TIAGO DE VASCONCELOS GONÇALVES FERREIRA

**MODELO DE SIMULAÇÃO ESTOCÁSTICA DA
DEMANDA DE ÁGUA EM EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS**

São Paulo

2018

Tiago de Vasconcelos Gonçalves Ferreira

**Modelo de simulação estocástica da demanda de água
em edifícios residenciais**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Construção Civil e Urbana).

Área de concentração: Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador: Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves

São Paulo

2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Ferreira, Tiago de Vasconcelos Gonçalves

Modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais / T. V. G. Ferreira -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
171 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Sistemas Prediais 2.Simulação 3.Água I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Orestes Gonçalves, por toda a dedicação, conselhos, orientação e encorajamento para a realização dessa dissertação. Obrigado por tornar este trabalho possível.

À Prof.^aLúcia, por ter me apresentado o tema, pelas conversas e inúmeras contribuições acadêmicas dadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Rodrigo, por toda a contribuição na dissertação, principalmente na área de probabilidade, além dos conselhos.

Aos meus pais, Francisco e Wildes, e aos meus irmãos, Diego, Iara e Daniele, por todo o apoio e incentivo.

Agradeço a Samara, por toda paciência, incentivo, companheirismo ao longo do desenvolvimento do trabalho. Agradeço também pelas correções de português.

Ao pessoal da república, Thiago e Hélder.

A todos da Sala Asteroide, em especial ao Pedro, Daniel, Natália, Isabel e Lígia.

A Techem do Brasil, sobretudo ao Eduardo e Arthur, por todo apoio técnico me dado durante a coleta de dados.

Aos moradores do condomínio estudado, pela disponibilidade de participar da pesquisa, em especial ao Síndico João.

À Capes por todo apoio financeiro dado durante a pesquisa.

RESUMO

FERREIRA, T. V. G. **Modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais**. 2018. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Ao longo dos anos, pesquisadores têm liderado estudos com o objetivo de investigar o perfil de consumo de água em edifícios, os quais contribuem para o conhecimento no que tange ao correto dimensionamento dos sistemas prediais. No contexto dos métodos para a caracterização das solicitações, as rotinas comumente empregadas para a obtenção das vazões de projeto foram, em sua maioria, propostas na metade do século XX. Estes modelos precisam ser revisados e readequados para a realidade de conservação existente atualmente. Nos últimos anos, alguns estudos propuseram modelos de simulação com foco de aplicação em sistemas prediais de distribuição de água, devido ao comportamento aleatório e temporal das solicitações neste tipo de sistema. Neste trabalho foi proposto um modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais, que contemplou a modelagem comportamental dos usuários e a interação destes com o sistema, a fim de aperfeiçoar o processo de dimensionamento dos sistemas prediais de distribuição de água. Para isto, foram revisadas as bases teóricas de modelos propostos anteriormente com interesse de identificar aspectos significativos e construir um novo modelo, que mesclou a modelagem comportamental dos usuários e do sistema hidráulico. Para a obtenção dos valores das variáveis intervenientes, foi feita uma consulta em trabalhos dentro do contexto nacional e uma coleta de dados em campo. Os resultados da pesquisa em campo mostraram a correlação entre a rotina dos usuários e o volume de água consumida e um aumento médio de 192% do valor da vazão de projeto obtida pelo Método dos Pesos Relativos quando comparada com as vazões obtidas no medidor dos apartamentos monitorados. Em posse de todos os dados de entrada, foram feitas diferentes simulações que variaram o tipo do chuveiro instalado nos apartamentos. Quando comparadas as vazões obtidas pela simulação e pelo Método dos Pesos Relativos, em todos os componentes do sistema, a redução da vazão de projeto variou entre 4% e 61%. Em termos de consumo de material, a redução ficou entre 25% a 63%.

Palavras-chave: Simulação estocástica. Vazões de projeto. Simulação computacional. Demanda de Água.

ABSTRACT

FERREIRA, T. V. G. **Stochastic simulation model of water demand in residential buildings**. 2018. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Over the years, researchers have been conducting studies to investigate the water consumption profile in buildings, which contribute to the knowledge regarding the correct sizing of the building hydraulic systems. In context of the methods for characterization of requests, the routines commonly used to obtain the project flows were mostly proposed in mid-20th-century. These models need to be revised and adapted to nowadays water conservation reality. In recent years, some studies have proposed simulation models with application focus in water distribution systems, due to the random and temporal behavior of the requests in this type of system. In this study, a stochastic simulation model of water demand in residential buildings has been proposed, which contemplated the behavioral modeling of users and their interaction with the system, in order to improve the design process of water distribution systems. For such, the theoretical bases of previously- proposed models for the identification of significant aspects for the construction of a new model were revised, which merged the behavioral modeling of users and the hydraulic system. In order to obtain the values of intervening variables, fieldworks and a review was conducted in papers which treated about the Brazilian context. The results of the data collected on the fieldworks show a correlation between the routine of users and the volume of water consumed. Besides, there was an average increase of 192% in the value of the project flow rate obtained by the Brazilian Standard Method when compared with the flows obtained in the monitored apartments. Considering the input data in the model, different simulations – with several different types of showers installed in the apartments - were made. When comparing the flows obtained by the simulation and the Brazilian Standard Method, in all components of the system, the reduction of the project flow varied between 4% and 61%. In terms of material consumption, the reduction was between 25% and 63%.

Keywords: Stochastic simulation. Flows rate. Computer simulation. Water Demand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estudo das vazões de projeto obtidas pelos diferentes métodos	23
Figura 2.1 – Estudo das vazões de projeto obtidas pelos diferentes métodos	29
Figura 2.2 – Comparação entre os modelos probabilísticos para uma residência . . .	30
Figura 2.3 – Comparação entre os modelos probabilísticos para um edifício comercial	30
Figura 2.4 – Comparação entre os modelos probabilísticos para um terminal de ônibus	30
Figura 2.5 – Representação pictográfica de um grafo	33
Figura 2.6 – Elementos de um sistema predial de água qualquer	34
Figura 2.7 – Representação dos elementos de um sistema predial de água através de grafos	34
Figura 2.8 – Valores da vazão na tubulação de saída do reservatório do edifício simulado	36
Figura 2.9 – Valores da vazão na tubulação de saída do reservatório do edifício simulado	37
Figura 2.10–Fluxograma do modelo de simulação da vazão de projeto utilizando o Método de <i>Monte Carlo</i> e a lógica nebulosa	39
Figura 2.11–Duração do banho obtidas através da lógica nebulosa	42
Figura 2.12–Representação da demanda de água através de pulsos retangulares . . .	43
Figura 2.13–Comparação entre os resultados simulados com o <i>SIMDEUM</i> e os medidos em campo: a – vazão máxima acumulada a cada 5 min; b – vazão máxima acumulada por hora; c – volume de água consumido por dia; d – número de horas em que houve consumo de água	48
Figura 2.14–Média (a) e variância (b) da demanda de água ao longo do dia, em escala de tempo de 5 min	49
Figura 2.15–Comparação entre os resultados simulados com o <i>SIMDEUM</i> e os medidos em campo para o parâmetro de vazão ao longo do dia	49
Figura 2.16–Curva de Hunter modificada para os aparelhos pertencentes ao mercado indiano	51
Figura 3.1 – Representação dos grupos que influenciam a demanda de água	56
Figura 3.2 – Representação da função de distribuição acumulada do tipo Bernoulli .	60
Figura 3.3 – Fatores considerados intervenientes dos grupos para caracterização dos usuários	64
Figura 3.4 – Fluxograma para a geração populacional de um edifício	66
Figura 3.5 – Curva de descarga hipotética para aparelhos	69
Figura 3.6 – Conjuntos de intervalos de tempo dentro do período de um dia da variável τ	70
Figura 3.7 – Exemplo da curva de probabilidade e curva de probabilidade acumulada da variável aleatória τ	71

Figura 4.1 – Distribuição de probabilidades de uma variável aleatória x , do tipo Poisson, com $\lambda = 1,74$	74
Figura 4.2 – Distribuição do número de habitantes por residência no Brasil	75
Figura 4.3 – Probabilidade de ocorrência de uma determinada faixa etária no Brasil	75
Figura 4.4 – Ajuste dos dados amostrais da pia da cozinha	78
Figura 4.5 – Ajuste dos dados amostrais do tanque	79
Figura 4.6 – Ajuste dos dados amostrais do lavatório	80
Figura 4.7 – Ajuste dos dados amostrais da vazão da bacia sanitária (L/s)	80
Figura 4.8 – Ajuste dos dados amostrais do chuveiro	82
Figura 5.1 – Fachada das três torres do condomínio estudado	84
Figura 5.2 – Tipos de disposições arquitetônicas	85
Figura 5.3 – Fluxograma do processo de aquisição de dados relativos a demanda de água no edifício estudado	86
Figura 5.4 – Probabilidade de ocorrência de um certo intervalo de tempo entre os pulsos	87
Figura 5.5 – Perfil da demanda de água do Apartamento 1 com identificação da rotina dos usuários do apartamento	89
Figura 5.5 – Curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorram no ramal de alimentação	91
Figura 5.6 – Chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1	92
Figura 5.7 – Número total de usos do chuveiro no Apartamento 1	92
Figura 5.8 – Ajuste dos dados amostrais do chuveiro do Apartamento 1	93
Figura 5.9 – Perfil da demanda de água do Apartamento 2 com a rotina dos usuários do apartamento	94
Figura 5.9 – Curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorram no ramal de alimentação	96
Figura 5.10–Chuveiro do banheiro social e da suíte do Apartamento 2	97
Figura 5.11–Número total de usos do chuveiro no Apartamento 2	97
Figura 5.12–Ajuste dos dados amostrais do chuveiro do Apartamento 2	98
Figura 5.13–Perfil da demanda de água do Apartamento 3 com identificação da rotina dos usuários do apartamento	99
Figura 5.13–Curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorram no ramal de alimentação	101
Figura 5.14–Chuveiro do banheiro social e da suíte do Apartamento 3	102
Figura 5.15–Número total de usos do chuveiro no Apartamento 3	102
Figura 5.16–Ajuste dos dados amostrais do chuveiro do Apartamento 3	103
Figura 5.17–Estudo de correlação de variáveis dos dados coletadas em campo	104
Figura 5.18–Ajuste entre os dados amostrais do tempo de banho da coleta de dados	105
Figura 6.1 – Perspectiva do edifício hipotético estudado	107

Figura 6.2 – Planta baixa padrão dos pavimentos do edifício hipotético estudado . . .	108
Figura 6.3 – Elementos de um diagrama de extremos e quartis	112
Figura 6.4 – Taxa de ocupação média do edifício e intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício, na Simulação 1	113
Figura 6.5 – Resumo da vazão e do tempo de banho do chuveiro da Simulação 1 . .	114
Figura 6.6 – Vazões que ocorreram no barrilete do edifício nos dias 1, 10, 28 e 31 da Simulação 1	115
Figura 6.7 – Vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício nos dias 1 e 25 da Simulação 1	115
Figura 6.8 – Vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar do edifício, nos dias 1 e 25 da Simulação 1	116
Figura 6.9 – Vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar, nos dias 1 e 25 da Simulação 1	116
Figura 6.10–Probabilidade acumulada das vazões de pico no barrilete do sistema e distribuição de ocorrência de períodos de pico ao longo o dia	116
Figura 6.11–Diferença entre a vazão de projeto obtida através da simulação e através do método dos pesos	117
Figura 6.12–Curva de probabilidade acumulada das vazões do medidor dos aparta- mentos, em m^3/h , e os quartis da amostra obtida	118
Figura 6.13–Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 1	118
Figura 6.14–Quartis da amostra da perda de carga unitária e das velocidades que ocorreram no trecho de tubulação estudado durante os 31 dias da Simulação 1, com velocidade admissível de 3 m/s	119
Figura 6.15–Quartis da amostra da perda de carga unitária e das velocidades que ocorreram no trecho de tubulação estudado durante os 31 dias da Simulação 1, com velocidade admissível de 2 m/s	120
Figura 6.16–Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 1	120
Figura 6.17–Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	121
Figura 6.18–Quartis da amostra da perda de carga unitária e das velocidades que ocorreram no trecho de tubulação estudado durante os 31 dias da Simulação 1, com velocidade admissível de 1,5 m/s	122
Figura 6.19–Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	122
Figura 6.20–Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 1	123

Figura 6.21–Diferença entre os diâmetros dimensionados através da vazão de projeto da simulação e pelo método dos pesos	123
Figura 6.22–Taxa de ocupação média do edifício e intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício, na Simulação 2	124
Figura 6.23–Resumo da vazão e do tempo de banho do chuveiro da Simulação 2 . .	125
Figura 6.24–Vazões que ocorreram no barrilete do edifício nos dias 1, 13, 15 e 25 da Simulação 2	126
Figura 6.25–Vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício nos dias 1 e 31 da Simulação 2	126
Figura 6.26–Vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar do edifício, nos dias 1 e 31 da Simulação 2	126
Figura 6.27–Vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2	127
Figura 6.28–Probabilidade acumulada das vazões de pico no barrilete do sistema e distribuição de ocorrência de períodos de pico ao longo o dia	127
Figura 6.29–Diferença entre a vazão de projeto obtida através da simulação e através do método dos pesos	128
Figura 6.30–Curva de probabilidade acumulada das vazões do medidor dos apartamentos, em m^3/h , e os quartis da amostra obtida	129
Figura 6.31–Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 40\text{mm}$	130
Figura 6.32–Quartis da amostra das Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 40\text{mm}$	130
Figura 6.33–Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 32\text{mm}$	131
Figura 6.34–Quartis da amostra das perdas de cargas unitárias e velocidade no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 32\text{mm}$	131
Figura 6.35–Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2	132
Figura 6.36–Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	132
Figura 6.37–Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2	133
Figura 6.38–Quartis da amostra das pressões e das vazões que ocorreram no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	133

Figura 6.39–Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	134
Figura 6.40–Diferença entre os diâmetros dimensionados através da vazão de projeto da simulação e pelo método dos pesos	134
Figura 6.41–Taxa de ocupação média do edifício e intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício, na Simulação 2	136
Figura 6.42–Resumo da vazão e do tempo de banho do chuveiro da Simulação 2 . .	137
Figura 6.43–Vazões que ocorreram no barrilete do edifício nos dias 1, 14, 18 e 31 da Simulação 3	137
Figura 6.44–Vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício nos dias 1 e 31 da Simulação 3	138
Figura 6.45–Vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar do edifício, nos dias 1 e 31 da Simulação 2	138
Figura 6.46–Vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2	138
Figura 6.47–Probabilidade acumulada das vazões de pico no barrilete do sistema e distribuição de ocorrência de períodos de pico ao longo o dia	139
Figura 6.48–Diferença entre a vazão de projeto obtida através da simulação e através do método dos pesos	140
Figura 6.49–Curva de probabilidade acumulada das vazões do medidor dos apartamentos, em m^3/h , e os quartis da amostra obtida	141
Figura 6.50–Pressões e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25\text{mm}$	141
Figura 6.51–Quartis da amostra das perdas de cargas unitárias e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25\text{mm}$	142
Figura 6.52–Quartis da amostra das perdas de cargas unitárias e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25\text{mm}$	142
Figura 6.53–Pressões e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25\text{mm}$	143
Figura 6.54–Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 3	143
Figura 6.55–Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	144
Figura 6.56–Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	145

Figura 6.57–Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento	145
Figura 6.58–Diferença entre os diâmetros dimensionados através da vazão de projeto da simulação e pelo método dos pesos	146
Figura A.1–Estudo das vazões de projeto obtidas pelos diferentes métodos	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Exemplo de relações entre os componentes neste tipo de abordagem . .	35
Tabela 2.2 – Horários possíveis para início das atividades de cada integrante da família	40
Tabela 2.3 – Dados mínimos, mais prováveis e máximos das variáveis de duração de acionamento e vazão instantânea dos aparelhos simulados	41
Tabela 2.4 – Taxa de inserção de cada aparelho sanitário na Holanda	45
Tabela 2.5 – Composição dos habitantes em residências da Holanda	46
Tabela 2.6 – Distribuições de probabilidade das variáveis de uso de água	46
Tabela 2.7 – Estatística das rotinas diárias dos holandeses	47
Tabela 3.1 – Resumo dos modelos de simulação apresentados no Capítulo 2	54
Tabela 3.2 – Exemplo para a representação populacional de um edifício estudado . .	66
Tabela 4.1 – Grupos populacionais brasileiros e as respectivas porcentagens de ocor- rência	73
Tabela 4.2 – Grupos de faixa etária utilizados no modelo de simulação	75
Tabela 4.3 – Aparelhos sanitários mais comuns pertencentes à sistemas de distribui- ção de água residenciais brasileiros	76
Tabela 4.4 – Funções de probabilidade adotada para cada variável dos aparelhos sanitários obtidas em trabalhos nacionais	83
Tabela 5.1 – Lista de aparelhos sanitários e somatórios dos pesos em função do tipo de apartamento	85
Tabela 5.2 – Resumo dos apartamentos monitorados	86
Tabela 5.3 – Resumo das rotinas e hábitos mensuráveis dos usuários do apartamento 1	88
Tabela 5.4 – Resumo do consumo de água dos habitantes do Apartamento 1	90
Tabela 5.5 – Resumo das rotinas e hábitos mensuráveis dos usuários do apartamento 2	93
Tabela 5.6 – Resumo do consumo de água dos habitantes do Apartamento 2	96
Tabela 5.7 – Resumo das rotinas e hábitos mensuráveis dos usuários do apartamento 3	99
Tabela 5.8 – Resumo do consumo de água dos habitantes do Apartamento 3	100
Tabela 6.1 – Resumo dos parâmetros para caracterização da rotina dos usuários do modelo	109
Tabela 6.2 – Exemplo de variação da rotina dos usuários ao longo dos dias de simulação	110
Tabela 6.3 – Relação de consumo dos aparelhos sanitários ao longo da simulação . .	113
Tabela 6.4 – Relação de consumo dos aparelhos sanitários ao longo da simulação . .	124
Tabela 6.5 – Tipos de apartamentos considerados na Simulação 3	135
Tabela 6.6 – Relação de consumo dos aparelhos sanitários ao longo da simulação . .	136
Tabela 6.7 – Comparação da vazão de projeto instantânea com as vazões de diferentes δ_t	147
Tabela A.1 – Comparação entre os pesos recomendados pela ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998) e os calculados através da Equação A.1	160

Tabela A.2–Identificação das tipologias comuns na Alemanha e atribuição de diferentes coeficientes para cada uma delas 161

Tabela B.1–Dimensões dos tubos de PVC em milímetros 163

Tabela B.2–Comprimentos equivalentes de conexões de PVC 166

Tabela B.3–Valores máximo de coeficiente de perda de carga 167

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IAPMO	<i>International Association of Plumbing and Mechanical Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASPE	<i>American Society of Plumbing Engineers</i>
IBGE	Instituto Brasil de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
OCR	<i>Optical Character Recognitaion</i>
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
SIMDEUM	<i>Stochastic End-Use Model</i>
WQA	<i>Water Quality Association</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

i, j, k, m	Índices utilizados no trabalho
n	Número total de aparelhos sanitários
n_t	Número total de aparelhos sanitários de tipos diferentes a ser considerado no trecho
r	Número de aparelhos sanitários em uso simultâneo
p	Probabilidade de que o aparelho sanitário esteja em funcionamento
t	Duração da descarga de um aparelho sanitário
T	Intervalo de tempo entre os inícios ou términos de descargas consecutivas de um aparelho sanitário
$z_{\%99}$	Parâmetro característico da distribuição Normal
rl	Vetor que contém as relações entre os componentes
pp	Vetor com as propriedades entre os componentes
H_e	Pressão disponível na entrada do componente
H_s	Pressão disponível na saída do componente
Q_e	Vazão na entrada do componente
Q_s	Vazão na saída do componente
Z_e	Nível da extremidade de entrada do componente
Z_s	Nível da extremidade de saída do componente
ΔH	Perda de carga total
C_d	Coefficiente de descarga
μ_t	Média da duração de acionamento do aparelho sanitário
t_{min}	Duração mínima de acionamento do aparelho sanitário
t_{prov}	Duração mais provável de acionamento do aparelho sanitário
t_{max}	Duração máxima de acionamento do aparelho sanitário

q	Vazão do aparelho sanitário em uso;
U	Número total de usuários no ambiente de simulação
F	Número total de utilizações do aparelho sanitário
τ	Instante de acionamento do aparelho sanitário
$Q(\tau)$	Variável que representa a ocorrência de vazões no instante τ
D_T	Volume total de água utilizado durante o período de um dia
V	volume total médio de água utilizada durante o período de um dia
v_s	Volume médio de água consumida durante o período de sono dos usuários
p_s	Probabilidade de que o aparelho sanitário seja utilizado no período de sono
v_p	Volume total médio de água utilizada nos períodos de pico
p_p	Probabilidade de que o aparelho sanitário seja utilizado no período de pico
ξ	Duração máxima de cada período de pico, em minutos
$t_{min,adm}$	Menor período de tempo admissível entre dois eventos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Objetivos	22
1.2	Metodologia de pesquisa	23
1.3	Estrutura do trabalho	24
2	MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES EM SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTADO DA ARTE	25
2.1	Método Analítico Direto da ASPE (WISTORT, 1994)	31
2.2	Modelo de simulação através da Teoria dos grafos (PETRUCCI, 2001)	33
2.3	Modelo de simulação com envolvimento de sistemas nebulosos (OLIVEIRA et al., 2013)	38
2.4	Simulação da demanda de água residencial com o Modelo <i>Stochastic End-Use (SIMDEUM)</i> (BLOKKER; VREEBURG; Van Dijk, 2010)	43
2.5	Modificação da curva de Hunter para fins de conservação (2014)	50
2.6	Modelo de Wistort modificado (2014)	51
3	SIMULAÇÃO ESTOCÁSTICA DA DEMANDA DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BASEADA NO ESTUDO DA ROTINA DOS USUÁRIOS	53
3.1	Definições básicas antecedentes	58
3.2	Apresentação do modelo para estudo da demanda de água em edifícios residenciais	62
3.2.1	Aparelhos sanitários do modelo	63
3.2.2	Geração do perfil da demanda de cada aparelho sanitário	65
3.2.2.1	Usuários do sistema	65
3.2.2.2	Variáveis de Duração de uso, Frequência e Vazão (t , f_i e q)	66
3.2.2.3	Instante de acionamento dos aparelhos sanitários (variável τ)	69
3.2.3	Condições de contorno do modelo	72
4	ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS	73
4.1	Obtenção dos valores para a caracterização dos usuários	73
4.2	Obtenção dos valores das variáveis t , f_i e q	75
4.2.1	Trabalhos anteriormente publicados no contexto nacional	76

5	COLETA DE DADOS EM CAMPO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA VARIÁVEL τ E CONSIDERAÇÕES . . .	84
5.1	Descrição do edifício estudado	84
5.2	Metodologia e instrumentação	85
5.3	Resultados	88
5.4	Considerações	104
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	107
6.1	Simulação 1: sistema com chuveiro medido por Ilha e Gonçalves (1991)	112
6.2	Simulação 2: sistema com chuveiro do apartamento 1 do Capítulo 5	124
6.3	Simulação 3: sistema com uso de diferentes tipos de chuveiro .	135
6.4	Discussão dos resultados	146
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
	REFERÊNCIAS	152
	APÊNDICES	157
	APÊNDICE A – MÉTODO DOS PESOS RELATIVOS RECOMENDADO PELA NBR 5626 (ABNT, 1998) E COMENTÁRIOS	158
	APÊNDICE B – COMPONENTES DO SISTEMA PREDIAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E CÁLCULO DA PERDA DE CARGA	162
B.1	Tubos de PVC	162
B.2	Conexões de PVC	165
B.3	Registros	166
B.4	Hidrômetros	167
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS APARTAMENTOS	169

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, pesquisadores têm liderado estudos com o objetivo de investigar o perfil de consumo de água em edifícios. Estes estudos contribuem para o conhecimento no que tange ao correto dimensionamento dos sistemas prediais, seja na proposição de métodos ou modelos que descrevam as solicitações nestes sistemas ou com dados da demanda, que auxiliam no entendimento do comportamento das variáveis associadas.

Diversos aspectos sistêmicos podem influenciar nos níveis da demanda de um sistema predial de distribuição de água, como o local em que o edifício foi implantado, tipo do edifício, distribuição espacial dos aparelhos sanitários, temperatura externa do ambiente, distribuição da população do edifício, dentre outros. Para fins de dimensionamento, esses pontos devem ser considerados para a estimativa da demanda máxima simultânea e, assim, garantir a eficiência e economia do sistema.

Alguns exemplos desses aspectos sistêmicos podem ser comentados: a implantação de aparelhos economizadores tende a diminuir a demanda de água e, dessa forma, a definição da vazão dos aparelhos, que alimentam os modelos matemáticos, também é influenciada; a pesquisa feita por [Butler \(1993\)](#) mostrou que a frequência de utilização de um aparelho sanitário de uma residência pode ser equacionada em função do número de seus habitantes; com ênfase semelhante, [Wolff \(1961\)](#) concluiu que há relação entre a demanda de água e o padrão econômico de uma residência, de forma que, quanto maior o nível econômico da residência, maior o consumo de água.

No contexto dos métodos para a caracterização das solicitações nos sistemas de distribuição de água, as rotinas comumente empregadas para a obtenção das vazões de projeto foram, em sua maioria, propostas na metade do século XX. Dentre estes métodos, pode-se destacar o proposto por Hunter ([HUNTER, 1940](#)), amplamente utilizado em países como Estados Unidos, Inglaterra e Japão, e os métodos baseados na aplicação de raízes quadradas, utilizados em países como Alemanha, Brasil e Holanda.

Alguns estudos de campo confrontaram os resultados obtidos quando utilizado o método de Hunter. [Webster \(1972\)](#) conduziu um experimento de medição de água em um edifício de 18 andares em Londres e concluiu que os parâmetros propostos por Hunter são substancialmente altos. Recentemente, [Tindall e Pendle \(2017\)](#) realizaram medições de consumo de água em dois edifícios residenciais situados no Reino Unido, para comparar as vazões obtidas em campo com as vazões provenientes do uso dos três métodos britânicos mais comuns, sendo todos eles adaptações da proposta de Hunter. Os valores de vazão de

projeto calculados apresentaram um significativo aumento, os quais variaram entre 233% e 488% em relação ao valor que representa 99% dos dados coletados.

Destarte, vários pesquisadores empenharam-se em prover evolução ao tema, principalmente abordando a proposta feita por Hunter. [Konen e Brady Jr. \(1974\)](#) revisaram os parâmetros do modelo de Hunter e concluíram que a frequência de uso é o parâmetro mais crítico envolvido na formulação; [Courtney \(1976\)](#) utilizou os dados coletados por [Webster \(1972\)](#) e propôs o uso da distribuição Multinomial para cálculo das vazões; [Gonçalves \(1986\)](#) tratou as variáveis propostas por Hunter como aleatórias e utilizou a função de probabilidade do tipo Beta-Binomial para o conhecimento do número provável de aparelhos sanitários em uso simultâneo; [Wistort \(1994\)](#) e [Breese \(2001\)](#) propuseram a aproximação da distribuição Normal com a distribuição Binomial para determinação da vazão de projeto em conjuntos heterogêneos de aparelhos sanitários; em casos de dimensionamento de edifícios altos, [Mui e Wong \(2011\)](#) propuseram a substituição da vazão de referência utilizada por Hunter, de 10 L/s, para 250 L/s; [Mazumdar, Jaman e Das \(2014\)](#) modificaram as curvas desenvolvidas por Hunter considerando novos parâmetros típicos de aparelhos economizadores de água.

Ao passo em que a evolução do tema aqui tratado concentrou esforços no uso de distribuições de probabilidade específicas, outras disciplinas de sistemas prediais, principalmente que lidam com conservação de energia elétrica, inseriram técnicas de simulação em seu cotidiano. [Clarke \(1993\)](#) comentou a tentativa frustrada de pesquisadores em minimizar as perdas de calor, maximizar a utilização da energia solar, garantir o conforto térmico, dentre outros aspectos inerentes ao processo de projeto de edifícios, sem a consideração da dinâmica do sistema, na medida em que muitos parâmetros mudam ao longo do tempo e em taxas diferentes. Uma das formas encontradas para abordar essa complexidade foi através de modelos de simulação.

[Augenbroe \(2002\)](#) salienta a importante contribuição das ferramentas de simulação no projeto de edifícios e que estas foram estabelecidas nos anos 80 e 90 do século XX. O autor complementa que a simulação propicia a aceleração do processo de projeto, aumentando a eficiência e possibilitando a comparação de uma gama mais ampla de variantes, o que torna os projetos mais otimizados.

O uso de técnicas de simulação para a modelagem de sistemas prediais de distribuição de água foi inicialmente abordado por [Donnelly e Carson \(1980\)](#). O trabalho trouxe uma discussão acerca do potencial de uso de Processos estocásticos e técnicas de simulação de *Monte Carlo* para o dimensionamento dos sistemas, devido ao comportamento aleatório e temporal das solicitações.

As primeiras publicações envolvendo processos estocásticos com aplicação orientada à demanda de água foram com o uso do Processo de Poisson. [Gonçalves \(1978\)](#) propôs um modelo para determinação do número de aparelhos sanitários de um determinado ambiente baseados nos conceitos da Teoria das filas. Alguns anos mais tarde, [Buchberger e Wu](#)

(1995) também utilizaram a Teoria das filas para simular a demanda de água ao longo do dia, com tempo de chegada variando de acordo com o processo de Poisson não-homogêneo. Vale ressaltar que este último estudo teve foco de aplicação em escalas urbanas, mas foi citado por ter sido o primeiro a utilizar técnicas de simulação para a obtenção da demanda de água.

Nos últimos anos, alguns autores apresentaram modelos de simulação com foco de aplicação em sistemas prediais de distribuição de água. Alitchkov (1998) propôs um modelo estocástico em que o instante de acionamento e a vazão são modelados através da distribuição Normal; Petrucci e Gonçalves (2002) combinaram a Teoria dos grafos para representação do sistema hidráulico e um modelo *bottom-up* de simulação estocástica, em que cada aparelho é tratado de forma independente e as vazões são resultados da pressão disponível em cada ponto de utilização; Wong e Mui (WONG; MUI, 2007; WONG; MUI, 2008) propuseram uma modelagem estocástica da ação de descargas em bacias sanitárias de edifícios altos; Blokker, Vreeburg e Van Dijk (2010) sugeriram um modelo *bottom-up* de simulação estocástica em que o instante de acionamento dos aparelho sanitários varia em função das rotinas dos usuários do sistema; Oliveira et al. (2013) apresentaram uma simulação em que considerou utilização de lógica-nebulosa para a determinação do tempo de banho dos usuários.

Diante do exposto, neste trabalho será apresentado um modelo de simulação estocástica para determinação da demanda de água, com base na caracterização comportamental dos usuários e do processo de interação destes com o sistema. Além disso, será feita uma demonstração da aplicação do modelo para o dimensionamento de Sistemas Prediais Hidráulicos, apontando os benefícios desse tipo de abordagem.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo propor um modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais, com base na caracterização comportamental dos usuários e do processo de interação destes com o sistema, além de fornecer uma estruturação das variáveis nesse sentido, a fim de aperfeiçoar o processo de dimensionamento dos sistemas prediais de distribuição de água.

Dessa forma, procurou-se:

- apresentar o estado de evolução teórica que envolve o tema de modelagem da demanda de água em edifícios;
- expor os aspectos considerados adequados para a modelagem de sistemas prediais de distribuição de água;
- discutir acerca destes aspectos com foco na aplicação em sistemas de distribuição de água de edifícios residenciais e sugerir um novo modelo de simulação a partir da

concatenação dos aspectos considerados;

- propor funções de probabilidade para as variáveis intervenientes do modelo, bem como para seus respectivos parâmetros, a fim de serem utilizadas em Modelos de Simulação ou em modelos com propósitos semelhantes;
- demonstrar o comportamento real do sistema hidráulico quando solicitado, inclusive dos parâmetros usuais de dimensionamento e de níveis de confiabilidade e desempenho do sistema.

1.2 Metodologia de pesquisa

Para a realização do estudo proposto, foram realizadas as etapas mostradas na [Figura 1.1](#). O levantamento do estado da arte sobre o tema incluiu trabalhos que abordaram o cálculo do nível de solicitação de um determinado trecho de tubulação em sistemas de distribuição de água, até mesmo a determinação da demanda de água de uma forma geral. Essa etapa foi necessária para o apontamento de aspectos considerados adequados na abordagem do problema.

Em seguida, estes aspectos foram organizados e elaborou-se uma discussão sobre cada um deles, formando uma base conceitual para a utilização de Modelos de simulação com proposta de aplicação em sistemas de distribuição de água de edifícios residenciais. A partir dos aspectos supracitados, buscou-se acoplar diferentes bases teóricas para a construção de um novo modelo para a determinação da demanda de água em edificações.

Para o tratamento das variáveis aleatórias utilizadas no modelo, foi necessário o estudo de metodologias e técnicas de simulação que garantissem a geração de valores interessantes ao modelo, quando em processo de simulação. Nesse momento, também foram estudadas possíveis soluções computacionais para a elaboração de um programa, que permitiu a aplicação da modelagem proposta.

Na fase referente à estruturação dos dados de entrada do modelo, fez-se um levantamento bibliográfico de trabalhos que forneceram dados relativos ao uso de água dentro do contexto brasileiro. Para os dados considerados necessários e não disponíveis na bibliografia, realizou-se uma coleta de dados em campo. Por fim, o modelo foi simulado em ambiente computacional para a geração de resultados da simulação. Estes foram analisados e discutidos, no sentido de demonstrar os benefícios de aplicação deste tipo de modelagem.

Figura 1.1: Estudo das vazões de projeto obtidas pelos diferentes métodos

1.3 Estrutura do trabalho

No Capítulo 2 é apresentado o levantamento do estado da arte que envolve o tema de determinação do nível de solicitação em trechos de tubulação em sistemas prediais de água, assim como a revisão dos modelos que consideram a caracterização da demanda de água durante todo um período de tempo preestabelecido.

No Capítulo 3 são identificados os aspectos considerados adequados na abordagem do problema e é elaborada uma discussão sobre cada um destes. Neste capítulo, também é apresentada a metodologia para a modelagem das variáveis aleatória intervenientes, necessárias durante o processo de simulação. Por fim, os aspectos considerados adequados são contextualizados dentro da proposta de aplicação em edifícios residenciais.

No Capítulo 4 são apresentados os dados relevantes acerca das variáveis intervenientes do modelo.

No Capítulo 5 é apresentado o procedimento da coleta de dados realizada assim como os resultados obtidos nesta medição.

No Capítulo 6 são apresentadas distintas aplicações do modelo de simulação objeto deste trabalho. Em seguida, é feita uma discussão acerca dos resultados obtidos.

No Capítulo 7 são apresentas as considerações finais do trabalho.

Capítulo 2

MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES EM SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTADO DA ARTE

Durante a prática de dimensionamento dos sistemas prediais de distribuição de água, a consideração de que todos os aparelhos sanitários estarão em uso simultâneo pode ser antieconômica e resultar em desperdício de materiais. Em vista disso, os primeiros esforços feitos com o intuito de estabelecer um procedimento padrão para a determinação da vazão de projeto em sistemas de distribuição de água datam do início da década de 20 do século XX ([WISTORT, 1994](#); [GALOWIN, 2008](#)). Desde então, diversos conceitos foram introduzidos ao tema, dentre eles: a aplicação do conhecimento empírico baseado na observação do comportamento do sistema; o uso da Teoria da probabilidade para determinação do número máximo provável de aparelhos sanitários em uso simultâneo e a introdução do conceito de desempenho em função da probabilidade de falha do sistema. Assim sendo, as diversas proposições existentes tentaram contemplar as diferentes características interventoras no uso de água em edificações.

A adequabilidade de um determinado modelo está diretamente relacionada com a qualidade dos resultados obtidos e, conseqüentemente, com sua capacidade de representação das atuações dos usuários e das características do edifício em que o sistema estudado será instalado. A harmonização dos procedimentos só é possível se for empregado algum procedimento específico para cada país ou com a aplicação de um modelo de caráter aberto, que adote os parâmetros de entrada singulares para cada situação de projeto. Contudo, é importante que o modelo atenda à forma dinâmica a qual a indústria de componentes de sistemas prediais se modifica, acolhendo os crescentes padrões de conservação exigidos, além da possível mudança comportamental dos usuários em relação ao uso dos aparelhos ([KONEN; GONÇALVES, 1993](#)).

A última revisão bibliográfica acerca dos modelos probabilísticos para a determinação das vazões de projeto em sistemas de distribuição de água, publicada em conferências ou periódicos com maior expressão internacional, foi realizada por [Konen e Gonçalves \(1993\)](#), em que se verificou uma quantidade significativa de abordagens diferentes para o problema. Vale ressaltar outras revisões sobre o tema, quais sejam [Gonçalves \(1978\)](#), [Gonçalves \(1986\)](#) e [Graça e Gonçalves \(1987\)](#). A revisão feita neste capítulo não concentrou seus esforços em descrever os modelos já revisados anteriormente e estes serão apenas mencionados nessa abordagem inicial do capítulo. Portanto, nas seções seguintes, são comentados apenas os modelos propostos após o ano de 1993, data da publicação da última revisão sobre o tema.

