LÚCIA HELENA DE OLIVEIRA

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

CONSULTA
FT-2869

São Paulo
2010

LÚCIA HELENA DE OLIVEIRA

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

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Livre-Docente em Engenharia

São Paulo
2010

Fls. 5 9
Rub. lc

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

REITORIA

Proc. USP nº 05.1.4245.3.9
Portaria nº 1094
1322/2010

O REITOR DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, usando de suas atribuições legais, **E X P E D E** a presente Portaria para declarar que tendo LUCIA HELENA DE OLIVEIRA, Professor Doutor, ref. MS-3, do QDUSP-PG, em Regime de Dedicação Integral à Docência e à Pesquisa, lotada na Escola Politécnica (Departamento de Engenharia de Construção Civil), obtido o título de Livre-Docente, conforme elementos constantes do Processo USP nº 05.1.4245.3.9, fica, a contar de 31/08/2010, designada para exercer a função de Professor Associado, ref. MS-5, do mesmo Quadro, Parte, Regime e Lotação, nos termos do artigo 84 do Estatuto da Universidade de São Paulo.

Reitoria da Universidade de São Paulo, 10 SET 2010

JOÃO GRANDINO RODAS
Reitor

PUBLICADO NO D. O.
EM 14 SET 2010
SEPUBL-01-

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CJ.P.2285/2010
GFCM/rl

Autos n.º 05.1.04245.03.9
Interessado: LUCIA HELENA DE OLIVEIRA
Assunto: Expedição de Título

Tema: Concurso para a expedição de título de livre-docência — Inexistência de irregularidades procedimentais que obstem seja expedido.

PARECER

Examinados os autos n.º 10.1.00277.03.9 de "concurso de livre-docente", em particular as informações de fls. 69-71, e os autos n.º 05.1.04245.03.9, conclui-se que o procedimento de concurso não apresenta irregularidades que obstem se ratifique a homologação do relatório final da comissão julgadora e se acolha a proposta de expedição do título.

Encaminhem-se os autos ao Gabinete do Magnífico Reitor.

Consultoria Jurídica, 31 de agosto de 2010

GUSTAVO FERRAZ DE CAMPOS MONACO
Procurador Chefe

LÚCIA HELENA DE OLIVEIRA

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

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Livre-Docente em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

São Paulo
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira, Lúcia Helena de
Modelo para simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada empregando a lógica nebulosa e o Método de Monte Carlo / L.H. de Oliveira -- São Paulo, 2010.
p. 111

Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Sistemas prediais 2. Água 3. Lógica fuzzy 4. Método de Monte Carlo I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar a minha vida.

À minha família pelo amor e carinho, mesmo à distância.

Ao Prof. Orestes Gonçalves e à sua esposa Inalda Gonçalves pela amizade, estímulo e sugestões extremamente valiosas.

Ao Prof. Cheng Liang Yee, pela permanente disponibilidade em transmitir os seus conhecimentos sobre lógica nebulosa.

Ao orientado de Iniciação Científica, Pedro Maat Costa Massolino, pela elaboração do programa na linguagem Java para determinar o tempo de banho por lógica nebulosa e do programa para simular a vazão de projeto com base em lógica nebulosa e no método de Monte Carlo.

À orientada de Iniciação Científica, Stella Stagetti Colussi, pela coleta de dados de duração de uso e vazão de aparelhos sanitários, realizada em apartamento com sistema de medição individualizada.

Ao Laboratório de Sistemas Prediais da EPUSP, pelo financiamento de sistema de aquisição de dados, indispensável para o levantamento de dados de campo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento da pesquisa de Iniciação Científica sobre lógica nebulosa aplicada aos sistemas prediais.

À Universidade de São Paulo – Pró-Reitoria de Pesquisa, pelo financiamento da pesquisa de Iniciação Científica sobre consumo de água em pontos de utilização de apartamento com medição individualizada.

Aos estudantes do apartamento monitorado, que tão gentilmente nos permitiram coletar os dados de demanda do uso da água.

