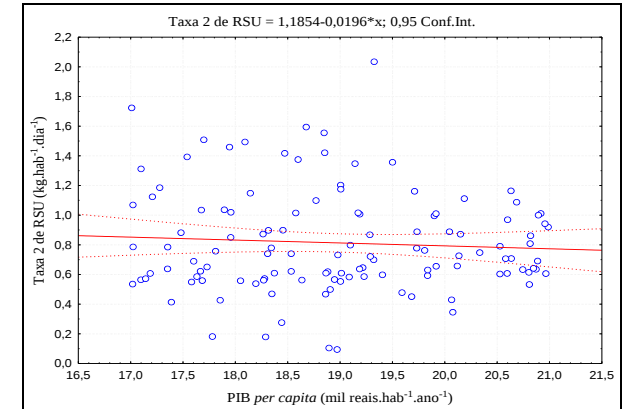
Fonte: Autora (2016).

Figura 74 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 121) – classe 9.3



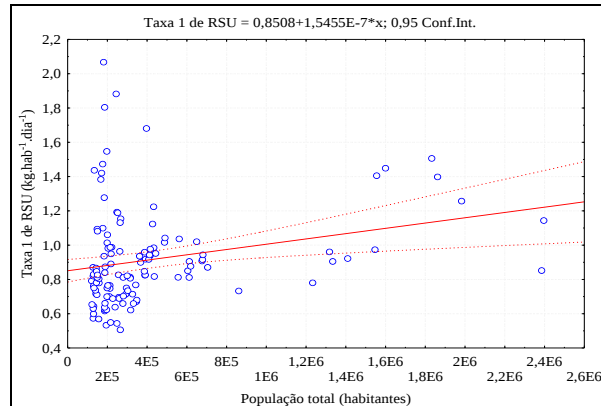
Fonte: Autora (2016).

Figura 75 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 121) – classe 9.3



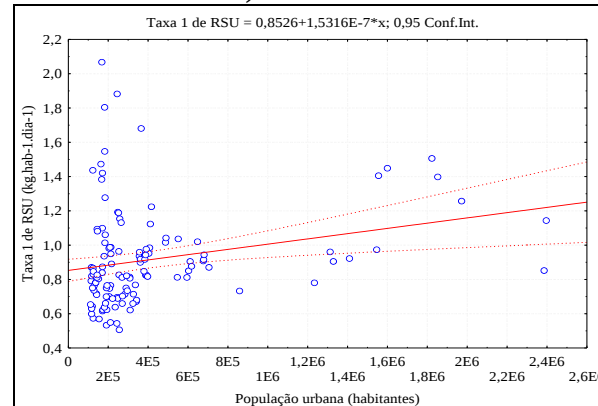
Fonte: Autora (2016).

Figura 76 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 127) – classe 11.3



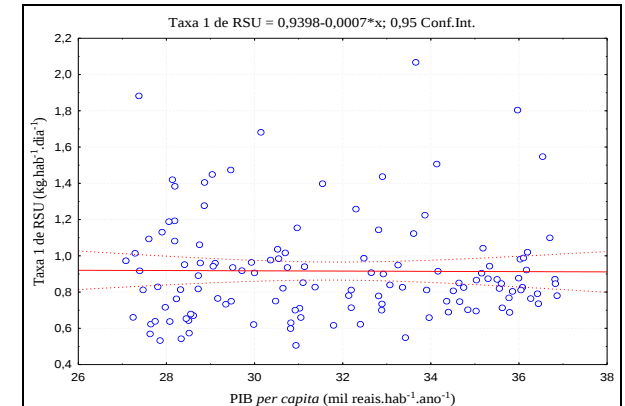
Fonte: Autora (2016).

Figura 77 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 127) – classe 11.3



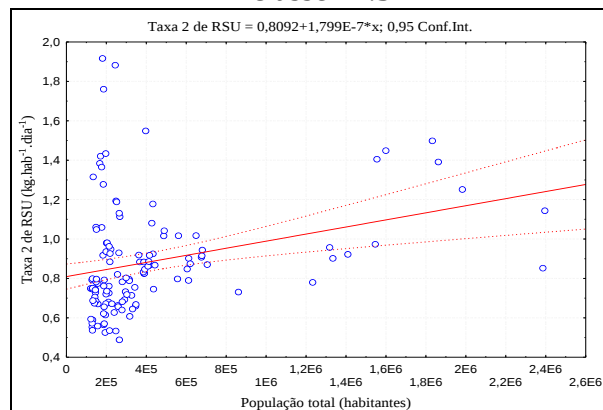
Fonte: Autora (2016).

Figura 78 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n = 127) – classe 11.3



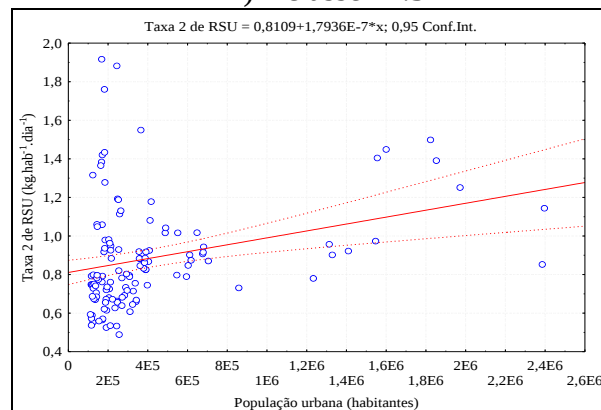
Fonte: Autora (2016).

Figura 79 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 127) – classe 11.3



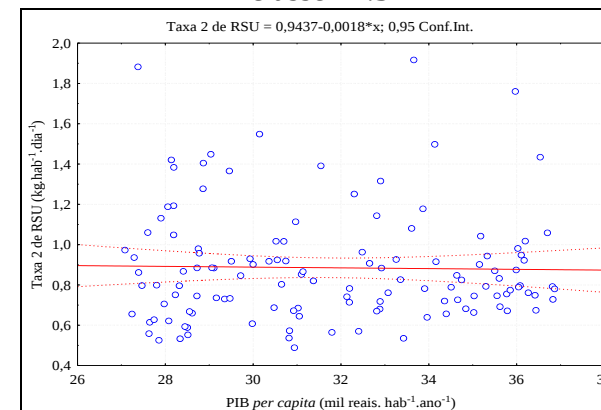
Fonte: Autora (2016).

Figura 80 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 127) – classe 11.3



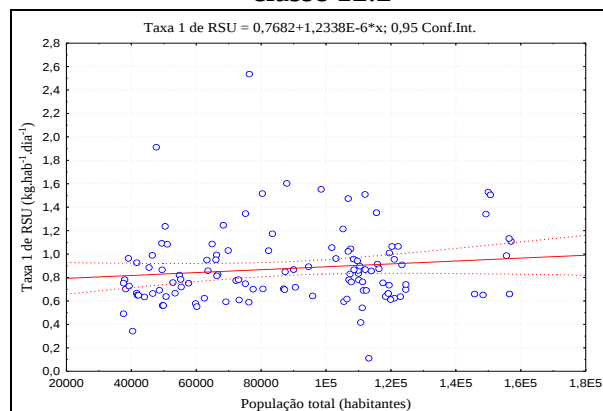
Fonte: Autora (2016).

Figura 81 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 127) – classe 11.3



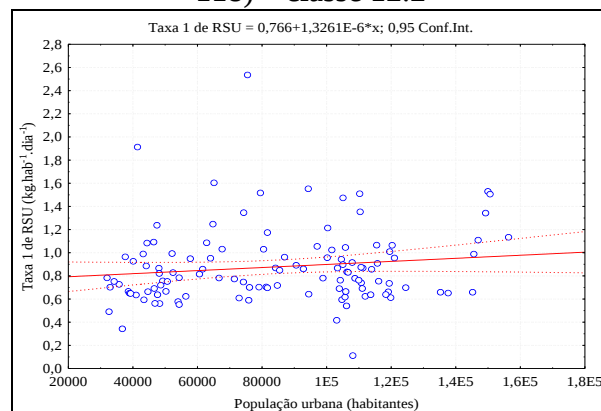
Fonte: Autora (2016).

Figura 82 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população total (n = 118) – classe 12.2



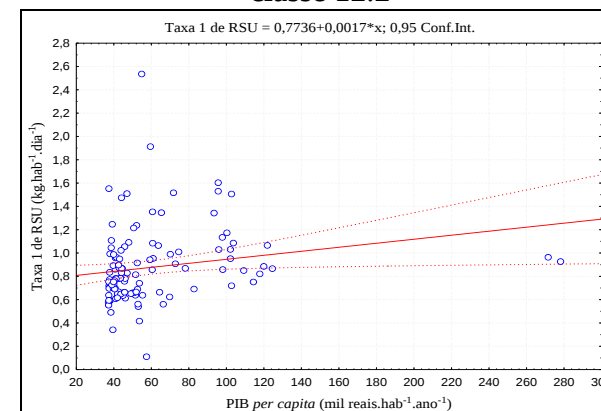
Fonte: Autora (2016).

Figura 83 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e a população urbana (n = 118) – classe 12.2



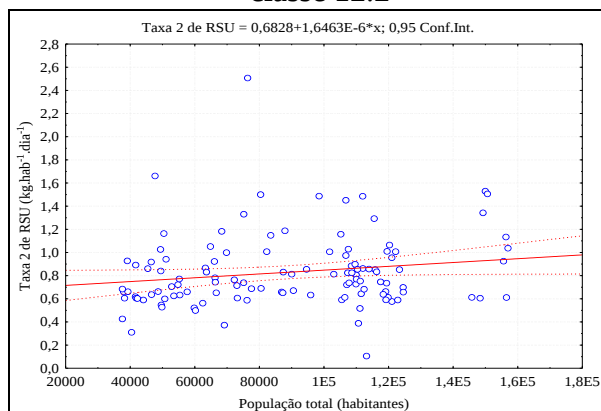
Fonte: Autora (2016).

Figura 84 - Comportamento da dispersão entre a taxa 1 de RSU e o PIB *per capita* (n = 118) – classe 12.2



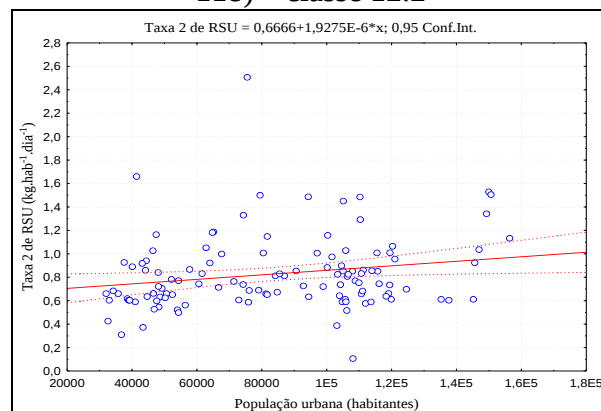
Fonte: Autora (2016).

Figura 85 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população total (n = 118) – classe 12.2



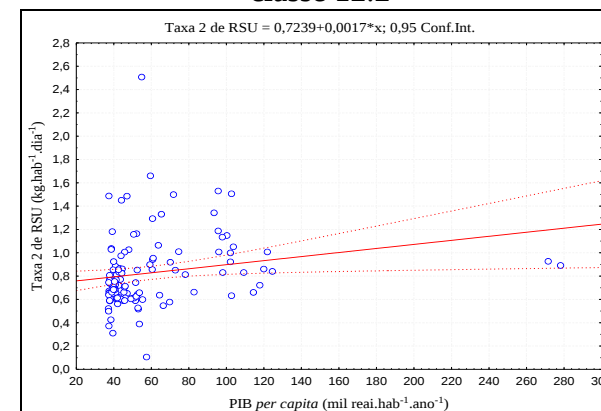
Fonte: Autora (2016).

Figura 86 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e a população urbana (n = 118) – classe 12.2



Fonte: Autora (2016).

Figura 87 - Comportamento da dispersão entre a taxa 2 de RSU e o PIB *per capita* (n = 118) – classe 12.2



Fonte: Autora (2016).

5.1.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE E ESCOLHA DOS MODELOS

No apêndice D, podem ser observados os gráficos dos valores previstos *versus* os observados, para todos os modelos apresentados na pesquisa.

Modelos com maiores valores de r_a^2 e erro percentual menor são os mais indicados de serem utilizados. Isso significa que há uma maior proporção de variância total da massa ou taxa de RSU que é explicada pela variável independente do modelo, e ao apresentar erro percentual inferior, mostra a capacidade daquele de ser utilizado em outros municípios brasileiros, não apenas nos que participaram na formulação do modelo.

De posse de todos os modelos obtidos, para utilizar esses modelos na prática, o gestor deverá observar se a aplicação do modelo é condizente com as características do município, e além de observar os valores de r_a^2 e erro percentual.

Os modelos formulados na pesquisa obtiveram média do módulo do erro percentual relativo por volta de 23%. Essa diferença entre o valor calculado pelo modelo e o valor real pode está relacionada:

- À qualidade dos dados de entrada do modelo, nesse caso, relacionado aos dados do SNIS, já que são os próprios municípios que fornecem os dados;
- À diferença entre a quantidade de RSU que chega à unidade de disposição final do município (utilizada pelo SNIS) e a quantidade efetivamente gerada, que inclui a parcela não coletada de RSU.
- À possibilidade de existirem outras variáveis independentes que contribuam para explicar a variabilidade da geração de RSU; e/ou
- Existir outro tipo de modelo que explique melhor a relação entre a variável dependente e as independentes.

5.1.5 ABRANGÊNCIA DOS MODELOS

Com base na conjuntura dos municípios brasileiros, analisada a partir dos últimos dados disponíveis da população e PIB, as Tabelas 30 a 32 apresentam a abrangência dos modelos em relação ao número de municípios brasileiros atendidos, bem como em relação à população total, em cada classificação.

Percebe-se que, apesar da maioria dos municípios estarem nas classes não contempladas com modelos (classes 1 e 2), os modelos das demais classes atingem a 304

municípios, aproximadamente 6% dos municípios brasileiros, porém em termos populacionais cerca de 56 % da população total do Brasil. A Tabela 30 apresenta os dados para cada classe de população.

Tabela 30 - Abrangência dos modelos em relação ao número de municípios e população total brasileira – classes de população

Classe de população	Modelo de estimativa de RSU	Nº de municípios atendidos ¹	População total atendida ¹
1 – Até 30.000 habitantes	-		
2 - De 30.001 a 100.000 habitantes	-		
3 - De 100.001 a 250.000 habitantes	1 e 7	194	29.349.756
4 - De 250.001 a 1.000.000	2, 3, 8, 9, 10 e 11	93	40.368.536
5 - De 1.000.001 a 3.000.000 habitantes	5 e 6	15	26.445.662
6 - Maior que 3.000.000 habitantes	5, 6, 12, 13, 14 e 15	2	18.444.456

¹Foi utilizado a população total do ano de 2015 (IBGE ,2015).

Fonte: Autora (2016).

De acordo com a Tabela 31, pode-se observar que para 334 municípios (6 % do total de municípios brasileiros) existem no mínimo dois modelos possíveis de serem utilizados na estimativa da geração de RSU. Esses municípios representam 34% do total de municípios brasileiros com até 1.000.000 de habitantes e 27% da população total do Brasil.

Tabela 31 - Abrangência dos modelos em relação ao número de municípios e população total brasileira – classes de população e subclasses de PIB *per capita*

Classe de população	Subclasse de PIB <i>per capita</i>	Modelo de estimativa de RSU	Nº de municípios atendidos ¹	População total ¹
1 – Até 30.000 habitantes	Até 15 mil reais	-	-	-
	De 15 a 22 mil reais	-	-	-
	Maior que 22 mil reais	-	-	-
2 - De 30.001 a 100.000 habitantes	Até 20 mil reais	-	-	-
	De 20 a 29 mil reais	-	-	-
	Maior que 29 mil reais	16, 17, 25, 26, 27 e 28	136	7.275.069
3 - De 100.001 a 250.000 habitantes	Até 21 mil reais	18	89	12.807.667
	De 21 a 33 mil reais	-	-	-
	Maior que 33 mil reais	19, 20, 29 e 30	51	8.247.675
4 - De 250.001 a 1.000.000	Até 21 mil reais	-	-	-
	De 21 a 35 mil reais	21 e 22	30	13.363.184
	Maior que 35 mil reais	23, 24, 31, 32, 33 e 34	28	12.658.154

¹Foi utilizado o PIB *per capita* do ano de 2013 (IBGE, 2013) e a população total do ano de 2015 (IBGE ,2015b).