Métodos e modelos anteriormente revisados (até 1993)

Conforme mencionado, há uma grande variedade de métodos e modelos revisados até 1993, que foram propostos para solucionar o problema de determinação das vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água. As diferentes abordagens sobre o tema podem ser classificadas em métodos empíricos e modelos probabilísticos, estes dividem-se em modelos fechados e abertos.

O primeiro grupo é composto por métodos em que se aplica o conhecimento a partir da observação do que funcionou ou não, ademais é baseado em experiências prévias do propositor através de um estudo de comportamento do sistema. Dessa forma, mesmo sendo adequados para algumas situações de resultado previsível ou já conhecido, essa técnica traz dificuldades quando se espera exceder as conclusões em sistemas muito diferentes dos habituais; assim, apresenta bons resultados quando as exigências de desempenho e custo do sistema são modestas. Para [Gonçalves \(1986\)](#), este procedimento é marcado pela utilização de tabelas, gráficos e expressões matemáticas. Pertencem a esse grupo os métodos: Timmis (1922); Dawson e Kalinske (1932); Dawson e Bowman (1933); Raiz Quadrada – Alemão (1940); Francês (1942); Britânico (1946); Fretwell; RAE – Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo; *U.S. Department of Commerce*; Macintyre; Raiz Quadrada Modificado;

O segundo grupo apresentado, dos modelos probabilísticos, pode ser decomposto em modelos fechados e abertos. Na contextualização da utilização da Teoria da probabilidade na abordagem do problema, o modelo probabilístico clássico para determinação de vazão de projeto foi desenvolvido por Roy B. Hunter em suas publicações nos anos de 1924¹ e 1932². O Modelo de Hunter, como é conhecido, foi apresentado em versão definitiva em 1940 ([HUNTER, 1940](#)), sendo até hoje amplamente utilizado em países como Estados Unidos, Inglaterra e Japão. O modelo proposto considera que, baseado na distribuição Binomial, a probabilidade de que r ou mais aparelhos estejam em uso simultâneo, em um grupo de n aparelhos instalados de um mesmo tipo, de forma que $(n \geq r)$, é dada pela [Equação 2.1](#).

$$\mathbb{P}(x \geq r) = \sum_{x=r}^n \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \leq 0,01 \quad (2.1)$$

$$p = \frac{t}{T} \quad (2.2)$$

¹ BUREAU OF STANDARDS - UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE. Recommended minimum requirements for plumbing in dwellings and similar buildings. Report of Subcommittee on Plumbing of the Building Code Committee. BH 2. 1924.

² BUREAU OF STANDARDS - UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE. Recommended minimum requirements for plumbing. Report of Subcommittee on Plumbing of the Building Code Committee. BH 13, 1932.

Onde,

n – número total de aparelhos sanitários;

r – número de aparelhos sanitários em uso simultâneo;

p – probabilidade de que o aparelho sanitário esteja em funcionamento ([Equação 2.2](#));

t – duração da descarga de um aparelho sanitário;

T – intervalo de tempo entre os inícios ou términos de descargas consecutivas de um aparelho sanitário.

Após a base teórica estabelecida pelo Modelo de Hunter, outros modelos probabilísticos foram propostos. Entretanto, de acordo com [Graça e Gonçalves \(1987\)](#), há modelos que não atendem de forma satisfatória todas as necessidades dos projetistas e, mesmo sendo baseado na teoria da probabilidade, não garantem toda a flexibilidade esperada, atribuindo em sua metodologia de aplicação o uso de tabelas ou gráficos idealizados a partir de situações particulares dos propositores. O principal motivo destes modelos probabilísticos “fechados” terem sido apresentados com uma abordagem reducionista, é a possibilidade de serem aplicados de forma analítica ou direta. Alguns exemplos de modelos “fechados” devem ser citados:

- Modelo de Hunter (1940): o autor considera a aplicação da distribuição Binomial para o conhecimento do número provável de aparelhos sanitários em uso simultâneo de um conjunto homogêneo, abastecidos por um determinado trecho de tubulação. Para tanto, [Hunter \(1940\)](#) introduziu o conceito de probabilidade de falha do sistema como sendo de 1%. A [Equação 2.1](#), anteriormente apresentada, demonstra as variáveis consideradas pelo autor. O Modelo de Hunter foi apresentado para a aplicação direta, através das unidades fixas (*Fixture Units*), ou “pesos”;
- Modelo de Hunter modificado (1980 e 1984): através de dados coletados em campo, [Konen \(1980\)](#) propôs novos valores para os *Fixture Units* dos aparelhos sanitários, de acordo com as diversas classes de tipologias de edifícios existentes. O modelo baseou-se nos mesmos princípios probabilísticos considerados por Hunter. Em 1984, [Konen](#) apresentou uma equação para a determinação da vazão de projeto que considera a existência ou não de bacia sanitária com válvula de descarga;
- Modelo de [Murakawa \(1985\)](#): com base no estudo dos dados obtidos em campo, o autor propôs o uso da função de distribuição de probabilidades de Poisson para o cálculo da vazão de projeto. Esta distribuição pode ser obtida quando os valores do parâmetro “ n ”, da distribuição de probabilidades do tipo Binomial, são suficientemente grandes ou infinitos. Assim como no modelo de Hunter, [Murakawa](#) sugeriu o uso de “pesos” para a determinação da vazão de projeto em trechos de tubulação de sistemas de distribuição de água.

Por sua vez, os modelos “abertos” são aqueles que permitem aos projetistas o envolvimento de características específicas de cada situação de projeto. Por exemplo, o tipo de edificação, tipo de aparelho sanitário, hábitos dos usuários, dentre outras, são características inseridas no modelo de forma condensada, através das variáveis de tempo de duração de acionamento, intervalo entre acionamentos, vazão característica dos aparelhos, número de acionamentos em período de pico. Consequentemente, a precisão do modelo depende das variáveis de entrada estabelecidas pelo projetista. Alguns exemplos de modelos “abertos” podem ser citados:

- Modelo da Binomial Generalizada (1972): proposto por [Webster \(1972\)](#), baseia-se na aplicação da função de distribuição de probabilidade Binomial Generalizada para a determinação das vazões em um conjunto heterogêneo de aparelhos. Para isto, o autor considera que o uso dos diferentes tipos de aparelhos sanitários considerados possui independência probabilística. O modelo exige um esforço computacional relevante, uma vez que necessita da relação de todas as combinações possíveis de valores de vazão para sua aplicação, além do cálculo de cada probabilidade destas vazões;
- Modelo da Multinomial (1976): apresentado por [Courtney \(1976\)](#), consiste na aplicação da distribuição de probabilidade Multinomial para a determinação da vazão de projeto de um determinado trecho de tubulação que alimenta sistemas heterogêneos de aparelhos sanitários. Semelhante à proposta de [Webster \(1972\)](#), este modelo também necessita que sejam determinadas todas as combinações de vazões possíveis para sua aplicação. É necessário ainda o cálculo das probabilidades de ocorrência de vazões nulas, obtidos a partir de considerações teóricas de independência estatística entre os aparelhos sanitários de um ambiente sanitário. No caso de mais de um ambiente sanitário alimentado por um mesmo trecho de tubulação pertencente a um mesmo apartamento, comum em sistemas com medição individualizada, estas considerações de independência estatísticas precisam ser extrapoladas.
- Modelo probabilístico aberto (1986): apresentado por [Gonçalves \(1986\)](#), exige o cálculo das médias e variância das variáveis consideradas intervenientes, inclusive do número de aparelhos sanitários em uso simultâneo, uma vez que estas são consideradas pelo autor como variáveis aleatórias. O conhecimento do número de aparelhos sanitários em uso simultâneo de um conjunto homogêneo de aparelhos é dado pela distribuição Beta-Binomial. Na abordagem teórica estabelecida pelo autor, foram consideradas as vazões não nulas durante o período de pico. Para o cálculo da vazão de projeto de um determinado trecho foi considerada uma aproximação com a função de distribuição de probabilidades do tipo Gama.

[Gonçalves \(1986\)](#) construiu um gráfico ([Figura 2.1](#)) para realçar a deficiência existente na tentativa de proposição de um modelo de caráter geral, que seja aplicável em qualquer situação de projeto. No gráfico, é possível observar a variedade de valores de vazões, obtidos

em função do número de conjuntos de aparelhos sanitários considerados no cálculo. Cada conjunto é constituído por uma bacia sanitária com caixa de descarga, um chuveiro, um lavatório, uma pia de cozinha e um tanque. No caso da consideração de 100 conjuntos de aparelhos sanitários, os valores variaram entre 1,2 L/s e 30,8 L/s.

Figura 2.1: Estudo das vazões de projeto obtidas pelos diferentes métodos

Fonte: Gonçalves (1986)

Propondo um estudo semelhante, Konen e Gonçalves (1993) compararam os valores das vazões obtidos através do uso de modelos probabilísticos em três situações de projeto: para uma residência, um edifício de escritórios e em um terminal de ônibus. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 2.2 a 2.4.

Figura 2.2: Comparação entre os modelos probabilísticos para uma residência

Fonte: [Konen e Gonçalves \(1993\)](#)

Figura 2.3: Comparação entre os modelos probabilísticos para um edifício comercial

Fonte: [Konen e Gonçalves \(1993\)](#)

Figura 2.4: Comparação entre os modelos probabilísticos para um terminal de ônibus

Fonte: [Konen e Gonçalves \(1993\)](#)

No resultado mostrado na [Figura 2.2](#), referente ao estudo das vazões em uma residência, é possível observar que houve variação da vazão de 0,7 à 1,7 L/s quando considerou-se 20 banheiros. No caso da [Figura 2.3](#), que representa o estudo em um edifício de escritórios comerciais, os resultados variaram entre 1,13 L/s e 2,70 L/s para um total de 10 banheiros. Na [Figura 2.4](#), onde foi estudada a variação da vazão em um terminal de ônibus, os valores variaram entre 6 L/s e 26 L/s quando considerados 10 banheiros. Os resultados obtidos neste estudo mostram que, mesmo quando os modelos são aplicados em situações idênticas, o valor da vazão de projeto pode apresentar grande variação no resultado final.

Os estudos apresentados anteriormente asseguram uma melhor compreensão da complexidade do problema. De fato, não há como prever de forma exata a vazão que irá ocorrer em um determinado trecho de um sistema de distribuição de água, uma vez que se trata de

um fenômeno excepcionalmente aleatório – o uso de um aparelho sanitário – que depende das mais diversas variáveis. Os modelos matemáticos propõem, a partir do uso da Teoria da probabilidade, o conhecimento do nível de solicitação do sistema a partir do estudo da ocorrência dos eventos mais prováveis, dentro de um critério de desempenho estabelecido.

Konen e Gonçalves (1993) apresentaram uma breve discussão sobre os requisitos necessários de um modelo de determinação de vazões de caráter global. A característica principal é a necessidade de tê-lo de forma aberta, garantindo ao projetista maior liberdade durante o dimensionamento do sistema, englobando as várias características da edificação durante o processo de decisão e atribuindo níveis de solicitação mais concisos com a realidade a qual o edifício estará exposto durante seu ciclo de vida. Dentre os modelos que foram revisados pelos autores, destaca-se que o modelo probabilístico aberto (GONÇALVES, 1986) apresentou, em seu desenvolvimento teórico, a maior capacidade de englobamento destes requisitos.

As seções subsequentes apresentam os modelos propostos após a última revisão bibliográfica sobre o tema, em 1993. Nos últimos anos, não houve a proposição de métodos empíricos, apenas modelos baseados na Teoria da probabilidade. Outrossim, há o surgimento de uma nova forma de abordagem do problema, através do uso de Modelos de simulação, os quais utilizam a Teoria da probabilidade e Processos estocásticos para a prevenção do comportamento do sistema durante todo um período de tempo preestabelecido.

2.1 Método Analítico Direto da ASPE (WISTORT, 1994)

O Método Analítico Direto da *American Society of Plumbing Engineers* (ASPE), proposto por Wistort (1994), consiste na aplicação analítica da distribuição Normal, para o conhecimento da vazão de projeto no trecho considerado. Este método pode ser classificado como “aberto”, visto que os valores das variáveis dos aparelhos sanitários são tratados como dados de entrada.

O modelo de Hunter utilizou a distribuição Binomial (Equação 2.1) para a obtenção do número provável de aparelhos sanitários em uso simultâneo, em trechos que alimentam conjuntos homogêneos de aparelhos. Na hipótese da existência de dois ou mais tipos diferentes de aparelhos, a distribuição resultante deve ser obtida com a convolução de distribuições Binomiais. Com as limitações computacionais existentes na época da proposição do Modelo de Hunter, a convolução de distribuições Binomiais seria uma atividade complexa. Esta limitação foi a principal inspiração para que Hunter propusesse o uso dos *Fixture Units*.

À vista disso, Wistort (1994) sugeriu a aproximação da distribuição Binomial com a distribuição Normal, devido a boa correlação que existe entre as duas curvas - com o formato de “sino”. O autor enfatizou a coerência de aplicação de um modelo que permita ao projetista o ajuste dos valores das variáveis de projeto. O mesmo critério de desempenho

proposto por Hunter foi recomendado por [Wistort \(1994\)](#), com o cálculo da vazão com 1% de probabilidade de falha.

Assim, pode-se estimar a vazão de pico utilizando a [Equação 2.3](#).

$$Q_{99\%} = \sum_{i=1}^{n_t} q_i n_i p_i + z_{99\%} \sqrt{\sum_{i=1}^{n_t} q_i^2 n_i (p_i - p_i^2)} \quad (2.3)$$

Onde,

n_t – número total de aparelhos sanitários de tipos diferentes a ser considerado no trecho;

q_i – vazão característica do aparelho sanitário do tipo i ;

n_i – número total de cada aparelho sanitário do tipo i à jusante do trecho considerado;

p_i – probabilidade de que o aparelho i esteja em funcionamento;

$z_{99\%}$ – parâmetro característico da distribuição Normal.

No caso da abordagem relativa à vazão de probabilidade acumulada de 99%, z sempre terá o valor de 2,33. Para casos de aplicação em pequenas residências, o autor recomenda o uso de $z = 3$, devido à baixa correlação existente entre as curvas de distribuição de probabilidade da Binomial e Normal quando o número de aparelhos sanitários é pequeno e, assim, o resultado tende a ser subestimado. O uso de $z = 3$ é recomendado em situações de dimensionamento de pequenas residências pois garante um resultado mais seguro. Outras considerações sobre o valor de z pode ser encontrado em [Wistort \(1994\)](#) e [Breese \(2001\)](#).

A discussão com enfoque sistêmico, proposta por [Wistort \(1994\)](#), apresentou uma abordagem mais adequada ao problema, quando comparada ao modelo de Hunter, além de cumprir o objetivo do autor de eliminar o uso dos *Fixture Units*. O modelo englobou as principais variáveis que caracterizam o uso de água em edificações, garantindo maior flexibilidade ao projetista para a correta representação da tipologia a ser projetada. Ainda assim, poucos avanços teóricos foram efetivamente propostos; a concepção baseia-se apenas na aproximação da curva de probabilidade Binomial com a Normal. Ressalta-se que esta aproximação entre as duas distribuições de probabilidades já havia sido feita por [Gonçalves \(1978\)](#). Além desta, [Wong e Mui \(2007\)](#) utilizaram parte do desenvolvimento teórico de [Wistort \(1994\)](#) para a modelagem do consumo de água das bacias sanitárias em edifícios altos.

2.2 Modelo de simulação através da Teoria dos grafos (PETRUCCI, 2001)

Petrucci (2001) expôs um modelo para o estudo das interações entre os componentes de um sistema predial de água a partir do tratamento probabilístico das atuações dos usuários em relação ao sistema, sendo este representado através de grafos. A proposta permite uma avaliação completa de um determinado sistema de distribuição de água durante toda sua fase de operação, sob a ótica do comportamento hidráulico. Para isso, o autor desenvolveu um Modelo de simulação em ambiente computacional.

A caracterização de cada componente pode ser feita através de um registro de banco de dados que contenha as informações necessárias para o processo de configuração do sistema. Um tubo de PVC soldável, por exemplo, deve apresentar suas características dimensionais (diâmetros de entrada, de saída e comprimento), nível ou cota das extremidades, vazão atuante no componente e a equação da perda de carga. Para o estudo do comportamento das interações entre as partes, ou subsistemas, o autor considerou a abordagem do problema através da teoria dos grafos. Na Figura 2.5 pode-se observar uma representação de um grafo, com a notação do conjunto de vértices (componentes) e arestas (relações).

Figura 2.5: Representação pictográfica de um grafo

Fonte: Petrucci (2001)

O grafo da Figura 2.5 também pode ser representado através dos conjuntos apresentados nas Equações 2.4 e 2.5, onde V é o conjunto que representa os vértices do grafo (componentes) e E é o conjunto de arestas do grafo (relações).

$$V = \{a, b, c, d, e, f, g, h\} \quad (2.4)$$

$$E = \{\langle a, b \rangle, \langle a, c \rangle, \langle b, e \rangle, \langle c, d \rangle, \langle d, e \rangle, \langle d, f \rangle, \langle f, g \rangle, \langle g, g \rangle, \langle g, e \rangle\} \quad (2.5)$$

A partir do conhecimento dos componentes que formam o sistema estudado (vértices do grafo) e as relações entre esses componentes (arestas do grafo), é viável a representação de um sistema predial de água através da Teoria dos grafos. A Figura 2.6 mostra um sistema predial de água qualquer e a Figura 2.7 mostra este sistema representado por um grafo.

Figura 2.6: Elementos de um sistema predial de água qualquer

Fonte: Petrucci (2001)

Figura 2.7: Representação dos elementos de um sistema predial de água através de grafos

Fonte: Petrucci (2001)

A representação do grafo da Figura 2.7 através dos conjuntos V e E são apresentados nas Equações 2.6 e 2.7, respectivamente.

$$V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\} \quad (2.6)$$

$$E = \{\langle 1, 2 \rangle, \langle 1, 3 \rangle, \langle 1, 4 \rangle, \langle 1, 5 \rangle, \langle 1, 6 \rangle, \langle 1, 7 \rangle, \langle 1, 8 \rangle, \langle 1, 9 \rangle, \langle 2, 1 \rangle, \langle 2, 3 \rangle, \langle 3, 4 \rangle, \langle 4, 5 \rangle, \langle 5, 6 \rangle, \langle 6, 7 \rangle, \langle 7, 8 \rangle, \langle 8, 9 \rangle\} \quad (2.7)$$

Uma vez estabelecidas as relações de ao menos uma propriedade de igualdade entre os subsistemas, para cada relação, obtém-se um vetor que corresponde ao conjunto de igualdades. A Equação 2.8 mostra essa denotação, onde rl_{ij} corresponde à relação entre os componentes i e j , e é composto pelo conjunto formado por todas as igualdades entre uma determinada propriedade k do componente i (pp_{ki}) e uma determinada propriedade m do componente j (pp_{mj}). A Equação 2.9 corresponde ao vetor R , que tende a simplificar o estado de um sistema com algumas poucas propriedades.

$$rl_{ij} \equiv \bigcup \{pp_{ki} = pp_{mj}\} \quad (2.8)$$

$$R \equiv \bigcup_{i=1, j=1}^{n, m} \{rl_{ij}\} \quad (2.9)$$

O que pode ser observado com a definição dessas relações é a caracterização completa de um sistema em função das relações entre os componentes. Por exemplo, no sistema da [Figura 2.7](#), algumas dessas relações podem ser obtidas, como a vazão de entrada e saída de um componente em função da pressão dinâmica a qual opera o sistema. A [Tabela 2.1](#) demonstra a influência de cada componente dentro de um sistema e as relações entre os subsistemas.

Tabela 2.1: Exemplo de relações entre os componentes neste tipo de abordagem

Componente		Leis aplicáveis
Número	Tipo	
2	Reservatório	$H_{s2} = y$
3	Saída de borda	$Q_{e3} = Q_{s3}; H_{s3} = H_{e3} - \Delta H(Q_{s3})$
4	Válvula de gaveta	$Q_{e4} = Q_{s4}; H_{s4} = H_{e4} - \Delta H(Q_{s4})$
5	Tubo	$Q_{e5} = Q_{s5}; H_{s5} = H_{e5} - \Delta H(Q_{s5}) + Z_{e5} \sim Z_{s5}$
6	Joelho	$Q_{e6} = Q_{s6}; H_{s6} = H_{e6} - \Delta H(Q_{s6})$
7	Tubo	$Q_{e7} = Q_{s7}; H_{s7} = H_{e7} - \Delta H(Q_{s7}) + Z_{e7} \sim Z_{s7}$
8	Luva	$Q_{e8} = Q_{s8}; H_{s8} = H_{e8} - \Delta H(Q_{s8})$
9	Torneira	$Q_{s9} = Q_{s9}; Q_{s9} = C_d \dot{u} H_{e9}^\alpha$

Fonte: [Petrucci \(2001\)](#)

Onde,

H_e – pressão disponível na entrada do componente, em m ;

H_s – pressão disponível na saída do componente, em m ;

Q_e – vazão na entrada do componente;

Q_s – vazão na saída do componente;

Z_e – nível da extremidade de entrada do componente;

Z_s – nível da extremidade de saída do componente;

ΔH – perda de carga total;

C_d – coeficiente de descarga;

α – expoente, geralmente entre 0 e 1.

O conjunto de equações apresentadas na [Tabela 2.1](#) formam um sistema de equações não-lineares, em função das variáveis de vazão e pressão. Na prática, isso significa que o modelo proposto pelo autor fornece as vazões reais que ocorrem em um sistema de distribuição de água, oriundas do equilíbrio hidráulico entre aquelas duas variáveis.

Para a simulação das vazões que ocorrem nos trechos do sistema, fez-se necessária a determinação dos coeficientes de descarga dos aparelhos sanitários, que podem ser obtidos em laboratório ou fornecidos pelo fabricante do aparelho. O autor classificou os aparelhos

de acordo com seu coeficiente de descarga, envolvendo dois grupos distintos: aparelhos de ajuste pré-determinados e aparelhos de ajuste contínuo. O primeiro grupo envolve dois estados possíveis seja parado ($C_d = 0$) ou em operação ($C_d > 0$); já o segundo grupo, o usuário pode variar continuamente o valor do coeficiente de descarga (C_d), desde a parada de operação ($C_d = 0$) até a máxima vazão disponível ($C_d = C_{d,max}$).

Sobre as durações da descarga, o autor classificou como aparelhos de operação em presença do usuário; aparelhos de acionamento pelo usuário e parada automática; aparelhos de acionamento pelo usuário e parada após ciclo automático; aparelhos de acionamento e parada automáticos e aparelhos de operação contínua. Também é necessária a determinação do momento de acionamento de cada aparelho sanitário durante o dia, alcançada através do tratamento estatístico de dados de campo.

Em relação à população do edifício simulado, o modelo propõe a geração da ocupação populacional que fará uso do sistema hidráulico. Para isto, ele utilizou dados de distribuição populacional fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além do fornecimento da distribuição populacional, é possível a simulação de outros aspectos acrescentados à dinâmica populacional, como a distribuição de idade, sexo e número de óbitos.

Alguns resultados da abordagem proposta foram mostrados em [Petrucci e Gonçalves \(2003\)](#), onde foram simuladas as atuações no sistema hidráulico de um edifício residencial de sete pavimentos, com 28 apartamentos, e cada apartamento com um banheiro contendo um chuveiro, um lavatório e uma bacia sanitária. A [Figura 2.8](#) mostra o gráfico relativo a vazão na tubulação de saída do reservatório superior do edifício simulado, durante o período de um dia. Nesse caso, a vazão máxima ocorreu às 8h, com um valor de $2,84 L/s$. O consumo diário médio de cada habitante do edifício foi de $258 L$.

Figura 2.8: Valores da vazão na tubulação de saída do reservatório do edifício simulado

Fonte: [Petrucci e Gonçalves \(2003\)](#)

Na segunda simulação apresentada pelos autores, os chuveiros convencionais foram substituídos por chuveiros economizadores de água. A [Figura 2.9](#) mostra o gráfico relativo a vazão na tubulação de saída do reservatório superior do edifício simulado, durante o período de um dia. A vazão máxima também ocorreu às 8h, com um valor de 3,11 L/s . O consumo diário médio de cada habitante do edifício foi de 209 L , uma redução de 19% quando comparada à simulação que utilizou o chuveiro tradicional.

Figura 2.9: Valores da vazão na tubulação de saída do reservatório do edifício simulado

Fonte: [Petrucci e Gonçalves \(2003\)](#)

A abordagem teórica descrita, proposta por [Petrucci \(2001\)](#), garante um conhecimento das vazões reais nos diversos trechos de tubulações do sistema hidráulico de distribuição de água, que não pode ser obtido através dos métodos empíricos e modelos probabilísticos. Sob o ponto de vista hidráulico, o modelo forneceu a caracterização do sistema através da Teoria dos grafos, em busca do equilíbrio entre as variáveis de pressão e vazão, bastante relevante para ao tema discutido neste trabalho. Além do conhecimento da vazão máxima provável, este Modelo de simulação permite uma maior compreensão do comportamento de todo o sistema. Sendo assim, compreende-se, por exemplo, os horários em que ocorrem os picos de vazão, a determinação da vazão de projeto a partir de um critério de segurança mais realístico e o consumo total de água por habitante, que pode ser útil para diversos fins na prática de projeto de Sistemas Hidráulicos Prediais .

2.3 Modelo de simulação com envolvimento de sistemas nebulosos (OLIVEIRA et al., 2013)

A abordagem apresentada por Oliveira et al. (2013) considerou o uso da lógica nebulosa para o tratamento das variáveis intervenientes do processo de determinação das vazões de projeto. O trabalho foi motivado pela necessidade de obtenção de valores de vazões mais precisos para o dimensionamento dos medidores de água, nos casos em que há medição individualizada. Os autores consideram que a precisão do estabelecimento das vazões de projeto é uma das premissas para garantir um nível de confiabilidade adequado nesses casos.

O comportamento humano está sujeito a fatores subjetivos, como a sensação de que um dia está quente ou frio ou o usuário estar apressado ou não, que podem influenciar no nível de solicitação em sistemas prediais de distribuição de água. Os autores consideraram o tratamento de alguns destes fatores através de variáveis nebulosas, por exemplo, a temperatura da água disponível nos pontos de utilização, a temperatura externa do ambiente, dentre outros, a fim de estabelecer um ambiente de simulação para determinação da vazão de projeto. Os autores ressaltaram a grande quantidade de publicações científicas que utilizaram a lógica nebulosa para estudos em edifícios, principalmente na área de conforto térmico e luminoso, sendo a abordagem direcionada à modelagem comportamental dos usuários em sistemas prediais de distribuição de água uma área ainda não explorada.

Os valores utilizados como dados de entrada do modelo foram adquiridos em um apartamento residencial situado na cidade de São Paulo, composto por três estudantes universitários. Para tanto, foram monitorados todos os pontos de utilização de água do apartamento através de um sistema de aquisição de dados durante o período de 20 dias. Além disso, foram feitas entrevistas para o conhecimento das variáveis linguísticas nebulosas dos três estudantes e validação do modelo.

A metodologia empregada no processo de simulação, abrangeu o uso do Método de *Monte Carlo* e da lógica nebulosa para o cálculo da vazão de projeto em qualquer segmento de tubulação de um sistema predial de distribuição de água. A Figura 2.10 mostra a estrutura deste modelo através de um fluxograma.

O modelo foi aplicado em um estudo de caso de um apartamento unifamiliar, composto por um pai, uma mãe e um filho. O prédio possui 12 pavimentos, sendo dois apartamentos por andar, e cada apartamento é constituído por um chuveiro elétrico, um lavatório, uma bacia sanitária e uma pia. O estudo foi direcionado para as vazões que ocorrem no ramal de alimentação do apartamento, que possui medição individualizada de água.

Figura 2.10: Fluxograma do modelo de simulação da vazão de projeto utilizando o Método de *Monte Carlo* e a lógica nebulosa

Fonte: Oliveira (2010)

O Método de *Monte Carlo* foi considerado para o estabelecimento do instante de acionamento dos aparelhos sanitários presentes no modelo. O procedimento para a aplicação deste método é mostrado abaixo:

- estabelecer a distribuição de probabilidade relativa ao início das atividades, para cada usuário do sistema;
- a partir do item anterior, pode-se construir a função de probabilidade acumulada para cada usuário do sistema;
- com base na função de probabilidade acumulada, pode-se estabelecer os intervalos de probabilidade para cada possibilidade;
- gera-se um número aleatório e, a partir dos intervalos de probabilidade, é possível determinar o horário de início das atividades de cada usuário do sistema.

A Tabela 2.2 mostra os possíveis horários de início de uso dos aparelhos sanitários da família estudada.

Tabela 2.2: Horários possíveis para início das atividades de cada integrante da família

Pai		Mãe		Filho	
Horário	Frequência	Horário	Frequência	Horário	Frequência
h:min	(%)	h:min	(%)	h:min	(%)
				06:10	0
06:05	10	06:00	50	06:20	20
06:10	20	06:05	20	06:30	50
06:15	50	06:10	20	06:40	20
06:20	20	06:15	10	06:50	10

Fonte: Oliveira (2010)

O modelo englobou apenas os hábitos relacionados ao período de pico matutino, que neste caso foi das 6h às 7h, quando os usuários dão início às atividades de higienização e de preparação do café-da-manhã. Durante o processo de simulação, existe a probabilidade de ocorrência do uso simultâneo do mesmo aparelho sanitário. Para solucionar este conflito, os autores consideraram a geração de uma fila com prioridade para o pai, segundo a mãe e terceiro o filho. A sequência padrão das atividades planejadas para cada usuário no período é:

- o usuário entra no banheiro, usa a bacia sanitária, o lavatório e o chuveiro, nesta ordem;
- prepara o café-da-manhã (mãe), com duração de 5 minutos. No início da atividade, a pia é aberta por 40 segundos;
- come o café da manhã;
- lava os pratos (mãe). Durante esta atividade, a pia é utilizada durante 5 minutos;
- o usuário usa o lavatório;

A duração de acionamento de cada aparelho sanitário do modelo, com exceção do chuveiro, também pode ser obtida através do Método de *Monte Carlo*, quando a distribuição de probabilidade da variável aleatória é conhecida. Todavia, tendo em vista que no estudo realizado por Oliveira (2010) a distribuição de probabilidade da variável de tempo de acionamento dos aparelhos sanitários não era conhecida, o tempo médio foi obtido através do uso da estimativa por três pontos, conforme mostrado na Equação 2.10. Os valores de t_{min} , t_{prov} e t_{max} foram estimados a partir das medições em campo, mostrados na Tabela 2.3.

$$\mu_t = \frac{t_{min} + 3t_{prov} + t_{max}}{5} \quad (2.10)$$

Onde,

μ_t – média da duração de acionamento do aparelho sanitário;

t_{min} – duração mínima de acionamento do aparelho sanitário;

t_{prov} – duração mais provável de acionamento do aparelho sanitário;

t_{max} – duração máxima de acionamento do aparelho sanitário;

As vazões unitárias dos aparelhos utilizadas durante a simulação também foram obtidas a partir do método de estimativa por três pontos, mostrado na [Equação 2.10](#). O valor mínimo, mais provável e máximo foram estimados através de medições em campo, apresentados na [Tabela 2.3](#).

Tabela 2.3: Dados mínimos, mais prováveis e máximos das variáveis de duração de acionamento e vazão instantânea dos aparelhos simulados

Aparelhos	Duração de acionamento (s)				Vazão unitária (L/s)			
	Mín.	Prov.	Máx.	μ_t	Mín.	Prov.	Máx	μ_q
Lavatório	20	30	90	40	0,04	0,07	0,15	0,08
Bacia sanitária	40	60	80	60	0,10	0,15	0,22	0,15
Chuveiro elétrico	Lógica nebulosa				0,06	0,12	0,18	0,12
Pia	40	120	300	140	0,06	0,10	0,16	0,1

Fonte: [Oliveira \(2010\)](#)

No modelo de simulação proposto, apenas a variável de duração de acionamento do chuveiro (duração do banho) foi tratada a partir da lógica nebulosa. As variáveis de entrada consideradas foram “instante de acionamento do chuveiro” e “temperatura do ar externo”, e a partir destas, gerou-se uma matriz com as regras nebulosas que relaciona estas variáveis com a duração do banho, para cada integrante da família. Os tempos de banho calculados através da lógica nebulosa para o pai (a), a mãe (b) e o filho (c) são apresentados na [Figura 2.11](#).

No total, fez-se 128 simulações, onde os dados relativos à vazão máxima no ramal de alimentação do apartamento estudado durante o período de pico foram obtidos. A partir dos resultados apresentado pelos autores, concluiu-se que durante 90% do tempo a vazão que ocorre no trecho estudado é menor que 0,17 L/s e que em 96,4% é menor do que 0,26 L/s. Uma vez que um dos objetivos do artigo foi avaliar o dimensionamento de medidores em sistemas com medição individualizada de água, o estudo apontou que, nessa situação, o hidrômetro escolhido poderia ser 0,75 m^3/s (0,21 L/s) de vazão nominal, em vez do de 1,50 m^3/s (0,42 L/s) de vazão nominal, comumente utilizado.

Os resultados obtidos na simulação indicam uma vazão de projeto de 0,27 L/s, caso seja considerado 99% de confiabilidade. Em situação idêntica de projeto, esse valor foi comparado com a vazão obtida pelo método determinístico, recomendado pela norma técnica brasileira, e com o Modelo Probabilístico Aberto, proposto por [Gonçalves \(1986\)](#). O uso do método determinístico resultou em uma vazão de projeto de 0,35 L/s, 23% a mais que o simulado. Já o Modelo Probabilístico Aberto, resultou em uma vazão de projeto de 0,31 L/s, 13% a mais que o simulado.

Figura 2.11: Duração do banho obtidas através da lógica nebulosa

Fonte: Oliveira (2010)

O estudo relatado pelos autores expôs que o tempo de uso do chuveiro pode ser influenciado por alguns fatores subjetivos, tornando-o possível de ser modelado a partir da aplicação da lógica nebulosa. Esta consideração traz grandes avanços ao tema de determinação das vazões de projeto em sistemas prediais de água, uma vez que o chuveiro é o aparelho sanitário com maior probabilidade de estar em operação e, por consequência, tende a ter um maior número de aparelhos em uso simultâneo. Ademais, propicia que futuros estudos para a aplicação da lógica nebulosa envolvendo os demais aparelhos sanitários sejam feitos.

2.4 Simulação da demanda de água residencial com o Modelo *Stochastic End-Use (SIMDEUM)* (BLOKKER; VREEBURG; Van Dijk, 2010)

O Modelo *Stochastic End-Use*, chamado de *SIMDEUM*, foi proposto por [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#), pesquisadores do instituto holandês *KWR Watercycle Research Institute*. O modelo é baseado na proposta de [Buchberger e Wu \(1995\)](#), que descreve o uso de água em residências através de “pulsos” retangulares, entendidos como duração de tempo de acionamento de um aparelho sanitário. Cada pulso – caracterizado por uma vazão, uma duração da descarga e o instante de acionamento do aparelho – ocorre ao longo do dia. A [Figura 2.12](#) ilustra os pulsos retangulares com duração e vazão representados pelas variáveis aleatórias t e q , respectivamente, e em função do instante de acionamento do aparelho (variável τ).

Figura 2.12: Representação da demanda de água através de pulsos retangulares

Fonte: adaptado de [Buchberger e Wu \(1995\)](#)

Na mesma figura, há a representação da possibilidade de sobreposição dos pulsos, ou seja, do uso simultâneo de dois ou mais aparelhos sanitários no mesmo instante τ , resultando na soma das vazões unitárias. No exemplo mostrado, dado um instante de tempo τ_1 , a vazão instantânea do primeiro aparelho sanitário $q_1(\tau_1)$ e a vazão instantânea do segundo aparelho sanitário $q_2(\tau_1)$ são sobrepostas neste instante de tempo τ_1 em que ocorrem de forma simultânea, que resulta na soma entre as duas vazões ($q_1(\tau_1) + q_2(\tau_1)$). De uma forma geral, a demanda total de água obtida a partir do uso do modelo pode ser representada pelas [Equações 2.11 e 2.12](#).

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^U \sum_{k=1}^{F_{ij}} B(q_{ijk}, t_{ijk}, \tau_{ijk}) \quad (2.11)$$

$$B(q_{ijk}, t_{ijk}, \tau_{ijk}) = \begin{cases} q_{ijk} & \tau < T < \tau_{ijk} + t_{ijk} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.12)$$

Onde,

i – índice do aparelho sanitário considerado;

n – número total de aparelhos sanitários disponíveis;

- j – índice do usuário considerado;
 U – número total de usuários no ambiente de simulação;
 k – índice da frequência de utilização do aparelho sanitário i pelo usuário j ;
 F_{ij} – número total de utilizações do aparelho sanitário i pelo usuário j ;
 q – vazão do aparelho sanitário em uso;
 t – tempo de utilização do aparelho sanitário;
 τ – instante de acionamento do aparelho sanitário.