Enfim, a todos que coloboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

Atualmente, por facilidade de cálculo e também por recomendação da NBR 5626 (ABNT, 1998), a vazão de projeto em sistemas prediais de água é determinada pelo método empírico dos pesos relativos. O método probabilístico, apesar de ser citado na referida norma, não tem sido utilizado pelos projetistas. Vários trabalhos tem comprovado a eficiência do método probabilístico proposto por Gonçalves (1986), o qual tem sido considerado por pesquisadores da área o mais adequado, por levar em conta as condições reais de cada situação de projeto, que são representadas por variáveis aleatórias relacionadas ao uso da água no interior dos edifícios. Todavia, considerando-se que o uso de alguns aparelhos sanitários, em especial o do chuveiro, depende do comportamento subjetivo dos usuários, o objetivo deste trabalho é propor um modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada empregando os conceitos da lógica nebulosa, para as variáveis nebulosas, e do método de Monte Carlo, para as variáveis aleatórias, visando assim uma maior precisão nos resultados de vazão de projeto. A metodologia utilizada foi o desenvolvimento de um modelo teórico que contempla os conceitos de lógica nebulosa, para determinar o tempo de banho dos usuários, e o método de Monte Carlo para o estabelecimento da aleaoriedade de início de utilização dos aparelhos sanitários. Para validar os valores de duração de banho, determinados por lógica nebulosa, foi realizado um monitoramento em tempo real dos pontos de utilização de um apartamento habitado por três estudantes, por um período de vinte dias, cujos resultados favoráveis a abordagem da lógica nebulosa. Os resultados do modelo de simulação, em um ramal de alimentação de um sistema de medição individualizada, apresentaram valores de vazão cerca de 30% menores que os obtidos pelo método dos pesos relativos e similares aos do modelo probabilístico, porém com a vantagem de mostrar o comportamento das vazões durante todo o período de pico e não, somente, o valor máximo em uma dada seção. Assim, a determinação das vazões de projeto por meio deste modelo pode contribuir para a obtenção de hidrômetros mais acurados e, também, para o dimensionamento mais adequado de tubulações e de componentes dos sistemas prediais de água.

Palavras-chave: Vazão de projeto. Sistemas prediais de água. Medição individualizada. Lógica nebulosa. Simulação de Monte Carlo.

ABSTRACT

Nowadays, for ease of calculation and also on the recommendation of NBR 5626 (ABNT, 1998), the design flow rate in water supply systems is determined by the empirical method. Despite being cited in that standard, the probabilistic method has not been used by designers. Several papers have proven the efficiency of the probability method proposed by Gonçalves (1986). It has been considered by researchers of the area the most suitable method because it takes into account the more realistic conditions of each design. These conditions are represented as random variables intervening in the use of the water inside the buildings. Nevertheless, as the usage of some sanitary appliances, in special the shower, depend on the subjective behavior of the users, the aim of this work is to present a model that uses fuzzy logic for fuzzy variables and Monte Carlo method for random variables to achieve a more accurate assessment of design flow rate in water supply system of multifamily buildings. The methodology used was the development of a theoretical model that considers the concepts of the fuzzy logic to determine the duration of the shower as well as Monte Carlo method for the establishment of random starting of the use of sanitary appliances. For the validation of the fuzzy approach, all fixtures of an apartment with three students were monitored during a period of twenty days with the use of a water measurement system in real time. The results of the simulation method were compared with the results obtained by the method recommended by NBR 5626 and with those obtained by the probabilistic model. They showed about 30% smaller than those obtained by NBR 5626 and similar to the probability model, but with the advantage that it shows the behavior of flow rates throughout the peak period and not only the maximum value in a given section. Thus, this model, through more accurate design flow rate values, can contribute not only to obtain more accurate meters, but also for the most appropriate sizing piping and components of the water.supply system.

Keywords: Design flow rate. Water supply systems. Water submetering system. Fuzzy logic. Monte Carlo method.