Fonte: Autora (2016).

Ao observar a Tabela 32, percebe-se que a classificação da amostra com base na renda *per capita* do município e em subclasses de população, obteve maior abrangência, um total de 387 municípios (7% do total de municípios brasileiros), que correspondem a 51% da população total brasileira.

Tabela 32 - Abrangência dos modelos em relação ao número de municípios e população total – classes de PIB *per capita* e subclasses de população

Classe de PIB <i>per capita</i>	Subclasse de população	Modelo de estimativa de RSU	Nº de municípios atendidos ¹	População total ¹
7 - Até 13 mil reais	Até 8.000 habitantes	-	-	-
	De 8.000 a 24.000 habitantes	-	-	-
	Maior que 24.000 habitantes	-	-	-
8 - De 13 a 17 mil reais	Até 10.000 habitantes	-	-	-
	De 10.000 a 35.000 habitantes	-	-	-
	Maior que 35.000 habitantes	38 e 39	113	14.721.969
9 - De 17 a 21 mil reais	Até 11.000 habitantes	-	-	-
	De 11.000 a 42.000 habitantes	-	-	-
	Maior que 42.000 habitantes	40, 41, 42 e 43	97	19.926.136
10 - De 21 a 27 mil reais	Até 15.000 habitantes	-	-	-
	De 15.000 a 57.000 habitantes	-	-	-
	Maior que 57.000 habitantes	-	-	-
11 - De 27 a 37 mil reais	Até 28.000 habitantes	-	-	-
	De 28.000 a 120.000 habitantes	-	-	-
	Maior que 120.000 habitantes	35, 36, 44, 45, 46 e 47	59	22.880.703
12 - Maior que 37 mil reais	Até 37.000 habitantes	-	-	-
	De 37.000 a 160.000 habitantes	48, 49, 50, 51	75	5.791.738
	Maior que 160.000 habitantes	37	43	40.638.271

¹Foi utilizado o PIB *per capita* do ano de 2013 (IBGE, 2013) e a população total do ano de 2015 (IBGE, 2015b).
Fonte: Autora (2016).

Considerando o conjunto de modelos formulados com base no porte da população (tabelas 24 a 29), observou-se que alguns municípios não possuem nenhum modelo possível de ser usado. Todos os municípios com população a partir de 100.001 habitantes foram contemplados com modelos. Os municípios com população total entre 30.001 e 100.000 e PIB

per capita maior que 29 mil reais também possuem modelos. Logo, a parcela de municípios situados fora da faixa citada são aqueles com: população total inferior a 30.000 habitantes; e população total de 30.001 a 100.000 e PIB *per capita* menor que 29 mil reais.

A Tabela 33 mostra a quantidade total de municípios que são contemplados com modelos para estimativa da geração de RSU. Os 440 municípios, representam 7,8% do total existente no Brasil, e abrangem a 121.883.479 habitantes, 60,1% da população brasileira.

Tabela 33 - Quantidade total de municípios contemplados com modelos para estimativa da geração de RSU

Classes de municípios com modelos	Nº de município	População total	Modelos
População total maior que 100.001 habitantes	304	114.608.410	1 a 24 e 29 a 51
População total entre 30.001 e 100.000 e PIB <i>per capita</i> maior que 29 mil reais	136	7.275.069	16, 17 e 25 a 28
TOTAL	440	121.883.479	-
% em relação ao Brasil	7,8	60,1	-

¹Foi utilizado o PIB *per capita* do ano de 2013 (IBGE, 2013) e a população total do ano de 2015 (IBGE, 2015b).
Fonte: Autora (2016).

5.1.6 RESSALVAS PARA UTILIZAÇÃO DOS MODELOS

A prática da reciclagem de resíduos sólidos ainda é bastante incipiente no Brasil, o que reflete no banco de dados do SNIS. A implementação da coleta seletiva/práticas de reciclagem num dado município pode alterar significativamente a resposta dada pelos modelos apresentados neste trabalho (ver Ko e Poon, 2009).

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados da presente pesquisa pôde-se concluir que o contingente populacional, bem como a renda de um município são variáveis influentes na geração de RSU. O comportamento da geração de RSU variou em função do porte do município. Para municípios com renda *per capita* semelhantes, a produção *per capita* de RSU é superior em naqueles mais populosos. Esta correlação é indireta, através de outros parâmetros não identificados ou abordados neste estudo. Observou-se também a influência da renda *per capita* na geração de RSU em municípios com população até 250.000 habitantes. Nesses municípios, o crescimento do PIB *per capita* é acompanhado pelo aumento da produção *per capita* de RSU.

A taxa de geração *per capita* com base na população total do município (T_{x2}) apresentou comportamento mais estável que a taxa de geração *per capita* com base na população urbana do município (T_{x1}), possivelmente devido a menor imprecisão na estimativa da população total.

Foi possível delinear modelos para a massa de RSU, bem como para as taxas 1 e 2 de RSU. A depender das características dos municípios, diferentes variáveis independentes foram significativamente influentes na geração de RSU.

Os dados utilizados no trabalho contemplam grande parte da diversidade dos municípios do país, abrangendo aproximadamente 62 e 54% da população urbana e total brasileira, respectivamente. Essa amplitude permitiu que os modelos formulados atingissem a cerca de 60% da população total do país. No entanto, municípios com população inferior a 30.000 não foi possível formular modelos capazes de estimar a geração de RSU.

7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Formular modelos que atendam às pequenas e médias cidades, visto que geralmente enfrentam desafios relacionados à implementação da correta gestão dos resíduos sólidos, especialmente em relação à escassez de recursos e apoio técnico.
- Identificar outros fatores relacionados à produção de resíduos sólidos, uma vez que a podem auxiliar os gestores a planejar ações voltadas para redução, bem como quantificação desses resíduos.

REFERÊNCIAS

- ABDOLI, M. A.; FALAHNEZHAD, M.; BEHBOUDIAN, S. Multivariate Econometric Approach for Solid Waste Generation Modeling: Impact of Climate Factors. **Environmental Engineering Science**, v. 28, n. 9, p. 627-633, mar., 2011.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004 – Resíduos Sólidos - classificação**. 2004.
- ABRAMOVAY, R.; SPERANZA, J. S.; PETITGAND, C. **Lixo Zero - Gestão de Resíduos Sólidos para uma Sociedade Mais Próspera**. São Paulo: Ethos, 2013. ISBN 978-85-364-1615-1 Disponível em: <<http://www3.ethos.org.br/wp-content/uploads/2013/09/Residuos-Lixo-Zero.pdf>>. Acesso em: 26/11/2014.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil - 2014**. 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 02/02/2016.
- ADHIKARI, K. B.; BARRINGT, S.; MARTINEZ, J. Predicted growth of world food waste and methane production. **Waste Manag Res**, v. 24, n. 5, p. 421-433, 2006.
- AFON, A. O.; OKEWOLE, A. Estimating the quantity of solid waste generation in Oyo, Nigeria. **Waste Manag Res**, v. 25, p. 371-379, jan., 2007.
- APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa**. 2 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. P. 59-70. ISBN: 9788522111770 Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/nicojo316/metodologia-da-cincia-filosofia-e-prtica-da-pesquisa-fabio-apolinario>>. Acesso em: 24/11/2014.
- ATHAYDE JR, G. B; ONOFRE, F. L; BESERRA, L. B. D. S. Tax calculation proposal for waste collection based on the amount of residential solid waste. **Acta Scientiarum**, v. 36, n. 1, p. 15-21, jan.-mar., 2014.
- BANDARA, N. J. G. J.; HETTIARATCHI, J. P.; WIRASINGHE, S. C.; PILAPIIYA S. Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study. **Environ Monit Assess**, v.135, n.1, p. 31–39, dez., 2007.
- BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. ISBN: 978-85-99745-36-6.
- BEIGL, P. ; WASSERMANN, G.; SCHNEIDER, F.; SALHOFER, S. Forecasting municipal solid waste generation in major european cities. In: COMPLEXITY AND INTEGRATED RESOURCES MANAGEMENT, Osnabrueck, Germany, 2004. Disponível em: <<http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/regional/beigfore.pdf>>. Acesso em: 25/02/2016.
- BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: A review. **Waste Management**, v. 28, p. 200 – 214, mar., 2008.

BENÍTEZ, S. O.; LOZANO-OLVERA, G.; MORELOS, R. A.; VEJA, C. A. Mathematical modeling to predict residential solid waste generation. **Waste Management**, v. 28, p. S7 – S13, jun., 2008.

BOUERI, R.; MENDONÇA, J.C.; MARINHO, N.S.; CARVALHO, A.X.Y.; CAJUEIRO, D.O. Cálculo da eficiência relativa social no setor saneamento brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife, Anais...Recife: ABES, 2009.

BRASIL. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Curso - Orientações para elaboração de Plano Simplificado de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2014.

CESTB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. São Paulo: CESTESB, 2015.

DANGI, M. B.; URYNOWICZ, M. A.; GEROW, K. G.; THAPA, R. B. Use of stratified cluster sampling for efficient estimation of solid waste generation at household level. **Waste Manag Res**, v. 26, p.493-499, dez., 2008. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/content/26/6/493>>. Acesso em: 14/09/2015.

DASKALOPOULOS, E.; BADR, O.; PROBERT, S. D. Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 24, p. 155–166, mai.,1998.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBANIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Eng. Sanit. Ambient**, v.17, p. 325-332, jul – set, 2012.

FERNANDES NETO, M.L. **Avaliação de parâmetros intervenientes no consumo per capita de água: estudo para 96 municípios do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

FERREIRA, J. A.; ANJOS, L. A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 689-696, jun., 2001. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2001000300023&script=sci_abstract&tlng=pt >. Acesso em: 22/01/2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002. ISBN: 85-224-3169-8 Disponível em: <https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod_resource/content/1/como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf>. Acesso em: 24/11/2014.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n.6, p. 1503-1510, jun., 2012. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232012000600014>. Acesso em: 14/01/2016.

HOCKETT, D.; LOBER, D.; PILGRIM, K. Determinants of *Per capita* Municipal Solid Waste Generation in the Southeastern U.S. **Journal of Environmental Management**, v.45, p. 205 – 217, nov., 1995.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management**. Urban development series, knowledge papers, n. 15. World Bank, Washington, DC. © World Bank. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>> Acesso em: 20/06/2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto **Interno Bruto dos Municípios, 2013**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios, 2010-2013**. Rio de Janeiro, 2015a.

_____. **Estimativa população**. 2015b. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 24/02/2016.

_____. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA**. Disponível em: <<http://dados.gov.br/dataset/indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo-iPCA>>. Acesso em: 09/01/2016.

IPEADATA. **Inflação: IPCA**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 09/01/2016.

KASZNAR, I. K.; GONÇALVES, B. M. L. **Regressão múltipla: uma digressão sobre seus usos**. Disponível em: <http://www.ibci.com.br/Regressao_Multipla.pdf>. Acesso em: 05/02/2016.

KO, P. S.; POON, C. S. Domestic waste management and recovery in Hong Kong. **J Mater Cycles Waste Manag**, v. 11, p. 104-109, 2009.

LIU, C.; WU, X. Factors influencing municipal solid waste generation in China: A multiple statistical analysis study. **Waste Manag Res**, v. 29, n. 4, p. 371-378, ago., 2011.

MELO, C.R.A.; MIRANDA, E.C.; MENDONÇA J.C. Uma análise sobre a demanda pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil para o período de 1995 a 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife, Anais...Recife: ABES, 2009.

MELO, L.A.; SAUTTER, K.D.; JANISSEK, P.R. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. **Eng. Sanit. Ambient**, v.14, n.4, p.551-558, 2009.

MORESI, E. **Metodologia da Pesquisa**. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/MetodologiaPesquisa-Moresi2003.pdf>>. Acesso em: 24/11/2014.

OLIVEIRA, M.M., BATISTA, M.M.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B. ÍNDICES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL – 1998 a 2013. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 28, 2015, Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro: ABES, 2015.

OLIVEIRA, S. A; LEITE, V. D.; PRASAD, S.; RIBEIRO, M. D. Estudo da produção *per capita* de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Campina Grande-PB. Revista Saúde e Ambiente, v. 5, n. 2, p. 37-44, abr –jun, 2004.

ONOFRE, F. L. **Estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

PINTO, M. R.; PEREIRA, D. R. M.; FREITAS, R. C. Fatores sociais, econômicos e demográficos associados à geração de lixo domiciliar na cidade de Belo Horizonte. **Reuna (Belo Horizonte)**, v. 17, n. 2, p. 27 - 44, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.fjp.mg.gov.br/handle/123456789/121>>. Acesso em: 17/09/2015.

PORTAL ACTION. **Coeficiente de determinação ajustado**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-de-regressao/2712-coeficiente-de-determinacao-ajustado>>. Acesso em: 14/02/2016.

SCRIPTORE, J.S.; TONETO JR, R. A estrutura de provisão dos serviços de saneamento básico no Brasil: uma análise comparativa do desempenho dos provedores públicos e privados. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 46, n. 6, p. 1479-1504, 2012.

SILVA, H.; BARBIERI, A. F.; MONTE-MOR, R. L. Demografia do consumo urbano: um estudo sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte. **Rev. bras. estud. popul.**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 421 - 449, dez., 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-30982012000200012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17/09/2015.

SILVA, W. C. M. **Estatística descritiva**. Notas de aula. 2010. Disponível em: <<http://mundobr.pro.br/uneal/wp-content/uploads/2010/04/02.Estatistica-descritiva-estudo-das-variaveis.pdf>>. Acesso em: 15/11/2015.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2002**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, 2004.

_____. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2010**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, 2012.

_____. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2011**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, 2013.

_____. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2012**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, 2014.

_____. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2013.** Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, 2015.

_____. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014.** Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, 2016a.

_____. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014 - Elementos metodológicos do SNIS-RS - 2014.** 2016b.

_____. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014 – Glossário de informações do SNIS-RS - 2014.** 2016c.

SOARES, L. V.; ATHAYDE JR, G. B.; DANTAS, A. M. X.; MORAIS, A. C.; CORDEIRO, A. A. Taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte da mesorregião do sertão paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2015, Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro: ABES, 2015.

STATSOFT. STATISTICA (data analysis software). Versão 8.0. 2007.

UBIRAJARA, M.; MENDONÇA, J.C.; MELO, C.R.A. Análise exploratória dos indicadores do SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife, Anais...Recife: ABES, 2009.