Os autores descreveram os parâmetros das variáveis utilizadas na [Equação 2.11](#), sendo eles:

- a variável aleatória n representa cada aparelho sanitário pertencente ao modelo. Como o estudo pode ser aplicado para sistemas de distribuição de água em escalas distritais, os autores elaboraram uma tabela que mostra a taxa de inserção cada aparelho sanitário nas residências holandesas, apresentados na [Tabela 2.4](#). Esta variável pode assumir valores determinísticos quando se sabe os aparelhos que serão considerados;
- a variável aleatória U representa os usuários do sistema. Para os autores, a simulação dos usuários é considerada o elemento chave do modelo, visto que estes farão uso dos aparelhos sanitários dentro do ambiente de simulação. Os parâmetros de entrada dessa variável consideram o número de moradores por residência e o sexo e a idade dos moradores. A [Tabela 2.5](#) mostra a distribuição e caracterização populacional na Holanda;
- a variável aleatória F representa o número de usos de um determinado aparelho sanitário no período de um dia para cada habitante pertencente ao modelo de simulação. No entanto, no caso da pia da cozinha, considera-se o número total de utilizações feitas por todos os habitantes pertencentes a uma residência, uma vez que este evento atende a todos os usuários dela. A [Tabela 2.6](#) mostra as distribuições de probabilidade utilizadas para cada aparelho sanitário propostas pelos autores, de acordo com dados obtidos na Holanda, com a respectiva média de utilização por dia;
- a variável aleatória q representa a vazão do aparelho sanitário considerado. A distribuição de probabilidade considerada pelos autores para cada aparelho sanitário, assim como suas vazões médias, são apresentados na [Tabela 2.6](#).
- a variável aleatória t representa a duração do uso de cada aparelho sanitário no modelo de simulação. A [Tabela 2.6](#) mostra as distribuições de probabilidade utilizadas de cada aparelho sanitário. Algumas ponderações sobre a duração de uso de um determinado aparelho sanitário foram feitas pelos autores, como o tempo de banho depende da idade do usuário dado que crianças costumam fazer uso do chuveiro por períodos mais longos que os adultos e em caso de bacias sanitárias com caixa acoplada, a duração de enchimento depende do volume da caixa;

Tabela 2.4: Taxa de inserção de cada aparelho sanitário na Holanda

Aparelho sanitário	Taxa de inserção (%)	Subtipos do aparelho sanitário	Taxa de inserção (%)
Banheira	36	120 L	100
Lavatório	100	Lavar e barbear	33
		Escovar os dentes	67
Máquina de lavar prato	45	Diferentes marcas e tipos	100
Torneira	100	Consumo (água, água potável para café e chá, água para cozinhar)	37,5
		Pratos (e limpeza)	25
		Lavar as mãos	25
		Outros (por exemplo, regar plantas)	12,5
Torneira de jardim	58	Jardim	75
		Outro	25
Chuveiro	100	Diferentes chuveiros sem ser economizador de água	50
		Diferentes chuveiros sendo economizador de água	50
Máquina de lavar roupas	98	Diferentes marcas e tipos	100
Bacia sanitária	100	Com caixa acoplada alta (9L)	11,1
		Com caixa acoplada baixa (9L)	22,2
		Com caixa acoplada baixa (9L) e opção de economizar água	22,2
		Com caixa acoplada baixa moderna (6L)	11,1
		Com caixa acoplada baixa moderna (6L) e opção de economizar água	33,3

Fonte: [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#)

- a variável aleatória τ determina o momento de acionamento de um determinado aparelho sanitário ao longo do dia. Para a caracterização do perfil de utilização dos aparelhos sanitários, deve-se determinar a probabilidade de que um aparelho esteja em funcionamento ou não em um certo horário do dia. Na tentativa de descrever o perfil de utilização da máquina de lavar roupas, máquina de lavar louças e o uso da pia da cozinha, os autores utilizaram algumas pesquisas feitas em residências holandesas. Para os demais aparelhos sanitários, os autores associaram o uso destes aparelhos com a permanência ou não das pessoas em suas residências, além dos horários de dormir ou acordar. Os dados apresentados na [Tabela 2.7](#) mostram um resumo dos hábitos diários dos holandeses. Esses dados foram utilizados para a construção de um perfil comportamental para cada usuário do sistema, a partir da geração de números aleatórios considerando a distribuição Normal com parâmetros μ e σ . Os eventos de uso de água seguiram os seguintes critérios:

Tabela 2.5: Composição dos habitantes em residências da Holanda

	Uma pessoa	Duas pessoas	Família com filhos
Número de pessoas por domicílio	1	2	3.75
Número de famílias (%)	34	30	36
Sexo: masculino / feminino (%)	46/54	50/50	50/50
Divisão	0	0	25
Sexo: masculino / feminino (%)			
Divisão de idade (%):			
Crianças (0-12 anos)	0	0	16.5
Adolescentes (13-18 anos de idade)	70	70	58.5
Adultos (19-64 anos)	Masculino: 67,5 Feminino: 52,4	Ambas as pessoas: 49 Apenas sexo masculino: 26 Apenas feminino: 6 Nem a pessoa: 18	Ambos os pais: 39 Único pai: 52 Apenas mãe: 3 Nenhum dos pais: 5
Idosos (>65 anos)	30	30	0

Fonte: [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#)

Tabela 2.6: Distribuições de probabilidade das variáveis de uso de água

Aparelho sanitário	Subtipo	Frequência (por dia)		Duração		Vazão (L/s)	
		Média	Distribuição	Média	Distribuição	Média	Distribuição
Banheira	120 L	0,044	Poisson	10min	Valor fixo	0,2	Valor fixo
Lavatório	Lavar e barbear	4,1	Poisson	40s	Lognormal	0,042	Uniforme
	Escovar os dentes			15s			
Máquina de lavar prato	Diferentes marcas e tipos	0,3	Poisson	84s	Valor fixo	0,167	Valor fixo
Torneira	Consumo	12,6	Binomial Negativa	16s	Lognormal	0,083	Uniforme
	Pratos			48s		0,125	
	Lavar as mãos			15s		0,083	
	Outros			37s		0,083	
Torneira de Jardim	Jardim	0,44	Poisson	300s	Lognormal	0,1	Uniforme
	Outros			15s			
Chuveiro	Normal	0,7	Binomial	8,5min	χ^2	0,142	Valor fixo
	Economizador					0,123	
Máquina de lavar roupa	Diferentes marcas e tipos	0,3	Poisson	5min	Valor fixo	0,167	Valor fixo
Bacia sanitária	6 L	6	Poisson	2,4min	Valor fixo	0,042	Valor fixo
	9 L	3,6	Poisson				

Fonte: [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#)

- durante o período de sono dos usuários, o volume de água consumida é estimado em 1,5% do consumo diário;
- durante o tempo em que os usuários estão fora da residência, a probabilidade de uso de um aparelho sanitário é zero;
- os 30 minutos após o usuário acordar ou retornar para a residência e os 30 minutos antes do usuário dormir ou deixar a residência, foram considerados como os períodos de uso mais intenso dos aparelhos sanitários, com 65% do consumo total;
- O restante do consumo dos usuários corresponde a 33,5% do consumo total.

Tabela 2.7: Estatística das rotinas diárias dos holandeses

		Dia de semana					Total	Fim de semana
		Criança	Adolescente	Adulto(*)	Adulto(**)	Idoso		
Hora de acordar	μ	7:00	7:00	7:00	8:00	8:00	7:00	9:00
	σ	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:30
Hora de sair de casa	μ	8:30	8:15	8:00	13:00	13:00	8:00	13:00
	σ	0:30	0:30	0:45	3:00	3:00	1:00	3:00
Tempo fora de casa	μ	7 h	8 h	9,5 h	10 h	10 h	8,5 h	10 h
	σ	2 h	2 h	3,25 h	4,5 h	4,5 h	1 h	4,5 h
Duração do sono	μ	10 h	9 h	7 h	8 h	8 h	8 h	9 h
	σ	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h	1,5 h

(*) Adultos com emprego fora de casa; (**) Adultos com emprego em casa

Fonte: [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#)

Dado um aparelho sanitário com índice i , utilizado pelo usuário j no instante de acionamento τ_{ijk} , que caracterizam o evento do uso de um determinado aparelho sanitário, o intervalo de tempo $\tau_{ijk} - D_{ijk} < T < \tau_{ijk} + D_{ijk}$ é bloqueado para este aparelho sanitário i , para o usuário $j + 1$. Isso garante que não ocorram usos múltiplos de um determinado aparelho sanitário em um mesmo instante de tempo. Entretanto, é possível a existência da condição de que um único usuário possa acessar dois aparelhos sanitários ao mesmo tempo, porém com rara probabilidade de ocorrência.

Para a avaliação da qualidade dos resultados obtidos através do modelo de simulação, os autores compararam estes resultados com medições realizadas em campo pela companhia de água da cidade de Amsterdã, na Holanda. Os dados de entrada do modelo seguiram de acordo com as considerações expostas nesta seção ([Tabelas 2.4 a 2.7](#)), com a adição de algumas informações específicas coletadas nas residências monitoradas. No total, foram realizadas 1000 simulações, que representou um total de 10 dias de simulação de 100 diferentes residências. As [Figuras 2.13 a 2.15](#) mostram a comparação entre o resultado da simulação através do *SIMDEUM* e os dados medidos em campo.

Os resultados apresentados nas [Figuras 2.13 a 2.15](#) foram submetidos aos testes *Mean Error* (ME), *Root Mean Square Error* (RMSE) e Coeficiente de determinação (R^2). Todos apresentaram resultados satisfatórios quando submetidos a estes testes de qualidade de ajuste entre as curvas, indicando que há correlação entre a proposta de simulação apresentada e os dados obtidos em campos.

Algumas observações foram feitas pelos autores diante dos resultados apresentados:

- foi sugerida a possibilidade de consideração dos vazamentos dentro do modelo de simulação. Os autores consideram que os vazamentos representam uma parte substancial da demanda total de água de uma residência;

Figura 2.13: Comparação entre os resultados simulados com o *SIMDEUM* e os medidos em campo: a – vazão máxima acumulada a cada 5 min; b – vazão máxima acumulada por hora; c – volume de água consumido por dia; d – número de horas em que houve consumo de água

Fonte: adaptado de [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#)

- os valores de vazão dos aparelhos sanitários utilizados durante a modelagem são, em sua grande maioria, determinísticos em vez de aleatórios. Assim, necessitam-se medições em campo para melhorar esta estimativa. O mesmo vale para a variável de duração de acionamento de cada aparelho sanitário, onde foi utilizada a distribuição Lognormal em quase todos os aparelhos;
- as informações relativas à ocorrência do uso do chuveiro podem ser melhoradas dentro da simulação. A exemplo disso, pode-se determinar quando o usuário iniciará o uso do aparelho sanitário ao longo do dia.
- a demanda de água pode ser afetada pela pressão disponível no ponto de utilização. Por exemplo, uma baixa pressão tende a diminuir a vazão de um aparelho e, assim, pode aumentar o tempo de acionamento deste. Isso possibilitará investigações futuras;
- uma Análise de Sensibilidade é requerida para determinar a exigência de precisão de cada parâmetro de entrada do modelo.

O modelo de simulação proposto por [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#), contemplou as principais variáveis intervenientes para a caracterização do uso de água em edifícios.

Figura 2.14: Média (a) e variância (b) da demanda de água ao longo do dia, em escala de tempo de 5 min

Fonte: adaptado de [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#)

Figura 2.15: Comparação entre os resultados simulados com o SIMDEUM e os medidos em campo para o parâmetro de vazão ao longo do dia

Fonte: adaptado de [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#)

Através do tratamento estatístico proposto para cada aparelho sanitário, estabeleceu-se uma função densidade para cada tipo de uso e a correlação considerada entre o uso de água com os horários das atividades do dia-a-dia dos usuários. A proposta dos autores contempla a possibilidade de aplicação desse estudo em diferentes escalas espaciais (uma única residência, um bairro, um distrito etc.) e diferentes escalas de tempo (segundos, horas, dia), o que garante a abrangência do modelo para atender diversas atividades da engenharia.

2.5 Modificação da curva de Hunter para fins de conservação (2014)

Diante da grande quantidade de publicações recentes que questionam a eficácia de utilização das curvas propostas por [Hunter \(1940\)](#), [Mazumdar, Jaman e Das \(2014\)](#), pesquisadores do departamento de Engenharia da Universidade de Calcutá, propuseram um estudo para modificação dos pesos propostos por Hunter. Os autores reforçam que a proposta de Hunter não possui uma base teórica incorreta, apenas foi desenvolvida em uma época com contextos diferentes da atual, principalmente quando exposta à necessidade de conservação existente. De uma forma geral, o estudo incorporou novos valores de vazões dos aparelhos economizadores existentes atualmente, reduziu a probabilidade de que um dado aparelho esteja em funcionamento e discutiu novos valores para o nível de desempenho do sistema. Assim, a abordagem descrita pelos autores pode ser classificada como probabilística “fechada”.

Para o estudo proposto, foram simulados três casos com considerações de cálculo distintas:

- o primeiro caso reduziu a vazão da bacia sanitária com válvula de descarga de 1,70 para 1,51 L/s e o tempo de acionamento de 9 para 4 s – os valores iniciais foram propostos por Hunter (1940). Nesse estudo, restringiu-se as considerações apenas para a bacia sanitária com válvula de descarga, a fim de avaliar o impacto na vazão resultante;
- o segundo caso propôs a redução do nível de confiabilidade do sistema ou do incremento do fator de falha. Para os autores, o nível de desempenho estabelecido por Hunter é alto e, no contexto da escassez de água e do desenvolvimento sustentável, pode-se trabalhar com valores menores. No trabalho, foram considerados os níveis de confiabilidade de 95%, 90% e 85%;
- por último, foram combinadas as modificações propostas nos dois casos mencionados acima, para a apresentação de uma nova curva para o estabelecimento de vazões.

Os resultados do primeiro caso apontaram para redução significativa da vazão a partir das considerações feitas. Por exemplo, quando simulado um total de 300 bacias sanitárias com válvula de descarga, obteve-se a vazão de 13,62 L/s contra 27,24 L/s , uma redução de 50%. Já os resultados do segundo caso, que procurou aumentar os fatores de falha para 5%, 10% e 15%, a redução chegou a 40%. Por fim, quando se estuda o primeiro e o segundo caso de maneira conjunta, os resultados apresentaram uma redução de até 82% no valor da vazão a ser considerada no cálculo.

Como exemplo, os autores construíram as curvas de vazão considerando dois aparelhos sanitários pertencentes ao mercado indiano que apresenta vazões unitárias diferentes, fornecidas pelos fabricantes: um com vazão de 3,059 m^3/h (0,83 L/s) e outro com vazão de 1,119 m^3/h (0,33 L/s), representadas na [Figuras 2.16a e 2.16b](#). Na [Figura 2.16a](#) o fator de falha do sistema foi de 10% e na [Figura 2.16b](#) foi de 15%. Dessa maneira, a partir do

estudo proposto pelos autores, concluiu-se que o uso das curvas propostas por Hunter conduz a valores de vazões superestimados para o contexto de conservação atual.

Figura 2.16: Curva de Hunter modificada para os aparelhos pertencentes ao mercado indiano

Fonte: Mazumdar, Jaman e Das (2014)

O trabalho apresentado por Mazumdar, Jaman e Das (2014) não trouxe nenhum avanço quanto à abordagem teórica do problema; possui apenas algumas considerações já citadas por grande parte dos autores que estudaram o tema de determinação das vazões de projeto. Além disso, os valores utilizados relativos ao fator de falha do sistema precisam ser discutidos de forma mais clara, principalmente quando colocados em níveis tão superiores ao comumente adotado. Expor o sistema a fatores de falhas cada vez maiores diminuirá a vazão de projeto indubitavelmente, entretanto, pode ocasionar o não atendimento do padrão de qualidade exigido pelo usuário quando os níveis de solicitações forem superiores aos valores utilizados em projeto.

2.6 Modelo de Wistort modificado (2014)

Consoante apresentado na Seção 2.1, o modelo proposto por Wistort (1994) expôs algumas limitações de precisão quando há um número pequeno de aparelhos sanitários no trecho considerado, causadas pela baixa correlação entre as distribuições Binomial e Normal quando np é pequeno. Omaghomi (2014) comenta que esta baixa correlação ocorre quando $np < 5$ e $n(1 - p) < 5$, onde n e p são parâmetros da distribuição Binomial.

Diante disso, pesquisadores da Universidade de Cincinnati em parceria com a *International Association of Plumbing and Mechanical Officials* (IAPMO), *American Society of Plumbing Engineers* (ASPE) e *Water Quality Association* (WQA), buscaram estudar alternativas para contornar esse problema. Algumas publicações envolvendo esses autores e essas organizações (OMAGHOMI, 2014; OMAGHOMI; BUCHBERGER, 2014; BUCHBERGER

et al., 2015) propuseram o Modelo de Wistort modificado, a partir do truncamento da distribuição Binomial na probabilidade de ocorrência de vazões nulas (número de aparelhos em funcionamento igual à 0). A Equação 2.13 mostra o truncamento da proposta de Wistort na ocorrência de vazões nulas quando $np < 5$. Para $np \geq 5$, aplica-se a proposta de Wistort normalmente (Equação 2.3).

$$Q_{99\%} = \frac{1}{1 - p_0} \left[\sum_{i=1}^k q_i n_i p_i + z_{99\%} \sqrt{(1 - p_0) \sum_{i=1}^k q_i^2 n_i p_i (1 - p_i) - p_0 \left(\sum_{i=1}^k n_i p_i q_i \right)^2} \right] \quad (2.13)$$

k , q_i , n_i , p_i e $z_{(99\%)}$ – já definidos;

p_0 – probabilidade de ocorrência de vazões nulas, que pode ser calculada através da Equação 2.14.

$$p_0 = \prod_{i=1}^k (1 - p_i)^{n_i} \quad (2.14)$$

Para Buchberger et al. (2015), há algumas vantagens que justificam a abordagem de Wistort (1994). Primeiro, pode-se eliminar a consideração de Hunter sobre o uso congestionado de um determinado aparelho sanitário, dando liberdade para o projetista determinar a variável T , além das demais variáveis. Entretanto, há uma necessidade de um entendimento mais amplo dessas variáveis de projeto, além de ter posse de uma maior quantidade de dados, para que sejam feitas essas determinações. Outra vantagem comentada pelos autores é a eliminação do uso dos “*Fixture Units*” para a determinação da vazão de projeto. A aproximação com a distribuição Normal permite uma maior facilidade de aplicação quando comparada com a distribuição Binomial, principalmente em se tratando de um conjunto heterogêneo de aparelhos sanitários.

O julgamento dos autores sobre a necessidade de aplicação de um modelo aberto para o tratamento do problema de determinação das vazões de projeto é considerado coerente, segundo as observações feitas por Konen e Gonçalves (1993). Todavia, a pretensão de propor um modelo de caráter “universal” poderia envolver uma revisão bibliográfica mais completa, na tentativa de mesclar ao modelo estudado alguns dos conceitos propostos por outros autores que abordaram o problema anteriormente. Além disso, considerando-se os avanços computacionais obtidos nos últimos 70 anos, não se justifica a necessidade de aproximação das distribuições Normal e Binomial na tentativa de simplificar a aplicação do modelo de Hunter.

Capítulo 3

SIMULAÇÃO ESTOCÁSTICA DA DEMANDA DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BASEADA NO ESTUDO DA ROTINA DOS USUÁRIOS

A apresentação do estado da arte dos modelos para determinação das vazões de projeto, exposta no [Capítulo 2](#), buscou identificar a situação da evolução teórica do tema, para o apontamento dos aspectos considerados adequados na modelagem de sistemas prediais de distribuição de água. Para tanto, o estudo apresentou um breve resumo dos modelos propostos até 1993, revisados por [Konen e Gonçalves \(1993\)](#), e uma descrição mais elaborada das publicações que abordaram o tema a partir daquele ano. Cabe salientar que a pesquisa envolveu os artigos publicados em periódicos e congressos de maior expressão internacional.

Na revisão citada, constatou-se que não houve proposições de métodos empíricos e houve apenas um modelo probabilístico com abordagem de aplicação “fechada”, apresentado na [Seção 2.5](#). Os modelos “abertos propostos”, expostos nas seções [Seções 2.1](#) e [2.6](#), concentraram esforços na aproximação da curva de probabilidade do tipo Binomial com a curva de probabilidade do tipo Normal e, conforme comentado, expuseram poucos avanços teóricos em seu desenvolvimento.

As propostas pertencentes ao grupo dos Modelos de simulação apresentaram diferentes soluções ao tema tratado neste trabalho. De forma mais contundente, o estabelecimento das vazões de projeto – ou vazões máximas prováveis – nesse tipo de abordagem é apenas uma possibilidade, dentre várias outras existentes, de extração de informação a partir da simulação. Efetivamente, o que está sendo caracterizado quando se faz o uso desses modelos, é todo o perfil da demanda de água do edifício estudado em um determinado período de tempo preestabelecido.

A [Tabela 3.1](#) mostra um resumo dos Modelos de Simulação revisados no [Capítulo 2](#). Os critérios de avaliação dos modelos basearam-se na forma que foi feita a modelagem das variáveis de instante de acionamento, duração e vazão dos aparelhos sanitários. Ao final, foram comentados os aspectos considerados relevantes dessas variáveis no contexto do tema abordado. Com as informações contidas na [Tabela 3.1](#), destacaram-se dois modelos:

- o Modelo de simulação através da Teoria dos grafos para a representação de todo o Sistema Hidráulico Predial exposto na [Seção 2.2](#);
- o Modelo *Stochastic End-Use (SIMDEUM)*, que correlacionou o instante de acionamento dos aparelhos sanitários em função das rotinas dos usuários do sistema, exposto na [Seção 2.4](#).

Tabela 3.1: Resumo dos modelos de simulação apresentados no [Capítulo 2](#)

Modelo	Variáveis			Comentários
	Instante de tempo de acionamento	Duração de acionamento	Vazão	
Modelo de simulação através da teoria dos grafos	A modelagem desta variável é baseada em um "relógio" de simulação que varia entre 0 e 24h, de modo crescente. Cada aparelho sanitário possui uma curva de densidade de probabilidade em função do horário do dia, e em posse de um gerador de número aleatório, pode-se determinar se o aparelho sanitário está em uso ou não, na medida em que o tempo vai passando	Os aparelhos sanitários foram classificados em função do seu tipo de acionamento. No caso de aparelhos em que o fim do uso depende do usuário, as durações são modeladas de acordo com a função de densidade de probabilidade do aparelho, caso contrário, ocorre com o fim do ciclo particular deste	As vazões dos aparelhos sanitários são obtidas em função da pressão disponível no ponto de utilização. Os aparelhos foram classificados de acordo com a possibilidade do usuário regular o coeficiente de descarga ou não	As classificações dadas aos aparelhos nas variáveis de "duração" e "vazão", apresentou-se de forma adequada e bastante útil para o tema. Sob o ponto de vista hidráulico, o tratamento do sistema é o ideal. A forma como foi feita a modelagem do instante de acionamento garante um comportamento aleatório do sistema, no entanto, pode ter pouca influência dos usuários que vão utilizá-lo. Quando utiliza-se, para cada aparelho sanitário, curvas de densidade de probabilidade específicas para cada instante de acionamento, pode ocasionar a ocorrência de uso do aparelho sempre dentro da mesma faixa de horário, para todos os usuários do sistema
Modelo de simulação com envolvimento de sistemas nebulosos	A modelagem ocorre dentro do período de pico do sistema. Para cada usuário do sistema, é fornecido as probabilidades de início das atividades (com horários pré-determinados). Em seguida, os usuários se comportam conforme estabelecido no algoritmo computacional	Todos os aparelhos sanitários, exceto o chuveiro, foram obtidos através do tempo médio de acionamento dos dados obtidos em campo. A duração do banho foi obtida através do uso da lógica nebulosa, considerando fatores subjetivos ao qual o usuário está sujeito	Para todos os aparelhos, foram considerados os valores de vazão média durante o período de simulação (valor fixo)	O uso da lógica nebulosa para a determinação do tempo de banho trouxe grande avanços para a modelagem comportamental dos usuários do sistema.
Simulação da demanda de água residencial com o Modelo estocástico de uso-final (<i>SIMDEUM</i>)	O instante de acionamento é obtido em função das rotinas dos usuários do sistema. Para cada usuário, são geradas curvas de densidade de probabilidade com períodos de pico singulares. O número de utilizações de cada aparelho sanitário por dia é gerado a partir de uma função de densidade de probabilidade, e para todos os usos, é atribuído um horário em função da rotina do usuário	Para todos os aparelhos sanitários, a duração de acionamento foi obtida através da função específica de densidade de probabilidade, com exceção da bacia sanitária que tem duração de acordo com o volume da caixa acoplada.	Em grande parte dos aparelhos, foi considerado uso de valores de vazão fixos.	O trabalho apresentou considerações relevantes na tentativa de modelagem comportamental dos usuários, uma vez que o instante de acionamento é função da rotina dos usuários do sistema. O foco de aplicação do modelo é em sistemas de abastecimento de água em escalas maiores que a do edifício e, assim, traz pouco tratamento das características do sistema e distribuição.

O primeiro modelo citado representou todas as relações físicas entre os componentes de um sistema predial de distribuição de água com a utilização da Teoria dos grafos. Sob o ponto de vista da hidráulica, esta representação permite o equacionamento de todo o sistema em função das variáveis de pressão e vazão, e a ocorrência de uma determinada vazão de descarga em algum ponto de utilização é resultado do equilíbrio alcançado pelo sistema. Outros aspectos relevantes foram abordados pelo autor, como as classificações de tempo de acionamento dos aparelhos sanitários e a caracterização da vazão através do coeficiente de descarga.

Já no segundo modelo, foi proposta uma metodologia que contemplou o envolvimento de distintas variáveis para a determinação da demanda de água em edifícios residenciais, que consideraram tanto o tratamento individual dos aparelhos do sistema como a caracterização da população do edifício. A definição do instante de acionamento dos aparelhos sanitários em função da rotina dos habitantes mostrou-se adequada sob a perspectiva de melhor representação da atuação do comportamento humano. Contudo, a formulação desse modelo baseou-se no estudo da demanda de água para o dimensionamento de redes de distribuição em escalas maiores que a do edifício, por exemplo em bairros e distritos, e suprimiu algumas considerações teóricas que são particulares do edifício.

Enquanto o modelo proposto por [Petrucchi \(2001\)](#) concentrou seus esforços em modelar o comportamento do Sistema Hidráulico Predial através da Teoria dos grafos, não contemplando de forma abrangente a modelagem comportamental dos usuários, o modelo proposto por [Blokke, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#) apresentou uma base conceitual sólida na tentativa de modelagem comportamental dos usuários em função de suas rotinas de ocupação e desocupação dos ambientes. Além disso, este modelo não envolveu as características do sistema hidráulico que poderiam interferir na demanda de água, como ponderado pelos próprios autores. Isso significa que cada modelo pode ser tratado como complementar do outro.

A partir desses modelos, acoplar-se-ão as duas bases teóricas para a construção de um novo modelo para a determinação da demanda de água em edifícios, com o envolvimento da caracterização do sistema através da Teoria dos grafos, sendo as solicitações desse sistema oriundas da rotina dos usuários. O modelo proposto por [Oliveira \(2010\)](#) também possui relevância nesse contexto, uma vez que pode melhorar o processo de simulação atribuindo ainda mais subjetividade à modelagem comportamental dos usuários do sistema mediante o uso da lógica nebulosa, no entanto, não será objeto de modelagem no presente trabalho.

A caracterização da ocorrência de vazões em sistemas prediais de distribuição de água depende do estudo da interação entre os usuários e o sistema, uma vez que, através do uso de algum ponto de utilização, o sistema é solicitado. Os fatores considerados intervenientes por [Gonçalves \(1986\)](#), que influenciam nessa interação entre os usuários e o sistema, podem ser listados:

- atividades dos usuários:
 - função do tipo de edifício: habitação, escola, hospital, hotel etc.;
 - função das características do usuário determinadas pelos seguintes fatores: fisiológicos, regionais, culturais, sociais e climáticos.
- características do edifício: população (quantidade e distribuição) e organização espacial;
- Características do conjunto de aparelhos sanitários: função do tipo de aparelho e número de aparelhos disponíveis.

Os fatores intervenientes listados por [Gonçalves \(1986\)](#), podem ser decompostos em dois grupos de modelagem: usuários e sistema. No grupo dos usuários, são considerados os fatores geográficos e de população (quantidade, distribuição e organização), e no grupo do sistema, são considerados os aspectos relativos ao sistema hidráulico, como as funções do tipo de aparelho e número de aparelhos disponíveis. O processo iterativo entre esses dois grupos segue as regras de verificação determinadas nas condições de contorno. A [Figura 3.1](#) mostra uma representação desse processo iterativo entre os dois grupos a partir do estabelecimento das condições de contorno.

Figura 3.1: Representação dos grupos que influenciam a demanda de água

Por conseguinte, é possível estabelecer os grupos que influenciam no estudo da demanda de água em edifícios quaisquer que sejam seu tipo: a caracterização da distribuição populacional, das condições geográficas do local em que o edifício será instalado, do perfil dos usuários que irão ocupar o edifício, do sistema físico de distribuição de água e o estabelecimento de condições de contorno. Insta mencionar que as características de cada grupo não se comportam de forma isolada, sem qualquer influência de uns sobre os outros.

A partir da identificação desses grupos que intervêm na demanda de água, é possível defini-los da seguinte forma:

- Distribuição populacional: consiste na caracterização da organização espacial dos usuários que utilizam o sistema de forma direta. O conjunto de dados necessários para caracterização deste grupo é bastante relativo a diversos fatores sistêmicos, como a tipologia do edifício estudado, o local de implantação do projeto, entre outros. As relações entre estes usuários e o sistema hidráulico precisam ser definidas a partir da identificação dos aparelhos de interesse de cada indivíduo pertencente ao sistema. Por exemplo, uma torneira de jardim utilizada para atividades de serviços e limpeza, deve ser de interesse apenas do população destinada a realizar serviços e limpeza;
- Condições geográficas: há fatores geográficos que interferem diretamente na demanda de água de um determinado edifício. A título de exemplo, o índice de precipitação em uma determinada região metropolitana tem influência na disponibilidade de água para os usuários finais e pode ser um fator determinante para a quantidade de água consumida;
- Perfil de ocupação populacional: a flutuação da ocupação populacional de um determinado edifício estabelece a possibilidade mínima de utilização de qualquer aparelho sanitário pertencente a um dado sistema, visto que é impossível a existência da demanda de água sem o acionamento dos usuários, exceto em caso de vazamento ou mictório de vazão contínua;
- Sistema hidráulico: exerce a função de transporte da água até os pontos de utilização, garantindo sua disponibilidade nas atividades diárias dos usuários. Na abordagem aqui proposta, o sistema é completamente representado através de grafos e deve-se estabelecer todas as relações de influência existentes entre a cadeia de componentes que constitui um sistema de distribuição de água;
- Condições de contorno: existem restrições físicas e fatores subjetivos ou temporais que limitam a conjuntura dos dados apresentados pelos demais grupos e, portanto, precisam estar bem definidos para a não ocorrência de situações incongruentes com a realidade. Consequentemente, este grupo de definições permite elevar o nível dos resultados obtidos a partir do uso de um determinado modelo de simulação.

Feitas as considerações iniciais sobre os grupos que intervêm na demanda de água, apresentar-se-á uma metodologia para o estudo da demanda de água em sistemas de distribuição de edifícios residenciais a partir do estudo das rotinas dos usuários. Na metodologia aqui proposta, são desconsideradas as variáveis pertencentes ao grupo dos fatores geográficos. Antes da apresentação da metodologia para modelagem da demanda de água em edifícios residenciais, é imperioso apresentar parte do conteúdo teórico que apoia o processo de simulação na seção seguinte ([Seção 3.1](#)). A apresentação do modelo será feita, portanto, na seção subsequente ([Seção 3.2](#)).

3.1 Definições básicas antecedentes

Segundo Ripley (1987), o termo “simulação” pode ser entendido como o uso de um determinado modelo para produzir resultados reais ao invés de realizar o experimento em um dado sistema estudado, que pode existir ou não. Caso o modelo ou fenômeno possua uma coleção de variáveis aleatórias em seu processo de simulação, ou algum componente tratado como aleatório, pode-se nomear este como “simulação estocástica”. Para o autor, a necessidade primordial em uma simulação estocástica é a existência de uma fonte de aleatoriedade, isto é, funções computacionais capazes de gerar números aleatórios. Entretanto, vale ressaltar que os geradores de números aleatórios utilizados em computadores não são totalmente aleatórios, uma vez que estes são dispositivos determinísticos que possuem periodicidade de resultados.

Diante disso, a geração de números através de computadores é chamada de pseudoaleatória e constitui uma importante ferramenta para a construção de simulações estocásticas. Ripley (1987) define os números pseudoaleatórios (U_i) como “uma sequência determinística, dentro do intervalo $[0,1]$, que possui propriedades estatísticas relevantes tanto quanto uma sequência de números aleatório”. Portanto, quando designado o termo “gerador de números aleatórios” neste trabalho, na verdade trata-se de um gerador de números pseudoaleatórios.

L’Ecuyer (1997) definiu que os geradores de números aleatórios possuem um espaço de estados finito, chamado de ω . De acordo com uma fórmula de recorrência $S_n = f(S_{n-1})$, com $n \geq 1$, onde o estado inicial S_o é chamado de semente e a função $f : \omega \rightarrow \omega$ é a função de transição. No estado n , a função definida por $u_n = g(S_n) | g : \omega \rightarrow [0, 1]$ é chamada de função de saída e, dessa forma, a sequência do gerador de números aleatórios fica determinada por $\{u_n | n \geq 0\}$.

A definição inicial sobre o espaço de estados ω ser finito possibilita que o gerador retorne a algum estado anterior em que $S_{i+j} = S_i$, para algum $i, j > 0$. A partir disto, pode-se definir uma quantidade p , chamada de período, como o “comprimento” de um estado S , ou seja, até que a geração de um determinado número ocorra novamente. Esta consideração garante um melhor entendimento do porquê essas sequências geram, de fato, um conjunto de números pseudoaleatórios. Para L’Ecuyer (1997), um bom gerador de números aleatórios deve ter um longo período p , uma boa estrutura de pontos e precisa ter algoritmos otimizados, uma vez que, durante o processo de simulação, pode-se exigir uma grande quantidade de valores aleatórios. Para sequências binárias, sendo u_n com b bits, o valor ótimo para o período p é dado por $p = 2^b - 1$.

Segundo Zuben (2011), existem diversos tipos de geradores de números aleatórios: geradores lineares, portáteis, lineares multivariáveis, lineares multivariáveis com incremento pseudoaleatório, não-lineares, combinação de geradores etc. Dentre os geradores existentes, o chamado *Mersenne Twister*, proposto por Matsumoto e Nishimura (1998), é conside-

rado o gerador de números aleatórios mais testado e o mais bem aceito (ZUBEN, 2011), sendo, inclusive, o gerador padrão de diversos programas de computador e linguagens de programação, como *Microsoft Visual C++*, *Microsoft Excel*, *GNU Octave*, *Julia*, *Maple*, *MATLAB*, *PHP*, *Python*, *R*, entre outros. O algoritmo do *Mersenne Twister* possui um longo período p de $2^{19937} - 1$.

Diante do exposto, resta a definição de um procedimento para a caracterização das variáveis pertencentes ao modelo, para que, a partir da geração de números aleatórios, obtenham-se valores relevantes para a simulação proposta. No escopo do modelo a ser apresentado, apontou-se quatro grupos de variáveis aleatórias para a discriminação desse procedimento:

- variáveis com distribuição de Bernoulli;
- variáveis com distribuição de Bernoulli Generalizada;
- variáveis com distribuição de probabilidade do tipo discreta, com exceção das variáveis do tipo Bernoulli já citadas;
- variáveis com distribuição de probabilidade contínua.

Os procedimentos utilizados na modelagem das variáveis pertencentes ao grupo com distribuição de probabilidade do tipo Bernoulli, tanto para o caso com dois resultados possíveis como para o caso generalizado, foram baseados na metodologia apresentada por Shonkwiler e Mendivil (2009). Cabe salientar, que Ross (2013) apresentou um procedimento idêntico, só que de forma generalizada para qualquer variável discreta. Ferrari e Galves (1997) utilizaram um procedimento semelhante para a construção de Cadeias de *Markov*, com a variação do estado de um determinado objeto de simulação a cada instante n . No contexto do modelo desenvolvido neste trabalho, utilizou-se exaustivamente essa técnica de modelagem para variáveis aleatórias com comportamento do tipo Bernoulli, e, conseqüentemente, julgou-se necessária a apresentação dessa metodologia separada das demais distribuições discretas.

Supõe-se que um experimento possui apenas dois possíveis resultados, denominados como “fracasso” e “sucesso” (ou ligado e desligado, ou 0 e 1 etc.). Esse tipo de experimento é chamado de experimento de Bernoulli, com função de probabilidade do tipo Bernoulli. Um exemplo clássico desse tipo de experimento pode ser feito ao lançamento de uma moeda, com a possibilidade de dois resultados possíveis. Seja p a probabilidade de um dos resultados e $1 - p$ a probabilidade do outro resultado. A função de probabilidade desse caso pode ser mostrada na Equação 3.1 (sendo $x = 0$ o segundo resultado e $x = 1$ o primeiro resultado).

$$f(x) = \begin{cases} 1 - p, & \text{se } x = 0 \\ p, & \text{se } x = 1 \end{cases}$$

$$f(x) = p^x(1 - p)^{1-x}, \quad x = 0, 1. \quad (3.1)$$

No caso, a função de distribuição acumulada pode ser obtida através da [Equação 3.2](#).