LISTA DE SÍMBOLOS

a	grau de conformidade
A	conjunto binário A
$\tilde{A}$	conjunto nebuloso $\tilde{A}$
$\overline{A}$	proposição falsa
$\tilde{A}'$	conjunto nebuloso próximo "em torno" do conjunto nebuloso $\tilde{A}$
$A \rightarrow B$	operação condicional binária (se A então B)
$\tilde{A} \rightarrow \tilde{B}$	operação condicional nebulosa
B-B (a,b,n)	função densidade de probabilidades com parâmetros a, b, n
d	erro de estimativa
f	fator de simultaneidade de uso
m	modificador linguístico
M	número total de elementos
N	número de simulações
n	número total de aparelhos sanitários
n_i	número de aparelhos sanitários do tipo i
p	probabilidade de funcionamento de um aparelho sanitário
p_i	probabilidade de funcionamento de um aparelho sanitário do tipo i
p_0	probabilidade da ocorrência de vazões nulas durante o período de pico
P	população atendida pelo ambiente sanitário no qual o aparelho está instalado
P_i	peso "atribuído ao aparelho sanitário do tipo i, função de sua vazão unitária (q_i) com relação à vazão
q	vazão unitária de um determinado tipo de aparelho sanitário
q_{min}	valor mínimo de vazão unitária de um aparelho sanitário em uso
q_{prov}	valor mais provável de vazão unitária de um aparelho sanitário em uso

LISTA DE SÍMBOLOS
(continuação)

$q_{máx}$	valor máximo de vazão unitária de um aparelho sanitário em uso
q_r	vazão de referência
Q	vazão de projeto no trecho considerado, em L/s
Q_p	vazão de projeto
Q_T	vazão total
r	número de aparelhos sanitários em uso simultâneo
r_i	número de aparelhos do tipo *i* em uso simultâneo
r_Q	parâmetro que determina a forma da função densidade de probabilidade, tipo Gama, da variável aleatória $Q/Q \neq 0$
R_m	método de inferência de Mamdani ou Relação de Mamdani
s	desvio padrão conhecido da amostra
t	duração da descarga de um aparelho sanitário
t_p	período de pico considerado
T	intervalo de tempo entre descargas consecutivas de um aparelho sanitário
t_{min}	duração mínima da descarga de um tipo de aparelho sanitário
$t_{máx}$	duração máxima da descarga de um tipo de aparelho sanitário
t_{prov}	duração mais provável da descarga de um tipo de aparelho sanitário
u	número de usos *per capita* de um tipo de aparelho sanitário durante o período de pico
ui	posição do baricentro da função de pertinência individual
u_m	m-ésimo elemento no universo de discurso
U	conjunto universo U
V	conjunto universo V
$Z_{\alpha/2}$	desvio padrão normalizado correspondente ao coeficiente de confiança $1 - \alpha$ e que a média verdadeira esteja entre $\alpha/2$ e $1 - \alpha/2$

LISTA DE SÍMBOLOS
(continuação)

ε_G	fator de falha global
ε_L	fator de falha local
$\varepsilon_{Lmáx}$	fator de falha local máximo
$\Gamma_{(r_Q)}$	função Gama com parâmetro r_Q
λ_Q	parâmetro de escala da função densidade de probabilidades tipo Gama, da variável aleatória $Q/Q \neq 0$
$\mu_A(x)$	função de pertinência de x em relação ao conjunto A
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	função de pertinência de x em relação ao conjunto nebuloso $\tilde{A}$
$\mu_{\tilde{A}}(u)$	função de pertinência do conjunto nebuloso $\tilde{A}$
$\mu_{\tilde{A}'}(u)$	função de pertinência do conjunto nebuloso $\tilde{A}'$
$\mu_{\tilde{B}'}(u)$	função de pertinência do conjunto nebuloso $\tilde{B}'$
μ_q	vazão média que ocorre em um dado trecho considerando apenas vazões não nulas
$\mu_{Q'}$	valor médio da vazão unitária do aparelho sanitário
$\mu_{saída}(u_i)$	área de uma função de pertinência modificada pelo resultado da inferência nebulosa
μ_t	duração média da descarga de um tipo de aparelho sanitário
μ_T	intervalo de tempo médio entre o início ou término de descargas consecutivas de um aparelho sanitário
μ_u	número médio de usos *per capita* de um tipo de aparelho sanitário durante o período de pico
σ	desvio padrão conhecido da população
σ_q^2	variância da vazão unitária de um aparelho sanitário
σ_t^2	variância da duração da descarga de um tipo de aparelho sanitário