APÊNDICE A - Estatísticas por classes de população

Classes de população	Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
1 - Até 30.000 habitantes	População total ¹	1.182	11.267,1	1.488,0	29.976,0	7.647,1
	População urbana ¹	1.182	8.157,8	375,0	29.211,0	6.904,8
	Massa de RSU ²	1.182	2.163,95	21,40	21.891,00	2.354,23
	Taxa 1 de RSU ³	1.182	0,74	0,10	2,61	0,41
	Taxa 2 de RSU ³	1.182	0,48	0,01	2,22	0,31
	PIB total ⁴	1.182	240.702,11	16.006,00	5.936.605,00	298.549,03
	PIB <i>per capita</i> ⁵	1.182	20,77	4,18	225,38	13,94
2 - De 30.001 a 100.000 habitantes	População total ¹	521	56.119	30.255,0	99.460	19.374
	População urbana ¹	521	49.828	7.765,0	94.708	19.503
	Massa de RSU ²	521	14.736,34	410,00	69.856,00	8.806,84
	Taxa 1 de RSU ³	521	0,81	0,12	2,54	0,35
	Taxa 2 de RSU ³	521	0,71	0,04	2,51	0,30
	PIB total ⁴	521	1.638.502,07	103.913,00	17.531.200,0	1.589.919,44
	PIB <i>per capita</i> ⁵	521	29,49	1,39	309,12	28,78
3 - De 100.001 a 250.000 habitantes	População total ¹	330	155.316	100.543,0	249.206	44.231
	População urbana ¹	330	147.568	49.588,0	248.127	44.993
	Massa de RSU ²	330	47.584,47	4.380,000	168.000,00	25.156,86
	Taxa 1 de RSU ³	330	0,88	0,111	2,68	0,35
	Taxa 2 de RSU ³	330	0,83	0,106	2,53	0,34
	PIB total ⁴	330	4.886.516,52	895.164,000	43.762.423,0	4.265.527,82
	PIB <i>per capita</i> ⁵	330	30,89	7,391	178,15	21,12
4 - De 250.001 a 1.000.000 habitantes	População total ¹	218	445.644	250.028	999.728	182.339
	População urbana ¹	218	433.793	200.791	998.999	183.554
	Massa de RSU ²	218	149.361,34	44.865,60	738.865,00	101.792,92
	Taxa 1 de RSU ³	218	0,91	0,46	2,35	0,30
	Taxa 2 de RSU ³	218	0,88	0,42	2,34	0,30
	PIB total ⁴	218	14274.335,7	2.651.035,00	62.944.542,0	10.467.385,0
	PIB <i>per capita</i> ⁵	218	32,16	8,75	133,27	19,66
5 - De 1.000.001 a 3.000.000 habitantes	População total ¹	41	1.677.665	100.8065	2.883.682	590.971
	População urbana ¹	41	1.664.876	958.522	2.882.892	591.452
	Massa de RSU ²	41	724.735,08	103.544,30	2.033.986,30	401.866,73
	Taxa 1 de RSU ³	41	1,16	0,30	2,21	0,39
	Taxa 2 de RSU ³	41	1,15	0,28	2,14	0,38
	PIB total ⁴	41	51.787.290	13.055.965	174.116.680	32.586.874
	PIB <i>per capita</i> ⁵	41	30,40	12,95	66,71	12,31
6 - Maior que 3.000.000 habitantes	População total ¹	17	8.513.053	5.937.253	11.821.873	2.579.501
	População urbana ¹	17	8.302.791	5.937.253	11.715.605	2.371.536
	Massa de RSU ²	17	3.223.957,22	1.831.553,00	4.076.218,10	720.163,51
	Taxa 1 de RSU ³	17	1,10	0,85	1,57	0,24
	Taxa 2 de RSU ³	17	1,08	0,85	1,57	0,25
	PIB total ⁴	17	338.907.824	169.097.121	570.706.192	148.803.436
	PIB <i>per capita</i> ⁵	17	38,40	28,31	49,38	6,80

¹ habitantes; ² kg.ano⁻¹; ³ kg.hab.ano⁻¹; ⁴ mil reais; ⁵ mil reais.hab⁻¹

APÊNDICE B - Estatísticas por classes de população e subclasses de PIB *per capita*

Classes de população	Subclasses de PIBPC	Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
1 - Até 30.000 habitantes	Até 15 mil reais	População total ¹	414	10.915,0	1.590,00	29.798,0	7.255,93
		População urbana ¹	414	7.210,4	458,00	26.525,0	6.027,46
		Massa de RSU ²	414	1.886,98	70,000	16.210,00	2.113,286
		Taxa 1 de RSU ³	414	0,72	0,105	2,61	0,456
		Taxa 2 de RSU ³	414	0,45	0,010	2,22	0,336
		PIB total ⁴	414	118.196,10	16.006,00	426.912,00	88.851,73
		PIB <i>per capita</i> ⁵	414	10,82	4,177	14,95	2,859
	De 15 a 22 mil reais	População total ¹	385	10.904,5	1.629,00	29.931,0	7.329,1
		População urbana ¹	385	8.006,2	417,00	28.140,0	6.626,8
		Massa de RSU ²	385	2.137,756	21,4000	17.564,000	2.386,261
		Taxa 1 de RSU ³	385	0,7137	0,10359	3,1585	0,3991
		Taxa 2 de RSU ³	385	0,4640	0,03052	2,1382	0,3001
		PIB total ⁴	385	199.173,5	28.203,0	646.037,00	137.287,0
		PIB <i>per capita</i> ⁵	385	18,2052	15,00447	21,9981	1,9707
	Maior que 22 mil reais	População total ¹	387	12.003,2	1.488,00	29.976	8.304,5
		População urbana ¹	387	9.313,8	375,00	29.211	7.829,5
		Massa de RSU ²	387	2.521,320	79,0000	21.891,00	2.622,655
		Taxa 1 de RSU ³	387	0,788	0,1131	2,56	0,400
		Taxa 2 de RSU ³	387	0,530	0,0784	2,00	0,305
		PIB total ⁴	387	413.403,3	39.630,0	5.936.605,0	445.011,4
		PIB <i>per capita</i> ⁵	387	34,034	22,0662	225,38	17,212
2 - De 30.001 a 100.000 habitantes	Até 20 mil reais	População total ¹	182	55.946,2	30.255,0	99.460	19.260,6
		População urbana ¹	182	47.013,3	7.765,0	94.708	19.108,7
		Massa de RSU ²	182	14.252,375	410,000	49.040,00	8.546,735
		Taxa 1 de RSU ³	182	0,843	0,122	2,31	0,393
		Taxa 2 de RSU ³	182	0,691	0,035	1,96	0,315
		PIB total ⁴	182	790.849,12	103.913,0	1.890.329,0	347.954,2
		PIB <i>per capita</i> ⁵	182	14,235	1,388	19,97	4,090
	De 20 a 29 mil reais	População total ¹	166	57.189	30.732,0	98.392	20.188,0
		População urbana ¹	166	51.981	13.020,0	94.644	20.441,4
		Massa de RSU ²	166	14.910,33	3.104,200	53.200,00	8.550,475
		Taxa 1 de RSU ³	166	0,78	0,220	2,26	0,323

Classes de população	Subclasses de PIBPC	Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
2 - De 30.001 a 100.000 habitantes	De 20 a 29 mil reais	Taxa 2 de RSU ³	166	0,70	0,199	1,84	0,283
		PIB total ⁴	166	1.391.727,5	694.841,0	2.560.034,0	536.053,1
		PIB <i>per capita</i> ⁵	166	24,15	20,047	28,97	2,370
	Maior que 29 mil reais	População total ¹	173	55.273	30.327,0	98.484	18.750
		População urbana ¹	173	50.724	21.114,0	94.467	18.739
		Massa de RSU ²	173	15.078,54	1.036,000	6.9856,00	9.331,99
		Taxa 1 de RSU ³	173	0,80	0,134	2,54	0,33
		Taxa 2 de RSU ³	173	0,73	0,069	2,51	0,31
		PIB total ⁴	173	2.767.042	917.806	17.531.200	2.266.976
		PIB <i>per capita</i> ⁵	173	50,67	29,004	309,12	41,90
3 - De 100.001 a 250.000 habitantes	Até 21 mil reais	População total ¹	109	151.402	100.543,0	248.806	42.669,3
		População urbana ¹	109	140.205	49.588,0	235.780	43.421,4
		Massa de RSU ²	109	43.785,58	8.901,40	134.388,30	23.848,14
		Taxa 1 de RSU ³	109	0,87	0,148	2,68	0,420
		Taxa 2 de RSU ³	109	0,80	0,126	2,53	0,395
		PIB total ⁴	109	2.248.616,2	895.164,0	4.899.139,0	846.346,4
		PIB <i>per capita</i> ⁵	109	14,87	7,391	20,96	3,738
	De 21 a 33 mil reais	População total ¹	109	155.499	101.284	248.127	43.263
		População urbana ¹	109	149.510	91.762	248.127	44.091
		Massa de RSU ²	109	46.632,40	17.599,50	168.000,00	24.681,13
		Taxa 1 de RSU ³	109	0,85	0,47	2,25	0,31
		Taxa 2 de RSU ³	109	0,81	0,42	2,09	0,31
		PIB total ⁴	109	4.103.692	2.216.819	7.021.001	1.313.148
		PIB <i>per capita</i> ⁵	109	26,25	21,14	32,90	3,42
	Maior que 33 mil reais	População total ¹	112	158.948	101.791	249.206	46.666
		População urbana ¹	112	152.844	86.980	245.652	46.788
		Massa de RSU ²	112	52.208,18	4.380,00	148.848,50	26.326,91
		Taxa 1 de RSU ³	112	0,92	0,11	2,07	0,32
		Taxa 2 de RSU ³	112	0,89	0,11	1,92	0,31
		PIB total ⁴	112	8.215.613	3.502.852	43.762.423	5.739.004
		PIB <i>per capita</i> ⁵	112	50,99	33,07	178,15	24,83
4 - De 250.001 a 1.000.000 habitantes	Até 21 mil reais	População total ¹	74	446.444	250.028	999.728	214.271
		População urbana ¹	74	430.535	200.791	998.999	214.921
		Massa de RSU ²	74	153.353,5	44.865,6	738.865,0	140.883,0
		Taxa 1 de RSU ³	74	0,90	0,46	2,03	0,38

Classes de população	Subclasses de PIBPC	Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
4 - De 250.001 a 1.000.000 habitantes	Até 21 mil reais	Taxa 2 de RSU ³	74	0,86	0,42	2,03	0,37
		PIB total ⁴	74	7.148.965	2.651.035	16.868.552	3.827.068
		PIB <i>per capita</i> ⁵	74	15,89	8,75	20,99	3,23
	De 21 a 35 mil reais	População total ¹	71	433.328	251.608	867.067	168.211
		População urbana ¹	71	422.626	240.463	864.116	170.824
		Massa de RSU ²	71	152.857,03	47.264,00	500.384,00	92.487,37
		Taxa 1 de RSU ³	71	0,98	0,51	2,95	0,39
		Taxa 2 de RSU ³	71	0,95	0,49	2,93	0,39
		PIB total ⁴	71	12.085.010	5.824.406	25.274.991	4.459.474
		PIB <i>per capita</i> ⁵	71	28,30	21,12	34,84	4,08
	Maior que 35 mil reais	População total ¹	74	456.955	255.238	805.895	159.739
		População urbana ¹	74	448.176	236.895	792.414	160.160
		Massa de RSU ²	74	146.758,80	52.221,20	318.116,80	66.363,37
		Taxa 1 de RSU ³	74	0,88	0,53	1,53	0,18
		Taxa 2 de RSU ³	74	0,86	0,51	1,53	0,19
		PIB total ⁴	74	23.516.023	9.016.722,00	62.944.542,	12.218.516
		PIB <i>per capita</i> ⁵	74	52,17	35,03	133,27	20,82

¹ habitantes; ² kg.ano⁻¹; ³ kg.hab.ano⁻¹; ⁴ mil reais; ⁵ mil reais.hab⁻¹

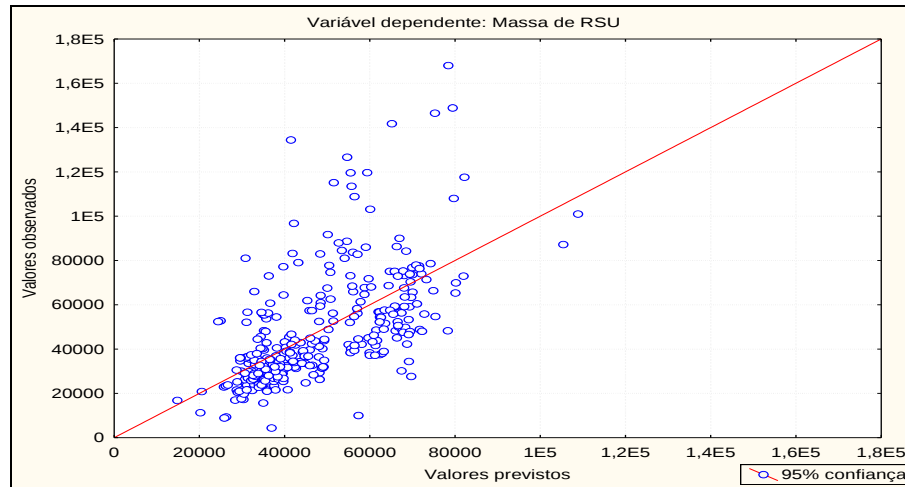
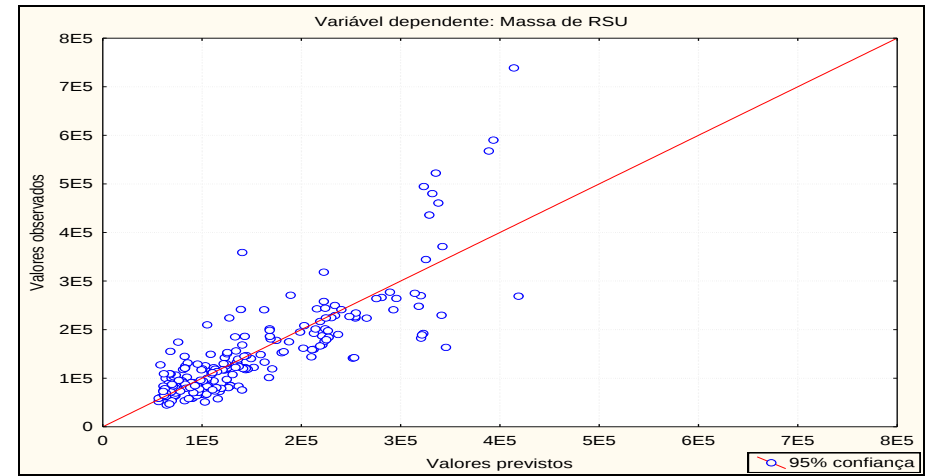
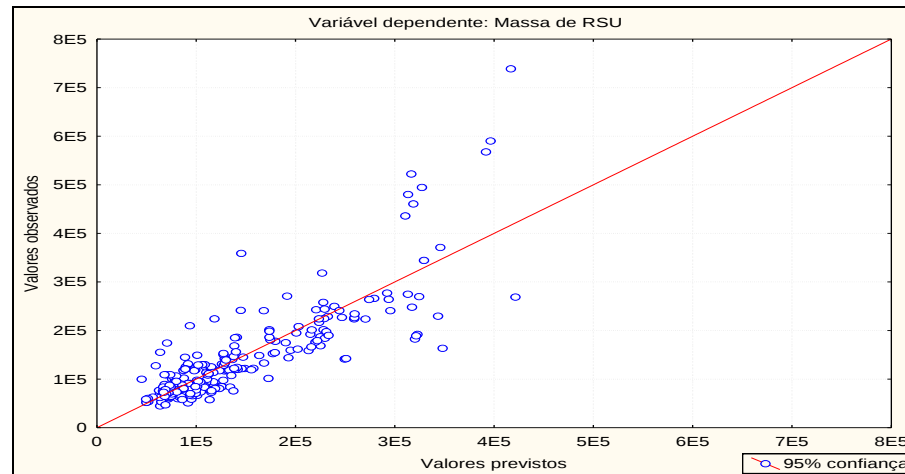
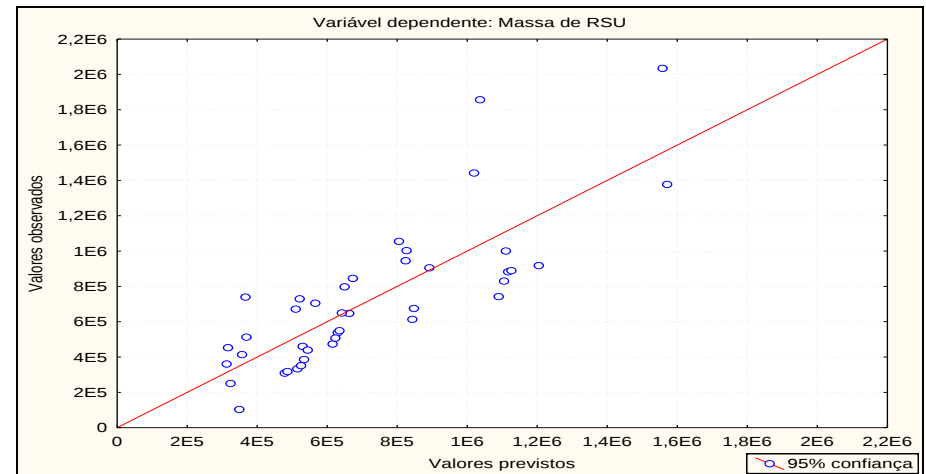
APÊNDICE C - Estatísticas por classes de PIB *per capita* e subclasses de população