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1 - p, & 0 \leq x < 1 \\ 1, & x \geq 1 \end{cases} \quad (3.2)$$

O caso denotado nas [Equações 3.1 e 3.2](#) é suficiente para modelar uma variável aleatória com função de probabilidade do tipo Bernoulli. Seja U um número aleatório gerado com distribuição uniforme $U \sim U(0, 1)$. Se $U < p$, então o primeiro resultado aconteceu. Senão, o segundo resultado aconteceu.

[Shonkwiler e Mendivil \(2009\)](#) apresentaram um exemplo pertinente na conjuntura aqui tratada: vamos supor que queremos simular o giro de uma roleta de cassino e observar se o resultado cairá na casa vermelha. Há um total de 18 casas vermelhas e 18 casas pretas, além de 2 casas verdes. Assim, a probabilidade de ocorrência do evento desejado é $p = 18/38 \approx 0,4736$. Em posse de um gerador de números aleatórios, será obtido um número U com valor aleatório no intervalo $[0, 1)$. O evento desejado ocorrerá caso $U < 0,4736$; caso contrário, o resultado não cairá na casa vermelha. A [Figura 3.2a](#) ilustra a distribuição acumulada do experimento do exemplo dos autores.

[Shonkwiler e Mendivil \(2009\)](#) estenderam para casos de variáveis aleatórias com distribuição de Bernoulli Generalizada. Suponha um experimento em que existem apenas quatro possibilidades de resultados possíveis $X = \{2; 3; 4; 5\}$, com as seguintes probabilidades de ocorrência: $\mathbb{P}(X = 2) = 0,15$, $\mathbb{P}(X = 3) = 0,20$, $\mathbb{P}(X = 4) = 0,60$ e $\mathbb{P}(X = 5) = 0,05$, a [Figura 3.2b](#) ilustra a função de distribuição acumulada deste experimento. A partir da geração de um número U com valor aleatório no intervalo $[0, 1)$, pode-se simular o valor de X da seguinte forma: se $U < \mathbb{P}(X = 2)$, então $X = 2$; se $\mathbb{P}(X = 2) \leq U < \mathbb{P}(X = 2) + \mathbb{P}(X = 3)$, então $X = 3$, e assim sucessivamente.

Figura 3.2: Representação da função de distribuição acumulada do tipo Bernoulli

Fonte: [Shonkwiler e Mendivil \(2009\)](#)

Os procedimentos apresentados para a simulação de variáveis aleatórias do tipo Bernoulli, tanto para o caso com dois resultados possíveis como com múltiplos resultados possíveis, podem ser utilizados para qualquer caso envolvendo as variáveis aleatórias discretas, utilizando os conceitos do Método da Transformação Inversa. Parte do desenvolvimento teórico apresentado neste trabalho foi baseado nas considerações feitas por [Ross \(2013\)](#).

Seja X uma variável aleatória discreta que assume valores no conjunto $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, onde $n = 1, 2, 3, 4, \dots, n$, e com função de probabilidade conhecida. Esta função pode ser descrita da seguinte forma:

$$\mathbb{P}(X = x_j) = p_j, \quad j = 0, 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1$$

Em seguida, gera-se um número aleatório U com distribuição Uniforme ao longo do intervalo $[0, 1)$. Logo, pode-se definir:

$$X = \begin{cases} x_0, & U < p_0 \\ x_1, & p_0 \leq U < p_0 + p_1 \\ \dots & \\ x_j, & \sum_{i=0}^{j-1} p_i \leq U < \sum_{i=0}^j p_i \\ \dots & \end{cases}$$

Tendo em vista que, para $0 < a < b < 1$, $\mathbb{P}(a \leq U < b) = b - a$, pode-se gerar um valor para a variável aleatória discreta X de acordo com sua função de probabilidade e do valor aleatório U , obedecendo o exposto na [Equação 3.3](#).

$$\mathbb{P}(X = x_j) = \mathbb{P}\left(\sum_{i=0}^{j-1} p_i \leq U < \sum_{i=0}^j p_i\right) = p_j \quad (3.3)$$

Para casos envolvendo variáveis aleatórias contínuas, a aplicação do Método da Transformação Inversa segue de maneira análoga ao envolvendo variáveis discretas, isto é:

1. gera-se um número aleatório U com distribuição uniforme de probabilidade, que está no intervalo $[0, 1)$;
2. a partir da inversa da função de distribuição acumulada se obtém o número aleatório com distribuição prescrita, tal que:

$$X = F^{-1}(U)$$

As discussões apresentadas nesta seção são suficientes para a caracterização das variáveis aleatórias utilizadas no modelo de simulação objeto deste trabalho.

3.2 Apresentação do modelo para estudo da demanda de água em edifícios residenciais

Consoante comentado nas considerações iniciais deste capítulo, a proposição do modelo para o estudo da demanda de água em edifícios baseou-se na metodologia que considerou a modelagem comportamental dos usuários, com a inclusão das considerações pertencentes ao contexto de sistemas prediais de distribuição de água. A identificação dos grupos de variáveis que intervêm na ocorrência da demanda de água, ilustrados na [Figura 3.1](#), assim como a descrição de cada grupo de variável, formam a base do modelo proposto e garantem sua adequabilidade nesse contexto de aplicação.

Os aspectos considerados para a modelagem comportamental dos usuários são mostrados na [Figura 3.3](#). Esses aspectos compreendem a distribuição populacional, quais condições de contorno podem ser aplicadas ao grupo de usuários, hábitos mensuráveis que demandam água e as rotinas que estabelecem a ocupação e desocupação de um determinado espaço em estudo.

A ocorrência da vazão instantânea $Q(\tau)$, no instante τ , em um determinado trecho de tubulação de um sistema predial de distribuição de água, pode ser obtida através do somatório das vazões unitárias dos aparelhos neste dado instante. A [Equação 3.4](#) mostra este somatório de acordo com as variáveis utilizadas na modelagem proposta.

$$Q(\tau) = \sum_{i=1}^n q_i(\tau) \quad (3.4)$$

Onde,

$Q(\tau)$ – variável que representa a vazão total de um determinado componente no instante τ ;

i – índice do aparelho sanitário em utilização de 1 até n ;

n – número total de aparelhos sanitários no trecho considerado;

$q_i(\tau)$ – vazão unitária do aparelho do tipo i no instante τ ;

Em posse da [Equação 3.4](#), pode-se estabelecer a demanda total de água utilizada no período de um dia a partir da [Equação 3.5](#).

$$D_T = \int_0^{24h} Q(\tau) d\tau \quad (3.5)$$

Onde,

D_T – volume total de água utilizado durante o período de um dia.

Todas as variáveis envolvidas no processo de simulação do modelo proposto, inclusive as apresentadas na [Equação 3.4](#), são explicadas nas seções posteriores.

3.2.1 Aparelhos sanitários do modelo

O número de aparelhos sanitários é determinístico no contexto de sistemas prediais de distribuição de água, uma vez que, previamente, sabe-se quais aparelhos são pertencentes a um determinado sistema. Existem aparelhos sanitários que possuem mais de um tipo de uso associado a ele, como é o caso da bacia sanitária com duas opções de descarga (3 L e 6 L). Nesse caso, é recomendável considerar as particularidades do aparelho de forma isolada para cada tipo de uso.

Deve-se determinar, ainda, quais aparelhos sanitários do sistema pertencem a um mesmo grupo espacial de aparelhos, também chamado de “ambiente sanitário” – um banheiro, por exemplo, com um chuveiro, uma bacia sanitária e um lavatório constitui um ambiente sanitário. Há grupos de aparelhos sanitários em que as variáveis são representadas de forma condensada para todos os usuários deste grupo. Por exemplo, o uso da pia da cozinha para o preparo de um alimento costuma atender a todos usuários da residência, assim como a limpeza da louça posteriormente.

Da mesma forma que existem aparelhos sanitários com variáveis que consideram os usos em conjunto, há também aparelhos sanitários que são específicos para determinados grupos de usuários e que precisam ser identificados. A exemplo disso, têm-se o caso da existência de dois banheiros em uma residência, onde os usuários de cada banheiro devem ser devidamente identificados no modelo.

Figura 3.3: Fatores considerados intervenientes dos grupos para caracterização dos usuários

3.2.2 Geração do perfil da demanda de cada aparelho sanitário

A geração do perfil diário da demanda de água para cada aparelho sanitário com índice i do sistema, é resultante de outras variáveis que podem ser listadas abaixo:

- quais usuários fazem uso do aparelho sanitário com índice i ;
- qual a frequência de uso diário do aparelho sanitário com índice i , para cada usuário desse aparelho;
- qual o instante de acionamento (τ) que se iniciam as utilizações do aparelho i , para cada utilização e para cada usuário desse aparelho;
- qual a duração de uso das utilizações do aparelho i , para cada utilização e para cada usuário desse aparelho;
- qual a vazão de uso das utilizações do aparelho i , para cada utilização e para cada usuário desse aparelho.

Diante das informações necessárias para a geração do perfil diário da demanda de água de cada aparelho sanitário do sistema, foram consideradas as variáveis de frequência de utilização diária de um aparelho (f_i); de instante de acionamento de um aparelho (τ), que depende de cada usuário; de duração de uso para cada utilização dos aparelhos (t) e de vazão de uso de cada utilização dos aparelhos (q).

Visto isso, resta definir estas variáveis que formam o perfil da demanda de água para cada aparelho sanitário pertencente ao modelo.

3.2.2.1 Usuários do sistema

A caracterização dos usuários pertencentes ao modelo é a etapa fundamental para a construção do perfil da demanda dos aparelhos sanitários e de toda a demanda de água do edifício estudado, uma vez que estes usuários utilizarão o sistema. Para isso, deve-se gerar todos os usuários pertencentes a edificação em concordância com o procedimento mostrado na [Figura 3.4](#).

Dado o processo exibido na [Figura 3.4](#), a etapa de definição dos grupos populacionais e suas respectivas probabilidades depende dos dados disponíveis que caracterizam a ocupação do edifício estudado. Assim, deve-se identificar os grupos interessantes para a simulação e, a partir destes, criar intervalos de probabilidade para cada grupo, conforme exemplificado na [Tabela 3.2](#). Em seguida, em posse de uma distribuição do tipo Bernoulli, pode-se aplicar o Método da Transformação Inversa para a geração dos habitantes de todos os apartamentos do edifício.

Após a geração de todos os habitantes pertencentes à simulação, deve-se obter os valores para a caracterização dos hábitos que têm influência na demanda de água. No contexto deste trabalho, foram consideradas as seguintes variáveis para esta caracterização de um usuário:

Figura 3.4: Fluxograma para a geração populacional de um edifício

Tabela 3.2: Exemplo para a representação populacional de um edifício estudado

Grupo populacional	Subgrupo populacional	Porcentagem (%)
Um habitante		15
Dois habitantes	Adulto com filho	5
	Casal	20
Três ou mais habitantes	Adulto com filhos	15
	Adultos com filhos	40
	República de estudantes	5

- grupo de idade do usuário: criança, adulto ou idoso;
- tipo de trabalho do usuário: em casa ou fora de casa;
- horário o qual o usuário acorda;
- horário o qual o usuário sai da residência;
- horário o qual o usuário retorna para a residência;
- horário o qual o usuário dorme;
- quais ambientes sanitários o usuário utiliza.

Estas variáveis podem ser obtidas de maneira análoga ao mostrado no fluxograma da Figura 3.4, tanto para o caso das variáveis aleatórias discretas (grupo de idade do usuário e rotinas de higiene pessoal), como para o caso de variáveis aleatórias contínuas (horários da rotina do usuário).

3.2.2.2 Variáveis de Duração de uso, Frequência e Vazão (t , f_i e q)

A variável de duração de uso (t) da descarga dos aparelhos sanitários, foi assentada no modo pelo qual os usuários acionam os aparelhos sanitários e pelo comportamento temporal

destes após o acionamento. [Petrucci \(2001\)](#) classificou os aparelhos nos seguintes grupos:

- aparelhos de operação em presença do usuário: são os aparelhos que operam somente com a presença do usuário, de modo que o usuário fica vinculado ao aparelho até o final da utilização, que também ocorre por ação do usuário. São exemplos deste grupo: lavatórios, pias de cozinha, chuveiros, duchas e bebedouros. Para a obtenção dos valores de duração da descarga dos aparelhos sanitários pertencentes a este grupo durante a simulação, deve-se ter conhecimento da função densidade de probabilidade que represente o comportamento dessa variável;
- aparelhos de acionamento pelo usuário e parada automática: são os aparelhos que dependem do usuário para entrar em operação, mas a encerram por meio de algum tipo de controle físico automático ([PETRUCCI, 2001](#)). São exemplos deste grupo as bacias sanitárias com caixa acoplada. Comumente, os aparelhos pertencentes a este grupo possuem sua parada vinculada ao preenchimento de algum volume interno, dessa maneira, para a obtenção dos valores de duração de descarga, deve-se ter conhecimento do volume interno do aparelho, para, a partir da vazão do aparelho sanitário, calcular quanto tempo é necessário para preencher todo o volume;
- aparelhos de acionamento pelo usuário e parada após o ciclo automático: são aparelhos que operam seguindo ciclos automáticos, tendo, no entanto, seu início determinado pela ação do usuário. Este grupo se diferencia do anterior pelo fato de que não realizam uma parada simples, mas sequências de paradas e acionamentos, ditadas por parâmetros como: programação prévia, volumes, tempos ou temperaturas ([PETRUCCI, 2001](#)), assim como as máquinas de lavar roupas e louças. Para a obtenção dos valores de duração de acionamento dos aparelhos sanitários pertencentes a este grupo, deve-se implementar rotinas específicas que descreve os ciclos de operação desses aparelhos.
- aparelhos de acionamento por ação indireta do usuário ou do ambiente: são aparelhos que possuem sua operação comandada pela alteração de alguma grandeza física que é monitorada pelo aparelho e ação indireta do usuário ([PETRUCCI, 2001](#)). Um exemplo pertencente a este grupo é o mictório acionado por sensor de pH.
- aparelhos de acionamento e parada automáticos: são os aparelhos que não dependem do usuário para sua operação direta, sendo este responsável apenas por programar os horários de funcionamento, que poderia ser delegado à controladores automáticos ([PETRUCCI, 2001](#)). Um exemplo deste grupo são os regadores de jardim temporizados. Para a obtenção dos valores de duração de acionamento dos aparelhos pertencentes a este grupo, deve-se predeterminar rotinas de funcionamento, tanto de instante de acionamento, como de duração;
- aparelhos de operação contínua: são aparelhos que operam continuamente, sob vazão fixa, durante toda a vida do sistema. Para a consideração deste grupo de aparelhos em ambiente de simulação, basta somar a vazão unitária em todo o perfil da demanda

estudado.

A variável de frequência (f_i) representa a quantidade de utilizações de um determinado aparelho sanitário durante o período de um dia. Pode-se classificar os aparelhos sanitários de acordo com a abrangência do uso, sendo assim:

- aparelhos de uso individual;
- aparelhos de uso coletivo.

Os aparelhos de uso individual atendem apenas a um indivíduo durante o período de tempo em que está sendo utilizado. É comum que estes aparelhos estejam em ambientes sanitários que possuem restrições quanto ao número de usuários que podem utilizar o ambiente de forma simultânea. Para a obtenção dos valores relativos ao número de utilizações diárias de um determinado aparelho sanitário, deve-se conhecer o histograma de frequência do número total de utilizações diárias por pessoa, ou estabelecer uma função de probabilidade que represente esta variável.

Por outro lado, os aparelhos classificados como de uso coletivo, são aqueles que, mesmo quando utilizados por apenas um usuário, seu acionamento atende a um grupo de interesse. Para a obtenção dos valores da variável que representa o número total de utilizações diárias desse tipo de aparelho, consideram-se as utilizações de todos os usuários da residência.

Acerca da variável de vazão de acionamento (q), [Petrucchi \(2001\)](#) classificou os aparelhos de acordo com a capacidade de permitir ajustes de vazão pelo usuário, dessa forma:

- aparelhos de ajustes predeterminados;
- aparelhos de ajuste contínuo.

No grupo de aparelhos com ajuste predeterminado, o coeficiente de descarga do aparelho pode ser ajustado a partir de um conjunto determinado de possíveis valores. São exemplos desse tipo de aparelho: torneiras e misturadores com pastilha cerâmica e operação em 1/4 de volta, torneiras eletrônicas acionadas por solenoide e outros similares que apresentam somente dois estados, parado ($C_d = 0$) e em operação ($C_d > 0$). A [Figura 3.5a](#) mostra uma curva de descarga hipotética para um aparelho de ajuste predeterminado.

No grupo de aparelhos de ajuste contínuo, o usuário pode variar continuamente o valor do coeficiente de descarga, desde a parada total ($C_d = 0$), até a máxima vazão disponível ($C_d = C_{d,max}$) ([PETRUCCI, 2001](#)). A [Figura 3.5b](#) apresenta uma família de curvas de descarga correspondentes a um aparelho hipotético que permite ajuste contínuo de coeficiente de descarga.

Figura 3.5: Curva de descarga hipotética para aparelhos

Fonte: [Petrucchi \(2001\)](#)

3.2.2.3 Instante de acionamento dos aparelhos sanitários (variável τ)

A variável aleatória τ , que representa o instante de acionamento ou o momento de início de operação de um determinado aparelho sanitário, seguiu a metodologia proposta autores [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#) de forma idêntica, isto é, a função de densidade de probabilidade desta variável aleatória pode ser obtida em função das variáveis de ocupação e desocupação de cada usuário pertencente ao sistema. Mesmo que a metodologia para simulação da variável já tenha sido comentada anteriormente durante a apresentação do modelo *SIMDEUM* ([BLOKKER; VREEBURG; Van Dijk, 2010](#)), faz-se necessária a apresentação de forma mais detalhada.

No total, existem oito períodos ou intervalos de tempo dentro do período de um dia, que podem ser classificados em conjuntos e que são utilizados para a construção da curva de probabilidade da variável τ :

- conjunto A - período de tempo em que o usuário permanece fora de casa;
- conjunto B - período de tempo em que o usuário está em casa entre acordar e sair de casa;
- conjunto C - período de tempo em que o usuário está em casa entre chegar em casa e dormir;
- conjunto D - primeiro período de pico considerado (após acordar);
- conjunto E - segundo período de pico considerado (antes de sair de casa);
- conjunto F - terceiro período de pico considerado (após chegar em casa);
- conjunto G - quarto período de pico considerado (antes de dormir);
- conjunto H - período de tempo em que o usuário em período de sono.

A [Figura 3.6](#) demonstra em forma de diagramas os conjuntos acima listados.

Figura 3.6: Conjuntos de intervalos de tempo dentro do período de um dia da variável τ

Com a representação mostrada na [Figura 3.6](#), pode-se fazer as seguintes considerações: $\mathbb{P}(\text{Usuário esteja em casa}) = 1 - \mathbb{P}(\text{Usuário esteja fora de casa})$, isto é, $\mathbb{P}(B \cup C \cup H) = 1 - \mathbb{P}(A)$; $B - (D \cup E)$ e $C - (F \cup G)$ representam o tempo em que o usuário está em casa e acordado, mas fora do período de pico; existe a possibilidade de que $B = (D \cup E) - (D \cap E)$, em outras palavras, que o usuário esteja acordado e sempre dentro do período de pico enquanto estiver em casa (de maneira análoga para o conjunto C).

A partir das considerações iniciais, a primeira premissa feita por [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#) para a construção da curva de probabilidade da variável τ , é que a probabilidade de que o usuário inicie o uso de algum aparelho sanitário durante o período de tempo em que estiver fora de casa é 0, ou seja,

$$\mathbb{P}(Q(\tau) > 0 | \tau \in A) = 0. \quad (3.6)$$

A representação do grupo H pode ser feita da seguinte forma: seja v_s o volume médio de água consumida durante o período de sono dos usuários e V o volume total médio de água utilizada durante o período de um dia, defini-se p_s como:

$$p_s = v_s / V \quad (3.7)$$

e, portanto,

$$\mathbb{P}(Q(\tau) > 0 | \tau \in H) = p_s. \quad (3.8)$$

Para a representação dos conjuntos D , E , F e G , [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#) consideraram a seguinte premissa: seja v_p o volume total médio de água utilizada nos

períodos de pico (conjuntos D, E, F e G), defini-se p_p como:

$$p_p = v_p/V \quad (3.9)$$

Dessa forma, a probabilidade de que algum aparelho sanitário esteja sendo utilizado nos períodos de pico é dada pela [Equação 3.10](#). Por fim, resta determinar a probabilidade de que o aparelho sanitário esteja sendo utilizado em períodos fora do período de pico, representado pela [Equação 3.11](#).

$$\mathbb{P}(Q(\tau) > 0 | \tau \in ((D \cup E - D \cap E) \cup (F \cup G - F \cap G))) = p_p. \quad (3.10)$$

$$\mathbb{P}(Q(\tau) > 0 | \tau \in ((B - (D \cup E)) \cup (C - (F \cup G)))) = 1 - p_p - p_s. \quad (3.11)$$

A distribuição das probabilidades dentro dos conjuntos B e C, incluindo os períodos de pico, são consideradas do tipo Uniforme, ou seja, igualmente distribuída dentro dos intervalos estabelecidos. Além disto, será denotado ξ como sendo a duração máxima de cada período de pico, em minutos.

Como exemplo do exposto até então sobre a variável aleatória τ e a construção de sua curva de probabilidade, foi adotado os seguintes valores para as variáveis intervenientes: $p_s = 1,5\%$, $p_p = 65\%$ e $\xi = 30 \text{ min}$. Além disso, serão gerados dois usuários: um adulto, que acorda às 7h00 e sai para o trabalho às 8h25 e que retorna do trabalho às 18h00 e dorme às 00h00; um estudante adolescente, que acorda às 6h00 e sai para o colégio às 7h00 e que retorna do colégio às 13h00 e dorme às 22h30. As [Figuras 3.7a](#) e [3.7b](#) mostram as curvas de probabilidade e a curva de probabilidade acumulada para cada um dos dois casos.

Figura 3.7: Exemplo da curva de probabilidade e curva de probabilidade acumulada da variável aleatória τ

3.2.3 Condições de contorno do modelo

Existem restrições físicas e fatores subjetivos ou temporais que limitam a qualidade da simulação. Estas restrições precisam ser devidamente identificadas para a formação de regras, a fim de evitar a ocorrência de situações incongruentes com a realidade. Essas regras foram aqui chamadas de “condições de contorno”, e não possui relação alguma com as condições de contorno em sistemas de equações diferenciais, apenas foi utilizada no sentido de restrição dos eventos. O conjunto de regras atribuídas dentro do processo de simulação é listado a seguir:

- foi considerado um período de tempo, chamado de $t_{min,adm}$, que é o menor período de tempo admissível entre o horário que o usuário acorda e o horário que o usuário sai de casa ou o horário que o usuário chega em casa e o horário em que o usuário dorme;
- caso o tempo de banho seja maior que o intervalo de tempo entre o horário que o usuário acorda e o horário que o usuário sai de casa ou o horário que o usuário chega em casa e o horário que o usuário dorme, o tempo de banho é reduzido para o tamanho do intervalo o qual o uso é estabelecido;
- após a geração do perfil de consumo de um aparelho sanitário, cada uso deve ser exclusivo durante o período de tempo entre τ e $\tau + D_j$. Caso ocorra sobreposição de usos para um mesmo aparelho sanitário durante um instante de tempo τ , o uso que tenha entrado em operação posteriormente ao outro é remanejado até o instante de tempo que caracteriza o fim do uso da qual teve o acionamento primeiro;
- é comum os aparelhos sanitários estarem agrupados nos mesmos ambientes físicos, chamados de ambientes sanitários, e isto pode criar uma dependência de bloqueio de uso entre eles, especialmente no caso dos banheiros residenciais, em que o início de uso de um determinado aparelho bloqueia o uso dos outros aparelhos pelos demais usuários daquele ambiente. Portanto, essa restrição de espaço é aplicada nos banheiros do modelo de simulação. Essa consideração obedece o tipo de acionamento do aparelho; por exemplo, caso haja uma bacia sanitária em uso, esta não impede o uso de um chuveiro.

Capítulo 4

ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS

A apresentação do modelo para o estudo da demanda de água em edifícios residenciais, exposta no [Capítulo 3](#), descreveu as variáveis intervenientes de modo que o projetista deve entrar com os valores dessas variáveis de acordo com cada situação de projeto. Isto posto, neste capítulo, serão obtidos os valores numéricos dos dados de entrada do modelo, assim como a metodologia utilizada nessa tarefa. A quantidade de aparelhos sanitários do modelo é uma variável determinística e não precisa ter um método específico para a estruturação dos dados. Similarmente, as condições de contorno envolvem apenas considerações para a melhoria da qualidade da simulação, não necessitando de métodos para obtenção.

Sendo assim, deve-se estabelecer os valores para a caracterização dos usuários do sistemas, das variáveis que influenciam os aparelhos sanitários (t , F_i e q). Para isso, utilizou-se o procedimento que será apresentado nas próximas seções.

4.1 Obtenção dos valores para a caracterização dos usuários

Os grupos populacionais de interesse da simulação foram obtidos através de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No contexto brasileiro, foram identificados seis grupos: residências com uma pessoa; residências com um casal sem filhos; residências com casal e com filhos; mulher sem cônjuge e com filhos; famílias de outros tipos e outros tipos. A [Tabela 4.1](#) mostra o percentual de ocorrência de cada grupo listado.

Tabela 4.1: Grupos populacionais brasileiros e as respectivas porcentagens de ocorrência

Grupo populacional	%
Uma pessoa	14,60%
Casal sem filhos	20,00%
Casal com filhos	42,30%
Mulher sem cônjuge e filhos	16,30%
Famílias de outros tipos	6,50%
Outros tipos	0,30%

Fonte: [IBGE \(2016\)](#)

Não foram encontrados dados relativos à distribuição de ocorrência do número de filhos da população brasileira para serem utilizados no processo de simulação; há disponível apenas a quantidade média de filhos, que é de 1,74 filhos/mãe, obtidos em 2014 ([IBGE, 2016](#)). Dessa forma, investiga-se uma função de probabilidade conhecida, do tipo discreta, que forneça estes dados dentro da simulação. Nesse caso, optou-se pelo uso da função de

probabilidade do tipo Poisson, com $\lambda = 1,74$. A Figura 4.1a mostra os possíveis valores que uma variável aleatória qualquer chamada de x pode assumir, com função de probabilidade do tipo Poisson e $\lambda = 1,74$.

Figura 4.1: Distribuição de probabilidades de uma variável aleatória x , do tipo Poisson, com $\lambda = 1,74$

Para a modelagem do número de filhos de um apartamento residencial utilizando a distribuição de probabilidade do tipo Poisson, pode-se limitar os possíveis valores da variável aleatória estudada dentro do intervalo $[1, 4]$, visto que $\mathbb{P}(X = 0)$ é a não existência de filhos e foi considerada baixa a probabilidade de que uma família possua mais de quatro filhos e more em apartamentos residenciais. A Figura 4.1b mostra a possível curva de probabilidade para a variável aleatória que representa o número de filhos pertencentes às famílias do modelo de simulação, gerada a partir da função de probabilidade do tipo Poisson, com $\lambda = 1,74$ e truncada em $[1, 4]$.

Com o intuito de gerar os usuários pertencentes aos grupos populacionais “Famílias de outros tipos” e “Outros tipos”, utilizou-se os dados da Sinopse do Censo Demográfico (IBGE, 2011), que apresentou o número de moradores por domicílio no Brasil (Figura 4.2). Além da caracterização dos grupos populacionais de interesse para a simulação, necessita-se definir a faixa etária da população criada dentro do ambiente de simulação, que possui influência no tipo de rotina de ocupação e desocupação exercida pelos usuários do sistema. A Figura 4.3 mostra o percentual de ocorrência para cada faixa etária em território brasileiro.

As faixas etárias apresentadas na Figura 4.3 podem ser reagrupadas de acordo com a forma que são utilizadas dentro do modelo de simulação, resultando nos grupos mostrados na Tabela 4.2. O Grupo 1 é utilizado para a geração da faixa etária dos filhos criados através dos grupos populacionais “Casal com filhos” e “Mulher sem cônjuge e filhos”. O Grupo 2 é utilizado para a criação da faixa etária dos usuários pertencentes aos grupos

Figura 4.2: Distribuição do número de habitantes por residência no Brasil

Figura 4.3: Probabilidade de ocorrência de uma determinada faixa etária no Brasil

Fonte: IBGE (2011)

“Uma pessoa”, “Casal sem filhos” e “Família de outros tipos”. O Grupo 3 é utilizado para a determinação da faixa etária dos pais pertencentes aos grupos “Casal com filhos” e “Mulher sem cônjuge e filhos”, além dos usuários do grupo “Outros tipos”.

Tabela 4.2: Grupos de faixa etária utilizados no modelo de simulação

Grupo	Descrição	Probabilidade (%)
Grupo 1	Criança	54
	Adolescente	46
Grupo 2	Adulto	84
	Idoso	16
Grupo 3	Adulto	100

Por fim, a determinação do perfil de ocupação e desocupação dos usuários presentes no modelo de simulação torna-se necessária. Assim como considerado por [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#), esses dados podem ser obtidos através da aplicação de *survey*, coletando as informações sobre o horário que o usuário acorda, horário que sai de casa, horário que retorna após sair de casa e horário que costuma dormir.

4.2 Obtenção dos valores das variáveis t , f_i e t

A partir da abordagem de aplicação com ênfase em edifícios residenciais, pode-se determinar previamente os aparelhos sanitários que possuem relação com essa tipologia, são eles: pia; máquina de lavar louça; tanque; máquina de lavar roupas; lavatório; bacia sanitária; ducha e chuveiro. Assim, com base no conteúdo apresentado na [Seção 3.2.2.2](#), pode-se apresentar a classificação das variáveis intervenientes, mostrado na [Tabela 4.3](#).

Na coluna que representa a variável de duração, mostrada na [Tabela 4.3](#), os aparelhos foram classificados em função da forma como é feito seu acionamento. Na coluna que

representa a variável de frequência, os aparelhos foram classificados de acordo com a abrangência de uso desse em relação aos usuários da residência. Por fim, a vazão pode ser predeterminada ou contínua. As subseções seguintes mostram as considerações sobre as variáveis utilizadas durante o processo de simulação.

Tabela 4.3: Aparelhos sanitários mais comuns pertencentes à sistemas de distribuição de água residenciais brasileiros

Aparelhos Sanitários	Duração	Frequência	Vazão
Pia da cozinha	PDU	Coletivo	Contínuo
Máquina de lavar louça	AUPA	Coletivo	Predeterminado
Tanque	PDU	Coletivo	Contínuo
Máquina de lavar roupas	AUPA	Coletivo	Predeterminado
Lavatório	PDU	Individual	Contínuo
Bacia Sanitária	Parada automática	Individual	Predeterminado
	Parada automática	Individual	Predeterminado
Ducha	PDU	Individual	Predeterminado
Chuveiro	PDU	Individual	Contínuo

*PDU: Acionamento e parada em presença do usuário

*AUPA: Acionamento pelo usuário e parada automática

4.2.1 Trabalhos anteriormente publicados no contexto nacional

Para a obtenção das funções de probabilidade e dos respectivos parâmetros das variáveis aleatórias de frequência (f_i), vazão (q) e duração (t), fez-se uma pesquisa exploratória em publicações que abordaram o tema dentro do contexto nacional. Para isto, os trabalhos dos autores [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#), [Barreto e Medeiros \(2008\)](#) e [Oliveira et al. \(2013\)](#) foram utilizados.

Nos casos em que foi possível a aquisição da amostra, com suporte dos trabalhos supramencionados, a qualidade do ajuste entre a amostra e a função teórica proposta foi avaliado através do teste *Kolmogorov-Smirnov*, conhecido como *KS-Test*. O *KS-Test* compara a função de probabilidade acumulada entre duas amostras (uma teórica e outra empírica) e resulta na diferença máxima entre estas duas, chamado de *KS-statistic* ([Equação 4.1](#)) ([HUSAK; MICHAELSEN; FUNK, 2007](#)). Nesse teste, a hipótese nula é que a amostra empírica foi extraída da distribuição teórica conhecida. Se o valor do *KS-statistic* for considerado grande, isto é, se

$$KS - statistic > Valor\ Crítico$$

então a hipótese nula é rejeitada e a distribuição teórica adotada não possui parâmetros satisfatórios para a modelagem da distribuição empírica, onde o Valor Crítico (*CV*) é determinado em função do tamanho da amostra e do nível de significância adotado. Uma vez que o valor *KS-statistic* é variável, a aceitação ou rejeição da distribuição teórica também pode ser medida pelo *p-value*, que incorpora o tamanho das amostras utilizadas

no teste para o cálculo do seu valor. Um pequeno p -value é motivo de rejeição da hipótese nula, enquanto um p -value maior que o nível de significância selecionado exprime que a hipótese nula não pode ser rejeitada. O nível de significância adotado nos testes foi de 1%.

$$D_n = \max_y |F_n(y) - F(y)| \quad (4.1)$$

Onde $F_n(y)$ é a probabilidade acumulada da amostra empírica e $F(y)$ é a probabilidade acumulada da distribuição teórica adotada. Os valores do p -value foram calculados com o auxílio do software *MathWorks MATLAB 2013*.

Quando ausente os dados primários e apenas o histograma de frequência estiver disponíveis, a qualidade do ajuste entre os dados apresentado pelos autores e as funções de probabilidade conhecida foi determinada em função de três testes: o erro de média (*Mean Error*, ME, em inglês), mostrado na [Equação 4.2](#); o Erro do quadrado médio (*Root-Mean-Square Error*, RMSE, em inglês), mostrado na [Equação 4.3](#), e o Coeficiente de determinação (R^2), para mensurar a similaridade de forma de curva entre a distribuição empírica e a distribuição teórica, mostrado na [Equação 4.4](#). O ME e o RMSE mostram a porcentagem de erro absoluto entre a média da amostra e a média distribuição empírica. Uma vez que o interesse neste trabalho não é de propor uma distribuição de comportamento idêntico ao amostral, sendo aceitável uma distribuição com “forma e comportamento parecido”, foi estabelecido que $R^2 > 0,60$ é suficiente para aceitar uma distribuição.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) \quad (4.2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \quad (4.3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.4)$$

Onde,

x_i – é o dado obtido em campo, com índice i ;

y_i – é o dado obtido através da distribuição teórica, com índice i

$\bar{x}$ – é a média dos dados obtidos em campo

Os aparelhos sanitários presentes na revisão bibliográfica são apresentados abaixo. Os trabalhos citados não contemplam os aparelhos sanitários do tipo “Ducha” e “Máquina de lavar pratos”

Pia de cozinha

Para o tempo de duração de descarga da pia da cozinha, foi possível inferir apenas sobre os dados apresentados por [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#). A [Figura 4.4a](#) mostra o ajuste entre os dados amostrais do tempo de descarga da pia da cozinha e a distribuição Lognormal, com $R^2 = 0,93$. Apesar de [Oliveira et al. \(2013\)](#) também terem feito algumas exposições sobre esta variável, o resultado apresentado possui considerações particulares sobre intervalo de tempo que determinou o que seria o início e o fim de uso do aparelho.

Apenas [Barreto e Medeiros \(2008\)](#) apresentaram a média diária de utilização da pia da cozinha. Na falta de um histograma que represente esses dados, foi admitido que a variável de frequência da pia da cozinha possui distribuição de probabilidades do tipo Poisson, com parâmetro λ igual à média apresentada pelos autores. Além disso, [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#) também apresentaram o número de utilizações médias durante um período de pico de três horas, que representou cerca de 60% do total de utilizações diárias. Por fim, a vazão da pia da cozinha pode ser representada pela distribuição Weibull ([Figura 4.4b](#)), a partir dos dados mostrados por [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#), com $R^2 = 0,60$, e pela distribuição Exponencial ([Figura 4.4c](#)), a partir dos dados mostrados por [Oliveira et al. \(2013\)](#), com $R^2 = 0,76$.

Figura 4.4: Ajuste dos dados amostrais da pia da cozinha

Tanque e Máquina de lavar roupas

Os dados relativos a utilização do tanque e da máquina de lavar roupas foram obtidos através da publicação dos autores [Oliveira et al. \(2013\)](#). O tempo de descarga do tanque e a vazão foram ajustados com a distribuição Lognormal ([Figuras 4.5a e 4.5b](#)), com p -value = 0,85 e 0,26, respectivamente. Com os dados mostrados pelos autores, foi estabelecido que a duração do ciclo da máquina de lavar roupas tem média de 6 minutos, com vazão constante de 0,10 L/s. Para a variável de frequência, as mesmas considerações da pia da cozinha foram feitas. Os dados de frequência de utilização do tanque apontou uma média de 1,15 usos/dia, enquanto os da máquina de lavar roupa foram inconclusivos.

Figura 4.5: Ajuste dos dados amostrais do tanque

Lavatório

A duração de descarga do lavatório foi ajustada com a distribuição Exponencial ([Figura 4.6a](#)) para os dados apresentados por [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#), com $R^2 = 0,97$, e com a distribuição Lognormal ([Figura 4.6b](#)) para os dados mostrados por [Oliveira et al. \(2013\)](#), com p -value = 0,25. Para a variável que representa a frequência diária de acionamento do lavatório, as considerações sobre a distribuição utilizada seguiram as mesmas dos aparelhos anteriores. Os dados apresentados por [Barreto e Medeiros \(2008\)](#) mostram uma frequência de 6,40 usos/dia·pessoa e os apresentados por [Oliveira et al. \(2013\)](#) mostram uma frequência de 5,93 usos/dia·pessoa.