LISTA DE SÍMBOLOS
(continuação)

σ_T^2	variância do intervalo de tempo entre o início ou o término de descargas consecutivas de um aparelho sanitário
σ_u^2	variância do número de usos *per capita* de um tipo de aparelho sanitário durante o período de pico
$\in$ e $\notin$	relação de pertinência (pertence e não pertence)
$\subseteq$	$A \subseteq B$ significa: cada elemento de A é também elemento de B
$\circ$	operador de composição
$\wedge$ e $\vee$	operador min e operador max
$<$ e $>$	menor que e maior que

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	1
2	**METODOLOGIA DA PESQUISA**	6
3	**MODELOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO EM SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA**	14
3.1	Modelos empíricos	15
3.2	Modelos probabilísticos	16
4	**FERRAMENTAS EMPREGADAS NO MODELO: LÓGICA NEBULOSA E MÉTODO DE MONTE CARLO**	31
4.1	Lógica nebulosa	31
4.2	Método de Monte Carlo	43
5	**VALIDAÇÃO DA APLICAÇÃO DA LÓGICA NEBULOSA PARA DETERMINAR O TEMPO DE BANHO**	48
5.1	Resultados e discussão dos dados coletados nos pontos de utilização e no ramal de alimentação	48
5.2	Determinação do tempo de banho por lógica nebulosa	70
5.3	Resultados e validação	73
6	**MODELO PARA A SIMULAÇÃO DE VAZÕES DE PROJETO EM SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA COM MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA**	78
6.1	Estrutura do modelo	78
6.2	Modelo para a simulação de vazões em sistemas prediais de água com medição individualizada	80
6.3	Programa para simular as vazões de projeto	87
6.4	Simulação do modelo	89
6.5	Comparação entre métodos para a determinação de vazões de projeto	95
7	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	99
7.1	Conclusões	99
7.2	Propostas de pesquisas para o avanço do modelo com o emprego da lógica nebulosa e do método de Monte Carlo em sistemas prediais de água	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
	ANEXO 1	107

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 1990, a evolução tecnológica dos sistemas prediais hidráulicos vem sendo influenciada pelos conceitos de conservação de água e de energia que, por sua vez, vem estimulando o desenvolvimento de novos produtos e sistemas tais como: sistemas e componentes economizadores de água, medição individualizada de água, aquecimento solar. Um dos impactos nos sistemas prediais hidráulicos é a redução de valores de vazões de projeto e, consequentemente, uma necessidade de atualização nos modelos de determinação de vazões utilizados até o momento e, em especial para sistemas de medição individualizada. Assim, com valores mais acurados de vazões de projeto podem-se obter tubulações, componentes e, em especial, medidores de água mais adequados às vazões que ocorrem nos sistemas.

Segundo Gonçalves (2007) a implementação de sistemas de medição individualizada de água introduz mudanças nas tecnologias de produtos e sistemas, no funcionamento dos sistemas prediais, nos procedimentos de operação e manutenção das edificações, nos sistemas de medição e cobrança e rateio das tarifas de água. Em função dessas mudanças são necessárias ações para tornar o novo modelo o mais racionalizado, padronizado e intercambiável possível, para que se tenham regulamentos técnicos, normas técnicas, códigos de prática de alcance nacional, Programas Setoriais da Qualidade para os componentes e sistemas, assim como Sistemas de Avaliação da Conformidade das empresas responsáveis pelos serviços de projeto, execução, operação e manutenção.