Classes de PIBPC	Subclasses de pop.	Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
7 - Até 13 mil reais	Até 8.000 habitantes	População total ¹	144	4.891,94	1.590,00	7.962,00	1.520,70
		População urbana ¹	144	2.780,36	562,00	7.385,00	1.375,58
		Massa de RSU ²	144	704,89	72,00	2.438,00	547,77
		Taxa 1 de RSU ³	144	0,721	0,11	2,55	0,50
		Taxa 2 de RSU ³	144	0,41	0,04	1,91	0,34
		PIB total ⁴	144	46.894,03	16.006,00	99.894,00	18.669,26
		PIB <i>per capita</i> ⁵	144	9,66	4,70	12,94	2,33
	De 8.000 a 24.000 habitantes	População total ¹	138	13.952,6	8.054,00	23.783,0	4.500,24
		População urbana ¹	138	9.241,7	1.583,00	23.475,0	4.782,54
		Massa de RSU ²	138	2.435,409	190,000	16.210,00	2.209,005
		Taxa 1 de RSU ³	138	0,726	0,1051	2,115	0,4234
		Taxa 2 de RSU ³	138	0,463	0,0618	2,115	0,3193
		PIB total ⁴	138	131.073,94	41.080,00	279.638,00	51.753,44
		PIB <i>per capita</i> ⁵	138	9,470	4,1772	12,999	2,3464
	Maior que 24.000 habitantes	População total ¹	136	124.679	24.604,0	1.008.065	148.104
		População urbana ¹	136	112.883	1.042,0	1.007.330	149.694
		Massa de RSU ²	136	37.069,42	88,200	360.246,00	51.933,93
		Taxa 1 de RSU ³	136	0,88	0,106	2,68	0,44
		Taxa 2 de RSU ³	136	0,72	0,010	2,53	0,41
		PIB total ⁴	136	1.340.365	103.913	13.055.965	1.837.954
		PIB <i>per capita</i> ⁵	136	9,98	1,388	12,97	2,34
8 - De 13 a 17 mil reais	Até 10.000 habitantes	População total ¹	122	5.166,18	1.725,00	9.911,0	2.199,84
		População urbana ¹	122	3.073,30	458,00	8.615,0	1.981,56
		Massa de RSU ²	122	777,985	50,000	6.000,00	776,834
		Taxa 1 de RSU ³	122	0,701	0,149	2,61	0,399
		Taxa 2 de RSU ³	122	0,388	0,079	2,22	0,274
		PIB total ⁴	122	77.280,43	25.626,00	158.930,00	32.840,23
		PIB <i>per capita</i> ⁵	122	15,002	13,016	16,98	1,126
	De 10.000 a 35.000 habitantes	População total ¹	118	17.934,6	10.169,0	32.826,0	6.515,90
		População urbana ¹	118	13.803,9	3.289,0	29.461,0	6.629,45
		Massa de RSU ²	118	3.913,34	410,00	20.190,00	2.973,325
		Taxa 1 de RSU ³	118	0,76	0,14	1,97	0,412
		Taxa 2 de RSU ³	118	0,58	0,04	1,85	0,351
		PIB total ⁴	118	267.554,25	142.762,00	482.555,00	94.122,60
		PIB <i>per capita</i> ⁵	118	14,99	13,01	16,97	1,136
	Maior que 35.000 habitantes	População total ¹	121	215.575	35.413,0	1.025.507	242.657
		População urbana ¹	121	203.986	25.117,0	1.024.759	241.424
		Massa de RSU ²	121	70.041,6	4.090,0	738.865,0	120.913,7
		Taxa 1 de RSU ³	121	0,84	0,148	2,31	0,40
		Taxa 2 de RSU ³	121	0,74	0,126	2,03	0,34
		PIB total ⁴	121	3.285.673	524.161	16.385.771	3.804.636
		PIB <i>per capita</i> ⁵	121	15,08	13,015	16,98	1,17
9 - De 17 a 21 mil reais	Até 11.000 habitantes	População total ¹	127	5.927,6	1.629,00	10.964,0	2.832,66

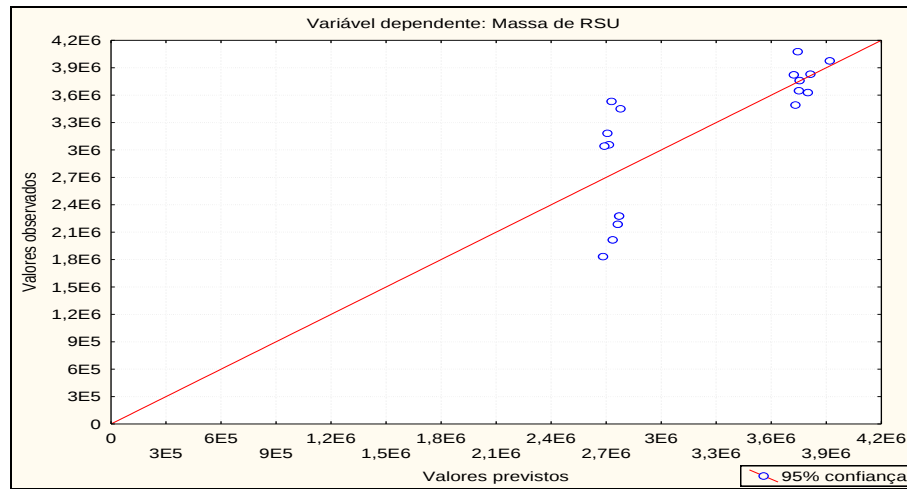
Classes de PIBPC	Subclasses de pop.	Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
9 - De 17 a 21 mil reais	Até 11.000 habitantes	População urbana ¹	127	3.649,8	417,00	10.098,0	2.354,56
		Massa de RSU ²	127	832,2	21,40	4.320,0	729,47
		Taxa 1 de RSU ³	127	0,6	0,10	2,5	0,41
		Taxa 2 de RSU ³	127	0,4	0,03	2,1	0,27
		PIB total ⁴	127	111.660,3	29.280,00	222.805,0	55.264,82
		PIB <i>per capita</i> ⁵	127	18,8	17,00	21,0	1,23
	De 11.000 a 42.000 habitantes	População total ¹	123	22.915,3	11.005,0	41.965,0	8.918,3
		População urbana ¹	123	18.312,3	2.339,0	39.000,0	8.798,7
		Massa de RSU ²	123	5.164,45	486,00	25.057,60	3.725,79
		Taxa 1 de RSU ³	123	0,78	0,13	3,16	0,41
		Taxa 2 de RSU ³	123	0,60	0,09	2,14	0,33
		PIB total ⁴	123	431.116,2	206.488,0	839.352,0	168.256,4
		PIB <i>per capita</i> ⁵	123	18,86	17,07	20,96	1,11
	Maior que 42.000 habitantes	População total ¹	121	337.916	42.926,0	2.883.682	582.947
		População urbana ¹	121	327.607	27.222,0	2.882.892	583.892
		Massa de RSU ²	121	126.297,0	3.192,20	1.856.692,7	272.450,4
		Taxa 1 de RSU ³	121	0,88	0,122	2,03	0,36
		Taxa 2 de RSU ³	121	0,81	0,094	2,03	0,34
		PIB total ⁴	121	6.310.023	835.384	52.667.933	10.734.880
		PIB <i>per capita</i> ⁵	121	18,98	17,010	20,99	1,17
10 - De 21 a 27 mil reais	Até 15.000 habitantes	População total ¹	138	6.621,9	1.691,00	14.809,0	3.457,68
		População urbana ¹	138	4.407,5	433,00	14.722,0	3.106,01
		Massa de RSU ²	138	1.154,69	79,000	8.967,50	1.079,758
		Taxa 1 de RSU ³	138	0,75	0,190	2,56	0,377
		Taxa 2 de RSU ³	138	0,46	0,078	1,67	0,268
		PIB total ⁴	138	154.114,59	36.410,00	371.782,00	81.009,01
		PIB <i>per capita</i> ⁵	138	23,31	21,014	26,94	1,578
	De 15.000 a 57.000 habitantes	População total ¹	137	33.554,3	15.084,0	56.942	12.345,9
		População urbana ¹	137	28.717,3	2.448,0	55.472	12.285,0
		Massa de RSU ²	137	7.811,919	850,000	34.286,20	5.428,878
		Taxa 1 de RSU ³	137	0,728	0,166	2,26	0,343
		Taxa 2 de RSU ³	137	0,607	0,124	1,84	0,294
		PIB total ⁴	137	792.990,8	328.577,0	1.456.296,0	293.908,3
		PIB <i>per capita</i> ⁵	137	23,699	21,084	26,98	1,628
	Maior que 57.000 habitantes	População total ¹	133	23.6003	57.589	1.537.704	257.514
		População urbana ¹	133	228.005	53.673	1.537.704	253.055
		Massa de RSU ²	133	81.195,67	11.232,00	739.304,50	116.313,36
		Taxa 1 de RSU ³	133	0,87	0,30	2,35	0,37
		Taxa 2 de RSU ³	133	0,83	0,28	2,34	0,35
		PIB total ⁴	133	5.586.211,15	1.411.797,00	39.628.998,0	6.126.360,23
		PIB <i>per capita</i> ⁵	133	23,72	21,12	26,98	1,72
11 - De 27 a 37 mil reais	Até 28.000 habitantes	População total ¹	132	12.049,8	1.708,00	27.442,0	7.957,9
		População urbana ¹	132	9.338,5	522,00	24.066,0	7.199,2
		Massa de RSU ²	132	2.337,538	132,0000	9.507,000	2.003,239
		Taxa 1 de RSU ³	132	0,758	0,1229	2,171	0,379

Classes de PIBPC	Subclasses de pop.	Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
11 - De 27 a 37 mil reais	Até 28.000 habitantes	Taxa 2 de RSU ³	132	0,515	0,0547	1,400	0,278
		PIB total ⁴	132	378.300,4	53.712,0	992.820,0	257.254,5
		PIB <i>per capita</i> ⁵	132	31,208	27,0878	36,718	2,663
	De 28.000 a 120.000 habitantes	População total ¹	132	60.668	28.406,0	114.314	24.104,3
		População urbana ¹	132	56.343	21.114,0	113.319	24.155,6
		Massa de RSU ²	132	16.243,73	1.036,00	56.306,00	10.272,00
		Taxa 1 de RSU ³	132	0,77	0,134	2,07	0,309
		Taxa 2 de RSU ³	132	0,71	0,069	2,00	0,297
		PIB total ⁴	132	1.881.102,2	794.821,0	3.608.073,0	716.880,0
		PIB <i>per capita</i> ⁵	132	31,32	27,005	36,96	2,752
		População total ¹	127	422.431	121.055	2.395.785	457.212
	Maior que 120.000 habitantes	População urbana ¹	127	414.022	111.153	2.395.785	458.714
		Massa de RSU ²	127	150.103,6	25.457,0	1.002.000,0	202.179,3
		Taxa 1 de RSU ³	127	0,92	0,51	2,07	0,28
		Taxa 2 de RSU ³	127	0,89	0,49	1,92	0,28
		PIB total ⁴	127	13.446.609,0	3.484.945,0	78.617.051,0	14.608.055,2
		PIB <i>per capita</i> ⁵	127	31,76	27,08	36,87	3,06
		População total ¹	116	15.629,6	1.488,00	36.837	11.384
12 - Maior que 37 mil reais	Até 37.000 habitantes	População urbana ¹	116	12.815,2	375,00	34.851	10.693
		Massa de RSU ²	116	3.956,659	130,0000	18.919,80	3.955,85
		Taxa 1 de RSU ³	116	0,901	0,1131	2,52	0,44
		Taxa 2 de RSU ³	116	0,629	0,1026	1,79	0,34
		PIB total ⁴	116	948.178,138	75.977,0000	10.243.121,0	1.319.990,74
		PIB <i>per capita</i> ⁵	116	56,659	37,0447	309,12	36,42
		População total ¹	118	88.633	37.573	156.983	33.218
	De 37.000 a 160.000 habitantes	População urbana ¹	118	84.114	32.018	156.362	33.112
		Massa de RSU ²	118	27.467,47	4.380,00	83.735,00	16.010,75
		Taxa 1 de RSU ³	118	0,88	0,11	2,54	0,32
		Taxa 2 de RSU ³	118	0,83	0,11	2,51	0,31
		PIB total ⁴	118	5.136.847,8	1.445.309,0	15.471.980,0	2.921.905,5
		PIB <i>per capita</i> ⁵	118	60,30	37,13	278,15	36,67
		População total ¹	119	1.057.557	163.882	11.821.873	2.256.599
	Maior que 160.000 habitantes	População urbana ¹	119	1.045.061	143.926	11.715.605	2.241.660
		Massa de RSU ²	119	392.797,6	43.339,0	4.031.022,4	852.232,0
		Taxa 1 de RSU ³	119	0,94	0,53	2,21	0,28
		Taxa 2 de RSU ³	119	0,92	0,51	2,14	0,28
		PIB total ⁴	119	52.297.325	6.660.940	570.706.192	106.773.668
		PIB <i>per capita</i> ⁵	119	54,98	37,07	178,15	25,27

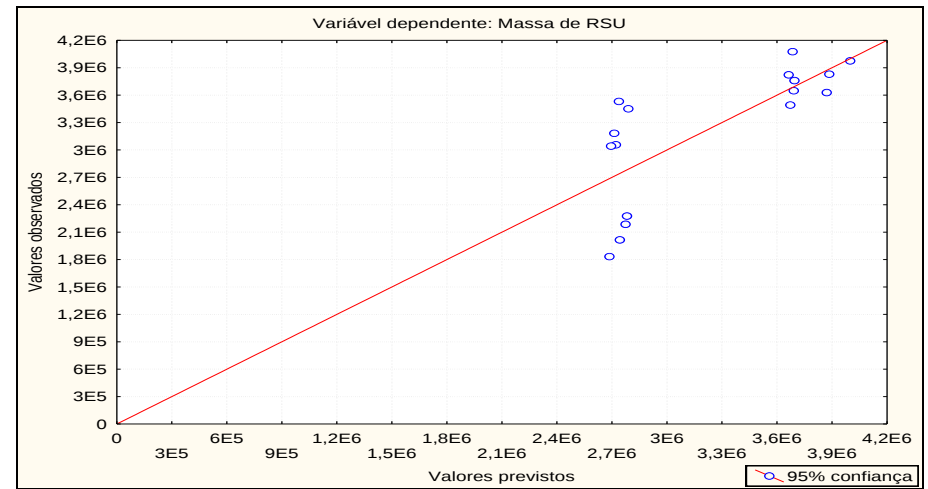
¹ habitantes; ² kg.ano⁻¹; ³ kg.hab.ano⁻¹; ⁴ mil reais; ⁵ mil reais.hab⁻¹

APENDICE D – Gráficos dos valores observados x previstos**Modelo 1****Modelo 2****Modelo 3****Modelo 4**