Os dados relativos a vazão de descarga do lavatório mostrados por [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#) foram ajustados com a distribuição Gama ([Figura 4.6c](#)), no entanto, o valor de $R^2 = 0,49 < 0,60$ estabelece que o ajuste não está bom o suficiente de acordo com o critério adotado. Os dados mostrados por [Oliveira et al. \(2013\)](#), foram ajustados com a distribuição Lognormal ([Figura 4.6d](#)), com p -value = 0,26.

Figura 4.6: Ajuste dos dados amostrais do lavatório

Bacia Sanitária com caixa acoplada

Os dados apresentados por [Oliveira et al. \(2013\)](#) para a caracterização da bacia sanitária apresentaram as variáveis com um comportamento próximo do determinístico, com duração de 60 segundos para o enchimento da caixa acoplada e vazão de 0,25 L/s. Nos dados dos autores [Barreto e Medeiros \(2008\)](#), a vazão pôde ser aproximada pela distribuição Weibull (Figura 4.7), com $R^2 = 0,65$. A frequência de uso da bacia sanitária seguiu com as mesmas considerações dos aparelhos sanitários anteriores. Os dados apresentados por [Barreto e Medeiros \(2008\)](#) mostram uma frequência de 3,86 usos/dia·pessoa e os apresentados por [Oliveira et al. \(2013\)](#) mostram uma frequência de 2,75 usos/dia·pessoa.

Figura 4.7: Ajuste dos dados amostrais da vazão da bacia sanitária (L/s)

Chuveiro

O tempo de descarga dos dois subtipos de chuveiro foram aproximados da distribuição Gama, tanto para os dados mostrados pelos autores [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#) ([Figura 4.8a](#)), como para os dados mostrados por [Oliveira et al. \(2013\)](#) ([Figura 4.8b](#)), com $R^2 = 0,97$ e $p\text{-value} = 0,29$, respectivamente. O procedimento para a determinação da função de probabilidade para a modelagem da frequência de utilização do chuveiro seguiu idêntico aos demais aparelhos, com 1,08 usos/dia·pessoa para os dados apresentados por [Oliveira et al. \(2013\)](#).

A vazão de descarga do chuveiro convencional foi primeiramente testada com a distribuição Weibull ([Figura 4.8c](#)), que resultou em $R^2 = 0,36 < 0,60$. O formato do histograma da amostra aponta para a existência de dois núcleos de dados: o primeiro com grande densidade em torno da vazão igual à 0,07 L/s e o segundo com grande densidade em torno da vazão igual à 0,12 L/s. Em termos práticos, isto significa que provavelmente foram medidos os dados do chuveiro para dois tipos de usuários: um que utiliza o chuveiro com vazões mais baixas e outro que utiliza o chuveiro com vazões mais altas. Dessa forma, foi utilizado o método de agrupamento de dados *k-means* com o auxílio do software *MathWorks MATLAB 2013* para a identificação dos dois núcleos existentes na amostra. As [Figura 4.8d](#) mostra o ajuste das vazões “baixas” com a distribuição Weibull ($R^2 = 0,99$) e a [Figura 4.8e](#) mostra o ajuste das vazões “altas” com a distribuição Weibull ($R^2 = 0,86$).

Da mesma maneira que [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#), os dados de vazão de descarga do chuveiro elétrico obtidos por [Oliveira et al. \(2013\)](#) foram primeiramente testados com a distribuição Gama ([Figura 4.8f](#)) e resultou em um $p\text{-value} = 0,07 > 0,01$ e com diferença máxima $KS\text{-Statistic} = 0,20 < 0,25$, que aceita a hipótese nula do *KS-Test*. Entretanto, o mesmo comportamento de faixas de vazões baixas e altas existente no histograma do chuveiro convencional pôde ser observado também na amostra do chuveiro elétrico, conforme mostrado na [Figura 4.8f](#). Então, o método *k-means* foi utilizando e resultou nas distribuições Lognormal ([Figura 4.8g](#)) para faixas de vazões mais baixas, com $p\text{-value} = 0,46$, e Weibull ([Figura 4.8h](#)) para faixas de vazões mais altas, com $p\text{-value} = 0,06$.

A [Tabela 4.4](#) mostra um resumo das funções probabilidade e os parâmetros de cada distribuição utilizadas para a representação das variáveis intervenientes dos aparelhos sanitários utilizados na simulação.

Figura 4.8: Ajuste dos dados amostrais do chuveiro

Tabela 4.4: Funções de probabilidade adotada para cada variável dos aparelhos sanitários obtidas em trabalhos nacionais

Tipo	Subtipo	Fonte	Duração		Frequência		Vazão	
			Distribuição	Parâmetros	Distribuição	Parâmetros	Distribuição	Parâmetros
Pia da cozinha		Ilha e Gonçalves (1991)	Lognormal	$\mu = 3.1763$ $\sigma = 0.785$	Poisson	24.88	Weibull	$\lambda = 0.0569$ $k = 1.5871$
		Barreto e Medeiros (2008)	-	-	Poisson	28.46	-	-
		Oliveira et al. (2013)	-	-	-	-	Exponencial	$\lambda = 0.0753$
Tanque		Oliveira et al. (2013)	Lognormal	$\mu = 3.2905$ $\sigma = 0.8918$	Poisson	1.15	Lognormal	$\mu = -2.3485$ $\sigma = 0.3279$
Máquina de lavar roupas		Oliveira et al. (2013)	Fixa	Aprox. 6min/ciclo	-	-	Fixa	0.10 L/s
Lavatório		Ilha e Gonçalves (1991)	Exponencial	$\lambda = 32.00$	-	-	Gama	$k = 1.8772$ $\theta = 0.03277$
		Barreto e Medeiros (2008)	-	-	Poisson	6.40	-	-
		Oliveira et al. (2013)	Lognormal	$\mu = 3.3551$ $\sigma = 0.8449$	Poisson	5.93	Lognormal	$\mu = -2.6677$ $\sigma = 0.3275$
Bacia Sanitária	6 L	Barreto e Medeiros (2008)	-	-	Poisson	3.86	Weibull	$\lambda = 0.0688$ $k = 7.3886$
	12 L	Oliveira et al. (2013)	Fixa	60 seg	Poisson	2.75	Fixa	0.25 L/s
Chuveiro	Convencional	Ilha e Gonçalves (1991)	Gama	$k = 1.9720$ $\theta = 243.9741$	-	-	Weibull	$\lambda = 0.07333$ $k = 8.3813$
							Weibull	$\lambda = 0.1210$ $k = 12.1186$
							Lognormal	$\mu = -2.4205$ $\sigma = 0.2014$
	Elétrico	Oliveira et al. (2013)	Gama	$k = 6.5216$ $\theta = 0.7668$	Poisson	1.08	Weibull	$\lambda = 0.1639$ $k = 13.3428$

Capítulo 5

COLETA DE DADOS EM CAMPO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA VARIÁVEL τ E CONSIDERAÇÕES

Para o conhecimento dos parâmetros da variável aleatória τ , que representa o horário de início de operação dos aparelhos sanitários, os trabalhos utilizados na [Seção 4.2](#) são insuficientes. Portanto, foi conduzida uma investigação em campo com o objetivo de obter o perfil de consumo de água residencial diário e estudar a relação entre o consumo de água e o perfil de ocupação e desocupação dos usuários das residências.

Nas sessões subsequentes são mostradas a descrição do edifício estudado, a metodologia e instrumentação utilizadas e os resultados. Posteriormente, são apresentadas as considerações feitas acerca dos dados obtidos em campo.

5.1 Descrição do edifício estudado

Os dados da demanda de água foram obtidos em apartamentos residenciais de um condomínio composto por três torres, situado na cidade de São Paulo. Cada torre possui 22 pavimentos e cada pavimento possui quatro apartamentos. A [Figura 5.1](#) mostra a fachada do condomínio estudado.

Figura 5.1: Fachada das três torres do condomínio estudado

Os edifícios mostrados na [Figura 5.1](#) possuem plantas idênticas. Em cada pavimento, há dois tipos de disposições arquitetônicas, sendo 2 apartamentos com Tipo 1 e 2 apartamentos com Tipo 2. O primeiro tipo possui com 4 quartos, 4 banheiros, uma cozinha e uma área de serviço; o segundo tipo possui 3 quartos, 5 banheiros, uma cozinha e uma área de serviço.

As Figuras 5.2a e 5.2b mostram as disposições dos Tipos 1 e 2. Todos os apartamentos possuem medição individualizada de água e apenas um medidor, que possibilitou a coleta de dados relativos ao perfil de consumo de água dos apartamentos ao longo do dia.

Figura 5.2: Tipos de disposições arquitetônicas

A Tabela 5.1 mostra os aparelhos sanitários pertencentes à cada tipo de apartamento com os respectivos pesos. O cálculo da vazão de projeto seguiu de acordo com o procedimento apresentado no Apêndice A.

Tabela 5.1: Lista de aparelhos sanitários e somatórios dos pesos em função do tipo de apartamento

Aparelho Sanitário	Peso (P)	Tipo 1		Tipo 2	
		Número de aparelhos	$\sum n \cdot P$	Número de aparelhos	$\sum n \cdot P$
Bacia Sanitária	0,3	4	1,2	5	1,5
Chuveiro	0,4	3	1,2	4	1,6
Ducha	0,4	4	1,6	5	2
Máq. Lavar Roupas	1	1	1	1	1
Lavatório	0,3	4	1,2	6	1,8
Pia	0,7	3	2,1	3	2,1
Tanque	0,7	1	0,7	1	0,7
Banheira	1	1	1	1	1
			10		11,7
Vazão de projeto (L/s)			0,95		1,03

5.2 Metodologia e instrumentação

No total, foram medidos o consumo de água durante 11 dias no primeiro apartamento, 12 dias no segundo apartamento e 8 dias no terceiro apartamento, com um total de 31 dias. O critério de seleção dos apartamentos foi de acordo com a disponibilidade dos moradores em participar da pesquisa. Os dados mostrados na Tabela 5.2 resume a população dos apartamentos medidos, a existência de empregados, o número de banheiros e a quantidade de dias medidos.

Tabela 5.2: Resumo dos apartamentos monitorados

Descrição	População	Empregado doméstico	Número de banheiros	Quantidade de dias monitorados
Apartamento 1	2	Sim	5	11
Apartamento 2	3	Sim	4	12
Apartamento 3	5	Não	4	8

Os dados relativos ao consumo de água foram obtidos por telemetria dos hidrômetros instalados no ramal de alimentação dos apartamentos. A [Figura 5.3](#) mostra o fluxograma do procedimento utilizado para a obtenção do consumo de água dos apartamentos citados na [Tabela 5.2](#).

Figura 5.3: Fluxograma do processo de aquisição de dados relativos a demanda de água no edifício estudado

Conforme apresentado na [Figura 5.3](#), os apartamentos medidos possuem o hidrômetro do modelo AQUARIUS, da fabricante Sappel, de Classe B com vazão nominal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, que dispõe de um radiocomunicador acoplado de modelo *IZAR cp* R3.5. Todo o consumo de água registrado pelo hidrômetro, na escala de litros, é enviado por radiocomunicação. Durante os 31 dias de medição, os dados transmitidos pelo radiocomunicador do hidrômetro foram recebidos pelo *IZAR Receiver*, que pode ser impresso em tela no *Intermec CN50*. Na falta de um *datalogger* acoplado do Intermec CN50, optou-se pela transmissão remota da tela do *Intermec CN50* para um laptop padrão com captura da imagem da tela a cada 2 segundos. As imagens obtidas através da captura da tela foram tratadas através do *Optical Character Recognition* (OCR) e, assim, foi possível tabular todos os eventos que demandaram água durante o período de tempo observado.

Para o conhecimento do comportamento da variável aleatória que representa o intervalo

de tempo entre os pulsos emitidos pelo *IZAR cp R3.5*, foram obtidos dados entre as 1000 primeiras trocas de informações entre os aparelhos. O intervalo de tempo de comunicação do Apartamento 1 teve média igual à 15,4 segundos, desvio padrão de 23,9 segundos e 78,4% dos pulsos menores que 18 segundos; o Apartamento 2 teve média igual à 18,0 segundos, desvio padrão de 27,9 segundos e 73,0% dos pulsos menores que 18 segundos e o Apartamento 3 teve média igual à 16,3 segundos, desvio padrão de 30,5 segundos e 75,0% dos pulsos menores que 18 segundos. A [Figura 5.4](#) mostra a distribuição de probabilidades do intervalo de tempo entre os pulsos simultâneos para os três apartamentos.

Figura 5.4: Probabilidade de ocorrência de um certo intervalo de tempo entre os pulsos

Consoante mostrado na [Figura 5.4](#) e anteriormente comentado, grande parte dos intervalos de tempo entre os pulsos encontra-se abaixo dos 18 segundos, ainda que possam grande variabilidade e podem alcançar intervalos de minutos. No contexto das variáveis t e q , de duração e vazão, respectivamente, esta variabilidade de intervalo compromete a inferência adequada dos eventos que representam o uso dos aparelhos sanitários. Desse modo, os únicos eventos identificados foram quando utilizado o aparelho sanitário do tipo “Chuveiro”, visto que a escala de tempo de utilização é de minutos.

Para a construção dos gráficos do perfil da demanda diária dos apartamentos, as atividades que demandaram água foram agrupadas de minuto à minuto e, em seguida, foram convertidas para a vazão instantânea, em litros por segundo. Os dados de vazão foram comparados com a vazão de projeto obtida através do Método dos Pesos Relativos, mostrado no [Apêndice A](#).

Os dados relacionados à rotina dos usuários dos apartamentos foram obtidos através de um questionário, mostrado no [Apêndice C](#). No questionário, buscou-se informações sobre os usuários da residência (número de habitantes, composição familiar), a frequência do uso da máquina de lavar roupas, e a caracterização dos hábitos dos usuários dos apartamentos, como o tipo de trabalho, quantidade de refeições, número de banhos por dia, dentre outros.

Com as entrevistas, foi possível determinar o período de pico de consumo de cada usuário. Assim como [Blokker, Vreeburg e Van Dijk \(2010\)](#), foi considerado $\xi = 30 \text{ min}$. Os eventos que demandaram água foram classificados de acordo com os horários fornecidos pelos usuários e, com base na duração do período de pico estipulado, foi possível o conhecimento da demanda de água nestes intervalos.

Nos tópicos abaixo são mostrados os resultados coletados nos apartamentos monitorados.

5.3 Resultados

Apartamento 1

O Apartamento 1 está situado no sexto pavimento e é composto por cinco banheiros, uma cozinha e uma área de serviço. O apartamento possui dois habitantes com faixa etária entre 30-40 anos e um empregado doméstico, que realiza todas as atividades comuns à residência (limpeza da casa, lavar as roupas, lavar as louças, dentre outras). A [Tabela 5.3](#) mostra o resumo da rotina dos usuários da residência e dos hábitos mensuráveis que demandam água, obtidos através de entrevista com os habitantes.

De acordo com o mostrado na [Tabela 5.3](#), os dois habitantes do apartamento possuem rotinas idênticas, ou seja, trabalham fora de casa, costumam acordar por volta das 6h, saem de casa por volta das 7h15min, retornam à residência usualmente às 18h30min ou 21h30min e dormem às 0h. Costumam fazer apenas uma refeição em casa, durante o período da noite, e habitualmente tomam apenas um banho por dia, também durante o período da noite. Ainda na [Tabela 5.3](#), há um empregado doméstico que inicia as atividades na residência por volta as 7h15min e sai da residência às 14h.

Tabela 5.3: Resumo das rotinas e hábitos mensuráveis dos usuários do apartamento 1

Habitante	Faixa etária	Tipo de trabalho	Rotina				Refeições em casa	Uso do chuveiro	
			Acordar	Sair	Retornar	Dormir		Quantidade	Turno
Habitante 1	Adulto	Fora de casa	06:00	07:15	18:30 ou 21:30	00:00	Jantar	1	Noite
Habitante 2	Adulto	Fora de casa	06:00	07:15	18:30 ou 21:30	00:00	Jantar	1	Noite
Empregado 1			Inicia as atividades às 07:15 da manhã e sai da residência por volta das 14:00						

A [Figura 5.5](#) mostra as vazões que ocorreram no medidor do apartamento, em litros por segundo, durante os 11 dias de investigação em campo. Nessa figura, foram feitas as sobreposições da rotina dos usuários no gráfico. O fundo verde representa os períodos de pico individuais de cada usuário; o amarelo, os períodos em que os usuários estão em casa mas estão fora do período de pico e o laranja é o período em que o empregado doméstico está em casa. A relação entre o perfil de demanda de água e a rotina dos usuários durante

os fins de semana não foi evidenciada na [Figura 5.5](#), eis que os habitantes do apartamento não identificaram uma rotina fixa para esses dias.

Figura 5.5: Perfil da demanda de água do Apartamento 1 com identificação da rotina dos usuários do apartamento

Nos gráficos relativos ao perfil de demanda de água durante os dias de semana (Figuras 5.5a à 5.5d e Figuras 5.5h à 5.5i), é possível observar a correlação entre os horários fornecidos pelos habitantes em entrevista e o perfil da demanda de água do apartamento, inclusive com grande faixas de consumo dentro das áreas verdes, que demonstram os períodos de pico individuais dos habitantes. Além disto, o intervalo que representa os horários das atividades do empregado doméstico, com cor laranja, indica um elevado consumo para as atividades que demandam água feita por este usuário. A Tabela 5.4 mostra o resumo do perfil da demanda de água mostrado na Figura 5.5 em função da rotina dos habitantes.

Tabela 5.4: Resumo do consumo de água dos habitantes do Apartamento 1

Dia	Primeiro intervalo				Segundo intervalo				Horário de sono	Empregado Doméstico	Total
	1º Pico	2º Pico	Normal	Total Pico	1º Pico	2º Pico	Normal	Total Pico			
18/07/2017				0	549	4	2	553		174	729
19/07/2017		32	29	32	134	401	20	535		453	1069
20/07/2017	2	23	24	25	6	1	230	7	4	540	826
21/07/2017	14	10	5	24	0	5	300	5	13	309	643
24/07/2017				0	221	4	6	225		80	311
25/07/2017	16	17	5	33	306	0	7	306		773	1124
26/07/2017	2	43	0	45	140	0	80	140		470	735
18/08/2017				0	11	218	2	229	2	113	344
			63	159			647	2000	19	2912	5781

* Todos os dados em litros.

Com os dados mostrados na Tabela 5.4, pode-se determinar que a porcentagem de água utilizada no período de pico foi de 75% do total, desconsiderando os usos do empregado doméstico. O consumo médio dos habitantes do apartamento foi de 180,5 L/dia. A maior

parte das atividades que demandam água se concentraram durante o segundo intervalo de permanência dos usuários na residência, neste caso, à noite. Pode-se explicar isto porque os dois habitantes fazem uso do chuveiro durante a noite, conforme mostrado na [Tabela 5.3](#). Ademais, os dados mostrados na [Tabela 5.4](#) apontam para uma porcentagem de 0,66% do volume total de água, desconsiderando os usos do empregado doméstico, durante o período de sono, entre 0h e 6h, segundo a [Tabela 5.3](#).

Outros aspecto observado na [Tabela 5.4](#) foi o elevado volume de água consumido pelo empregado doméstico, com média de 364 L/dia. No dia 25/07/2017, obteve o consumo de 773 L de água, mais que o dobro da média do próprio empregado.

Com os resultados apresentados na [Figura 5.9](#), pode-se fazer algumas considerações sobre as ocorrências de vazão no medidor do apartamento – ramal de alimentação. A [Figura 5.5](#) mostra a curva de probabilidade acumulada de todas as vazões que ocorreram neste trecho do sistema. Durante os 11 dias de monitoramento, o maior valor de vazão obtido foi de 0,66 L/s e, quando considerado 99% de probabilidade de ocorrência, a vazão foi de 0,50 L/s. Considerando os aparelhos sanitários pertencentes ao apartamento estudado, a vazão de projeto obtida pelo Método dos Pesos Relativos é de 1,03 L/s, 58% maior que a vazão máxima e 109% maior que a vazão com 99% de probabilidade de ocorrência.

Figura 5.5: Curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorram no ramal de alimentação

Sobre o uso do chuveiro, algumas considerações acerca da vazão e de sua utilização podem ser feitas. A [Figura 5.6](#) mostra o chuveiro do banheiro da suíte do apartamento, apontado como o aparelho sanitário dos eventos identificados. No total, foram reconhecidos 16 eventos categorizados como “banho dos habitantes”, todos no período da noite. A [Figura 5.7](#) mostra o número de ocorrências de uso do chuveiro em função do intervalo horário do dia. O horário de maior utilização do aparelho foi entre 22h e 23h, pouco tempo depois que os usuários costumam chegar em casa.

O tempo médio de banho nos dias medidos foi de 517 segundos (8,62 minutos), com desvio padrão de 322 segundos (5,37 minutos). As [Figuras 5.8a](#) e [5.8b](#) mostram o ajuste da distribuição Lognormal com os dados obtidos em campo, considerando o tempo de banho

Figura 5.6: Chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1

Figura 5.7: Número total de usos do chuveiro no Apartamento 1

em segundos, com parâmetros $\mu = 6,0933$ e $\sigma = 0,5580$, e em minutos, com parâmetros $\mu = 1,9989$ e $\sigma = 0,5580$, respectivamente. A qualidade do ajuste entre os dados e a distribuição Gama foi medida através do KS -test, que resultou no p -value = 0,68 nos dois casos.

A vazão média do chuveiro foi de 0,35 L/s, com desvio padrão de 0,03 L/s. A [Figura 5.8c](#) mostra o ajuste da distribuição Weibull com os dados obtidos em campo, com parâmetros $\lambda = 0,369$ e $k = 12,557$. A qualidade do ajuste entre os dados e a distribuição Weibull foi feita através do KS -test, que resultou no p -value = 0,68.

Apartamento 2

O Apartamento 2 está situado no primeiro pavimento e é composto por quatro banheiros, uma cozinha e uma área de serviço. O apartamento possui três habitantes: dois com faixa etária entre 40-50 anos e um com faixa etária entre 20-30 anos, além de um empregado doméstico, que realiza todas as atividades comuns à residência (limpeza da casa, lavar as roupas, lavar as louças, dentre outras). A [Tabela 5.5](#) mostra o resumo da rotina dos usuários da residência e dos hábitos mensuráveis que demandam água, obtidos através de entrevista com os habitantes.

Figura 5.8: Ajuste dos dados amostrais do chuveiro do Apartamento 1

Tabela 5.5: Resumo das rotinas e hábitos mensuráveis dos usuários do apartamento 2

Habitante	Faixa etária	Tipo de trabalho	Rotina				Refeições em casa	Uso do chuveiro	
			Acordar	Sair	Retornar	Dormir		Quant.	Turno
Habitante 1	Adulto	Fora de casa	07:30	08:30	19:00	00:00	Café da manhã Jantar	2	Manhã Noite
Habitante 2	Adulto	Em casa	09:00			00:00	Café da manhã Almoço Jantar	1	Tarde
Habitante 3	Adulto	Em casa	09:00			00:00	Café da manhã Almoço Jantar	1	Noite
Empregado 1			Chega em casa às 8:00 e sai por volta das 20h						

De acordo com o mostrado na [Tabela 5.5](#), apenas o Habitante 1 possui trabalho fora de casa e usualmente acorda às 7h30min, sai de casa por volta das 8h30min, retorna para a residência por volta das 19h e dorme às 0h. Diante disso, o usuário realiza as refeições durante o período da manhã e da noite e habitualmente utiliza o chuveiro nestes mesmos turnos. Os habitantes 2 e 3 possuem rotinas idênticas e costumam estar na residência durante todo o dia, fazendo todas as refeições em casa. Em contrapartida, usualmente tomam apenas um banho por dia. Ainda na [Tabela 5.5](#), há um empregado doméstico que inicia as atividades na residência por volta das 8h e sai da residência às 20h.

A [Figura 5.9](#) mostra as vazões que ocorreram no medidor do apartamento, em litros por segundo, durante os 12 dias de investigação em campo. As considerações sobre as cores de fundo seguiram idênticas às aplicadas no Apartamento 1. A relação entre o perfil de demanda de água e a rotina dos usuários durante os fins de semana não foram evidenciadas na [Figura 5.9](#), eis que os habitantes do apartamento não identificaram uma rotina fixa para estes dias.

Figura 5.9: Perfil da demanda de água do Apartamento 2 com a rotina dos usuários do apartamento

Nos gráficos relativos ao perfil da demanda de água durante os dias de semana (Figuras 5.9a à 5.9b, Figuras 5.9e à 5.9i e Figura 5.9l), é possível observar a correlação entre os horários fornecidos pelos habitantes em entrevista e o perfil da demanda de água do apartamento. Há grandes faixas de consumo dentro da área verde, que demonstram os períodos de pico individuais dos habitantes, e também entre as faixas amarela e laranja. Isso pode ser justificado pela grande população que permanece na residência durante a maior parte do dia (Habitantes 2 e 3 e Empregado 1). A Tabela 5.6 mostra o resumo do perfil da demanda de água mostrado na Figura 5.9, em função da rotina dos habitantes. Tendo em vista que a rotina do Empregado 1 está dentro da rotina dos Habitantes 2 e 3, o consumo do Empregado foi determinado a partir de eventos com duração com mais de 1 minuto, exceto caso seja identificado o uso do chuveiro.

Com os dados mostrados na Tabela 5.6, pode-se determinar que a porcentagem de água consumida no período de pico foi de 44% do total, desconsiderando os usos do funcionário doméstico. Este valor traduz que o uso de água nesta residência se comporta mais uniformemente, diante do fato de possuir três moradores durante grande parte do

Tabela 5.6: Resumo do consumo de água dos habitantes do Apartamento 2

Dia	Primeiro intervalo				Segundo Intervalo				Horário de sono	Empregado Doméstico	Total
	1º Pico	2º Pico	Normal	Total Pico	1º Pico	2º Pico	Normal	Total Pico			
27/07/2017				0	41	13	309	54	10	166	539
28/07/2017	47	76	119	123	97	8	376	105	7	239	969
31/07/2017	1	79	176	80	9	16	168	25	21	138	608
01/08/2017	14	79	176	93	15	147	90	162	10	68	599
02/08/2017	104	1	5	105	30	100	159	130		112	511
03/08/2017	34	0	11	34	144	98	128	242		151	566
04/08/2017	93	78	188	171	24	6	276	30	5	174	844
07/08/2017	17	106	115	123	14		197	14	9	177	635
				729				762	62	1225	4636

dia, inclusive à noite, quando o funcionário deixa a residência e o Habitante 1 retorna. O consumo médio dos habitantes do apartamento foi de 142 L/dia, desconsiderando os usos do funcionário doméstico. Além disso, os dados mostrados na [Tabela 5.6](#) apontam para uma porcentagem de 1,82% do volume total de água, desconsiderando os usos do funcionário doméstico, durante o período de sono, entre 0h e 7h30min, conforme mostrado na [Tabela 5.5](#).

Com os resultados apresentados na [Figura 5.9](#), pode-se fazer algumas considerações sobre as ocorrências de vazão no medidor do apartamento – ramal de alimentação. A [Figura 5.9](#) mostra a curva de probabilidade acumulada de todas as vazões que ocorreram neste trecho do sistema. Durante os 12 dias de monitoramento, o maior valor de vazão obtido foi de 0,38 L/s e, quando considerado 99% de probabilidade de ocorrência, a vazão foi de 0,22 L/s. Considerando os aparelhos sanitários pertencentes ao apartamento estudado, a vazão de projeto obtida pelo Método dos Pesos Relativos é de 0,95 L/s, 153% maior que a vazão máxima e 338% maior que a vazão com 99% de probabilidade de ocorrência.

Figura 5.9: Curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorram no ramal de alimentação

No tocante ao uso do chuveiro no Apartamento 2, foram identificados 54 eventos categorizados como “banho dos habitantes”. A [Figura 5.10](#) mostra o chuveiro do banheiro da suíte do apartamento, apontado como o aparelho sanitário dos eventos identificados. O

chuveiro do banheiro social do apartamento é idêntico ao da suíte. Conforme mostrado na [Figura 5.11](#), grande parte dos usos do chuveiro foram entre 22h e 0h, horário em que os Habitantes 1 e 3 costumam utilizar o aparelho. Entre 16h e 17h também foi registrado um grande número de banhos, no período da tarde, conforme indicado pelo Habitante 2.

Figura 5.10: Chuveiro do banheiro social e da suíte do Apartamento 2

Figura 5.11: Número total de usos do chuveiro no Apartamento 2

O tempo médio de banho nos dias medidos foi de 558 segundos (9,30 minutos), com desvio padrão de 248 segundos (4,13 minutos). As [Figuras 5.12a](#) e [5.12b](#) mostram o ajuste da distribuição Weibull com os dados obtidos em campo, considerando o tempo de banho em segundos, com parâmetros $\lambda = 626,5262$ e $k = 2,3529$, e em minutos, com parâmetros $\lambda = 10,4431$ e $k = 2,3534$, respectivamente. A qualidade do ajuste entre os dados da amostra e a distribuição Weibull foi feita através do *KS-test*, que resultou no $p\text{-value} = 0,99$ nos dois casos, apontando um excelente ajuste.

A vazão média do chuveiro foi de 0,12 L/s, com desvio padrão de 0,03 L/s. A [Figura 5.12c](#) mostra o ajuste da distribuição Lognormal com os dados obtidos em campo, com parâmetros $\mu = -2,1284$ e $\sigma = 0,2232$. A qualidade do ajuste entre os dados e a distribuição Lognormal foi feita através do *KS-test*, que resultou no $p\text{-value} = 0,02$.

Figura 5.12: Ajuste dos dados amostrais do chuveiro do Apartamento 2

Apartamento 3

O Apartamento 3 está situado no sétimo pavimento e é composto por quatro banheiros, uma cozinha e uma área de serviço. O apartamento possui cinco habitantes: um com faixa etária entre 70-80 anos; um com faixa etária entre 40-50 anos; um com faixa etária entre 10-20 anos e dois com faixa etária abaixo dos 10 anos. O apartamento não possui empregado doméstico. A [Tabela 5.7](#) mostra o resumo da rotina dos usuários da residência e dos hábitos mensuráveis que demandam água, obtidos através de entrevista com os habitantes.

Consoante mostrado na [Tabela 5.7](#), apenas o Habitante 2 possui trabalho fora de casa e habitualmente acorda às 6h30min, sai de casa por volta das 7h30min, retorna para a residência por volta das 21h e dorme às 23h30min. Diante disso, o usuário costuma realizar as refeições apenas durante o período da manhã e utilizar o chuveiro nos turnos da manhã e da noite. O Habitante 1 é um idoso e costuma ficar em casa durante todo o dia, e, conseqüentemente, faz todas as refeições em casa. O Habitante 3 estuda no período da noite, enquanto os Habitantes 4 e 5 estudam no período da tarde.

A [Figura 5.13](#) mostra as vazões que ocorreram no medidor do apartamento, em litros por segundo, durante os 8 dias de investigação em campo. As considerações sobre as cores de fundo seguiram idênticas às aplicadas no Apartamento 1. A relação entre o perfil da

demanda de água e a rotina dos usuários durante os fins de semana não foram evidenciadas na [Figura 5.13](#), eis que os habitantes do apartamento não identificaram uma rotina fixa para estes dias.

Tabela 5.7: Resumo das rotinas e hábitos mensuráveis dos usuários do apartamento 3

Habitante	Faixa etária	Tipo de trabalho	Rotina				Refeições em casa	Uso do chuveiro	
			Acordar	Sair de casa	Retorno	Dormir		Quantidade	Turno
Habitante 1	Idoso		06:30			23:30	Café da manhã Almoço Jantar	2	Manhã Noite
Habitante 2	Adulto	Fora de casa	06:30	07:30	21:00	23:30	Café da manhã	2	Manhã Noite
Habitante 3	Adolescente		09:00	18:45	23:40	00:30	Café da manhã Almoço	2	Manhã Tarde
Habitante 4	Criança		09:00	11:20	18:00	00:00	Café da manhã Jantar	1	Noite
Habitante 5	Criança		09:00	11:20	18:00	00:00	Café da manhã Jantar	1	Noite

Figura 5.13: Perfil da demanda de água do Apartamento 3 com identificação da rotina dos usuários do apartamento

Nos gráficos relativos ao perfil de demanda de água durante os dias de semana (Figuras 5.13a à 5.13d e Figuras 5.13g à 5.13h), é possível observar a correlação entre os horários fornecidos pelos habitantes em entrevista e o perfil da demanda de água do apartamento. Há grandes faixas de consumo dentro da área verde, que demonstram os períodos de pico individuais dos habitantes, e também entre as faixas amarelas, que representam o período em que os usuários estão em casa mas fora do período de pico individual. Isso pode ser justificado pelo número de habitantes que permanece na residência durante grande parte do dia, visto que o Habitante 1 usualmente permanece em casa durante todo o dia e os Habitantes 3, 4 e 5 só se ausentam durante algum turno específico. A Tabela 5.8 mostra o resumo do perfil da demanda de água mostrado na Figura 5.13 em função da rotina dos habitantes.

Tabela 5.8: Resumo do consumo de água dos habitantes do Apartamento 3

Dia	Primeiro intervalo				Segundo Intervalo				Horário de sono	Total
	1º Pico	2º Pico	Normal	Total Pico	1º Pico	2º Pico	Normal	Total Pico		
08/08/2017		370		370	6	11	355	17		742
09/08/2017	586	24	36	610	25	27	451	52		1149
10/08/2017	365	31	131	396	178	231	378	409	17	1331
11/08/2017	408	27	28	435	246	18	605	264		1332
14/08/2017	368	412	217	780	170	32	118	202	24	1317
15/08/2017	420	52	37	472	293	34	808	327	13	1644
				3063				1271	54	7552

Com os dados mostrados na Tabela 5.8, pode-se determinar que a porcentagem de água consumida no período de pico foi de 57% do total. Ainda que a maioria dos usuários

permaneçam grande parte do tempo em casa, apenas o Habitante 1 não possui rotina fora da residência, o que cria pequenos períodos de pico para os demais usuários. O consumo médio por habitante do apartamento foi de 252 L/dia. Este consumo pode ser considerado elevado dentro do contexto nacional, usualmente adotado 200 L/dia.pessoa. Vale ressaltar, no entanto, que há um elevado número de banhos totais por dia nesta residência, segundo demonstrado na [Tabela 5.7](#). Além disso, os dados mostrados na [Tabela 5.8](#) apontam para uma porcentagem de 0,72% do volume total de água que foi consumida durante o período de sono dos habitantes, entre 0h30min e 6h30min, conforme mostrado na [Tabela 5.7](#).

Com os resultados apresentados na [Figura 5.9](#), fez-se algumas considerações sobre as ocorrências de vazão no medidor do apartamento – ramal de alimentação. A [Figura 5.13](#) mostra a curva de probabilidade acumulada de todas as vazões que ocorreram neste trecho do sistema. Durante os 8 dias de monitoramento, o maior valor de vazão obtido foi de 0,58 L/s e, quando considerado 99% de probabilidade de ocorrência, a vazão foi de 0,42 L/s. Considerando os aparelhos sanitários pertencentes ao apartamento estudado, a vazão de projeto obtida pelo Método dos Pesos Relativos é de 0,95 L/s, 66% maior que a vazão máxima e 129% maior que a vazão com 99% de probabilidade de ocorrência.

Figura 5.13: Curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorram no ramal de alimentação

Acerca do uso do chuveiro no Apartamento 3, foram identificados 44 eventos categorizados como “banho dos habitantes”. A [Figura 5.14](#) mostra o chuveiro do banheiro da suíte do apartamento, apontado como o aparelho sanitário dos eventos identificados. O chuveiro do banheiro social do apartamento é idêntico ao da suíte. A [Figura 5.15](#) mostra o número de ocorrências de uso do chuveiro em função do intervalo horário do dia. Grande parte dos usos do chuveiro foram entre 19h e 21h, turno em que o Habitantes 1 afirmou utilizar o chuveiro e, também, faixa horária em que os Habitantes 2, 4 e 5 retornam para a residência e costumam tomar banho.

O tempo médio de banho nos dias medidos foi de 493 segundos (8,22 minutos), com desvio padrão de 308 segundos (5,13 minutos). As [Figuras 5.16a](#) e [5.16b](#) mostram o ajuste da distribuição Gama com os dados obtidos em campo, considerando o tempo de banho em

Figura 5.14: Chuveiro do banheiro social e da suíte do Apartamento 3

Figura 5.15: Número total de usos do chuveiro no Apartamento 3

segundos, com parâmetros $\lambda = 2,3554$ e $k = 209,5272$, e em minutos, com parâmetros $\lambda = 2,3554$ e $k = 3,4907$, respectivamente. A qualidade do ajuste entre os dados e a distribuição Gama foi feita através do *KS-test*, que resultou no $p\text{-value} = 0,99$ nos dois casos, apontando um excelente ajuste.

A vazão média do chuveiro foi de 0,22 L/s, com desvio padrão de 0,09 L/s. Primeiramente, os dados da vazão foram ajustados com a distribuição Lognormal, conforme mostrado na [Figura 5.16c](#), com parâmetros $\mu = -2,1284$ e $\sigma = 0,2232$ e com $p\text{-value} = 0,14$, resultando em um bom ajuste entre os dados obtidos em campo com a distribuição teórica. Todavia, o formato do histograma da amostra da vazão aponta para a existência de dois núcleos de dados: o primeiro com grande densidade em torno da vazão igual à 0,13 L/s e o segundo com grande densidade em torno da vazão igual à 0,29 L/s.