Uma questão que merece ser comentada é a diferença de tipologias entre os sistemas de medição individualizada e coletiva. No sistema de medição individualizada os ambientes sanitários com diferentes períodos de utilização, como banheiros, cozinha e área de serviço são abastecidos por uma mesma tubulação que percorre toda a unidade autônoma, em geral horizontalmente. No que diz respeito ao estabelecimento das vazões, esta é a principal diferença comparando-se com os sistemas de medição coletiva, que apresentam colunas de distribuição para abastecer ambientes com padrões de uso similares.

Uma das alterações evidenciadas na rotina de projetistas, quando da adoção de sistemas de medição individualizada de água, é a necessidade de dimensionar os hidrômetros das unidades autônomas. Segundo Pereira (2007) o dimensionamento e a especificação de hidrômetros em sistemas com medição coletiva tem sido tarefa das concessionárias de água no Brasil. Deste fato decorre, em geral, um desconhecimento dos projetistas de sistemas prediais hidráulicos sobre os diferentes aspectos envolvidos nessa atividade.

Observa-se que o problema antecede a etapa de dimensionamento dos medidores, ou seja, ele tem início na determinação da vazão de projeto adequada ao trecho do sistema, quer seja em tubulações ou medidores. Para isso, é necessário entender o padrão de uso dos aparelhos sanitários, completamente diferente em sistemas com medição individualizada que, por sua vez, conduzirá a diferentes valores de vazões de projeto implicando em diferentes diâmetros de tubulações e de medidores.

A consideração do comportamento das vazões é indispensável quando do dimensionamento de hidrômetros, uma vez que ele muda em função do tipo de sistema. No sistema com medição coletiva, com abastecimento do tipo indireto segundo Gonçalves (2007), o regime de operação do hidrômetro é mais uniforme, com pequenas alterações nas vazões, sofrendo pouca influência da ocorrência das demandas simultâneas dos aparelhos sanitários do sistema predial.

Este comportamento, segundo Pereira (2007), também é bastante influenciado pelas características geométricas do reservatório. Um reservatório de grande área e pequena altura propicia vazões muito baixas, pois um grande volume de água consumido pode representar uma pequena redução da altura de lâmina d´água no reservatório, o que acionará a torneira de bóia para a reposição do volume. Como a altura deslocada pela torneira de bóia é pequena, a vazão de entrada também será baixa.

No caso do sistema de medição individualizada, como não há reservatório a jusante do medidor individual, a vazão no ramal de alimentação, trecho de tubulação entre a coluna de distribuição e à montante do hidrômetro individual, ocorre de maneira diferente da que ocorre no alimentador predial, trecho de tubulação entre o

hidrômetro principal e a primeira derivação ou até a torneira de bóia do reservatório, pois varia em função do uso dos aparelhos sanitários. Neste caso, segundo Gonçalves (2007) o regime de operação sofre grande flutuação de vazões, em função da operação dos aparelhos instalados a jusante do ramal de alimentação, sendo que, na escolha do medidor, é preciso considerar os limites das faixas das vazões do perfil de demanda direta.

Para que o sistema de medição individualizada seja eficiente é imprescindível a seleção adequada dos medidores a serem utilizados, de modo a minimizar os erros no somatório dos consumos gerados pelos usos nos pontos de utilização de cada unidade autônoma. Assim, o estabelecimento das vazões de projeto é uma das premissas para o atendimento ao requisito de desempenho "confiabilidade" do sistema de medição individualizada e, para tal, é necessária a utilização de modelos de determinação de vazões de projeto que se aproximem ao máximo das condições de operação do sistema.

Das abordagens tradicionais para a determinação das vazões de projeto em sistemas prediais de água, sem dúvida a probabilística é a mais adequada, o que pode ser evidenciado por meio de alguns trabalhos desenvolvidos por Gonçalves *et al.* (2008), Oliveira (2007), Oliveira *et al.* (2007a) e Oliveira *et al.* (2007b).