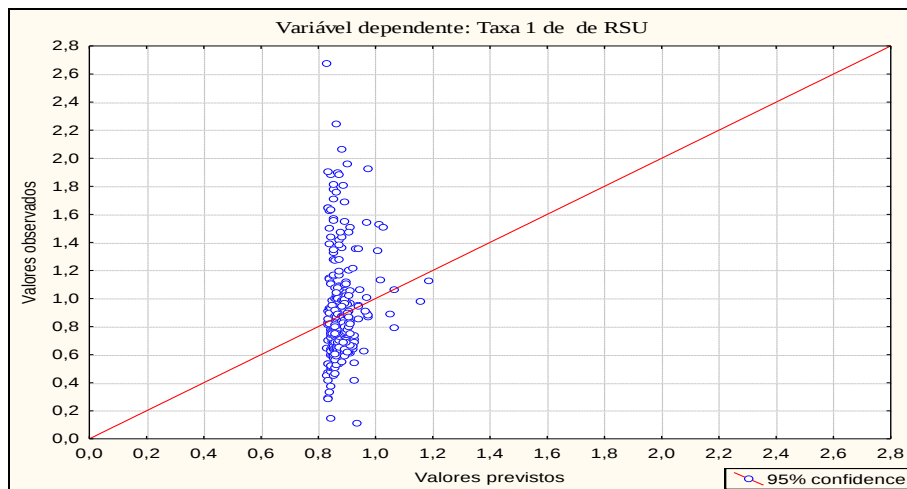
Modelo 5



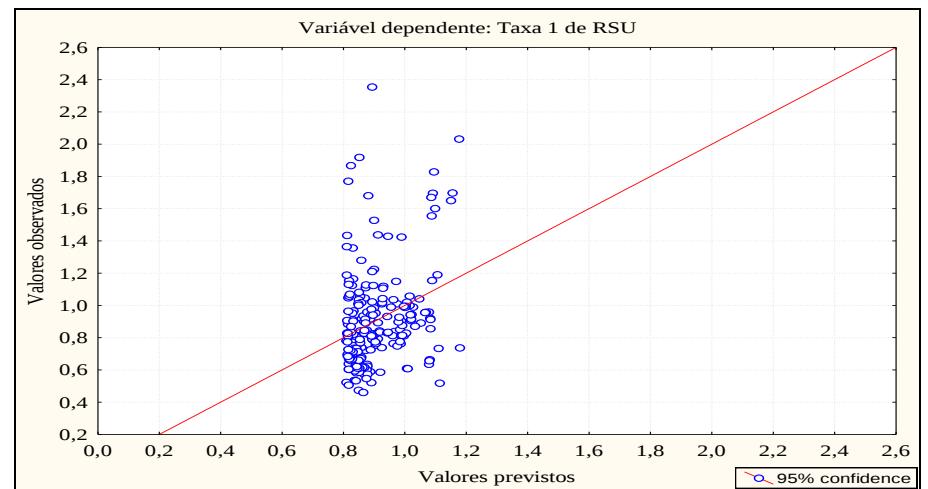
Modelo 6



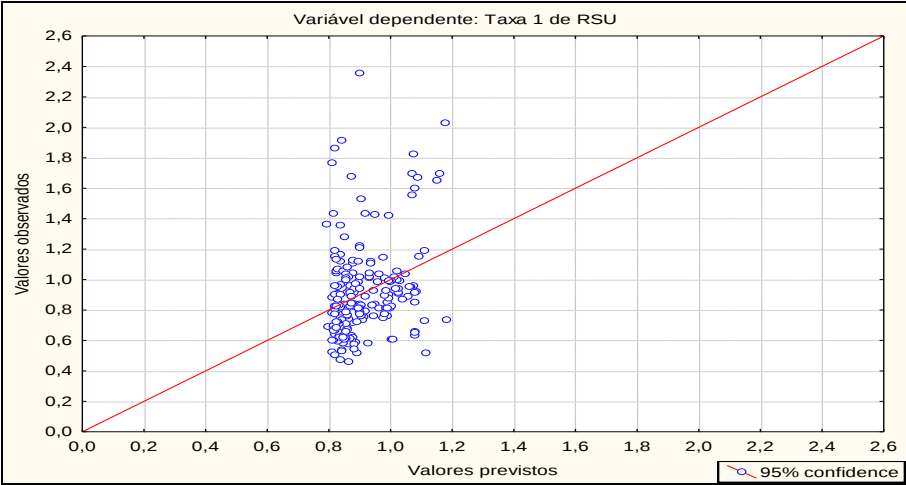
Modelo 7



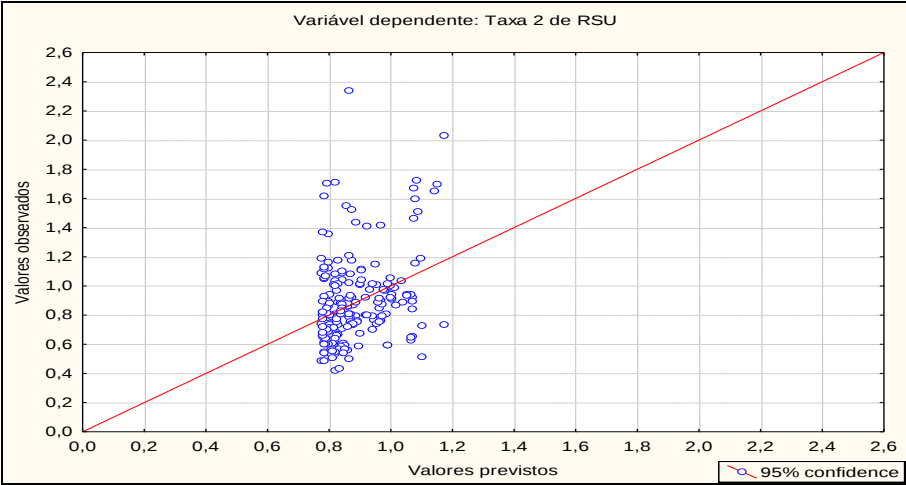
Modelo 8



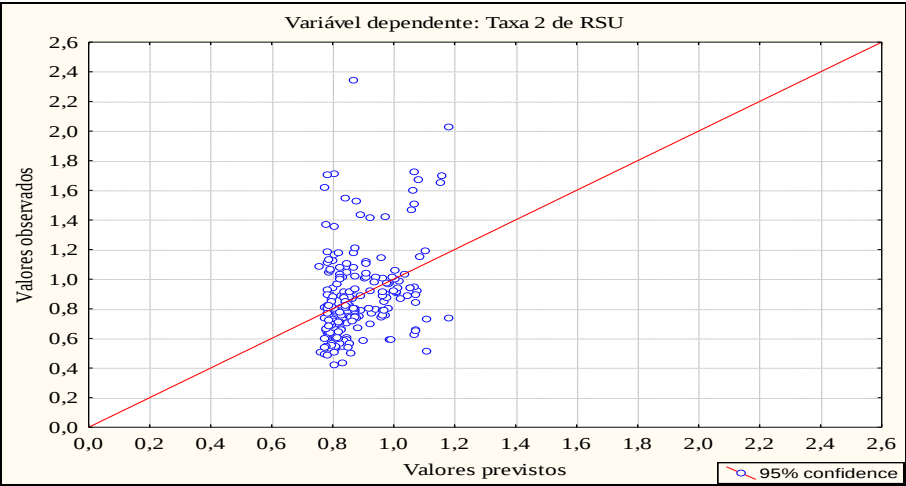
Modelo 9



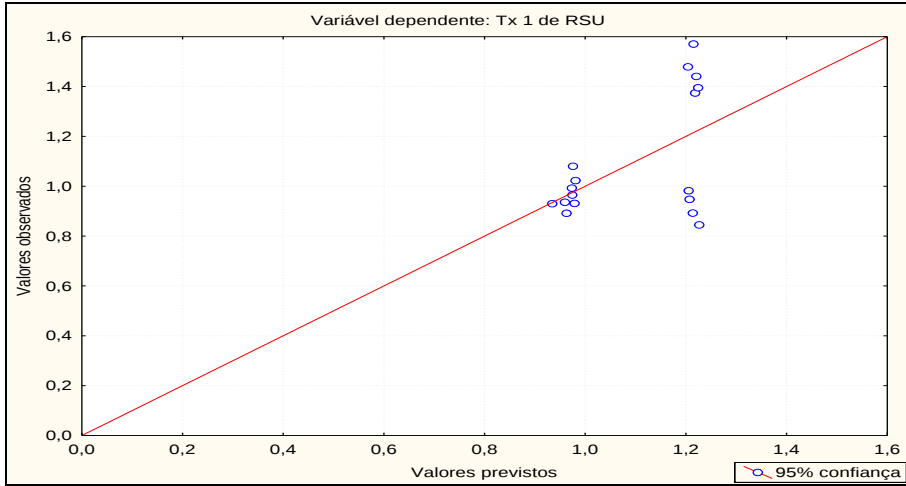
Modelo 10



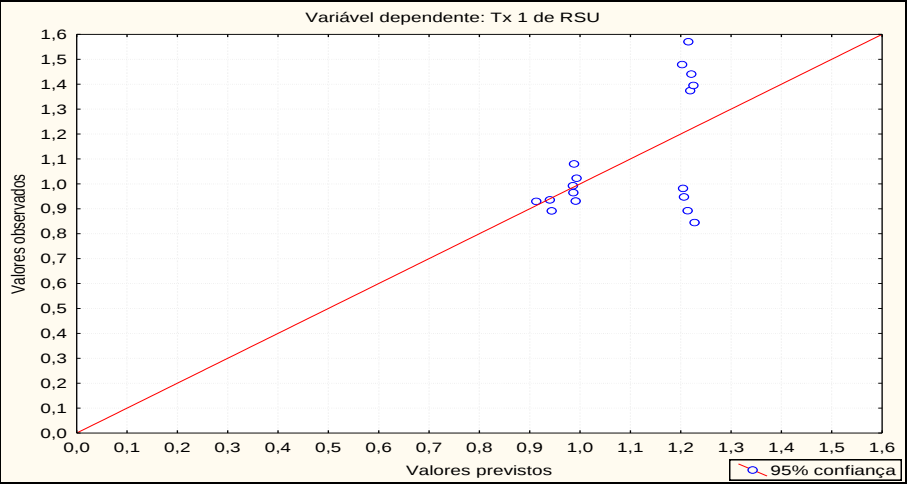
Modelo 11



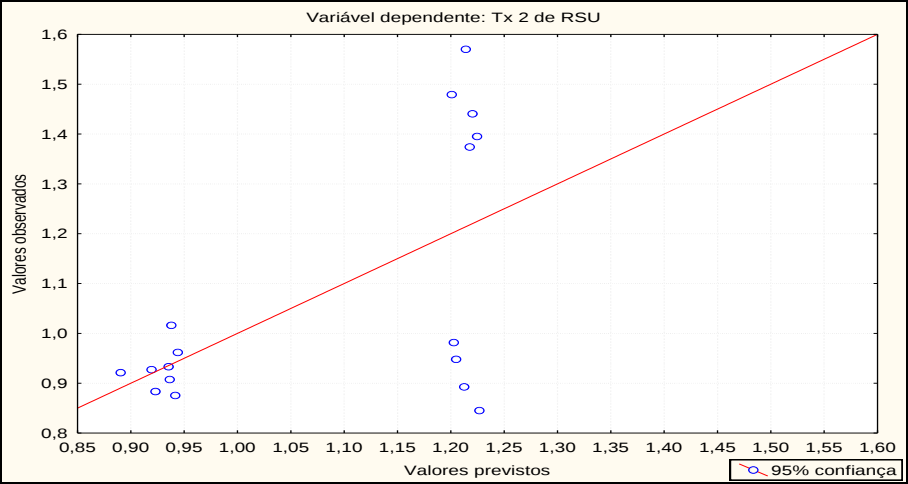
Modelo 12



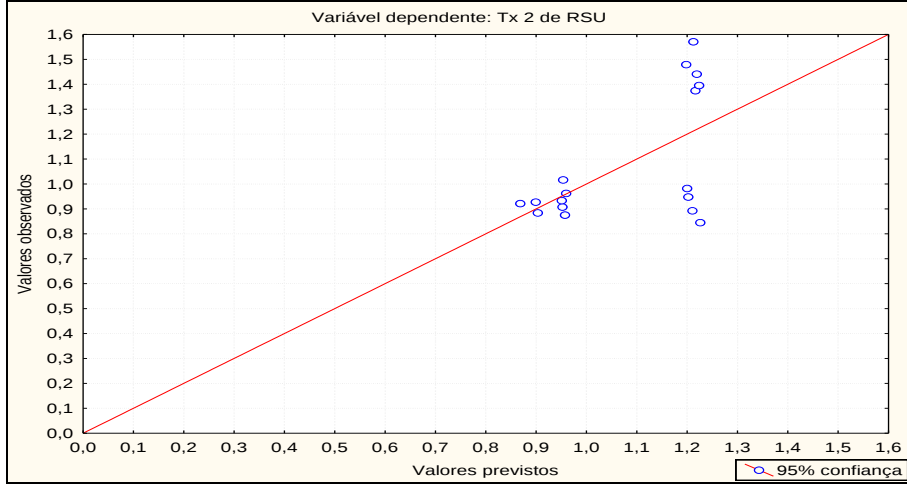
Modelo 13



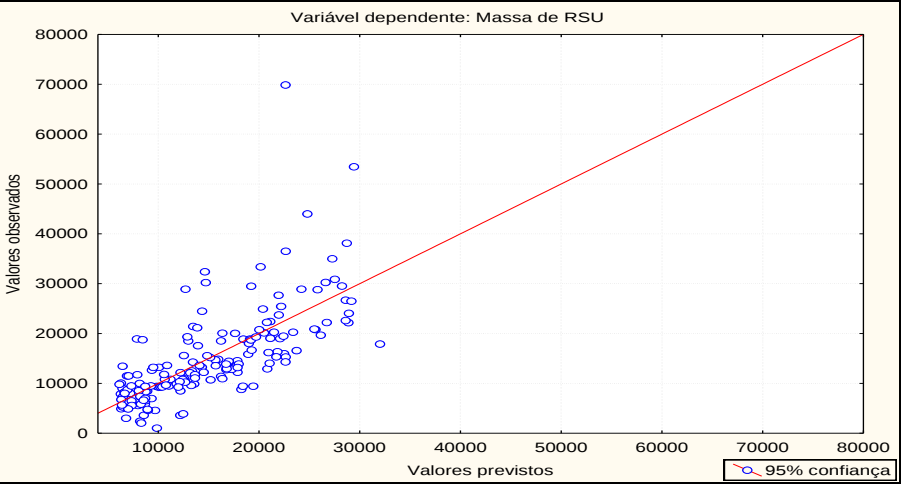
Modelo 14



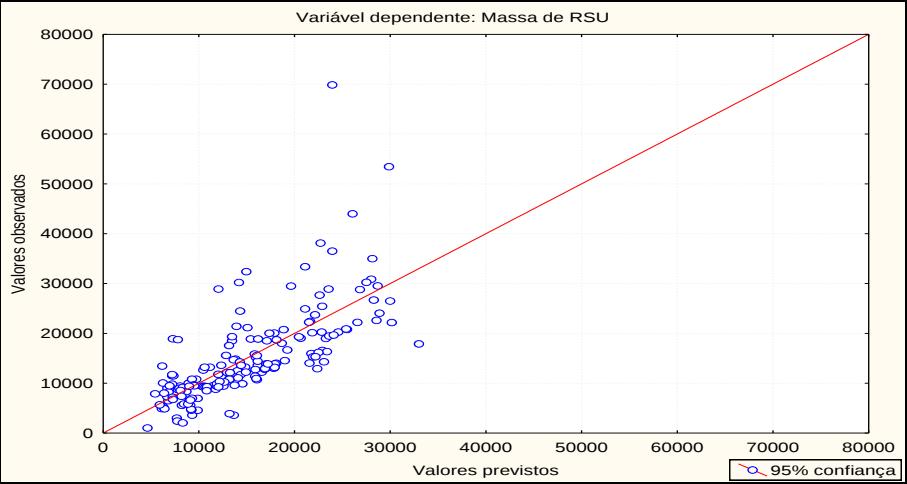
Modelo 15