Semelhante à análise dos dados do chuveiro convencional obtidos por [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#) e do chuveiro elétrico obtidos por [Oliveira et al. \(2013\)](#), nota-se que, provavelmente, foram medidos dados da vazão para preferências distintas. Dessa forma, também foi utilizado o método de agrupamento de dados *k-means* com o auxílio do software *MathWorks MATLAB 2013*. A [Figura 5.16d](#) mostra o ajuste das vazões baixas com a distribuição Uniforme

(p -value = 0,46) e a Figura 5.16e mostra o ajuste das vazões altas com a distribuição Weibull (p -value = 0,18).

Figura 5.16: Ajuste dos dados amostrais do chuveiro do Apartamento 3

5.4 Considerações

Com os dados coletados nos Apartamentos 1, 2 e 3, fez-se algumas considerações e será apresentada uma síntese das informações obtidas. Sobre o número de utilizações do chuveiro, o resultado apontou que 60% dos habitantes tomam apenas 1 banho por dia, enquanto 40% dos habitantes tomam dois banhos por dia, sendo este o valor máximo obtido. Em relação à utilização da máquina de lavar roupas, o aparelho é acionado diariamente nos Apartamentos 1 e 2, enquanto o Apartamento 3 utiliza o aparelho 3 vezes por semana. Isto gera uma média de 0,81 usos/dia.

Quanto às vazões que ocorreram no medidor dos apartamentos, tanto as vazões máximas como as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência, foram inferiores às calculadas pelo Método dos Pesos Relativos em todos os apartamentos medidos. Os aumentos foram de 109%, 338% e 129%, para aos Apartamentos 1, 2, e 3, respectivamente. Assim, o aumento médio foi de 192%. Algumas análises adicionais envolvendo a vazão representativa de 99% dos dados e a vazão máxima foram feitas na [Figura 5.17](#).

Figura 5.17: Estudo de correlação de variáveis dos dados coletadas em campo

Com o exposto nas [Figuras 5.17a](#) e [5.17b](#), é possível observar o bom ajuste ($R^2 > 0,94$) entre a vazão média do chuveiro dos apartamentos e as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência, assim como entre aquelas e as máximas. Isso aponta para a grande influência do chuveiro nas solicitações máximas dos apartamentos. A [Figura 5.17c](#) mostra a relação

entre a vazão média do chuveiro e as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência por habitante, e a [Figura 5.17d](#) mostra a relação entre as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência e o número de habitantes dos apartamentos. Os resultados mostram que a inclusão do número de habitantes na análise diminui a relação entre as variáveis, além disso, o gráfico exibido na [Figura 5.17d](#) mostrou que não há nenhuma relação entre a magnitude das vazões no medidor com o número de habitantes do apartamento.

As [Figuras 5.17e](#) e [5.17f](#) mostram a relação entre a maior porcentagem horária de uso do chuveiro (moda dos gráficos de intervalo do dia por número de ocorrências) e as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência, assim como entre aquelas e as máximas. Os dois gráficos apresentaram bom ajuste, com $R^2 > 0,87$. Portanto, no caso estudado, entende-se que as vazões de ocorrência no medidor possui correlação com as rotinas dos habitantes em relação ao uso do chuveiro, não necessariamente com o número de habitantes da residência.

Os dados referentes ao tempo de banho podem ser acoplados em uma mesma base de dados, visto que o tempo de banho é uma variável que depende fortemente do hábito dos habitantes – desconsiderando que uma vazão alta também pode afetar a duração do banho, assim como o quanto o usuário está atrasado, como abordado por [Oliveira et al. \(2013\)](#). A média do tempo de duração dos 114 banhos registrados na coleta de dados foi de 527 segundos (8,79 minutos), com desvio padrão de 282 segundos (4,70 minutos). As [Figuras 5.18a](#) e [5.18b](#) mostram o ajuste da distribuição Gama com os dados obtidos em campo, considerando o tempo de banho em segundos, com parâmetros $k = 3,0031$ e $\theta = 175,6667$, e em minutos, com parâmetros $k = 3,0055$ e $\theta = 2,9254$, respectivamente. A qualidade do ajuste entre os dados e a distribuição Gama foi feita através do KS -test, que resultou no p -value = 0,73 nos dois casos. Esse procedimento não foi feito para os dados obtidos para a vazão de descarga do chuveiro, haja vista que a vazão sofre grande influência do modelo do chuveiro e da configuração do sistema.

Figura 5.18: Ajuste entre os dados amostrais do tempo de banho da coleta de dados

A respeito dos horários da rotina dos usuários, poucas considerações podem ser feitas diante da pequena amostra coletada e da grande variabilidade de faixa etária existente. Um aspecto observado foi que grande parte dos entrevistados costumam dormir entre 23h30min e 0h30min, especialmente às 0h.

Além disso, a rotina dos usuários exerce forte influência na dinâmica do consumo de água ao longo do dia. Foi observado que, nos casos dos usuários que possuem rotina mais bem definida, o consumo de água acontece em grande parte dentro dos períodos de pico individuais deles. No Apartamento 1, em que os dois usuários se ausentam da residência por longos períodos, o consumo no período de pico foi de 75% em relação ao total. Já no Apartamento 2, que apenas 1 dos 3 usuários possui trabalho fora da residência, o consumo no período de pico foi de 44% em relação ao total. No Apartamento 3, em que apenas 1 usuário se ausenta durante grande parte do dia e os demais permanecem em casa por longo períodos de tempo, o consumo de água no período de pico foi de 57%. A porcentagem média de água consumida durante o período de sono foi de 1,06%.

Capítulo 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as considerações teóricas sobre o modelo, expostas no [Capítulo 3](#), e a estruturação dos dados de entrada do modelo, feita no [Capítulo 4](#), pode-se aplicar o modelo para a geração de resultados a partir da simulação. Para isto, foram estudadas as solicitações em um sistema de distribuição de água de um edifício hipotético de 12 pavimentos, com 3 apartamentos por andar. Cada apartamento é composto por uma cozinha, com uma pia; uma área de serviço, com um tanque e uma máquina de lavar roupas, e por dois banheiros, cada um com um chuveiro, uma bacia sanitária e um lavatório. Todos os apartamentos possuem medição individualizada de água e, assim, há um hidrômetro instalado no ramal de entrada de cada um deles. A [Figura 6.1](#) mostra a perspectiva do sistema de distribuição de água do edifício estudado e a [Figura 6.2](#) mostra a planta baixa dos pavimentos do edifício.

Figura 6.1: Perspectiva do edifício hipotético estudado

Figura 6.2: Planta baixa padrão dos pavimentos do edifício hipotético estudado

Todas as condições de contorno apresentadas na [Seção 3.2.3](#) foram utilizadas e listadas a seguir:

- foi considerado $t_{min,adm}$, que representa o intervalo de tempo mínimo admissível entre o usuário acordar e sair de casa, igual à 8 min;
- caso haja dois ou mais usos de aparelhos sanitários pertencentes a um determinado ambiente e no mesmo intervalo de tempo, seja qual for o aparelho, os usos serão remanejados de acordo com a forma de acionamento do aparelho. Nesta situação, o aparelho sanitário que foi acionado primeiro possui prioridade em relação aos demais. Caso este seja aparelho de acionamento e parada em presença do usuário, o uso consecutivo se inicia após 60 segundos do término do uso anterior. Caso seja um aparelho de acionamento em presença do usuário e parada automática, ele não bloqueará o uso de um segundo aparelho. Nos ambientes sanitários do tipo “grupo”, não há restrições sobre a sobreposição de usos em um mesmo intervalo de tempo.
- os aparelhos sanitários pertencentes aos ambientes de uso coletivo, como é o caso da cozinha e área de serviço, só podem ser utilizados por usuários da classe de idade “Adultos” ou “Idosos”.

As amostras coletadas no [Capítulo 5](#) são insuficientes no sentido de apresentar uma distribuição de probabilidade para as variáveis aleatórias “horário de acordar”, “horário de sair de casa”, “horário de retornar” e “horário de dormir”, para cada faixa etária considerada. No entanto, uma vez que estas variáveis são contínuas e considerando que estas são definidas dentro de um intervalo fechado e sempre positivo, foi utilizada a distribuição PERT-beta para a modelagem destas na simulação.

A distribuição PERT-beta, mostrada na [Equação 6.1](#), é comumente utilizada na análise de riscos de projetos através do estudo da variabilidade do tempo de duração das atividades/tarefas quando utilizada a técnica *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) ([HAJDU; BOKOR, 2016](#)).

$$f(x) = \frac{(x-a)^{\alpha-1}(c-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)(c-a)^{\alpha+\beta-1}} \quad (6.1)$$

Onde a , b e c são parâmetros da distribuição PERT-beta, onde $b > a$ e $c > b$. Pode-se definir α e β através das [Equações 6.2 e 6.3](#), respectivamente.

$$\alpha = \frac{4b + c - 5a}{c - a} \quad (6.2)$$

$$\beta = \frac{5c - a - 4b}{c - a} \quad (6.3)$$

A média e variância de uma variável aleatória com distribuição PERT-beta pode ser estimada a partir dos valores considerados “otimista” (parâmetro a), “mais provável” (parâmetro b) e “pessimista” (parâmetro c) que esta variável pode assumir. A [Tabela 6.1](#) mostra um resumo dos parâmetros da distribuição PERT-beta utilizados para a caracterização da rotina dos usuários do modelo.

Tabela 6.1: Resumo dos parâmetros para caracterização da rotina dos usuários do modelo

Classe de idade	Acordar			Sair da residência			Chegar na residência			Dormir		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Criança	7	9,5	10,5	11	11,5	12	18	18,5	19,5	21	23	24
Adolescente	6	6,5	7,5	7	8	9	12	13	14	21	24	25
Adulto*	5	6,3	8	7	8	9	18	20	21	21	24	25
Adulto**	7,5	8,5	9	Normal ($\mu = 10, \sigma = 3$)			Normal ($\mu = 14, \sigma = 5$)			21	24	25
Idoso	5	6	6,5	Normal ($\mu = 10, \sigma = 3$)			Normal ($\mu = 14, \sigma = 5$)			21,5	23	24

(*) Adulto com trabalho fora de casa; (**) Adulto com trabalho em casa.

Os dados apresentados na [Tabela 6.1](#) foram estipulados de acordo com as entrevistas realizadas com os moradores dos apartamentos monitorados na [Capítulo 5](#) e também com a observação do autor acerca dos horários que se iniciaram as atividades que demandaram água nos dias monitorados.

Para os usuários da classe de idade “Criança”, foi estabelecido que estes estudam no período da tarde, enquanto os da classe “Adolescente”, estudam no período da manhã. Os usuários da classe “Adultos” costumam acordar por volta das 6h da manhã, e conforme observado nos perfis de utilização de água exposto na [Capítulo 5](#), houve situações em que os usos de água se iniciaram entre 5 e 6 horas da manhã. A distribuição de probabilidade das variáveis “Sair da residência” e “Chegar na residência” dos “Adultos que trabalham em casa” e dos “Idosos” foi considerada do tipo Normal, com parâmetros μ e σ , que abrangeram um intervalo considerável devido a imprevisibilidade que está sujeita a rotina destas classes. Por fim, todas as classes costumam dormir entre 23h e 00h.¹

Para cada dia de simulação, novos valores representativos relativos às variáveis de rotina dos usuários são gerados em função dos parâmetros apresentados na [Tabela 6.1](#). No entanto, para diminuir a variabilidade dessas variáveis ao longo dos dias de simulação, foi considerado que a partir do segundo dia, os parâmetros a e c da distribuição PERT-beta recebe o valor de 0,50h (30 min) e b recebe o valor gerado da variável aleatória do dia anterior. A [Tabela 6.2](#) mostra um exemplo da variação da rotina de um usuário qualquer com classe de idade “Adulto”.

Tabela 6.2: Exemplo de variação da rotina dos usuários ao longo dos dias de simulação

Dia de simu- lação	Acordar		Sair da residência		Chegar na residência		Dormir	
	a, b, c	valor	a, b, c	valor	a, b, c	valor	a, b, c	valor
1	5; 6,3; 8	5h57	7; 8; 9	8h02	18; 20; 21	20h07	21; 24; 25	23h29
2	5,5; 6; 6,5	5h44	7,5; 8; 8,5	7h48	19,6; 20,1; 20,6	20h04	23; 23,5; 24	23h57
3	5,2; 5,7; 6,2	6h08	7,3; 7,8; 8,3	8h09	19,6; 20,1; 20,6	20h05	23,5; 24; 24,5	0h25
4	5,6; 6,1; 6,6	5h57	7,7; 8,2; 8,7	8h16	19,6; 20,1; 20,6	20h13	23,9; 24,4; 24,9	0h42
5	5,5; 6; 6,5	6h09	7,8; 8,3; 8,8	8h12	19,7; 20,2; 20,7	20h24	24,2; 24,7; 25,2	0h43

Para a definição do período de pico e, conseqüentemente, da vazão de projeto dos componentes do sistema, todo o perfil de consumo de água armazenado em um determinado componente é discretizado em intervalos de tempo, denotado por δ_t . Assim, foi definido que período de pico é o intervalo de tempo com maior volume de água. Nas simulações apresentadas neste trabalho, considerou-se que $\delta_t = 900$ segundos (15 minutos). A [Equação 6.4](#) demonstra o exposto para a determinação do período de pico.

$$V_p = \max_i (V_i), \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 86400 - \delta_t; i \in \tau \quad (6.4)$$

¹ Na [Tabela 6.1](#), os parâmetros com horário igual à 25h significa que a variável extrapola o dia de simulação em questão.

Onde

$$V_i = \sum_i^{i+\delta_t} Q_i$$

Com a [Equação 6.4](#), é possível o conhecimento do intervalo de tempo $[i, i + \delta_t]$, também chamado de intervalo de pico, que possui o máximo consumo de água durante o dia de simulação. Dessa forma, a amostra relativa às vazões de pico pode ser obtida como sendo todas as vazões diferentes de zero pertencentes a este intervalo. Uma vez que S_p é o conjunto das vazões não nulas que ocorrem no período de pico, Q_p é a vazão de projeto e ε , ou fator de falha, é a probabilidade de que a vazão de projeto seja superada por alguma vazão $Q' \in S_p$, a vazão de projeto Q_p pode ser estimada através da [Equação 6.5](#).

$$\mathbb{P}(Q' > Q_p | Q' \in S_p) = \varepsilon \quad (6.5)$$

A determinação do fator de falha (ε) de um determinado componente segue as seguintes considerações:

- caso o componente abasteça um aparelho sanitário, a vazão de projeto possui fator de falha de 10%;
- caso o componente abasteça mais de um aparelho sanitário e não pertença a uma coluna de distribuição, a vazão de projeto terá fator de falha de 5%;
- caso o componente esteja na coluna de distribuição do edifício, a vazão de projeto terá fator de falha de 1%;

Em virtude da circunstância de que os apartamentos possuem sistemas idênticos, o período de pico dos componentes internos dos apartamentos foram concatenados de acordo com sua disposição em relação aos demais. Isso evita que haja diâmetros diferentes para os apartamentos com sistemas idênticos, situação não proporcional à realidade.

Para a obtenção das vazões que ocorrem nos medidores dos apartamentos, um procedimento similar ao apresentado para a identificação dos períodos de pico e cálculo dos respectivos volumes foi feito. Conforme apresentado no [Apêndice B.4](#), a ordem de grandeza da unidade de tempo para o dimensionamento dos hidrômetros é em “horas”, todavia, uma vez que a vazão máxima do hidrômetro ($Q_{máx}$) deve funcionar por um curto período de tempo, tempo este não especificado em normas técnicas, a análise abrangeu uma escolha de valores de δ_t igual à 1 segundo, 10 segundos, 30 segundos, 1 min e 5 min, com a finalidade de estudo da sensibilidade da vazão máxima que pode ser obtida.

O dimensionamento dos diâmetros dos componentes do sistema foi baseado na velocidade máxima admissível de 3 m/s, recomendada pela ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)). A velocidade máxima admissível dos componentes do barrilete e da coluna de distribuição foram diferenciadas da velocidade máxima admissível dos componentes dos *halls* e dos apartamentos, ainda que estas possuam o mesmo valor inicial igual à 3 m/s. Para o cálculo

da perda de carga, a equação de *Darcy-Weisbach* foi considerada ([Apêndice B.1](#)). As vazões de projeto obtidas através da simulação foram comparadas com as vazões obtidas através do Método dos Pesos Relativos, recomendado pela ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)) e descrito no [Apêndice A](#).

O conjunto de dados amostrais pertencentes às variáveis intervenientes do processo de dimensionamento, foi analisados através de diagrama de extremos e quartis. Com estes diagramas, é possível representar graficamente a variação de dados de uma variável numérica. A [Figura 6.3](#) mostra uma representação de um diagrama de extremos e quartis, com os elementos que constitui um gráfico desse tipo.

Figura 6.3: Elementos de um diagrama de extremos e quartis

Uma vez que o chuveiro é o aparelho sanitário com maior probabilidade de estar em uso simultâneo, este foi utilizado para o estudo de sensibilidade do modelo de simulação. No total, foram simulados três diferentes cenários: no primeiro cenário foi utilizado, em todos os apartamentos do sistema, o chuveiro convencional medido pelos autores [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#); no segundo caso, foi utilizado o chuveiro do Apartamento 1 da [Capítulo 5](#) e no terceiro caso, foram considerados diferentes chuveiros distribuídos por todo o edifício.

6.1 Simulação 1: sistema com chuveiro medido por [Ilha e Gonçalves \(1991\)](#)

Nesta simulação, foram criados 105 usuários compostos por 57 adultos (54,3%), 21 adolescentes (20,0%), 22 crianças (21,0%) e 5 idosos (4,7%), uma média de 2,91 habitantes por apartamento. No total, foram consumidos 372 m³ de água, média de 114 L/hab·dia. A [Tabela 6.3](#) mostra o consumo de cada aparelho sanitário durante a simulação, assim como o consumo médio por residência e o consumo médio por usuário. O chuveiro foi o aparelho sanitário responsável pelo maior consumo de água, com 42% do total. Em média, cada usuário da simulação gastou 48,1 L de água por dia durante o banho. O menor consumo foi do Tanque, que representou 1% do total.

Tabela 6.3: Relação de consumo dos aparelhos sanitários ao longo da simulação

Aparelho sanitário	Consumo total (L)	%	Consumo diário por residência (L)	Consumo diário por usuário (L)
Bacia Sanitária	54768	15%	49,1	16,8
Chuveiro	156459	42%	140,2	48,1
Lavatório	58527	16%	52,4	18,0
MLR	50389	14%	45,2	15,5
Pia	46246	12%	41,4	14,2
Tanque	5333	1%	4,8	1,6

A [Figura 6.4](#) mostra a taxa de ocupação média do edifício, de uma forma geral, assim como os intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício ao longo do dia. A taxa de ocupação média pode ser definida como a relação entre o número de usuários presentes, em um dado instante de tempo, e o número total de usuários do edifício. Para a obtenção da amostra e construção do gráfico da [Figura 6.4](#), foram considerados os 31 dias de simulação e foram desconsiderados os períodos de sono dos usuários.

Figura 6.4: Taxa de ocupação média do edifício e intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício, na Simulação 1

De acordo com os resultados mostrados na [Figura 6.4](#), a média das ocupações máximas do edifício é de 94% e ocorre às 21h21min. Durante a simulação, os usuários com classe de idade “Adulto” acordaram em média às 6h33min e saíram de casa às 8h28min, retornaram às 19h54min e dormiram às 23h39min. Os usuários com classe de idade “Idoso” acordaram em média às 5h58min e saíram de casa às 10h21min, retornaram às 15h48min e dormiram às 23h43min. Os usuários com classe de idade “Adolescente” acordaram em média às 6h42min e saíram de casa às 8h14min, retornaram às 13h11min e dormiram às 23h20min. Os usuários com classe de idade “Criança” acordaram em média às 9h07min e saíram de casa às 11h28min, retornaram às 18h27min e dormiram às 22h37min.

A [Figura 6.5](#) mostra o resumo dos dados de utilização dos chuveiros dos apartamentos da Simulação 1. Como pode ser observado, grande parte das vazões de descarga deste aparelho sanitário está no intervalo entre 0,06 L/s e 0,08 L/s, com baixa ocorrência de valores maiores que 0,09 L/s e menores que 0,04 L/s. A vazão média foi 0,07 L/s com desvio padrão de 0,01 L/s. Acerca do tempo de utilização do chuveiro, grande parte dos valores se concentrou dentro do intervalo entre 300 e 700 segundos, com ocorrência de banhos de até 2000 segundos, ainda que esteja na faixa de ocorrência com pequena representatividade. O tempo de banho médio foi de 485 segundos com desvio padrão de 348 segundos.

Figura 6.5: Resumo da vazão e do tempo de banho do chuveiro da Simulação 1

Como exemplo das possibilidades de análise da ocorrência de solicitações no sistema, as [Figuras 6.6 a 6.9](#) mostram as vazões em dias específicos da simulação, em diferentes trechos do sistema. A [Figura 6.6](#) apresenta as vazões que ocorreram no barrilete do edifício. No primeiro dia da simulação a vazão máxima foi de 1,29 L/s às 6h59min; no décimo dia da simulação, a vazão máxima foi de 1,09 L/s às 21h26min; no vigésimo oitavo dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,94 L/s às 22h41min; e no trigésimo primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,90 L/s às 21h26min.

A [Figura 6.7](#) apresenta as vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,15 L/s às 6h58min e no vigésimo quinto dia da simulação, a vazão máxima também foi de 0,15 L/s, às 21h30min. A [Figura 6.8](#) apresenta as vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,15 L/s às 6h58min e no vigésimo quinto dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,08 L/s às 8h48min.

A [Figura 6.9](#) apresenta as vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,68 L/s às 6h59min e no vigésimo quinto dia, a vazão máxima foi de 0,60 L/s às 7h50min.

Figura 6.6: Vazões que ocorreram no barrilete do edifício nos dias 1, 10, 28 e 31 da Simulação 1

Figura 6.7: Vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício nos dias 1 e 25 da Simulação 1

Para a determinação do período de pico e da vazão de projeto, as [Equações 6.4 e 6.5](#) foram utilizadas nos dados obtidos para todos os 31 dias da simulação. A [Figura 6.10](#) mostra o gráfico com a probabilidade acumulada das vazões que ocorrem no período de pico no barrilete do edifício.

Através da [Figura 6.10](#), pode-se estipular que a vazão de projeto a ser considerada no barrilete, com 1% de probabilidade de falha, é de 1,02 L/s. Grande parte dos períodos de pico do trecho ocorreu aproximadamente às 8h da manhã. A vazão de projeto obtida quando utilizado o Método dos Pesos Relativos é de 3,77 L/s. A redução da vazão de projeto obtida através da simulação foi de aproximadamente 73%. Esta mesma análise pode ser aplicada nos componentes das [Figuras 6.7 a 6.9](#).

Figura 6.8: Vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar do edifício, nos dias 1 e 25 da Simulação 1

Figura 6.9: Vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar, nos dias 1 e 25 da Simulação 1

Figura 6.10: Probabilidade acumulada das vazões de pico no barrilete do sistema e distribuição de ocorrência de períodos de pico ao longo o dia

No caso do trecho que abastece o Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício (Figura 6.7), a vazão de projeto obtida através da simulação, com 5% de probabilidade de falha, foi de 0,17 L/s, quando pelo Método dos Pesos Relativos foi de 0,63 L/s, uma redução de 73%. No caso do trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício (Figura 6.8), a vazão de projeto obtida através da simulação, com 10% de probabilidade de falha, foi de 0,08 L/s, quando pelo Método dos Pesos Relativos foi de 0,19 L/s, uma redução de 56%. Por fim, a vazão

de projeto do trecho de tubulação da coluna de distribuição entre o sexto e sétimo andar do edifício, obtida através da simulação, com probabilidade de falha de 1%, foi de 0,66 L/s, enquanto pelo Método dos Pesos Relativos foi de 2,67 L/s, uma redução de 75%.

A diferença entre os valores de vazão obtidos através da simulação e os obtidos com o uso do Método dos Pesos Relativos é mostrado na [Figura 6.11](#). Nesta, os dois valores da vazão de projeto são comparados em função do número de apartamentos. Na figura, há também um gráfico que apresenta a redução percentual da vazão de projeto obtida através da simulação. A maior concentração dos dados está entre 50% e 75% de redução da vazão, podendo chegar próximo dos 80%. A taxa de redução média foi de 61%, com desvio padrão de 13%.

Figura 6.11: Diferença entre a vazão de projeto obtida através da simulação e através do método dos pesos

Ainda sobre as vazões do sistema, foi feito um dimensionamento preliminar dos hidrômetros em função das vazões máximas. A [Figura 6.12](#) mostra a curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorreram nos hidrômetros de todos os apartamentos e os quartis da amostra obtida, em m^3/h , para os diferentes valores de δ_t adotado. Os resultados apontam uma pequena variação das amostras para os intervalos com 1, 10 e 30 segundos e grande disparidade quando δ_t igual à 300 segundos. Considerando que a vazão máxima possui 1% de probabilidade de falha, para δ_t igual à 1 segundo e 10 segundos, a vazão máxima foi de $0,61 m^3/h$; para δ_t igual à 30 segundos, a vazão máxima foi de $0,57 m^3/h$; para δ_t igual à 60 segundos, a vazão máxima foi de $0,54 m^3/h$ e para δ_t igual à 300 segundos, a vazão máxima foi de $0,45 m^3/h$. Em todos estes casos, a vazão máxima ficou abaixo das vazões máximas dos hidrômetros comerciais existentes e, desta forma, foi utilizado na simulação o hidrômetro com menor vazão nominal possível, de $0,6 m^3/h$.

O processo para dimensionamento dos diâmetros dos componentes do sistema é iterativo e baseia-se na variação da velocidade máxima admissível dos componentes e na análise dos resultados obtidos, principalmente avaliando a velocidade e pressão de escoamento ao longo dos dias da simulação.

Figura 6.12: Curva de probabilidade acumulada das vazões do medidor dos apartamentos, em m^3/h , e os quartis da amostra obtida

A [Figura 6.13](#) mostra as pressões no primeiro trecho de tubulação da coluna de distribuição de água, além da velocidade no tubo ao longo do dia, nos dias 1 e 31 da simulação. A linha preta representa a velocidade de escoamento no interior do componente, a linha cinza representa a pressão na entrada do componente e a linha vermelha representa a pressão na saída do componente. A velocidade máxima admissível inicial foi de 3 m/s, conforme recomendado pela ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)), que resultou em um tubo com D_N igual à 20mm.

Figura 6.13: Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 1

Com os resultados mostrados na [Figura 6.13](#), é possível observar a elevada velocidade e perda de carga na tubulação durante os períodos com maior solicitação no sistema. No gráfico do dia 1, por exemplo, a velocidade chegou a 3,53 m/s, enquanto a pressão neste instante foi de 0,18 m.c.a. à 1,22 m.c.a., ao longo do tubo, enquanto que no dia 31, a velocidade máxima foi 2,78 m/s, com a variação de pressão de 0,89 m.c.a. à 2,29 m.c.a. A [Figura 6.14](#) mostra os quartis da amostra da perda de carga unitária e as velocidades que ocorreram no trecho de tubulação estudado durante os 31 dias da simulação.

Figura 6.14: Quartis da amostra da perda de carga unitária e das velocidades que ocorreram no trecho de tubulação estudado durante os 31 dias da Simulação 1, com velocidade admissível de 3 m/s

O resultado apresentado na [Figura 6.14](#) garante uma melhor compressão das solicitações do trecho de tubulação estudado. Apesar do trecho de tubulação apresentar diâmetro satisfatório para grande parte dos dados, é possível observar uma grande quantidade de pontos que ultrapassam o limite de 3 m/s, ocasionando uma elevada perda de carga unitária (J).

Diante disso, a velocidade máxima admissível no barrilete foi reduzida para 2,0 m/s, com a finalidade de estudar o comportamento do sistema com esta nova configuração. A [Figura 6.15](#) mostra os quartis das amostras de perda de carga unitária e velocidade para nova velocidade máxima admissível estipulada, com D_N igual à 25 mm. Esses resultados foram considerados satisfatórios, uma vez que apenas os valores discrepantes da amostra estão com velocidade acima de 1,5 m/s e perda de carga unitária acima de 0,05 m/m.

Além das solicitações que ocorreram no barrilete do sistema, é oportuno o conhecimento das pressões e velocidades nos pontos mais desfavoráveis do sistema, como é o caso do banheiro da suíte dos apartamentos do décimo segundo pavimento. A [Figura 6.16](#) mostra as pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar nos dias 1 e 31 da simulação. Nessa figura, é possível observar a ocorrência de pressões menores que zero no primeiro dia da simulação.

Figura 6.15: Quartis da amostra da perda de carga unitária e das velocidades que ocorreram no trecho de tubulação estudado durante os 31 dias da Simulação 1, com velocidade admissível de 2 m/s

Figura 6.16: Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 1

Para solucionar o problema das pressões de entrada do chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar, mostrado na [Figura 6.16](#), foi feita uma breve análise dos quartis dos dados do medidor do apartamento em questão, mostrada na [Figura 6.17](#). Em grande parte do tempo, a perda de carga produzida no componente permanece em 1 m.c.a., chegando a mais de 3 m.c.a. quando a vazão ultrapassa 0,20 L/s. Diante disso, foi adotada a substituição do medidor de 0,6 m^3/h pelo de 1,5 m^3/h e foi reduzida a velocidade máxima admissível dos componentes no interior dos apartamentos para 1,2 m/s e, também, a velocidade máxima admissível na coluna de distribuição e barrilete, que passou de 2 m/s para 1,5 m/s.

Figura 6.17: Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

Com a imposição do novo limite para a velocidade admissível na coluna de distribuição e barrilete, o D_N do primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria, estudado nas Figuras 6.14 e 6.15, passou para 32 mm. A Figura 6.18 mostra a nova distribuição dos quartis da amostra de perda de carga com este novo limite de velocidade. A perda de carga unitária, que com D_N de 25 mm não ultrapassava 0,04 m/m, com D_N igual à 32 mm não ultrapassou os 0,02 m/m, apenas nos pontos mais discrepantes da amostra. De forma semelhante, em mais de 99% do tempo a velocidade não ultrapassou 0,8 m/s.

Vale ressaltar que a configuração com D_N igual à 25 mm foi satisfatória quando analisada isoladamente dos demais componentes. Tendo em vista a necessidade de pressões superiores à 1 m.c.a. no chuveiro o estudado na Figura 6.16, conforme exigido na ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998), a solução foi aplicada.

A Figura 6.19 mostra os quartis dos dados da perda de carga do medidor, este com vazão nominal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Diferente do apresentado na Figura 6.17, quando as vazões ultrapassam 0,20 L/s a perda de carga foi inferior à 1,5 m.c.a., mais favorável sob o ponto de vista do desempenho do sistema. Com a substituição do medidor e a mudança da velocidade máxima admissível dos componentes internos dos apartamentos para 1,2 m/s, a ocorrência de pressão negativa no chuveiro da Figura 6.16 foi suprimida, conforme apresentado na Figura 6.20 e, salienta-se, não houve a ocorrência de pressões menores do que 1 m.c.a.

Figura 6.18: Quartis da amostra da perda de carga unitária e das velocidades que ocorreram no trecho de tubulação estudado durante os 31 dias da Simulação 1, com velocidade admissível de 1,5 m/s

Figura 6.19: Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

Figura 6.20: Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 1

A Figura 6.21 mostra um resumo da variação dos diâmetros internos das tubulações da coluna de distribuição do edifício em função do número de apartamentos servidos, quando considerados os mesmos critérios de velocidade admissível. Nessa figura, é possível perceber um aumento na redução do diâmetro interno quanto maior o número de apartamentos servidos.

Figura 6.21: Diferença entre os diâmetros dimensionados através da vazão de projeto da simulação e pelo método dos pesos

Ainda na Figura 6.21, há um gráfico com a taxa de variação dos diâmetros internos quando considerados todos os componentes e, também, quando considerados apenas os que tiveram variação nos diâmetros internos, quando comparada as duas amostras. Quando apreciados todos os componentes, houve uma redução média de 15% dos diâmetros internos, com desvio padrão de 16%. Como pode ser visto no gráfico, houve trechos com redução maior que 50%. Quando examinados apenas os componentes em que houve redução do diâmetro interno, a redução média foi de 29%, com desvio padrão de 9,6%.

Em termos de consumo de material, o sistema dimensionado de acordo com as considerações feitas ao longo desta seção, resultou em um total de 139,33 kg de PVC, enquanto o sistema dimensionado utilizando o Método dos Pesos Relativos resultou em um total de 316 kg, representando um aumento de 63%.

6.2 Simulação 2: sistema com chuveiro do apartamento 1 do Capítulo 5

Nesta simulação, foram criados 106 usuários compostos por 55 adultos (52,0%), 14 adolescentes (13,2%), 29 crianças (27,4%) e 8 idosos (7,4%), uma média de 2,94 habitantes por apartamento. No total, foram consumidos 1062,66 m³ de água, média de 323 L/hab-dia. A Tabela 6.4 mostra o consumo de cada aparelho sanitário durante a simulação, assim como o consumo médio por residência e o consumo médio por usuário. O chuveiro foi o aparelho sanitário responsável pelo maior consumo de água, com 77% do total. Em média, cada usuário da simulação gastou 250,5 L de água por dia durante o banho. O menor consumo foi do Tanque, que representou 0,5% do total.

Tabela 6.4: Relação de consumo dos aparelhos sanitários ao longo da simulação

Aparelho sanitário	Consumo total (L)	%	Consumo diário por residência (L)	Consumo diário por usuário (L)
Bacia Sanitária	81939	7,7%	73,4	24,9
Chuveiro	823147	77,5%	737,6	250,5
Lavatório	57177	5,4%	51,2	17,4
MLR	49220	4,6%	44,1	15,0
Pia	46287	4,4%	41,5	14,1
Tanque	4896	0,5%	4,4	1,5

A Figura 6.22 mostra a taxa de ocupação média do edifício, assim como os intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício ao longo do dia. Para a obtenção da amostra e construção do gráfico da Figura 6.22, foram considerados os 31 dias de simulação e foram desconsiderados os períodos de sono dos usuários.

Figura 6.22: Taxa de ocupação média do edifício e intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício, na Simulação 2

De acordo com os resultados mostrados na [Figura 6.22](#), a média das ocupações máximas do edifício é de 93% e ocorre às 21h15min. Durante a simulação, os usuários com classe de idade “Adulto” acordaram em média às 6h16min e saíram de casa às 8h02min, retornaram às 19h48min e dormiram às 23h34min. Os usuários com classe de idade “Idoso” acordaram em média às 6h02min e saíram de casa às 10h37min, retornaram às 15h46min e dormiram às 23h33min. Os usuários com classe de idade “Adolescente” acordaram em média às 6h26min e saíram de casa às 7h53min, retornaram às 13h02min e dormiram às 23h49min. Os usuários com classe de idade “Criança” acordaram em média às 9h14min e saíram de casa às 11h29min, retornaram às 18h43min e dormiram às 23h01min.

A [Figura 6.23](#) mostra o resumo dos dados de utilização dos chuveiros dos apartamentos da Simulação 2. Como pode ser observado, grande parte das vazões de descarga deste aparelho sanitário está no intervalo entre 0,32 L/s e 0,38 L/s, com baixa ocorrência de valores maiores que 0,42 L/s e menores que 0,27 L/s. A vazão média foi 0,35 L/s com desvio padrão de 0,03 L/s. Acerca do tempo de utilização do chuveiro, grande parte dos valores se concentrou no intervalo entre 300 e 600 segundos, com ocorrência de banhos de até 2500 segundos, ainda que esteja na faixa de ocorrência com pequena representatividade. O tempo de banho médio foi de 503 segundos com desvio padrão de 299 segundos.

Figura 6.23: Resumo da vazão e do tempo de banho do chuveiro da Simulação 2

As [Figuras 6.24 a 6.27](#) mostram as vazões em dias específicos da simulação, nos mesmos trechos apresentados na Simulação 1. A [Figura 6.24](#) apresenta as vazões que ocorreram no barrilete do edifício. No primeiro dia da simulação a vazão máxima foi de 3,14 L/s às 6h55min; no décimo terceiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 3,98 L/s às 7h23min; no décimo quinto dia da simulação, a vazão máxima foi de 3,76 L/s às 7h09min; e no vigésimo quinto dia da simulação, a vazão máxima foi de 2,29 L/s às 7h24min.

A [Figura 6.25](#) apresenta as vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,72 L/s às 18h20min e no trigésimo primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de

Figura 6.24: Vazões que ocorreram no barrilete do edifício nos dias 1, 13, 15 e 25 da Simulação 2

0,47 L/s, às 20h49min. A [Figura 6.26](#) apresenta as vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,43 L/s às 22h53min e no trigésimo primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,40 L/s às 23h42min.

Figura 6.25: Vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício nos dias 1 e 31 da Simulação 2

Figura 6.26: Vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar do edifício, nos dias 1 e 31 da Simulação 2

A [Figura 6.27](#) apresenta as vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 2,24 L/s às 8h03min e no trigésimo primeiro dia, a vazão máxima foi de 1,52 L/s às 6h44min.