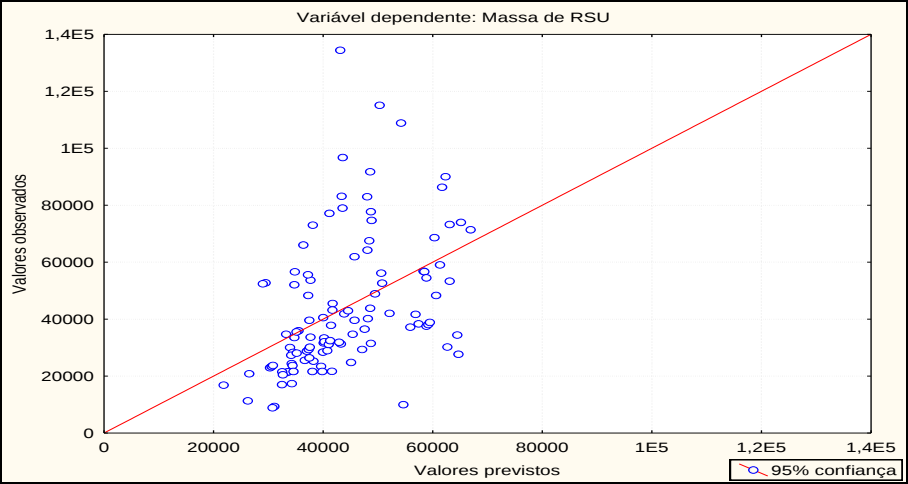
Modelo 16



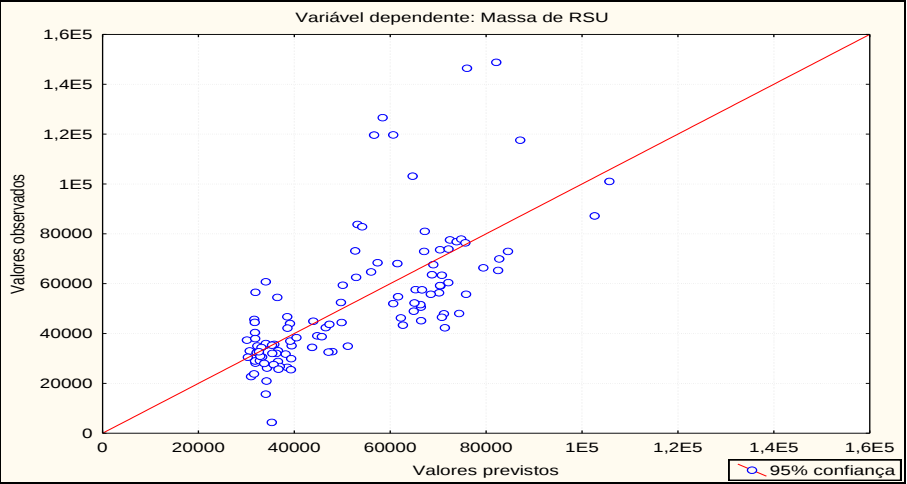
Modelo 17



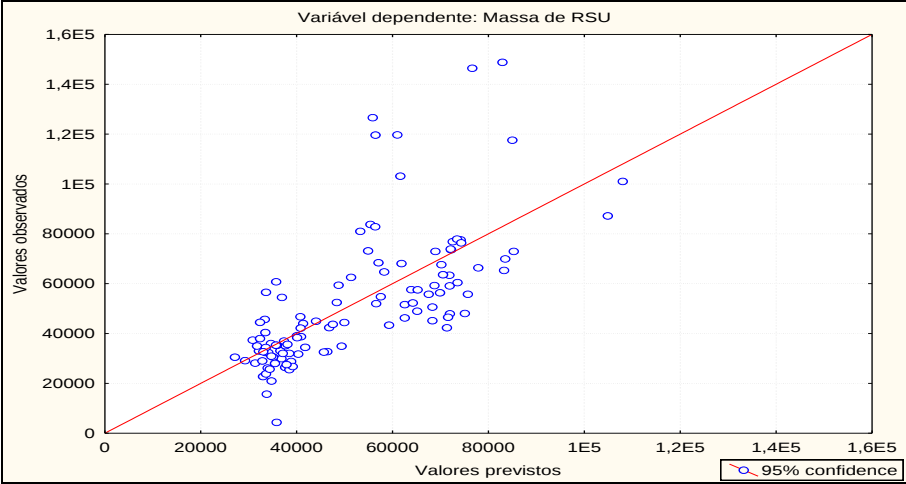
Modelo 18



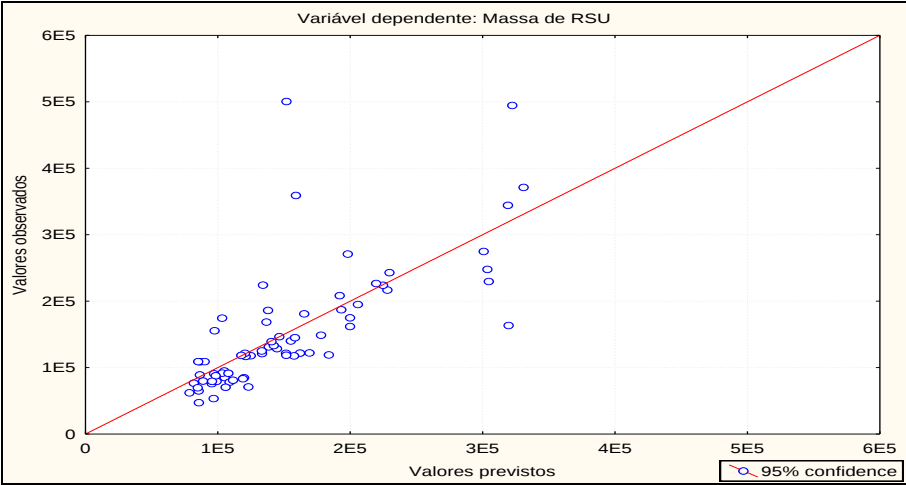
Modelo 19



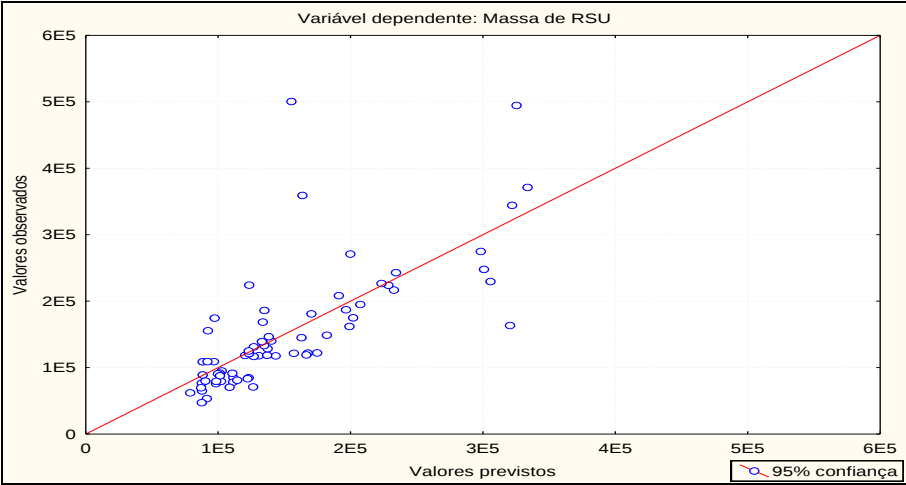
Modelo 20



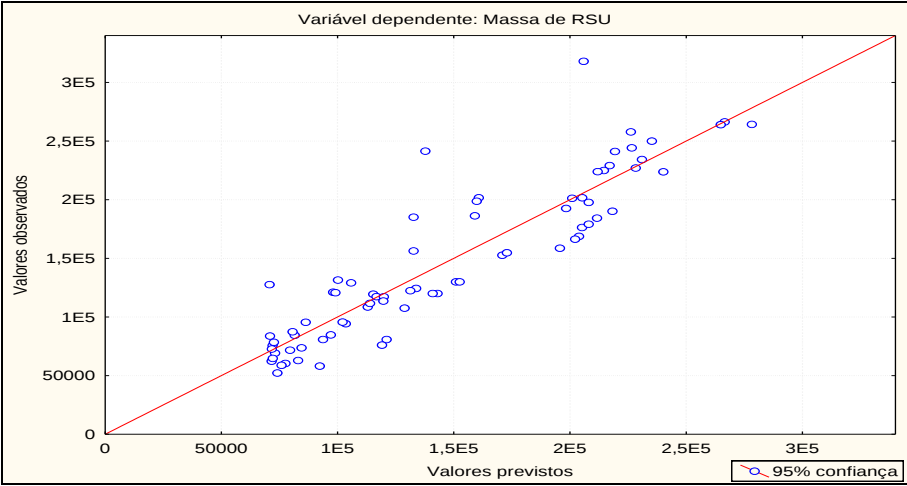
Modelo 21



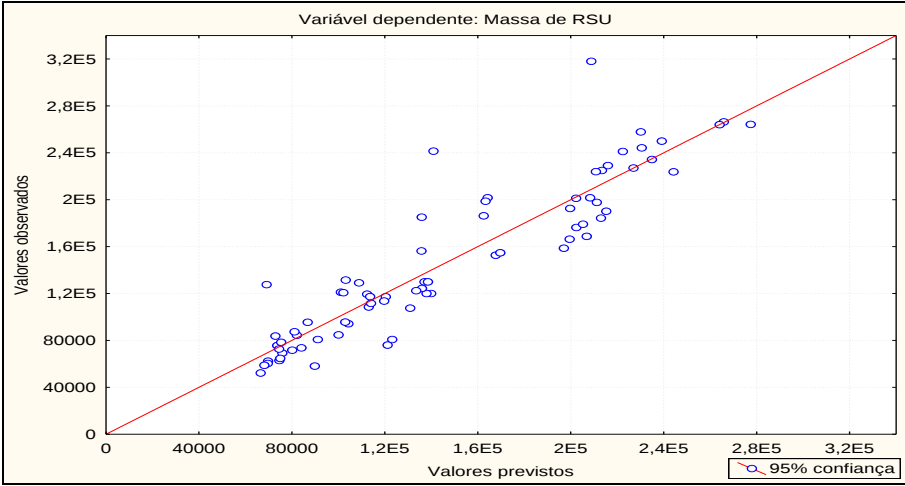
Modelo 22



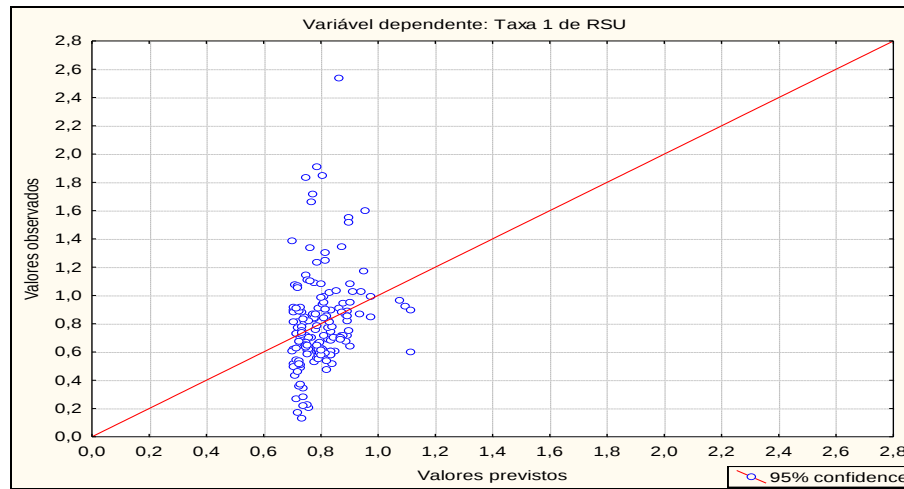
Modelo 23



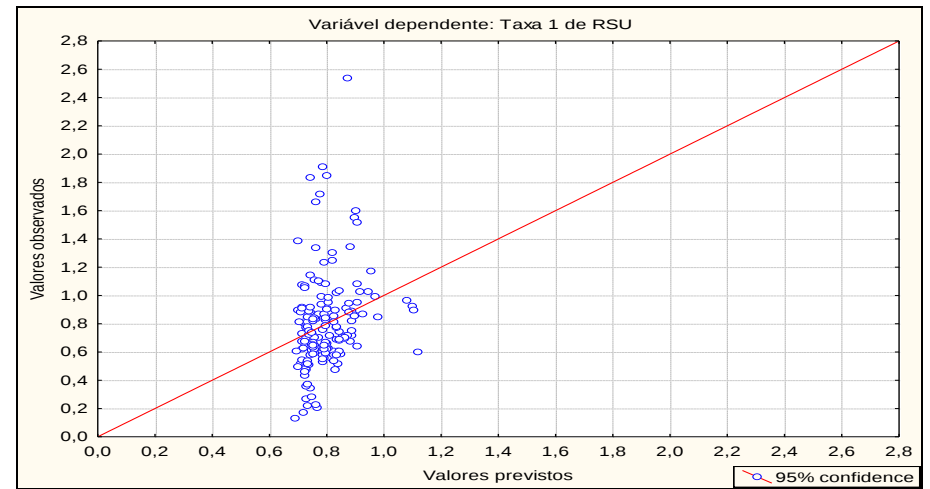
Modelo 24



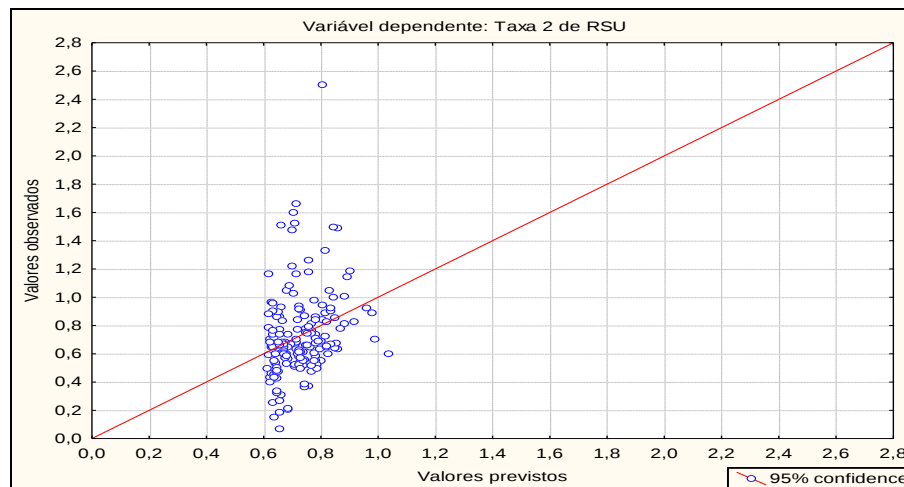
Modelo 25



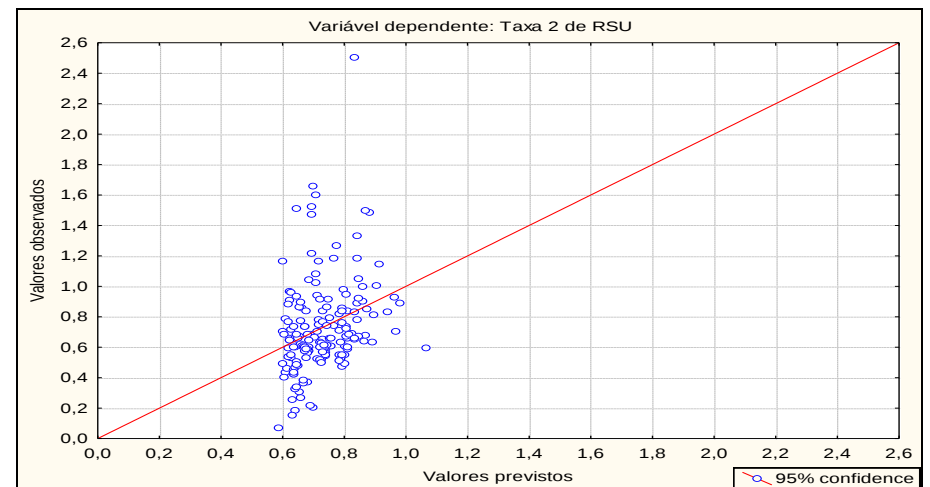
Modelo 26



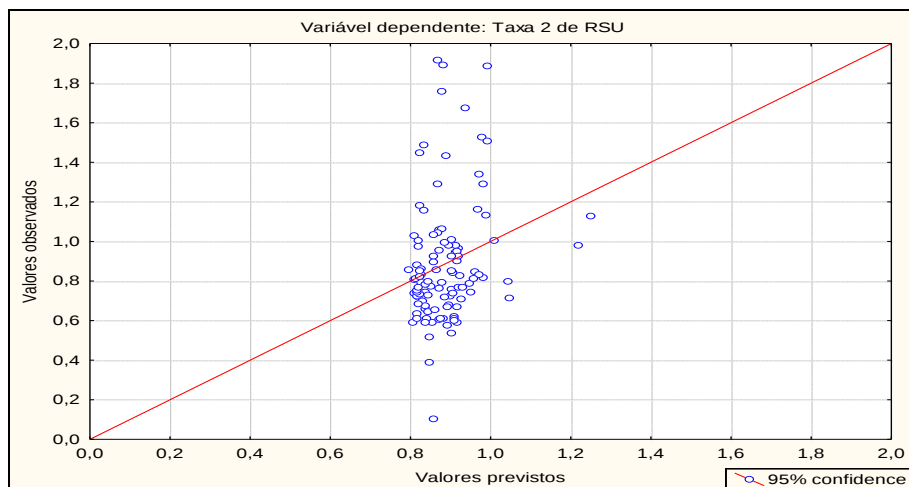
Modelo 27



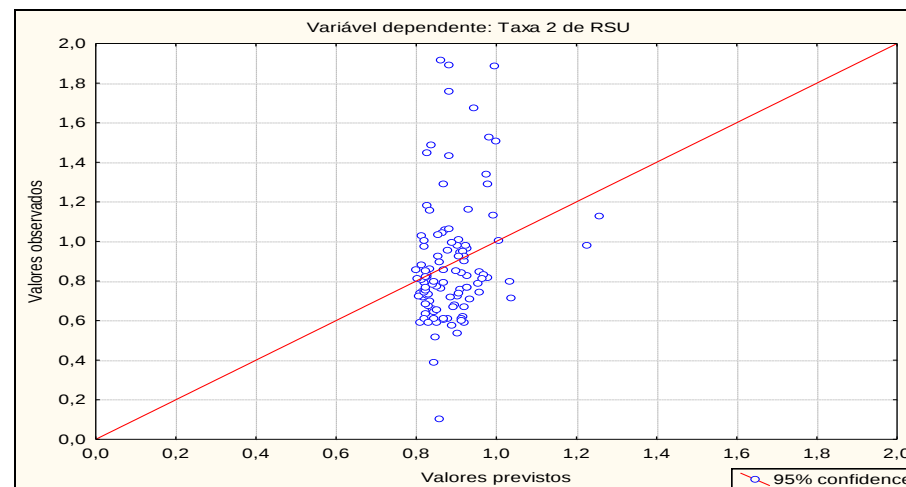
Modelo 28



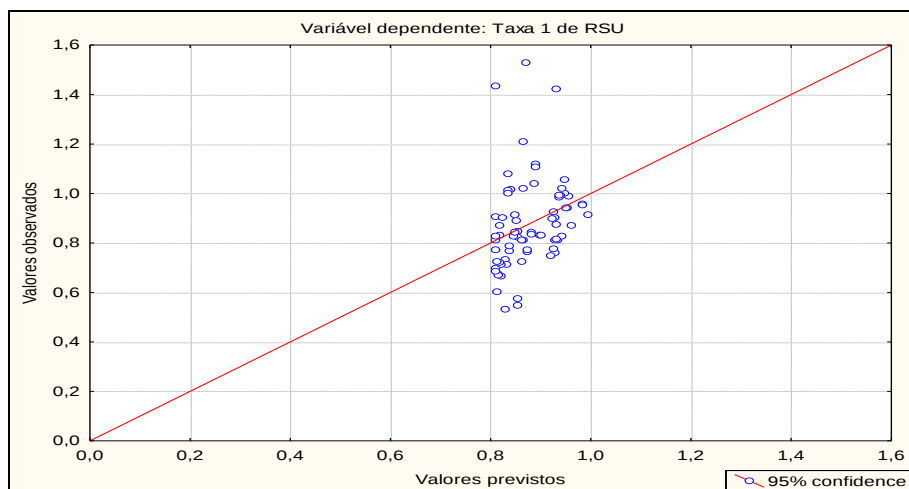
Modelo 29



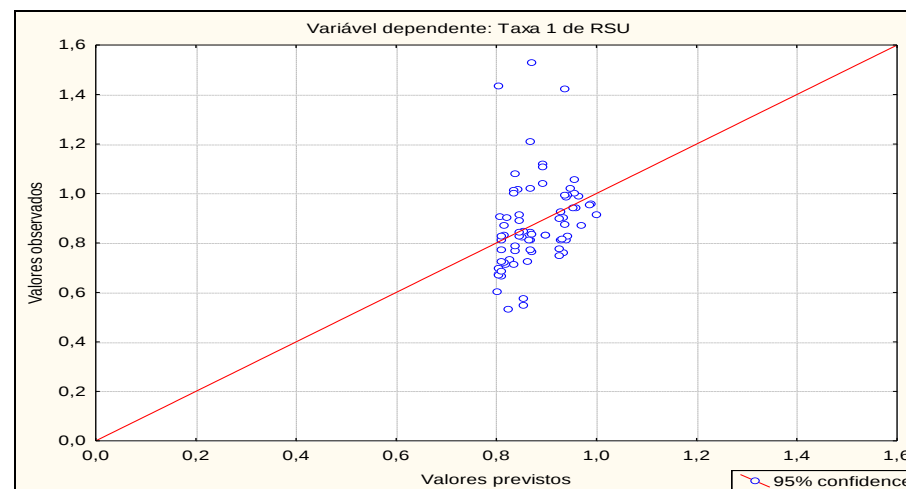
Modelo 30



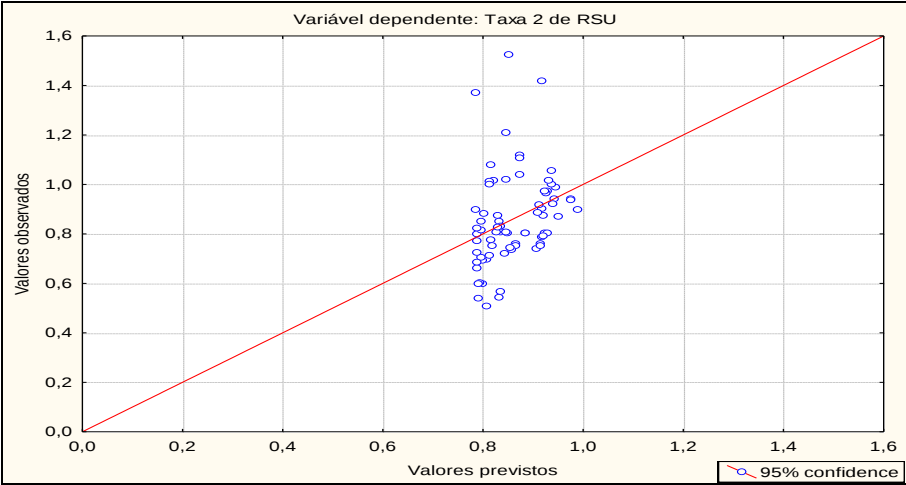
Modelo 31



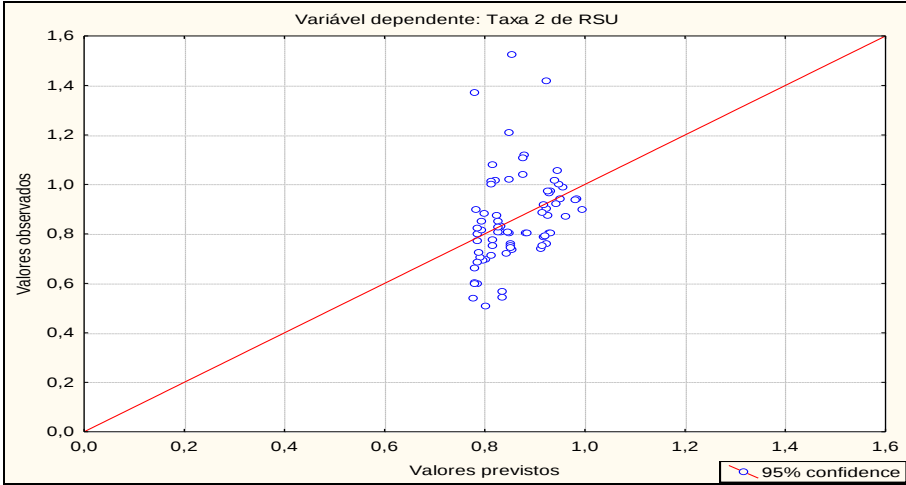
Modelo 32



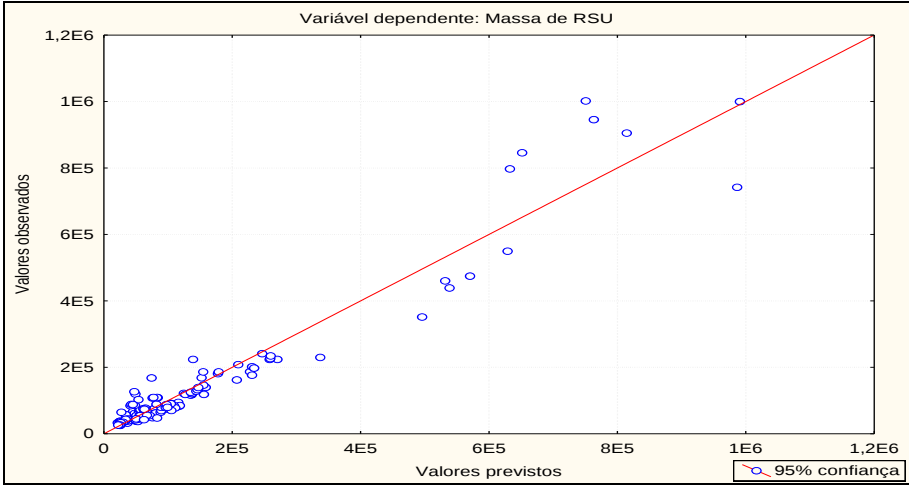
Modelo 33



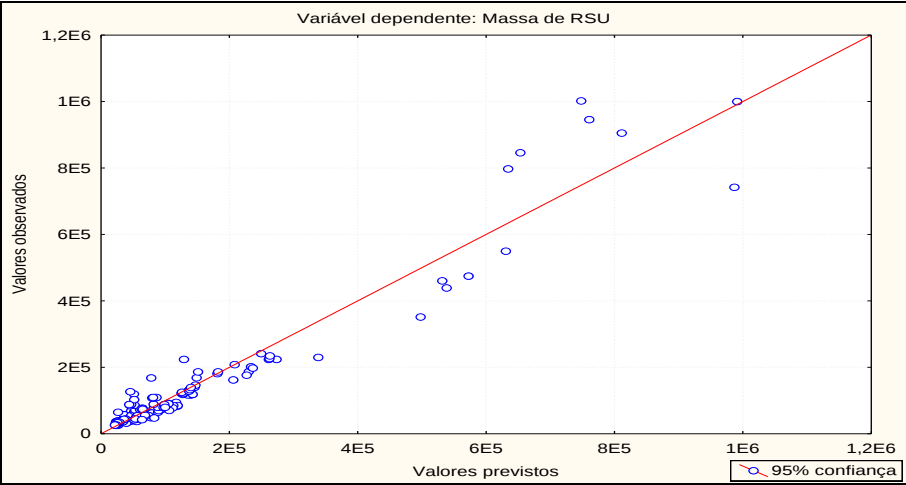
Modelo 34



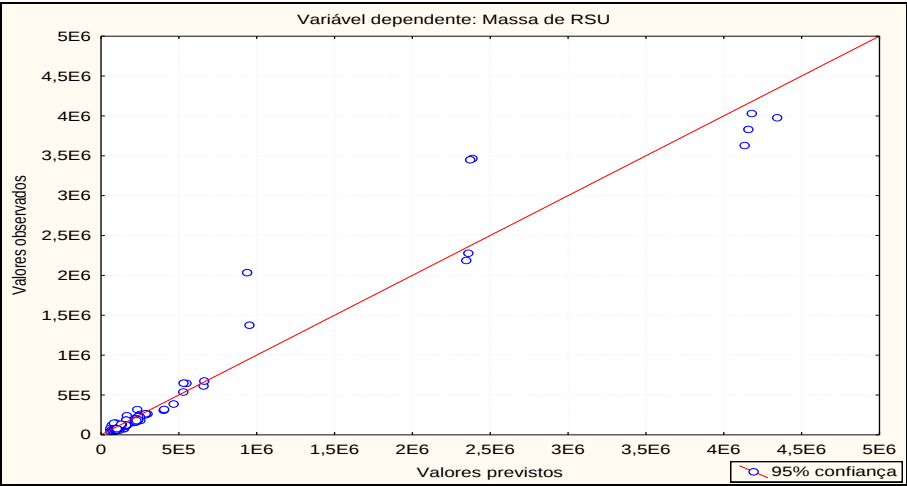
Modelo 35



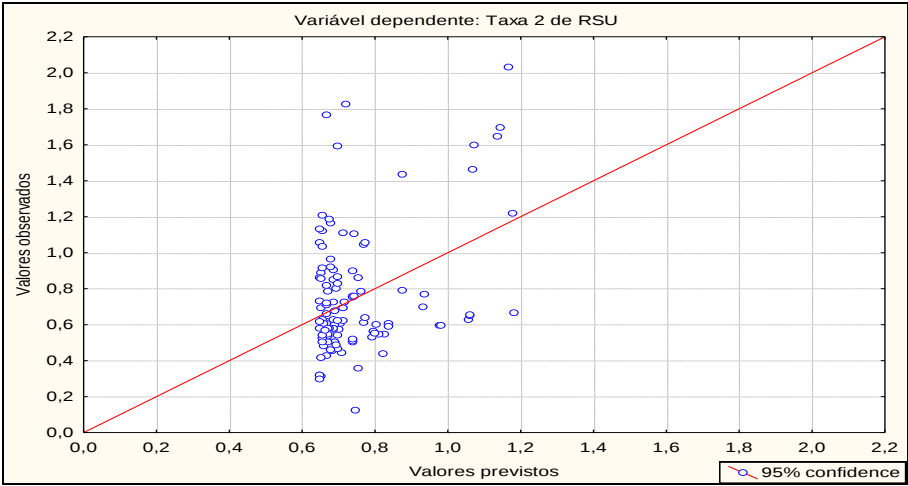
Modelo 36



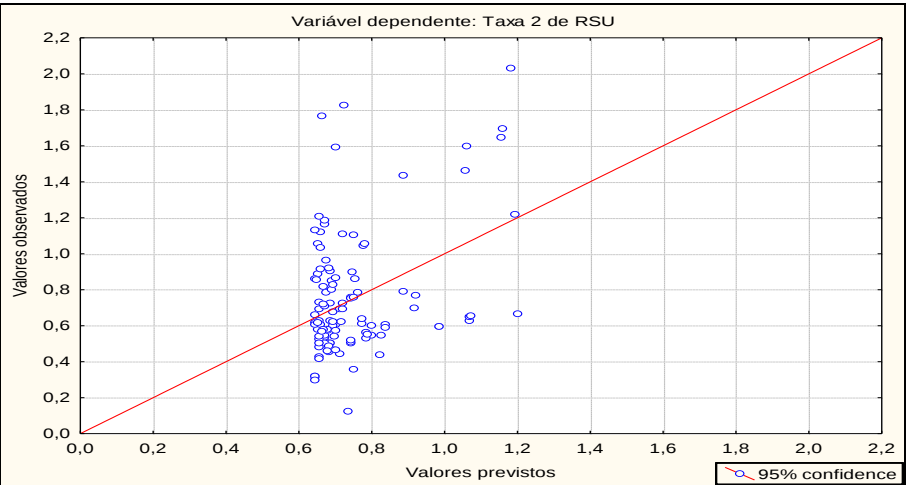
Modelo 37



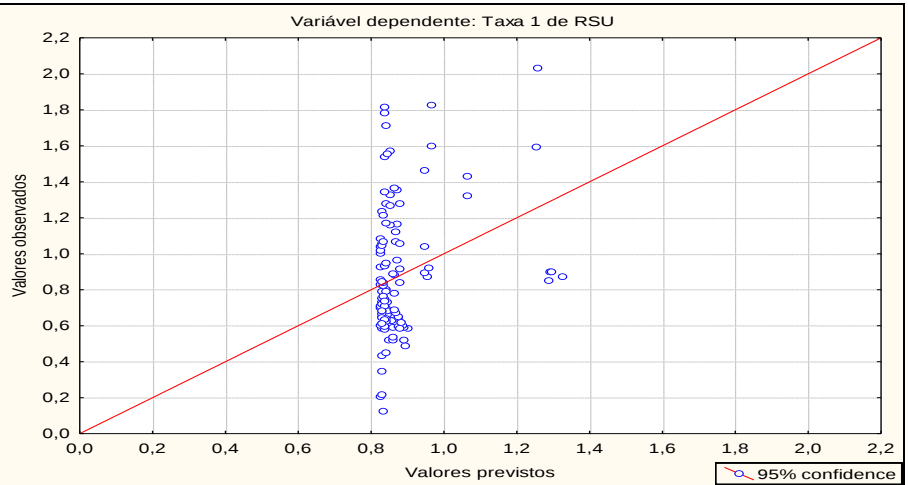