Figura 6.27: Vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2

A determinação do período de pico e da vazão de projeto seguiu conforme considerado nas [Equações 6.4 e 6.5](#), com os dados obtidos para todos os 31 dias da simulação. A [Figura 6.28](#) mostra os gráficos com a probabilidade acumulada das vazões que ocorrem no período de pico no barrilete do edifício.

Figura 6.28: Probabilidade acumulada das vazões de pico no barrilete do sistema e distribuição de ocorrência de períodos de pico ao longo o dia

Através da [Figura 6.28](#), pode-se estipular que a vazão de projeto a ser considerada no barrilete, com 1% de probabilidade de falha, é de 3,39 L/s. Como na Simulação 1, grande parte dos períodos de pico do trecho ocorreu aproximadamente às 8h da manhã. A vazão de projeto calculada quando utilizado o Método dos Pesos Relativos é de 3,77 L/s. A redução da vazão de projeto obtida através da simulação foi de aproximadamente 10%. Esta mesma análise pode ser aplicada nos componentes das [Figuras 6.25 a 6.27](#).

No caso do trecho que abastece o Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício ([Figura 6.25](#)), a vazão de projeto obtida através da simulação, com 5% de probabilidade

de falha, foi de 0,47 L/s, e quando pelo Método dos Pesos Relativos foi de 0,63 L/s, uma redução de 25%. No caso do trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício (Figura 6.26), a vazão de projeto obtida através da simulação, com 10% de probabilidade de falha, foi de 0,39 L/s, quando pelo Método dos Pesos Relativos foi de 0,19 L/s, um aumento de 109%. Por fim, a vazão de projeto do trecho de tubulação da coluna de distribuição entre o sexto e sétimo andar do edifício, obtida através da simulação, com probabilidade de falha de 1%, foi de 2,34 L/s, enquanto pelo Método dos Pesos Relativos foi de 2,67 L/s, uma redução de 12%.

A diferença entre os valores de vazão na coluna de distribuição de água do edifício, obtidos através da simulação e com o uso do Método dos Pesos Relativos, é mostrado na Figura 6.29. Nessa figura, os dois valores de vazão de projeto são comparados em função do número de apartamentos. Quando o número de apartamentos é igual à 6, no trecho de tubulação que está entre o terceiro e o segundo pavimento, a vazão de projeto da simulação foi de 1,46 L/s e a calculada pelo Método dos Pesos Relativos foi de 1,54 L/s, menor diferença existente entre as curvas.

Figura 6.29: Diferença entre a vazão de projeto obtida através da simulação e através do método dos pesos

Outro aspecto observado no gráfico é que as vazões da simulação nos trechos que servem a 21 e 24 apartamentos, respectivamente, manteve-se constante. Este resultado ocorreu devido à consideração do mesmo período de pico nestes trechos, obtido através do volume máximo a cada 15 minutos (Equação 6.4).

Ainda na Figura 6.29, há o gráfico que apresenta a diferença percentual das vazões de projeto obtidas através da simulação e as obtidas através do Método dos Pesos Relativos. Diferente da Simulação 1, houve trechos em que a vazão de projeto da simulação aumentou em relação ao Método dos Pesos (quando > 0 no eixo das ordenadas do gráfico). A maior concentração dos dados está entre 40% de aumento e 47% de redução de vazão. O aumento máximo foi da vazão de projeto foi 109%, dos trechos que alimentam o chuveiro da suíte dos apartamentos, e a redução máxima foi de 75%. Portanto, a vazão de projeto da simulação

teve uma redução média de 3,61%, com desvio padrão de 61%.

A [Figura 6.30](#) mostra a curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorreram nos hidrômetros de todos os apartamentos e os quartis da amostra obtida, em m^3/h , para os diferentes valores de δ_t adotados. Os resultados mostram uma pequena variação das amostras para os diferentes intervalos de tempo considerado, exceto quando δ_t igual à 300 segundos. Considerando que a vazão máxima possui 1% de probabilidade de falha, para δ_t igual à 1 segundo, 10 segundos e 30 segundos, a vazão máxima foi de $1,72 m^3/h$, enquanto que para δ_t igual à 60 segundos foi de $1,70 m^3/h$ e para δ_t igual à 300 segundos, a vazão máxima foi de $1,67 m^3/h$. Desta forma, foi utilizado na simulação o medidor com vazão nominal igual à $1,0 m^3/s$.

Figura 6.30: Curva de probabilidade acumulada das vazões do medidor dos apartamentos, em m^3/h , e os quartis da amostra obtida

O processo de dimensionamento dos diâmetros dos componentes do sistema seguiu idêntico ao utilizado na Simulação 1. Para isso, aplicou-se a variação da velocidade máxima admissível dos componentes e, depois, na avaliação da pressão e velocidade de escoamento ao longo dos dias da simulação. A [Figura 6.31](#) mostra as pressões no primeiro trecho de tubulação da coluna de distribuição de água, além da velocidade no tubo ao longo do dia, nos dias 1 e 31 da simulação. As indicações das cores das linhas no gráfico são idênticas as da Simulação 1. A velocidade máxima admissível inicial foi de 3 m/s, conforme recomendado pela ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)), que resultou em um tubo com D_N igual à 40mm.

Os gráficos da [Figura 6.31](#) indicam uma grande estabilidade das pressões no sistema nos dois dias apresentados, com grande parte das velocidades abaixo de 1 m/s. As curvas de pressão aparecem próximas da forma linear, com pequenas alterações quando a velocidade chega em 2 m/s. Com os gráficos da [Figura 6.32](#), é possível ter um conhecimento geral do nível de intensidade das solicitações no trecho estudado, com D_N igual à 40mm. Grande parte dos dados (> 99%) estão com velocidade abaixo de 1,5 m/s, resultando em um pequeno valor da perda de carga unitária, inclusive quando a velocidade é maior que 2 m/s.

Figura 6.31: Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 40\text{mm}$

Figura 6.32: Quartis da amostra das Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 40\text{mm}$

Diante disso, será adotada a redução de um diâmetro comercial nos trechos de tubulação da coluna de distribuição do edifício para o estudo do comportamento das pressões. No trecho estudado, por exemplo, o D_N foi de 40 mm para 32 mm.

Os gráficos da [Figuras 6.33 e 6.34](#) mostram as pressões e velocidade no trecho utilizando D_N igual à 32 mm. Na [Figura 6.33](#), é nítida a diferença das pressões com esta nova configuração de diâmetro interno, principalmente nos períodos de grande solicitação. Nos gráficos da [Figura 6.34](#), a perda de carga unitária atinge os 0,4 m/m em alguns períodos de tempo, ainda que grande parte destes dados estão abaixo dos 0,1 m/m. Assim, a utilização de D_N igual à 32mm expõe o sistema a situações críticas e diminui consideravelmente a confiabilidade do mesmo. A consideração do período de pico com δ_t igual à 15 minutos faz

com que a vazão de projeto no tubo pareça elevada quando observado o comportamento das pressões dos gráficos com D_N igual à 40mm, entretanto, o diâmetro adotado com esta vazão de referência foi suficiente para garantir a estabilidade das pressões.

Figura 6.33: Pressões e vazões no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 32\text{mm}$

Figura 6.34: Quartis da amostra das perdas de cargas unitárias e velocidade no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 2, com $D_N = 32\text{mm}$

Assim como na Simulação 1, serão estudadas as pressões e velocidades nos pontos mais desfavoráveis do sistema, como é o caso do banheiro da suíte dos apartamentos do último pavimento. A [Figura 6.35](#) apresenta as pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar nos dias 1 e 31 da simulação. Os resultados mostram as ocorrências de pressões negativas que ultrapassaram os 10 m.c.a.

Figura 6.35: Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2

Figura 6.36: Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

Para uma possível solução desse problema, pode-se analisar os quartis da perda de carga e vazão do medidor durante os dias da simulação, na [Figura 6.36](#). Nessa figura, é possível observar a grande perda de carga causada pelo medidor de vazão nominal igual à $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, que pode chegar a mais de 30 m.c.a. quando a vazão foi de $0,71 \text{ L/s}$. Diante disso, fez-se a substituição desses medidores pelo de vazão nominal igual à $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e a redução da velocidade máxima admissível dos trechos de tubulação internos dos apartamentos para $1,0 \text{ m/s}$.

A [Figura 6.37](#) mostra que com a nova configuração dos diâmetros, em função do novo limite de velocidade máxima admissível, e a substituição do medidor do apartamento, as pressões do chuveiro estudado foram estabilizadas e mantiveram-se acima de 1 m.c.a. nos

dias 1 e 31 da simulação. Para uma análise geral dessa nova configuração, a [Figura 6.38](#) mostra os quartis das amostras de pressão e vazão do aparelho durante os 31 dias da Simulação 2. É possível observar que grande parte das pressões mantiveram-se acima de 2 m.c.a (> 99%), exceto quando a vazão do aparelho foi de mais de 0,71 L/s, que resultou em uma pressão negativa de 2,6 m.c.a. Visto a raridade deste evento, não foram testadas novas configurações. Por fim, a [Figura 6.39](#) mostra os quartis das amostras das perdas de carga e vazões atuantes no medidor com vazão nominal de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$. A perda de carga no medidor, em grande parte dos dados, não ultrapassou 1 m.c.a.

Figura 6.37: Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2

Figura 6.38: Quartis da amostra das pressões e das vazões que ocorreram no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

Figura 6.39: Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

A [Figura 6.40](#) mostra o resumo da variação dos diâmetros internos das tubulações da coluna de distribuição do edifício em função do número de apartamentos servidos, quando considerados os mesmos critérios de velocidade admissível. Para este estudo, foram utilizadas as vazões obtidas através da simulação e pelo Método dos Pesos Relativos. No gráfico da esquerda, observa-se que os diâmetros internos dos trechos das tubulações da coluna de distribuição foram os mesmos em nove pavimentos, sendo os obtidos através da simulação iguais ou menores aos obtidos através do método dos pesos.

Figura 6.40: Diferença entre os diâmetros dimensionados através da vazão de projeto da simulação e pelo método dos pesos

Ainda na [Figura 6.40](#), o gráfico da direita demonstra a taxa de variação dos diâmetros internos quando considerados todos os componentes e, também, quando considerados apenas os que tiveram variação nos diâmetros, quando comparadas as duas amostras. Ao se considerar todos os componentes, houve uma redução média de 12% dos diâmetros internos, com desvio padrão de 14%. Como pode ser visto no gráfico, houve trechos com redução perto de 40%. Quando considerado apenas os componentes em que houve redução do diâmetro interno, a redução média foi de 25%, com desvio padrão de 7,6%. Em termos de consumo de material, o sistema dimensionado de acordo com as considerações feitas ao longo desta seção resultou em um total de 349,69 kg de PVC, enquanto o sistema dimensionado utilizando o Método dos Pesos Relativos resultou em um total de 438,16 kg, um aumento de aproximadamente 25%.

6.3 Simulação 3: sistema com uso de diferentes tipos de chuveiro

Nesta simulação, foram utilizados três diferentes tipos de apartamentos, variando os chuveiros do banheiro da suíte em cada um deles. A [Tabela 6.5](#) mostra os chuveiros considerados para cada tipo de apartamento, com a referência do chuveiro ao longo do trabalho, a distribuição utilizada para modelagem das variáveis de vazão e duração e os parâmetros de cada distribuição. No total, tiveram 20 apartamentos do tipo 1 (55%), 10 apartamentos do tipo 2 (28%) e seis apartamentos do tipo 3 (18%).

Tabela 6.5: Tipos de apartamentos considerados na Simulação 3

Tipo de Aparta- mento	Banheiro social					Banheiro suíte				
	Vazão			Duração		Vazão			Duração	
	Ref.	Dist.	Par.	Dist.	Par.	Ref.	Dist.	Par.	Dist.	Par.
1	Apto. 3 (Capítulo 5)	Uniforme	mín = 0,07 máx = 0,19	Gamma	k = 3,01 $\theta = 175,67$	Apto. 3 (Capítulo 5)	Uniforme	mín = 0,07 máx = 0,19	Gamma	k = 3,01 $\theta = 175,67$
2	Apto. 3 (Capítulo 5)	Uniforme	mín = 0,07 máx = 0,19	Gamma	k = 3,01 $\theta = 175,67$	Apto. 2 (Capítulo 5)	Lognormal	$\mu = -2,13$ $\sigma = 0,22$	Gamma	k = 3,01 $\theta = 175,67$
3	Apto. 3 (Capítulo 5)	Uniforme	mín = 0,07 máx = 0,19	Gamma	k = 3,01 $\theta = 175,67$	Apto. 1 (Capítulo 5)	Uniforme	$\lambda = 0,369$ k = 12,55	Lognormal	$\mu = -6,09$ $\sigma = 0,56$

Nesta simulação, foram criados 103 usuários compostos por 60 adultos (58,0%), 21 adolescentes (20,5%), 19 crianças (18,5%) e 3 idosos (3,0%), uma média de 2,84 habitantes por apartamento. O consumo de água total foi de 561,60 m³, média de 175,9 L/hab-dia. A [Tabela 6.6](#) mostra o consumo de cada aparelho sanitário durante a simulação, assim como o consumo médio por residência e o consumo médio por usuário. O chuveiro foi o aparelho sanitário responsável pelo maior consumo de água, com 62% do total. Em média, cada usuário da simulação gastou 109,1 L de água por dia durante o banho. O menor consumo foi do Tanque, que representou 1% do total.

Tabela 6.6: Relação de consumo dos aparelhos sanitários ao longo da simulação

Aparelho sanitário	Consumo total (L)	%	Consumo diário por residência (L)	Consumo diário por usuário (L)
Bacia Sanitária	54119	10%	48,5	16,9
Chuveiro	348433	62%	312,2	109,1
Lavatório	57702	10%	51,7	18,1
MLR	49299	9%	44,2	15,4
Pia	47020	8%	42,1	14,7
Tanque	5030	1%	4,5	1,6

A [Figura 6.41](#) mostra a taxa de ocupação média do edifício, assim como os intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício ao longo do dia. Para a obtenção da amostra e construção do gráfico da [Figura 6.41](#), foram considerados os 31 dias de simulação e foram desconsiderados os períodos de sono dos usuários.

Figura 6.41: Taxa de ocupação média do edifício e intervalos médios em que cada classe de idade esteve no edifício, na Simulação 2

De acordo com os resultados mostrados na [Figura 6.41](#), a média das ocupações máximas do edifício é de 93% e ocorre às 21h07min. Durante a simulação, os usuários com classe de idade “Adulto” acordaram em média às 6h32min e saíram de casa às 8h16min, retornaram às 19h28min e dormiram às 23h26min. Os usuários com classe de idade “Idoso” acordaram em média às 5h18min e saíram de casa às 10h38min, retornaram às 15h23min e dormiram às 23h10min. Os usuários com classe de idade “Adolescente” acordaram em média às 6h22min e saíram de casa às 8h06min, retornaram às 12h52min e dormiram às 23h51min. Os usuários com classe de idade “Criança” acordaram em média às 9h05min e saíram de casa às 11h43min, retornaram às 18h46min e dormiram às 22h57min.

A [Figura 6.42](#) mostra o resumo dos dados de utilização dos chuveiros dos apartamentos da Simulação 3. Pode-se observar que grande parte das vazões de descarga deste tipo de

aparelho sanitário está no intervalo entre 0,11 L/s e 0,16 L/s, com baixa ocorrência de valores maiores que 0,25 L/s e menores que 0,07 L/s. A vazão média foi 0,15 L/s, com desvio padrão de 0,07 L/s. Em relação ao tempo de utilização do chuveiro, grande parte dos valores se concentrou no intervalo entre 300 e 700 segundos, com ocorrência de banhos de até 1500 segundos, ainda que na faixa de ocorrência com pequena representatividade. O tempo de banho médio foi de 521 segundos com desvio padrão de 307 segundos.

Figura 6.42: Resumo da vazão e do tempo de banho do chuveiro da Simulação 2

As Figuras 6.43 a 6.46 mostram as vazões em dias específicos da simulação, no mesmos trechos apresentados na Simulação 1. A Figura 6.43 apresenta as vazões que ocorreram no barrilete do edifício. No primeiro dia da simulação a vazão máxima foi de 1,63 L/s às 7h17min; no décimo quarto dia da simulação, a vazão máxima foi de 1,89 L/s às 7h50min; no décimo oitavo dia da simulação, a vazão máxima foi de 1,46 L/s às 7h38min e no trigésimo primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 1,48 L/s às 6h12min.

Figura 6.43: Vazões que ocorreram no barrilete do edifício nos dias 1, 14, 18 e 31 da Simulação 3

A [Figura 6.44](#) apresenta as vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,51 L/s às 6h47min e no trigésimo primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,55 L/s, às 6h12min.

Figura 6.44: Vazões que ocorreram no ramal de entrada do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício nos dias 1 e 31 da Simulação 3

A [Figura 6.45](#) apresenta as vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,39 L/s às 6h40min e no trigésimo primeiro dia da simulação a vazão máxima foi de 0,38 L/s às 14h11min. A [Figura 6.46](#) apresenta as vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar. No primeiro dia da simulação, a vazão máxima foi de 0,96 L/s às 7h46min e no trigésimo primeiro dia, a vazão máxima foi de 0,78 L/s às 7h02min.

Figura 6.45: Vazões que ocorreram no trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar do edifício, nos dias 1 e 31 da Simulação 2

Figura 6.46: Vazões que ocorreram na coluna de distribuição do edifício, no trecho entre o sexto e sétimo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 2

A determinação do período de pico e da vazão de projeto seguiu conforme considerado nas Equações 6.4 e 6.5 com os dados obtidos para todos os 31 dias da simulação. A Figura 6.47 mostra os gráficos com a probabilidade acumulada das vazões que ocorrem no período de pico no barrilete do edifício.

Figura 6.47: Probabilidade acumulada das vazões de pico no barrilete do sistema e distribuição de ocorrência de períodos de pico ao longo o dia

Através da Figura 6.47, pode-se estipular que a vazão de projeto a ser considerada no barrilete, com 1% de probabilidade de falha, é de 1,67 L/s. Grande parte dos períodos de pico do trecho ocorreu aproximadamente às 7h30min da manhã. A vazão de projeto obtida quando utilizado o Método dos Pesos Relativos é de 3,77 L/s. A redução da vazão de projeto obtida através da simulação foi de aproximadamente 56%. Esta mesma análise pode ser aplicada nos componentes das Figuras 6.44 a 6.46.

No caso do trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício (Figura 6.44), a vazão de projeto obtida através da simulação, com 5% de probabilidade de falha, foi de 0,37 L/s, e quando pelo Método dos Pesos Relativos foi de 0,63 L/s, uma redução de 41%. No caso do trecho que abastece o chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do décimo segundo andar do edifício (Figura 6.45), a vazão de projeto obtida através da simulação, com 10% de probabilidade de falha, foi de 0,36 L/s, quando pelo Método dos Pesos Relativos foi de 0,19 L/s, um aumento de 90%. Por fim, a vazão de projeto do trecho de tubulação da coluna de distribuição entre o sexto e sétimo andar do edifício, obtida através da simulação, com probabilidade de falha de 1%, foi de 1,00 L/s, enquanto pelo Método dos Pesos Relativos foi de 2,67 L/s, uma redução de 62%.

A diferença entre os valores de vazão na coluna de distribuição de água do edifício, obtidos através da simulação e com o uso do Método dos Pesos Relativos, é mostrado na Figura 6.48, no gráfico da esquerda. Neste, os dois valores de vazão de projeto são comparados em função do número de apartamentos servidos. Em todos os trechos, a vazão de projeto obtida através da simulação foi consideravelmente menor.

Figura 6.48: Diferença entre a vazão de projeto obtida através da simulação e através do método dos pesos

Na Figura 6.48, o gráfico da direita apresenta a diferença percentual das vazões de projeto obtidas através da simulação e através do Método dos Pesos Relativos. Assim como na Simulação 2, houve trechos em que a vazão de projeto da simulação aumentou em relação ao Método dos Pesos Relativos (quando > 0 no eixo das ordenadas do gráfico). A maior concentração dos dados está entre 10 e 50% de redução, podendo chegar a uma taxa de redução de 75%. No geral, a vazão de projeto da simulação teve uma redução média de 25%, com desvio padrão de 45%. Sobre os dados em que a vazão de projeto aumentou, o mais significativo registrado foi de 90%, nas tubulações que alimentam o chuveiro do banheiro da suíte.

A Figura 6.49 mostra a curva de probabilidade acumulada das vazões que ocorreram nos hidrômetros de todos os apartamentos e os quartis da amostra obtida, em m^3/h , para os diferentes valores de δ_t adotados. Os resultados mostram uma pequena variação das amostras para os diferentes intervalos de tempo considerados, mesmo quando δ_t igual à 300 segundos. Considerando que a vazão máxima possui 1% de probabilidade de falha, para δ_t igual à 1 segundo, 10 segundos, 30 segundos e 60 segundos, o resultado foi de 1,36 m^3/h e para δ_t igual à 300 segundos, a vazão máxima foi de 1,29 m^3/h . Dessa forma, foi utilizado na simulação o medidor com vazão nominal igual à 0,75 m^3/s .

O processo de dimensionamento dos diâmetros dos componentes do sistema seguiu idêntico ao utilizado na Simulação 1. Para isso, aplicou-se a variação da velocidade máxima admissível dos componentes e, depois, na avaliação da pressão e velocidade de escoamento ao longo dos dias da simulação. A Figura 6.50 mostra as pressões no primeiro trecho de tubulação da coluna de distribuição de água, além da velocidade no tubo ao longo do dia, nos dias 1 e 31 da simulação. As indicações das cores das linhas no gráfico são idênticas as da Simulação 1. A velocidade máxima admissível inicial foi de 3 m/s, conforme recomendado pela ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998), que resultou em um tubo com D_N igual à 25 mm.

Figura 6.49: Curva de probabilidade acumulada das vazões do medidor dos apartamentos, em m^3/h , e os quartis da amostra obtida

Os resultados apresentados na [Figura 6.50](#) mostraram uma elevada perda de carga nos instantes em o sistema foi solicitado intensamente, inclusive com velocidades acima de 3 m/s.

Figura 6.50: Pressões e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25mm$

Com a análise da [Figura 6.51](#), que mostra os quartis das perdas de carga unitárias e velocidades, é possível ter um panorama geral do comportamento do sistema ao adotar a configuração exposta acima. Há uma quantidade considerável de dados com velocidade entre 1 m/s e 2 m/s, até mesmo acima de 2 m/s, que resulta em uma elevada perda de carga unitária que pode chegar até 0,3 m/s. Em vista disso, será adotada a velocidade máxima admissível de 2 m/s.

A [Figura 6.52](#) mostra os quartis das perdas de carga unitárias e velocidades quando a velocidade máxima admissível é de 2 m/s, que resultou no D_N igual à 32 mm. Na figura, observa-se que mais de 99% dos dados da perda de carga unitária estão abaixo de 0,05 m/m e apenas em situações de pontos fora da série de dados, a perda de carga unitária ultrapassa pouco mais de 0,10 m/m.

Figura 6.51: Quartis da amostra das perdas de cargas unitárias e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25\text{mm}$

Figura 6.52: Quartis da amostra das perdas de cargas unitárias e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25\text{mm}$

A [Figura 6.53](#) mostra as pressões e vazões do mesmo trecho de tubulação da [Figura 6.50](#), agora com D_N igual à 32 mm. Com esta nova configuração, é notório o abrandamento das perdas de carga no trecho, inclusive nos instantes com intenso nível de solicitação. Assim, será adotada a velocidade máxima admissível de 2 m/s para as tubulações do barrilete.

Figura 6.53: Pressões e velocidades no primeiro trecho de tubulação da coluna de água fria nos dias 1 e 31 da Simulação 3, com $D_N = 25\text{mm}$

Assim como na Simulação 1, será estudada as pressões e velocidades nos pontos mais desfavoráveis do sistema, como é o caso do chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1 do último pavimento, que é um apartamento do Tipo 3 da [Tabela 6.5](#). A [Figura 6.54](#) apresenta as pressões desse aparelho sanitário nos dias 1 e 31 da simulação. Os resultados mostram as ocorrências de pressões negativas, que ultrapassaram os 10 m.c.a. Uma das possíveis causas dessa pressão negativa no ponto de utilização é a elvada perda de carga no medidor do apartamento, mostrado na [Figura 6.55](#). No gráfico, é possível observar a existência de valores de vazão que resultaram em mais de 20 m.c.a. de perda de carga causadas pelo medidor.

Diante das considerações feitas a partir das [Figuras 6.54](#) e [6.55](#), serão trocados os medidores com vazão nominal de $0,75\text{ m}^3/\text{h}$ pelos medidores com vazão nominal de $2,5\text{ m}^3/\text{h}$, além da redução da velocidade máxima admissível para 0,8 m/s nas tubulações internas dos apartamentos.

Figura 6.54: Pressões no chuveiro do banheiro da suíte do Apartamento 1, do décimo segundo andar, nos dias 1 e 31 da Simulação 3

Figura 6.55: Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

A [Figura 6.56](#) mostra os quartis das perdas de carga no medidor com vazão nominal de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Com a utilização dessa vazão nominal, mais de 99% dos dados da perda de carga ficaram abaixo de 1,5 m.c.a., sendo este valor ultrapassado apenas quando a vazão no medidor é maior que 0,5 L/s.

Na [Figura 6.57](#), onde é mostrado os quartis das amostras de pressão e vazão do chuveiro estudadas durante a simulação, observa-se que a pressão do chuveiro está acima dos 3 m.c.a. em grande parte dos dados (> 99%); todavia, ainda há pressões negativas nos dias 7 e 26 da simulação. Tendo em vista a raridade desse evento em relação à amostra e que este estudo é apenas um exemplo de aplicação da simulação, essas ocorrências foram desconsideradas.

A [Figura 6.58](#) mostra o resumo da variação dos diâmetros internos das tubulações da coluna de distribuição do edifício em função do número de apartamentos servidos, quando considerados os mesmos critérios de velocidade admissível. Para este estudo, foram utilizadas as vazões obtidas através da simulação e pelo Método dos Pesos Relativos. No gráfico da esquerda, observa-se que os diâmetros internos dos trechos das tubulações da coluna de distribuição foram os mesmos em nove pavimentos, sendo os obtidos através da simulação iguais ou menores aos obtidos através do método dos pesos.

Figura 6.56: Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

Figura 6.57: Quartis da amostra das perdas de carga e das vazões que ocorreram no medidor do Apartamento 1 do décimo segundo pavimento

Figura 6.58: Diferença entre os diâmetros dimensionados através da vazão de projeto da simulação e pelo método dos pesos

Ainda na [Figura 6.58](#), o gráfico da direita demonstra a taxa de variação dos diâmetros internos quando considerados todos os componentes e, também, quando considerados apenas os que tiveram variação nos diâmetros, quando comparadas as duas amostras. Ao se considerar todos os componentes, houve uma redução média de 17,6% dos diâmetros internos, com desvio padrão de 14%. Como pode ser visto no gráfico, houve trechos com redução perto de 50%. Quando considerado apenas os componentes em que houve redução do diâmetro interno, a redução média foi de 26%, com desvio padrão de 7,6%. Em termos de consumo de material, o sistema dimensionado de acordo com as considerações feitas ao longo desta seção resultou em um total de 321,11 kg de PVC, enquanto o sistema dimensionado utilizando o Método dos Pesos Relativos resultou em um total de 439,20 kg, um aumento de aproximadamente 27%.

6.4 Discussão dos resultados

As simulações 1, 2 e 3 mostraram a variabilidade de resultados que pode ser obtida ao substituir o tipo do chuveiro dos apartamentos. Na Simulação 1, quando adotado um chuveiro de baixa vazão ($\mu = 0,07$ L/s e $\sigma = 0,01$ L/s), o consumo total de água por usuário nos 31 dias de simulação foi 65% menor que o consumo da Simulação 2, quando adotado um chuveiro de vazão elevada ($\mu = 0,35$ L/s e $\sigma = 0,03$ L/s). Na Simulação 3, onde foi distribuído vários tipos de chuveiros diferentes pelo edifício ($\mu = 0,15$ L/s e $\sigma = 0,07$ L/s), o consumo por usuário foi 54% maior que na Simulação 1 e 55% menor que na Simulação 2.

Para o dimensionamento dos medidores, foi estudada a representatividade da utilização da vazão de projeto, em m^3/h , para a estimativa da vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) do medidor. Para isso, foram obtidos alguns valores de vazão com diferentes intervalos de tempo, nesse caso, δ_t igual à 1, 10, 30, 60 e 300 segundos. A [Tabela 6.7](#) apresenta o erro relativo da vazão de projeto em relação às vazões obtidas para os diferentes δ_t . Os resultados mostram que 50% dos valores de vazão foram idênticos aos da vazão de projeto do trecho, principalmente

nos intervalos com δ_t igual à 10 e 30 segundos. Além disso, 84% dos dados tiveram erro relativo menor que 10%. Logo, a utilização da vazão projeto para a estimativa da vazão máxima dos medidores mostrou-se adequada.

Tabela 6.7: Comparação da vazão de projeto instantânea com as vazões de diferentes δ_t

Referência	δ_t (segundos)							
	10		30		60		300	
$Q(m^3/h)$	$Q(m^3/h)$	Erro relativo	$Q(m^3/h)$	Erro relativo	$Q(m^3/h)$	Erro relativo	$Q(m^3/h)$	Erro relativo
0,61	0,61	0%	0,57	7%	0,54	13%	0,45	36%
1,72	1,72	0%	1,72	0%	1,7	1%	1,67	3%
1,36	1,36	0%	1,36	0%	1,36	0%	1,29	5%

Em todas as simulações, o dimensionamento dos medidores baseado apenas na vazão máxima mostrou-se inadequado, diante da grande perda de carga causada pelo aparelho. Urge mencionar que o sistema físico simulado não considerou a utilização de pressurizadores de água como solução da baixa pressão disponível nas tubulações dos últimos pavimentos e, por isso, trocou-se os medidores. Caso haja pressurizadores ou o medidor está em uma zona de pressão que satisfaça as pressões mínimas necessárias, este tipo de dimensionamento pode ser considerado. Coincidentemente, os medidores foram substituídos pelo terceiro medidor comercial acima do dimensionado, quando foi considerada apenas a vazão máxima, em todas as três simulações.

Na simulação 1, a vazão de projeto foi inferior à obtida pelo Método dos Pesos Relativos em todos os componentes do sistema, com taxa de redução média de 61% e desvio padrão de 13%. Nas Simulações 2 e 3, os trechos que abastecem os chuveiros de alta vazão, sempre apresentaram vazão de projeto superior à obtida através do Método dos Pesos Relativos. Considerando-se estes resultados, frise-se que o propósito do trabalho não é de apresentar reduções da vazão de projeto quando comparado com o Método dos Pesos Relativos, mas sim propor uma simulação que chegue o mais próximo possível de situações reais de uso do sistema. Como visto nos dados coletados em campo na [Capítulo 5](#), dependendo do padrão do edifício, o uso de chuveiros com alta vazão pode ser comum. Ainda assim, a Simulação 2 teve taxa de redução média das vazões de projeto no valor de 3,61%, com desvio padrão de 61% e a Simulação 3 teve taxa de redução média de 25%, com desvio padrão de 45%.

O processo de dimensionamento dos diâmetros dos componentes do sistema, expôs a inexistência de confiabilidade dos métodos tradicionais de dimensionamento, baseados apenas em valores fixos de vazão de projeto e de velocidade máxima admissível. Nas três simulações feitas, a velocidade máxima admissível dos trechos foi relativizada em função da análise do comportamento do sistema, e diferentes valores foram utilizados de acordo com as amostras consideradas. Essa análise envolveu o estudo dos quartis dos dados,

principalmente em função da perda de carga unitária e velocidade de escoamento, para cada dia das simulações.

Quando considerado os mesmos parâmetros de velocidade máxima admissível, a Simulação 1 apresentou uma redução média dos diâmetros internos de 15%, com desvio padrão de 16%; a Simulação 2 apresentou uma redução de 12% com desvio padrão de 14%; já a Simulação 3 apresentou uma redução de 17,6% dos diâmetros internos, com desvio padrão de 14%. Vale evidenciar que os valores das velocidades máximas admissíveis utilizados foram obtidos em função do estudo de confiabilidade realizado no trabalho. É provável que, caso o Método dos Pesos Relativos fosse aplicado diretamente, os valores limites seriam inferiores e resultariam em diâmetros maiores. Ainda assim, os resultados foram satisfatórios, visto que o consumo de PVC do sistema, quando utilizado o Método dos Pesos Relativos, foi em média 32% superior, considerando as três simulações.

Capítulo 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, estudou-se os diferentes aspectos no que tange ao dimensionamento das tubulações em sistemas prediais de distribuição de água. O objeto de estudo deste trabalho foi a proposição de um modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais, que contemplou a modelagem comportamental dos usuários e a interação destes com o sistema, a fim de aperfeiçoar o processo de dimensionamento dos sistemas prediais de distribuição de água.

Com a estruturação das variáveis que intervêm no nível de solicitação em sistemas prediais de distribuição de água, direcionou-se o estudo para a aplicação em edifícios residenciais. Sendo assim, foi discutida uma metodologia que atendeu a forma como essas variáveis podem ser tratadas dentro de modelos com o objetivo mencionado.

Para a obtenção das funções de probabilidade que foram utilizadas no modelo, fez-se uma revisão bibliográfica dos trabalhos publicados dentro do contexto nacional. Com estes trabalhos, foi possível estabelecer funções de probabilidade, com os respectivos parâmetros, para as variáveis aleatórias que descrevem a interação entre os usuários e os aparelhos sanitários. A estruturação dos elementos de entrada do modelo consolidou uma base de dados a qual pode ser utilizada em diferentes âmbitos dos projetos de sistemas prediais hidráulicos.

No tocante à coleta de dados em campo, algumas observações podem ser feitas:

- é possível estabelecer a frequência diária e o momento do dia de acionamento do chuveiro através da *survey*. Além disso, com a metodologia utilizada para obtenção dos dados em campo, é possível estabelecer a duração e a vazão de utilização do chuveiro. Para cada apartamento medido, obteve-se uma função de probabilidade que se mostrou a mais adequada;
- tanto as vazões máximas como as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência, obtidas nos medidores dos apartamentos medidos, foram inferiores às calculadas através do Método dos Pesos Relativos. O aumento médio foi de 192% quando consideradas as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência;
- nas medições realizadas, foi detectada uma correlação entre a vazão média dos chuveiros dos apartamentos e as vazões com 99% de probabilidade de ocorrência, assim como entre aquelas e as máximas. Isso aponta para a grande influência do chuveiro nas solicitações com maior magnitude nos apartamentos monitorados;
- foi possível estabelecer que na coleta realizada, a vazão de projeto possuiu correlação

com os horários que os habitantes utilizaram o chuveiro e não com o número de habitantes dos apartamentos;

- foi identificada uma grande correlação entre as rotinas dos usuários, através da *survey*, e o perfil da demanda de água dos apartamentos. A partir desses dados, foi possível estabelecer as probabilidades inerentes à variável aleatória τ do modelo.

As simulações mostraram a variabilidade de resultados que podem ser encontrados para um mesmo sistema físico de distribuição de água, apenas com a variação do tipo de chuveiro dos apartamentos. Esses resultados, elucidam a discussão abordada ao longo do trabalho acerca do tratamento sistêmico necessário na abordagem do tema. Muitas são as possibilidades de variações dos dados de entrada do modelo, tanto quanto a caracterização das ações dos usuários, como em relação a resposta do sistema a essas ações.

Nos trechos de tubulação do barrilete, o valor da vazão de projeto obtida através da simulação variou entre 1,02 L/s e 3,39 L/s, enquanto o calculado pelo Método dos Pesos Relativos foi de 3,77 L/s, um aumento médio que variou entre 10% a 73%. Quando comparadas as vazões obtidas pelos dois métodos, considerando todos os componentes do sistema, a redução da vazão de projeto variou entre 4% e 61%. Vale ressaltar que houve trechos em que a vazão de projeto aumentou. Dessa forma, salienta-se que o objeto do trabalho não é de apresentar reduções da vazão de projeto quando comparado com o Método dos Pesos Relativos, mas sim propor uma simulação que chegue o mais próximo possível de situações reais de uso do sistema.

O processo de dimensionamento dos medidores apontou para a relevância da utilização de Modelos de simulação com essa finalidade, uma vez que tanto o comportamento das vazões como das perdas de carga podem ser estudados com maior compreensão. As escolhas dos medidores baseados apenas nas vazões de projeto podem ocasionar perdas de carga acima do previsto, quando as solicitações são de grande magnitude e é possível prever sem o uso de modelos com essas características.

Além disso, o estudo mostrou que a avaliação do comportamento real do sistema evidencia a insegurança existente no processo de dimensionamento dos sistemas prediais de distribuição de água comumente empregado. O dimensionamento baseado em vazões de projeto, sejam elas determinísticas ou de natureza probabilística, não garante a previsibilidade de comportamento necessário para o dimensionamento dos diâmetros mais econômicos. As velocidades máximas admissíveis dos trechos podem ser relativizadas em função da avaliação do comportamento do sistema e seu valor pode variar em função da amostra de dados de vazão considerados.

O processo de dimensionamento aplicado neste trabalho resultou na redução média dos diâmetros internos das tubulações do sistema, os quais variaram entre 12% e 17,6%, quando comparados com o Método dos Pesos Relativos. Insta mencionar que foi utilizando o

mesmo critério de velocidades máximas admissíveis nos dois casos. Em termos de consumo de material, a redução ficou entre 25% a 63%.

Diante da relevância dos resultados apresentados, pode-se sugerir os seguintes aspectos a serem abordados em trabalhos futuros:

- ampliar as pesquisas de campo, envolvendo um maior número de apartamentos e usuários, a fim de obter parâmetros mais precisos sobre a demanda da água;
- aperfeiçoar a modelagem comportamental dos usuários do sistema com a inclusão da lógica nebulosa para a modelagem de certos hábitos e tendências;
- aplicar a modelagem em outros sistemas prediais, como de esgotamento sanitário, distribuição de água quente, gás combustível e de energia elétrica;
- acrescentar ao algoritmo computacional do modelo as considerações sobre a vazão de descarga do aparelho sanitário e a pressão disponível, tornando a simulação ainda mais real;
- estender a aplicação do modelo para redes públicas de distribuição de água, visando avaliar o impacto do uso de equipamentos economizadores de água na demanda de água.

REFERÊNCIAS

- AL-SHEMMERI, T. **Engineering Fluid Mechanics**. [S.l.]: Ventus Publishing ApS, 2012. 147 p. ISBN 978-87-403-0263-9.
- ALITCHKOV, D. K. Implementation of Stochastic Model for Simulation of the flow rates in the water supply and drainage systems for buildings. In: **W062 - Proceedings of the 24th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings**. Roterdã, Países Baixos: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198**: Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 1993. 6 p.
- _____. **NBR 8009**: Hidrômetro taquimétrico para água fria até $15,0 \text{ m}^3/h$ de vazão nominal. Rio de Janeiro, 1997. 26 p.
- _____. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998. 41 p.
- _____. **NBR 15705**: Instalações hidráulicas prediais – registro de gaveta – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009. 26 p.
- _____. **NBR 5648**: Tubos e conexões de pvc-u com junta soldável para sistemas prediais de água fria — requisitos. Rio de Janeiro, 2010. 29 p.
- _____. **PROJETO 02:146.03-003/1**: Sistemas prediais de água fria e água quente – procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 66 p.
- AUGENBROE, G. Trends in building simulation. **Building and Environment**, v. 37, n. 8-9, p. 891–902, 2002. ISSN 03601323.
- BARRETO, D.; MEDEIROS, O. Caracterização da vazão e frequência de uso de aparelhos sanitários. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 4, p. 137–149, 2008. Disponível em: <seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5939/4713>.
- BLOKKER, E. J. M.; VREEBURG, J. H. G.; Van Dijk, J. C. Simulating Residential Water Demand with a Stochastic End-Use Model. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 136, n. January/February, p. 19–26, jan 2010. ISSN 0733-9496. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000002](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000002)>.
- BREESE, J. Solving the Mixed System Problem. **Plumbing Engineer**, v. 29, n. 3, p. 40–45, 2001.
- BUCHBERGER, S. G. et al. **Peak Water Demand Study: Probability Estimates for Efficient Fixtures in Single and Multi-family Residential Buildings**. [S.l.], 2015.
- BUCHBERGER, S. G.; WU, L. Model for Instantaneous Residential Water Demands. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 121, n. 3, p. 232–246, mar 1995. ISSN 0733-9429. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1995\)121:3\(232\)](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:3(232))>.

BUTLER, D. The influence of dwelling occupancy and day of the week on domestic appliance wastewater discharges. **Building and Environment**, v. 28, n. 1, p. 73–79, 1993. ISSN 03601323. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/036013239390008Q>>.

CLAMOND, D. Efficient Resolution of the Colebrook Equation. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 48, n. 7, p. 3665–3671, apr 2009. ISSN 0888-5885. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie801626g>>.

CLARKE, J. Assessing building performance by simulation. **Building and Environment**, v. 28, n. 4, p. 419–427, oct 1993. ISSN 03601323. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/036013239390019Yhttp://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/036013239390019Y>>.

COURTNEY, R. A Multinomial Analysis of Water Demand. **Building and Environment**, v. 11, p. 203–209, 1976.

DONNELLY, K. P.; CARSON, W. The potencial for the use of stochastic modelling of water supply in buildings. In: **W062 - Proceedings of the 9th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings**. Universidade de Brunel, Londres, Inglaterra: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1980.

FERRARI, P. A.; GALVES, J. A. **Acoplamento e processos estocásticos**. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), 1997. 154 p.

GALOWIN, L. S. “Hunter” Fixture Units Development. In: **W062 - Proceedings of the 34th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings**. Hong Kong, China: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 2008. p. 58–80.

GEBERIT VERTRIEBS GMBH. **Trinkwasser Installation**: Trinkwasser installation: Leitfaden für die dimensionierung und ausführung von trinkwasserinstallationen. Pfullendorf, 2015. 116 p.

GONÇALVES, O. M. **Influência do uso simultâneo de aparelhos sanitários no dimensionamento de instalações prediais de água fria**. 1978. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1978.

GONÇALVES, O. M. **Formulação de modelo para o estabelecimento de vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água fria**. 1986. 203 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

GRAÇA, M. E. A. da; GONÇALVES, O. M. Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria - Determinação das Vazões de Projeto. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, v. 11, 1987.

HAJDU, M.; BOKOR, O. Sensitivity analysis in PERT networks: Does activity duration distribution matter? **Automation in Construction**, Elsevier B.V., v. 65, p. 1–8, may 2016. ISSN 09265805. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.01.003http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580516300073>>.

HUNTER, R. B. **Methods of estimating loads in plumbing systems**. [S.l.]: US Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1940. 78–85 p.

HUSAK, G. J.; MICHAELSEN, J.; FUNK, C. Use of the gamma distribution to represent monthly rainfall in Africa for drought monitoring applications. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 7, p. 935–944, jun 2007. ISSN 08998418. Disponível em: <http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/GLODAP/glodap{_}pdfs/Thermohaline.web.pdfhttp://doi.wiley.com/10.1002/joc.1>.

ILHA, M. S. d. O.; GONÇALVES, O. M. Estudos de parâmetros relacionados com a utilização de água quente em edifícios residenciais. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, v. 38, 1991.

ILHA, M. S. d. O.; OLIVEIRA, L. H. de; GONÇALVES, O. M. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros? **Eng. Sanit. Ambient**, v. 15, n. 2, p. 177–186, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. : Sinopse do censo demográfico. Rio de Janeiro, 2011. 261 p.

_____. : Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira. Rio de Janeiro, 2016. 141 p.

KLÜMPER, T. **Wasserverwendung - Trinkwasser-Installation**. [S.l.]: Oldenbourg, 2000. (Lehr- und Handbuch Wasserversorgung). ISBN 9783486263909.

KONEN, T. P.; Brady Jr., P. M. A review of the parameters in the Hunter model for estimating the demand for water supply and drainage. In: **W062 - Proceedings of the 3th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings**. Hørsholm, Dinamarca: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1974.

KONEN, T. P.; GONÇALVES, O. M. Summary of Mathematical Models for the Design of Water Distribution Systems Within Buildings. In: **W062 - Proceedings of the 20th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings**. Porto, Portugal: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1993.

L'ECUYER, P. Uniform Random Number Generators: a Review. In: **Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference**. [S.l.: s.n.], 1997. p. 127 – 134. ISBN 0-7803-4278-X. ISSN 02750708.

MANAS, V. **National plumbing code handbook: standards and design information**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1957. (McGraw-Hill handbooks).

MATSUMOTO, M.; NISHIMURA, T. Mersenne twister: a 623-dimensionally equidistributed uniform pseudo-random number generator. **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, v. 8, n. 1, p. 3–30, jan 1998. ISSN 10493301. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=272991.272995>>.

MAZUMDAR, A.; JAMAN, H.; DAS, S. Modification of Hunter's Curve in the Perspective of Water Conservation. **Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice**, v. 5, n. 1, 2014.

MUI, K. W.; WONG, L. T. A comparison between the fixture unit approach and Monte Carlo simulation for designing water distribution systems in high-rise buildings. **Water SA**, v. 37, n. 1, p. 109–114, 2011.

MURAKAWA, S. Study on the method for calculating water consumption and water uses in multi-story flats. In: **W062 - Proceedings of the 13th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings**. Tóquio, Japão: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1985.

OLIVEIRA, L. H. de. **Modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada empregando a lógica nebulosa e o método de Monte Carlo**. 2010. 111 p. Tese (Livre-docência junto ao Departamento de Engenharia de Construção Civil) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, L. H. de et al. Modelling of water demand in building supply systems using fuzzy logic. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 34, n. 2, p. 145–163, may 2013. ISSN 0143-6244. Disponível em: <http://bse.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0143624411429381>.

OMAGHOMI, T. **Analysis of Methods for Estimating Water Demand in Buildings**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — University of Cincinnati, 2014.

OMAGHOMI, T.; BUCHBERGER, S. G. Estimating Water Demands in Buildings. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1013–1022, 2014. ISSN 18777058. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814023340><http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814023340>.

PEREIRA, L. G. **Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

PETRUCCI, A. L. **Metodologia para seleção de configuração de sistemas prediais de água em edificações que abriguem múltiplas economias**. 2001. 503 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001.

PETRUCCI, A. L.; GONÇALVES, O. M. Dimensionamento de redes prediais de água sob vazões reais. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 4, p. 27–37, 2002. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/viewArticle/3432>.

_____. A Computational Simulation Model for Sizing and Evaluating a Water-Distribution Systems in Buildings. In: **W062 - Proceedings of the 29th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings**. Ancara, Turquia: [s.n.], 2003.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. [S.l.]: EESC, 2006. ISBN 9788576560845.

RIPLEY, B. D. **Stochastic Simulation**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1987. (Wiley Series in Probability and Statistics). ISBN 9780470316726. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470316726>.

ROSS, S. M. **Simulation**. Fifth edit. [S.l.]: Academic Press, 2013. 310 p. ISBN 9780124158252.

SHONKWILER, R. W.; MENDIVIL, F. **Explorations in Monte Carlo Methods**. New York, NY: Springer New York, 2009. (Undergraduate Texts in Mathematics). ISBN 978-0-387-87836-2. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-87837-9>>.

SOUZA, P. A.; MARTINS, J. R. S.; Fadiga Jr., F. M. **Métodos Computacionais Aplicados a Engenharia Hidráulica**. São Paulo: CTH-USP, 1991. 170 p.

TINDALL, J.; PENDLE, J. A comparison of UK domestic water services sizing methods with each other and with empirical data. **Building Services Engineering Research and Technology**, p. 014362441771900, jul 2017. ISSN 0143-6244. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0143624417719009>>.

WEBSTER, C. J. D. An investigation of the use of water outlets in multi-storey flats. **The Building Services Engineer (JIHVE)**, v. 39, p. 215–233, 1972.

WISTORT, R. A new look at determining water demand in buildings: ASPE direct analytical method. In: **American Society of Plumbing Engineers Convention**. Kansas City, Missouri: American Society of Plumbing Engineers, 1994.

WOLFF, J. B. Peak Demands in Residential Areas. **American Water Works Association**, v. 53, n. 10, p. 1251–1260, 1961.

WONG, L. T.; MUI, K. W. Modeling water consumption and flow rates for flushing water systems in high-rise residential buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2024–2034, may 2007. ISSN 03601323. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306000643>>.

_____. Stochastic modelling of water demand by domestic washrooms in residential tower blocks. **Water and Environment Journal**, v. 22, n. 2, p. 125–130, 2008. ISSN 1747-6585. Disponível em: <<http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L351737003\%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1111/j.1747-6593.2007.00087.x\%5Cnhttp://vb3lk7eb4t.search.serialssolutions.com/?sid=EMBASE&issn=17476585&id=doi:10.1111/j.1747-65>>.

ZUBEN, F. J. V. **Geradores de Números Aleatórios**. [S.l.]: Notas de aula da disciplina IA707 - Computação Evolutiva, 2011. 25 p.

Apêndices

APÊNDICE Capítulo A – MÉTODO DOS PESOS RELATIVOS RECOMENDADO PELA NBR 5626 (ABNT, 1998) E COMENTÁRIOS

No Anexo A da ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998), é possível encontrar ponderações sobre a necessidade de estabelecer uma demanda de água menor que a máxima possível, para a economia dos diâmetros das tubulações do sistema predial de distribuição de água. Neste sentido, o texto destaca as alternativas para o uso da teoria das probabilidades ou o uso de algum método obtido “a partir da experiência acumulada na observação de instalações similares” – leia-se “métodos empíricos”. Por fim, a norma traz o procedimento de cálculo das vazões a partir do Método dos Pesos Relativos, no item A.1.2¹.

O Método dos Pesos Relativos teve sua origem baseada no Método Alemão da Raiz-Quadrada, publicado pela *Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches* (DVGW)² (1940 apud MANAS, 1957, p. 24-4) – Associação Alemã de Gás e Água, em tradução direta. Conforme comentado por Manas (1957), este método utiliza a vazão do lavatório como referência para a obtenção de um “fator unitário de carga”. Para os demais aparelhos sanitários, este fator unitário de carga é estabelecido em função do quadrado do quociente entre a vazão do aparelho e a vazão de referência, conforme mostrado na Equação A.1.

$$f_i = \left(\frac{q_i}{q_{ref}} \right)^2 \quad (\text{A.1})$$

Onde,

f_i – fator unitário de carga do aparelho do tipo i ;

q_i – vazão do aparelho do tipo i ;

q_{ref} – vazão de referência (lavatório) ;

Para o cálculo da vazão de projeto, o fator unitário de carga de cada aparelho (f_i) é multiplicado pelo número de diferentes tipos de aparelhos servidos pelo trecho de tubulação em questão (n_i), são somados e, em seguida, é obtida a raiz quadrada deste valor. O resultado é multiplicado pela vazão de referência do lavatório. A Equação A.2 demonstra este procedimento.

¹ O projeto de norma 02:146.03-003/1 (ABNT, 2015), que cancela, unifica e substitui as normas ABNT NBR 5626:1998 (ABNT, 1998) e ABNT NBR 7198:1993 (ABNT, 1993), deixará de recomendar o uso do Método dos Pesos Relativos para o cálculo da vazão de projeto em cada trecho de tubulação, cabendo ao projetista a “adoção de um método reconhecido ou devidamente fundamentado, seja ele empírico ou probabilístico”. O projeto de norma ainda faz algumas ressalvas quanto à indicação do uso de modelos probabilísticos para obter a vazão de projeto em sistemas de distribuição com medição setorizada de consumo.

² **Richtlinien für die Berechnung der Kaltwasserleitungen in Hausanlagen.** Gas-und Wasserfaches. Vol. 83:29, 1940, p. 345.

$$Q = q_{ref} \sqrt{n_1 f_1 + n_2 f_2 + \dots + n_n f_n}$$

$$Q = q_{ref} \sqrt{\sum_{i=1}^n n_i f_i} \quad (\text{A.2})$$

Onde,

Q – vazão de projeto no treco considerado;

n_i – número total de aparelho do tipo i à jusante do trecho considerado;

n – número de diferente tipos de aparelho sanitário à jusante do trecho considerado;

q_{ref} e f_i – já foram definidos.

Mesmo se tratando de uma publicação do final dos anos 50 do século XX, [Manas \(1957\)](#) comentou alguns aspectos negligenciados quando na utilização deste método, como a não consideração da frequência e duração de uso de um determinado aparelho sanitário. Também comentou que os aparelhos sanitários de edifícios públicos não são diferenciados de aparelho sanitários de edifícios privados. Estes adendos feito por [Manas \(1957\)](#) podem ser entendidos como uma comparação com o Método de Hunter ([HUNTER, 1940](#)), principalmente quando o autor comenta que “a virtude deste método é a facilidade de entender, uma vez que os conceitos complexos envolvidos na aplicação da teoria da probabilidade são substituídos pela consideração de que a vazão de projeto é dada por uma simples raiz quadrada”.

O Método dos Pesos Relativos, descrito na ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)), é mostrado na [Equação A.3](#). É notória a semelhança entre a [Equação A.2](#) e a [Equação A.3](#), basta definir a vazão de referência³ (q_{ref}) igual à 0,30 L/s e que os “pesos” representa o chamado “fator unitário de carga”, conforme mostrado na [Equação A.1](#).

$$Q = 0,3 \sqrt{\sum P} \quad (\text{A.3})$$

Onde,

Q – é a vazão estimada na seção considerada, em L/s;

$\sum P$ – é a soma dos pesos relativos de todas as peças de utilização alimentadas pela tubulação considerada.

A [Tabela A.1](#) mostra a comparação entre os valores dos “pesos” recomendados pela ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)) e o cálculo do fator unitário de carga de cada aparelho sanitário, através da [Equação A.1](#), quando a vazão de referência é igual à 0,3 L/s.

³ Curiosamente, em versões mais antigas da ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)) como a ABNT NB-92 de 1973 e 1980, a variável “vazão de referência”, denotado por q_{ref} no Método Alemão da Raiz-Quadrada, foi chamada de “Coeficiente de descarga”, denotado por C . Cabe salientar que em Mecânica dos Flúidos, o Coeficiente de Descarga é adimensional e representa a relação entre a vazão real e vazão teórica, em função da abertura do orifício.

Tabela A.1: Comparação entre os pesos recomendados pela ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998) e os calculados através da Equação A.1

Aparelho sanitário	Vazão (L/s)	Pesos	
		ABNT (1998)	Equação A.1
Bacia sanitária (caixa)	0,15	0,3	0,3
Bacia sanitária (Válvula)	1,7	32,0	32,1
Banheira	0,3	1,0	1,0
Bebedouro	0,1	0,1	0,1
Bidê	0,1	0,1	0,1
Chuveiro ou ducha	0,2	0,4	0,4
Chuveiro elétrico	0,1	0,1	0,1
Máquina de lavar pratos	0,3	1,0	1,0
Máquina de lavar roupas	0,3	1,0	1,0
Lavatório	0,15	0,3	0,3
Mictório com sifão	0,5	2,8	2,8
Mictório sem sifão	0,15	0,3	0,3
Mictório calha (por metro)	0,15	0,3	0,3
Pia	0,25	0,7	0,7
Pia com torneira elétrica	0,1	0,1	0,1
Tanque	0,25	0,7	0,7
Torneira de jardim	0,2	0,1	0,4

Conforme mostrado na Tabela A.1, apenas o peso atribuído ao aparelho sanitário “Bacia sanitária (válvula)” diferiu do valor resultante quando aplicada a Equação A.1, ainda que seja uma diferença pequena. Vale ressaltar a incoerência de atribuir “peso” ao aparelho sanitário “Mictório calha”, uma vez que este opera com vazão contínua durante todo o tempo e não faz sentido atribuir simultaneidade de uso – o correto, neste caso, é somar a vazão deste aparelho diretamente à vazão de projeto.

O Método Alemão da Raiz Quadrada (DVGW, 1940 apud MANAS, 1957, p. 24-4) descrito anteriormente através das Equações A.1 e A.2, seguiu como procedimento padrão alemão até a publicação da norma técnica DIN 1988 *Teil 3 – Ermittlung der Rohrdurchmesser und Beiblatt hierzu*. Nesta, houve a distinção das tipologias de edifícios existentes e novos parâmetros foram atribuídos à Equação A.2, de acordo com o tipo do edifício projetado. Klümper (2000) comenta que estas mudanças foram motivadas por causa dos resultados superestimados obtidos a partir formulação original. Como consequência disto, o autor cita o cálculo incorreto das pressões no sistema, o dimensionamento incorreto das tubulações, desperdício de água, dentre outros.

Desde então, várias revisões foram feitas na DIN 1988-3. Por exemplo, a DIN 1988-300:2012 recomenda a Equação A.4 para a determinação da vazão máxima provável (GEBERIT, 2015), que envolve diferentes coeficientes que variam de acordo com a tipologia

do edifício considerado.

$$Q = a \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^b - c \quad (\text{A.4})$$

A Equação A.4, quando comparada com a Equação A.2, excluiu de sua formulação o “fator unitário de carga”, ou o “peso”, como chamado pela ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998), e propôs que o projetista entre diretamente com a vazão unitária de cada aparelho sanitário do tipo i . Além disso, variaram a vazão de referência (a ou q_{ref}) e o valor do expoente do somatório (b) de acordo com a tipologia aplicada e incluiu o coeficiente c que subtrai o resultado do somatório. A Tabela A.2 mostra os valores dos coeficientes a , b e c para cada tipo de edifício e a Figura A.1 mostra um gráfico relaciona o somatório das vazões dos aparelhos e a vazão de projeto.

Tabela A.2: Identificação das tipologias comuns na Alemanha e atribuição de diferentes coeficientes para cada uma delas

Tipo de edifício	a	b	c
Enfermaria de hospitais	0,75	0,44	0,18
Casas de repouso	1,4	0,14	0,92
Edifícios residenciais	1,48	0,19	0,94
Escolas, prédios de administração, sedes de empresa	0,91	0,31	0,38
Hotéis	0,7	0,48	0,13

Figura A.1: Estudo das vazões de projeto obtidas pelos diferentes métodos

Fonte: adaptado de Geberit (2015)

APÊNDICE Capítulo B – COMPONENTES DO SISTEMA PREDIAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

Neste capítulo, é apresentado todos os componentes do sistema predial de distribuição de água utilizados na simulação do [Capítulo 6](#), assim como foi descrito o procedimento utilizado para o cálculo da perda de carga em função do tipo do componente. Para isto, a massa específica da água (ρ) foi estimada através da [Equação B.1](#) (SOUZA; MARTINS; Fadiga Jr., 1991), válida no intervalo de temperatura $4^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30,9^{\circ}\text{C}$.

$$\rho = 10 \left(\sum_{i=0}^5 a_i \left(\frac{T}{100} \right)^i \right) + 990 \quad (\text{B.1})$$

Onde T é a temperatura da água em $^{\circ}\text{C}$, ρ é a massa específica da água em kg/m^3 e

$$a_i = \begin{cases} 0,98565 & \text{para } i = 0 \\ 0,72879 & \text{para } i = 1 \\ -9,83586 & \text{para } i = 2 \\ 14,83336 & \text{para } i = 3 \\ -24,84859 & \text{para } i = 4 \\ 20,36825 & \text{para } i = 5 \end{cases}$$

A viscosidade dinâmica (μ), em $\text{Pa} \cdot \text{s}$, foi estimada através da [Equação B.2](#) (AL-SHEMMERI, 2012), com T em Kelvin. Por fim, o cálculo da viscosidade cinemática (ν), em m^2/s , foi feito a partir da [Equação B.3](#) (SOUZA; MARTINS; Fadiga Jr., 1991).

$$\mu = 2,414 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{\left(\frac{247,8}{T - 140} \right)} \quad (\text{B.2})$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{B.3})$$

Através das [Equações B.1 a B.3](#), pode-se obter que as propriedades físicas da água à 20°C , inclusive estas foram utilizadas na simulação: massa específica (ρ) igual à $998,23 \text{ kg}/\text{m}^3$, coeficiente de viscosidade dinâmica (μ) igual à $0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ e coeficiente de viscosidade cinemática (ν) igual à $1,003 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

B.1 Tubos de PVC

A ABNT NBR 5648 ([ABNT, 2010](#)) estabelece as dimensões dos tubos de PVC utilizados em sistemas prediais de distribuição de água. A [Tabela B.1](#) mostra os diâmetros nominais

Tabela B.1: Dimensões dos tubos de PVC em milímetros

Diâmetro nominal (D_N)	Diâmetro externo (D_E)	Espessura (e)	Diâmetro interno (D_i)	Massa por metro (kg/m)
15	20	1,5	17	0,137
20	25	1,7	21,6	0,194
25	32	2,1	27,8	0,306
32	40	2,4	35,2	0,446
40	50	3	44	0,696
50	60	3,3	53,4	0,918
65	75	4,2	66,6	1,467
75	85	4,7	75,6	1,881
100	110	6,1	97,8	3,112

(D_N), os diâmetros externos e as espessuras da parede, em milímetros, recomendados pela norma.

Para o cálculo da perda de carga unitária em tubos, a ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda a utilização da equação de *Darcy-Weisbach*, também chamada de “equação universal”, mostrada na Equação B.4 (SOUZA; MARTINS; Fadiga Jr., 1991; PORTO, 2006). Na falta do coeficiente de rugosidade da tubulação de PVC, esta mesma norma recomenda a utilização das expressões de *Fair-Whipple-Hsiao* (Equação B.5), obtidas de forma empírica (PORTO, 2006).

$$J = \frac{8fQ^2}{\pi^2 D_i^5 g} \quad (\text{B.4})$$

$$J = 8,695 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{Q^{1.75}}{D_i^{4.75}} \quad (\text{B.5})$$

Onde,

J – perda de carga unitária, em mca por metro;

f – fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional);

Q – vazão do líquido no interior do tubo, em m^3/s ;

D_i – diâmetro interno do tubo, em metro;

g – aceleração da gravidade local, em m/s^2 .

Diante das variáveis envolvidas no cálculo da perda de carga através da Equação B.4, resta uma metodologia para o cálculo do fator de atrito de *Darcy-Weisbach*. Para isto, deve-se classificar o escoamento com base nos valores assumidos pelos adimensionais denominados Número de Reynolds (Re), mostrado na Equação B.6, e Rugosidade Relativa, mostrado na Equação B.7. O valor da rugosidade absoluta (ε) do tubo de PVC varia entre 0,0015 e

0,010 milímetros (PORTO, 2006).

$$R_e = \frac{4Q}{\pi D\nu} \quad (\text{B.6})$$

$$\text{Rugosidade relativa} = \frac{\varepsilon}{D_i} \quad (\text{B.7})$$

Assim, de acordo com a classificação do escoamento em função do Número de Reynolds, as considerações sobre o fator de atrito podem ser feitas (SOUZA; MARTINS; Fadiga Jr., 1991; PORTO, 2006):

- escoamento laminar, quando $R_e < 2500$, onde f pode ser calculado por:

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (\text{B.8})$$

- escoamento turbulento, quando $R_e > 4000$, pode ser dividido em:

- hidraulicamente liso, onde f pode ser calculado por:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2,51}{R_e\sqrt{f}}\right), \quad \text{quando} \quad \frac{R_e\sqrt{f}}{D_i/\varepsilon} < 14 \quad (\text{B.9})$$

- hidraulicamente rugoso, onde f pode ser calculado por:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3,71D_i}\right), \quad \text{quando} \quad \frac{R_e\sqrt{f}}{D_i/\varepsilon} > 200 \quad (\text{B.10})$$

- hidraulicamente misto, onde f pode ser determinado através da fórmula implícita de *Colebrook-White*, mostrada na Equação B.11. Porto (2006) salienta a dificuldade computacional para a utilização da Equação B.11, visto que não se pode explicitar o valor de f . Diante disto, algumas fórmulas explícitas e aproximadas, para a determinação do fator de atrito, vem sendo desenvolvidas. Porto (2006) destacou os resultados apresentados pela equação geral de Swamee (Equação B.12), proposta em 1993, válida para os escoamentos laminar, turbulento liso, misto e turbulento rugoso. Além deste, Clamond (2009) desenvolveu um método numérico para resolver diretamente a Equação B.11 com baixo esforço computacional e tempo de processamento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3,71D_i} + \frac{2,51}{R_e\sqrt{f}}\right) \quad \text{quando} \quad 14 \leq \frac{R_e\sqrt{f}}{D_i/\varepsilon} \leq 200 \quad (\text{B.11})$$

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{R_e}\right)^8 + 9,5 \left[\ln\left(\frac{\varepsilon}{3,7D_i} + \frac{5,74}{R_e^{0.9}}\right) - \left(\frac{2500}{R_e}\right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (\text{B.12})$$

- escoamento crítico, quando $2500 \leq R_e \leq 4000$, o valor de f não fica caracterizado. [Souza, Martins e Fadiga Jr. \(1991\)](#) apresentaram uma interpolação, utilizando polinômios de Hermite, entre o final do regime laminar e o início do regime turbulento misto, mostrado nas [Equações B.13 a B.18](#).

$$E = \left[\frac{2(R_e - 2500)}{1500} - 1 \right] \quad (\text{B.13})$$

$$\phi_1 = \frac{(E - 1)^2 \cdot (E + 2)}{4} \quad (\text{B.14})$$

$$\phi_2 = \frac{-(E + 1)^2 \cdot (E - 2)}{4} \quad (\text{B.15})$$

$$L_m = 10^{-\frac{\sqrt{R_e}}{16}} \quad (\text{B.16})$$

$$T = \begin{cases} \frac{5,62}{R_e^{0,9}}, & \text{para } \frac{d}{\varepsilon} \geq \frac{4000^{0,9}}{31} \\ \frac{\varepsilon}{3,71D_i}, & \text{para } \frac{d}{\varepsilon} \geq \frac{4000^{0,9}}{448} \\ \frac{\varepsilon}{3,71D_i} + \frac{5,62}{R_e^{0,9}}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{B.17})$$

$$f = \left[-2 \log(\phi_1 \cdot L_m + \phi_2 \cdot T) \right]^{-2} \quad (\text{B.18})$$

Diante de todas as considerações feitas acerca do fator de atrito de *Darcy-Weisbach* em função da classificação do regime do escoamento, utilizou-se o seguinte procedimento durante a simulação: a [Equação B.12](#) apresentou excelentes resultados para os escoamentos laminar, turbulento, misto e turbulento rugoso, quando comparada com a [Equação B.8](#), referente ao escoamento laminar, e ao método desenvolvido por [Clamond \(2009\)](#), que calcula o fator de atrito solucionando a [Equação B.11](#) através de métodos numéricos. Portanto, para $R_e < 2500$ e $R_e > 4000$ foi utilizada a [Equação B.12](#). Caso R_e esteja no intervalo de escoamento crítico, as [Equações B.13 a B.18](#) foram utilizadas.

B.2 Conexões de PVC

A Tabela A.3 da ABNT NBR 5648 ([ABNT, 2010](#)) apresenta os comprimentos equivalentes (L_e) para tubos lisos, como é o caso do PVC. Estes dados são apresentados na [Tabela B.2](#).

Tabela B.2: Comprimentos equivalentes de conexões de PVC

Diâmetro nominal (D_N) (mm)	Comprimento equivalente (m)							
	Cotovelo 90°	m (kg)	Cotovelo 45°	m (kg)	Tê passagem direta	m (kg)	Tê passagem lateral	m (kg)
15	1,1	0,015	0,4	0,015	0,7	0,022	2,3	0,022
20	1,2	0,026	0,5	0,026	0,8	0,038	2,4	0,038
25	1,5	0,043	0,7	0,043	0,9	0,062	3,1	0,062
32	2,0	0,088	1,0	0,088	1,5	0,118	4,6	0,118
40	3,2	0,127	1,0	0,127	2,2	0,152	7,3	0,152
50	3,4	0,186	1,3	0,186	2,3	0,259	7,6	0,259
65	3,7	0,386	1,7	0,386	2,4	0,505	7,8	0,505
80	3,9	0,566	1,8	0,566	2,5	0,718	8	0,718
100	4,3	1,103	1,9	1,103	2,6	1,431	8,3	1,431

B.3 Registros

De acordo com a ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998), existem dois tipos de registros comumente utilizado em sistemas prediais hidráulicos: os registros de fechamento e os registros de utilização. O primeiro tipo é definido como:

“Componente instalado na tubulação e destinado a interromper a passagem da água. Deve ser usado totalmente fechado ou totalmente aberto. Geralmente, empregam-se registros de gaveta ou registros de esfera. Em ambos os casos, o registro deve apresentar seção de passagem da água com área igual à da seção interna da tubulação onde está instalado”. (ABNT, 1998, p. 5)

O item A.2.3 do Anexo A da ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998), que estabelece os procedimentos para o cálculo da perda de carga no componentes de sistemas prediais hidráulicos, determina que os componentes deste tipo pode ter a sua perda de carga desconsiderada. A ABNT NBR 15705 (ABNT, 2009), que trata dos registros de gaveta utilizados nos sistemas hidráulicos prediais, frisa que “este tipo de registro caracteriza-se pelo seu baixo coeficiente de perda de carga, que é praticamente nulo, e pelo sistema de obstrução que ocorre através da inserção de uma cunha entre as duas sedes do registro”.

Já o registro de utilização é definido como:

“Componente instalado na tubulação e destinado a controlar a vazão da água utilizada. Geralmente empregam-se registros de pressão ou válvula-globo em sub-ramais”. (ABNT, 1998, p. 5).

Para o cálculo da perda de carga em registros de utilização, a ABNT NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda a utilização da equação de *Darcy-Weisbach* (Equação Universal) em

função do coeficiente de perda de carga do registro, mostrada na [Equação B.19](#).

$$\Delta_h = 8 \cdot 10^5 K \frac{Q^2}{\pi^2 D_i^4} \quad (\text{B.19})$$

Onde Δ_h é a perda de carga no registro, em mca; K é o coeficiente de perda de carga do registro, mostrado na [Tabela B.3](#); Q é a vazão na seção considerada, em litros por segundo e D_i é o diâmetro interno da tubulação em milímetros.

Tabela B.3: Valores máximo de coeficiente de perda de carga

Diâmetro nominal D_N (mm)	Diâmetro externo D_E (mm)	Valores de K
15	20	45
20	25	40
25	32	32

B.4 Hidrômetros

Conforme apresentado por [Pereira \(2007\)](#), os hidrômetros utilizados no Brasil devem atender às exigências da portaria do INMETRO N° 246 de 17 de outubro de 2000¹), que estabelece as condições que devem ser atendidas por estes componentes com faixa de vazão nominal de 0,6 à 15 m^3/h e temperatura inferior a 40°C.

Os hidrômetros que são fabricados atendem as seguintes vazões nominais, expressas em metros cúbicos por hora (m^3/h): 0,6 - 0,75 - 1,0 - 1,5 - 2,5 - 3,5 - 5,0 - 6,0 - 10,0 e 15,0. De acordo com a ABNT NBR 8009 ([ABNT, 1997](#)), a vazão máxima de um hidrômetro $Q_{m\acute{a}x}$ pode ser definida como maior vazão na qual o hidrômetro pode operar satisfatoriamente, por um curto período de tempo, permanecendo dentro dos limites de erros máximos admissíveis e abaixo do máximo de perda de carga. Ela corresponde ao dobro da vazão nominal do hidrômetro.

De acordo com [Ilha, Oliveira e Gonçalves \(2010\)](#),

“...o dimensionamento de hidrômetros em sistemas com medição coletiva tem sido tarefa das concessionárias de água no Brasil. Disso decorre, em geral, um desconhecimento dos projetistas de sistemas hidráulicos prediais sobre os diferentes aspectos envolvidos nessa tarefa.” ([ILHA; OLIVEIRA; GONÇALVES, 2010, 2. 5](#))

Em caso de medição individualizada de água em sistemas indiretos de abastecimento, o dimensionamento dos hidrômetros depende da estimativa das vazões de projeto. O método

¹ MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Portaria n° 246 de 17 de outubro de 2000**: Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial.. 2000.

utilizado por [Ilha, Oliveira e Gonçalves \(2010\)](#) para o dimensionamento considerou a escolha do hidrômetro com base na vazão de projeto, vazão máxima do hidrômetro ($Q_{m\acute{a}x}$) e verificação da perda de carga. De acordo com a ABNT NBR 5626 ([ABNT, 1998](#)), a perda de carga nos medidores de água pode ser estimada através da [Equação B.20](#).

$$\Delta_h = \frac{(36 \cdot Q)^2}{(Q_{m\acute{a}x})^2} \quad (\text{B.20})$$

Onde Q é a vazão de ocorrência no hidrômetro, Δ_h é a perda de carga em quilopascal e $Q_{m\acute{a}x}$ já foi definido.

APÊNDICE Capítulo C – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS APARTAMENTOS

Survey para o conhecimento de hábitos relacionados ao consumo de água em edifícios

Caracterização da residência

Apartamento: _____

Número de habitantes: ()

Composição familiar (exemplo: um pai, uma mãe, dois filhos):

Qual a frequência de uso da máquina de lavar roupas? (por exemplo: semanal, a cada três dias, etc.)

HABITANTE 1

Idade: _____

Gênero: _____

Tipo de trabalho: () fora de casa () em casa

Caracterização da rotina do usuário

Horário que costuma acordar: _____

Horário que costuma sair da residência: _____

Horário que o usuário retorna para a residência: _____

Horário que o usuário costuma dormir: _____

Refeições (que costuma fazer) em casa: () café da manhã () almoço () jantar () nenhuma

Número de banhos médio por dia: _____

Turno que costuma tomar banho: () manhã () tarde () noite

Número de utilizações da bacia sanitária por dia: _____

Possíveis ordens de atividades relacionadas ao uso de água

Após acordar: _____

Antes de sair de casa: _____

Após chegar em casa: _____

Antes de dormir: _____

Qual a frequência de uso da banheira? (por exemplo: semanal, a cada três dias, etc.)

HABITANTE 2

Idade: _____

Gênero: _____

Tipo de trabalho: () fora de casa () em casa

Caracterização da rotina do usuário

Horário que costuma acordar: _____

Horário que costuma sair da residência: _____

Horário que o usuário retorna para a residência: _____

Horário que o usuário costuma dormir: _____

Refeições (que costuma fazer) em casa: () café da manhã () almoço () jantar () nenhuma

Número de banhos médio por dia: _____

Turno que costuma tomar banho: () manhã () tarde () noite

Número de utilizações da bacia sanitária por dia: _____

Possíveis ordens de atividades relacionadas ao uso de água

Após acordar: _____

Antes de sair de casa: _____

Após chegar em casa: _____

Antes de dormir: _____

Qual a frequência de uso da banheira? (por exemplo: semanal, a cada três dias, etc.)