Modelo 38



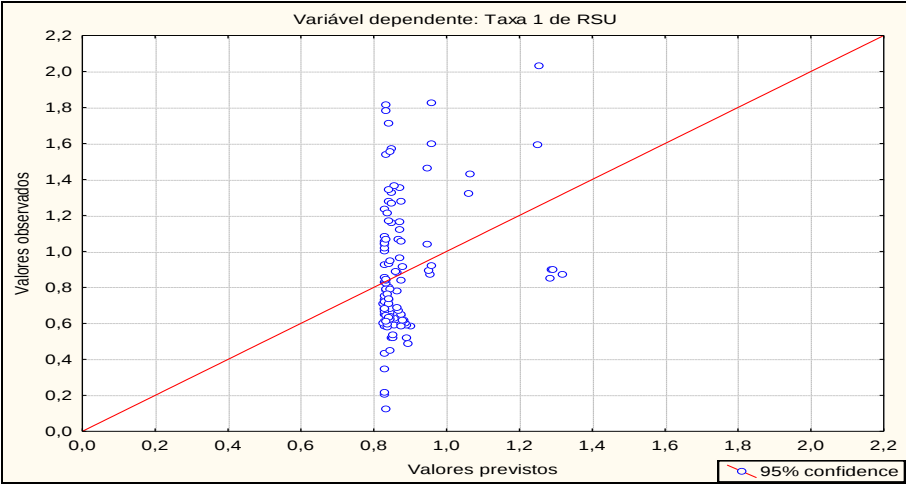
Modelo 39



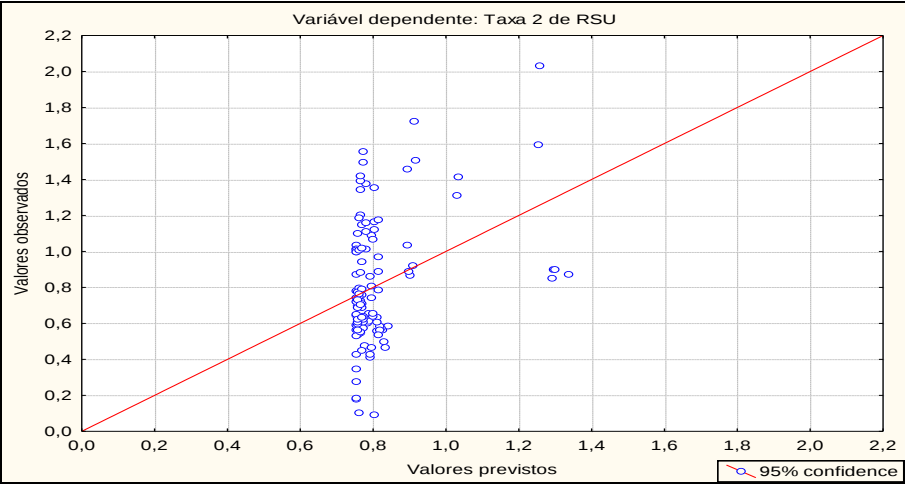
Modelo 40



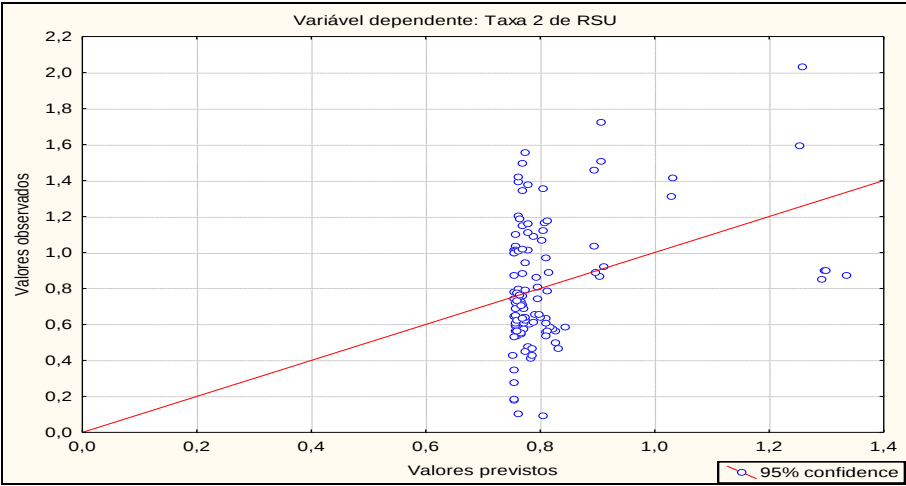
Modelo 41



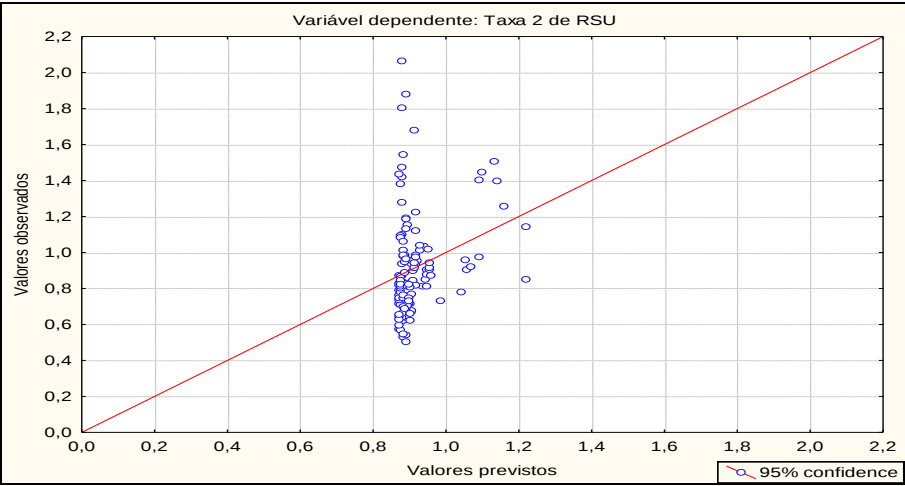
Modelo 42



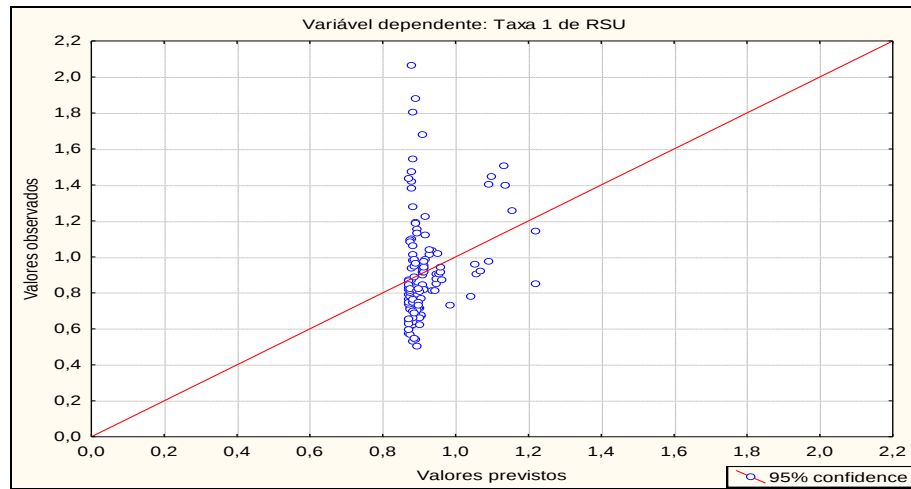
Modelo 43



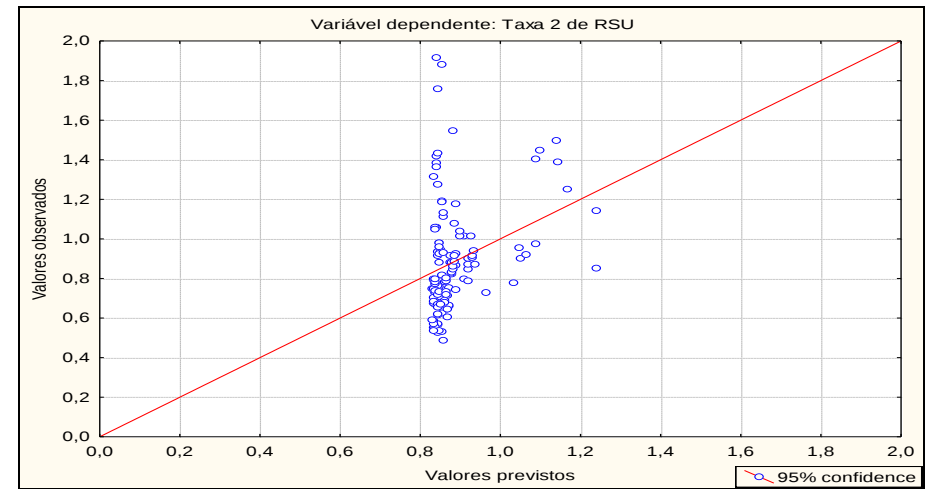
Modelo 44



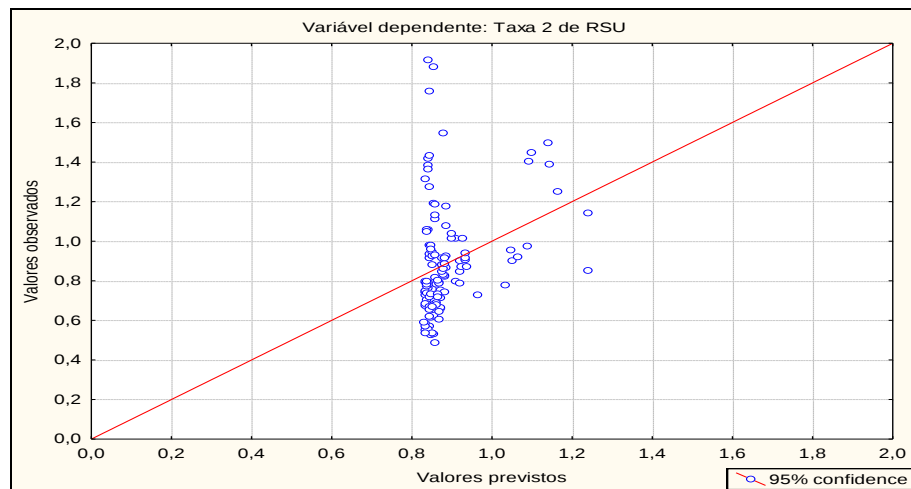
Modelo 45



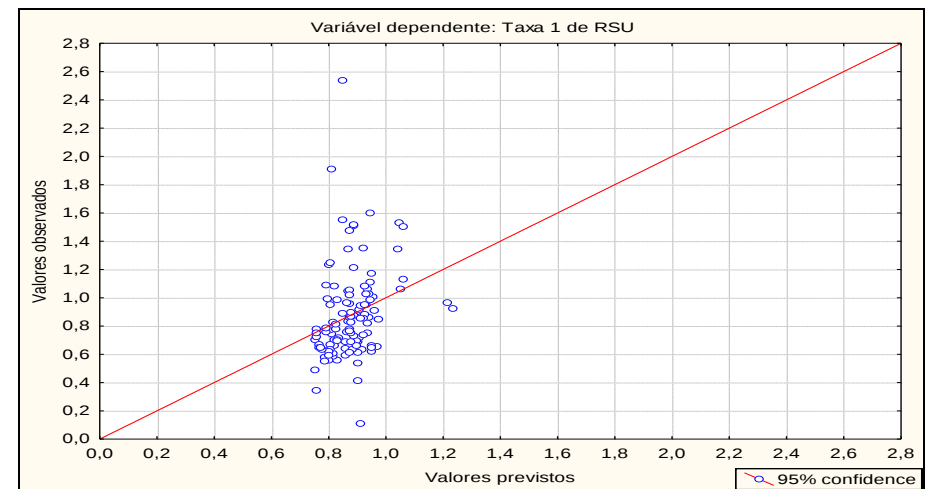
Modelo 46



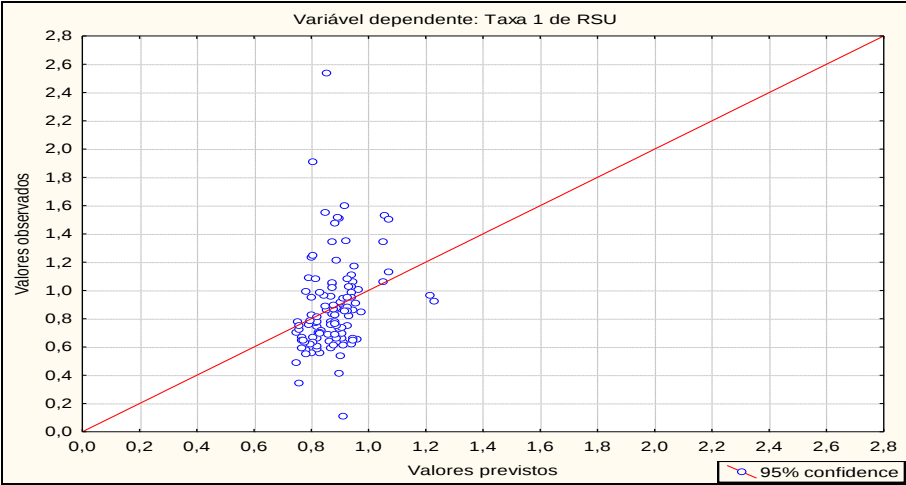
Modelo 47



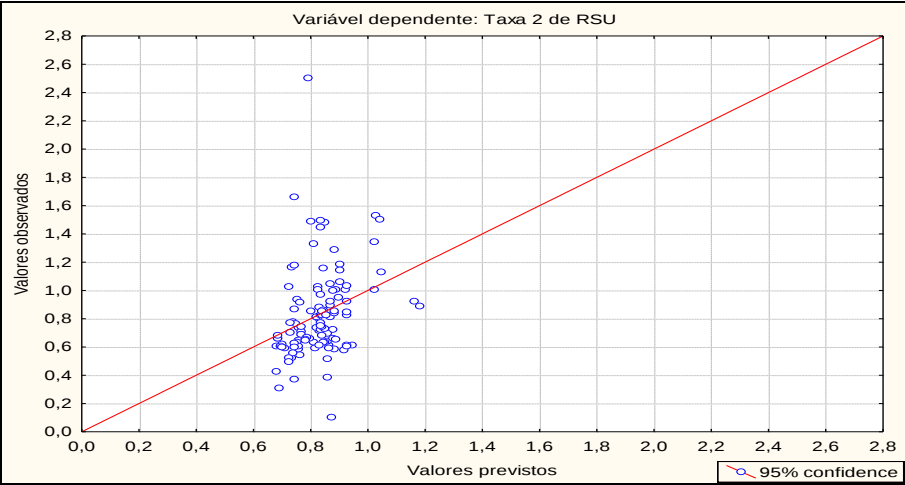
Modelo 48



Modelo 49



Modelo 50



Modelo 51