Os modelos probabilísticos são mais adequados porque consideram as condições mais próximas da realidade de cada projeto, o que é representado pelas variáveis aleatórias intervenientes no uso da água nos ambientes sanitários. No entanto, a teoria da probabilidade utiliza somente variáveis aleatórias, que dependem de eventos futuros. Ela não considera as variáveis nebulosas, que representam melhor o comportamento subjetivo do usuário como, por exemplo, o tempo de banho que depende de outras variáveis nebulosas como a temperatura ambiente e o tempo disponível do usuário realizar aquela atividade, o que implica em diferentes tempos de banho entre usuários. Assim, segundo Ortega (2001) é importante perceber a diferença entre as duas teorias para melhor compreender como elas são complementares, resultando em uma ferramenta adequada.

Tendo-se em vista que em sistemas prediais de água fria com medição individualiza são várias as incertezas quando do estabelecimento das vazões de projeto, pois a ocorrência de vazões em um sistema predial de distribuição de água depende da interação entre o sistema de equipamentos sanitários e o usuário e, portanto, influenciada pela subjetividade e pelos eventos incertos, é promissora a aplicação da lógica nebulosa em conjunto com a simulação de Monte Carlo, que utiliza variáveis aleatórias de distribuições de probabilidades, tendo-se em vista a obtenção de resultados mais adequados de vazões de projeto.

Considerando-se que a probabilidade de utilização de um dado aparelho sanitário é a relação entre a duração de sua descarga e o intervalo de tempo entre descargas consecutivas, pode-se afirmar que entre todos os aparelhos sanitários utilizados em edifícios residenciais aquele que, em geral, propicia maior impacto no valor da vazão de projeto do ramal de alimentação do apartamento é o chuveiro, devido ao maior tempo de utilização e o valor de sua vazão unitária, comumente elevada. Além disso, a determinação da duração de seu uso pode ser mais adequada com a do conceito de lógica nebulosa, tendo-se em vista que o tempo de banho é influenciado por variáveis nebulosas, conforme comentado anteriormente.

Por essas razões considera-se que um modelo que contemple os conceitos de lógica nebulosa para a determinação dos tempos de banho possa contribuir para representar melhor o comportamento das vazões de projeto em sistemas com medição individualizada de água de edifícios multifamiliares e, consequentemente, com valores de vazão de projeto mais acurados os hidrômetros terão melhor desempenho quanto ao requisito confiabilidade.

Assim, o objetivo geral desta tese de livre-docência é desenvolver um modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada de edifícios residenciais com a utilização dos conceitos da lógica nebulosa e do método de Monte Carlo e os objetivos específicos são:

- abordar os conceitos da lógica nebulosa para a determinação do tempo de banho dos usuários de sistemas prediais de água;

- monitorar os pontos de utilização de um sistema de medição individualizada e, em especial, o chuveiro para validar a aplicação da lógica nebulosa na determinação do tempos de banhos dos usuários de sistemas prediais de água;

- desenvolver um modelo para a simulação de vazões de projeto em ramais de alimentação de sistema de medição individualizada que utilize os tempos de banhos dos usuários, obtidos por lógica nebulosa, e o método de Monte Carlo para estabelecer a aleatoriedade de utilização dos aparelhos sanitários em um dado período de pico.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

O desenvolvimento deste trabalho tem como premissa a utilização dos conceitos de lógica nebulosa e do método de Monte Carlo. Para a determinação dos tempos de banho utiliza-se a lógica nebulosa, tendo-se em vista que esta ferramenta contempla a influência da subjetividade dos usuários e, para estabelecer o instante de utilização dos aparelhos sanitários, utiliza-se o Método de Monte Carlo. Ressalta-se que valores adequados de vazão de projeto, ou seja, aqueles que melhor representam o perfil do uso de água, propiciam dimensionamentos de tubulações e de medidores mais próximos das condições de operação do sistema.

Para alcançar os objetivos deste trabalho as etapas da metodologia utilizada são apresentadas na Figura 2.1 e, em seguida, as atividades de cada etapa são detalhadas.

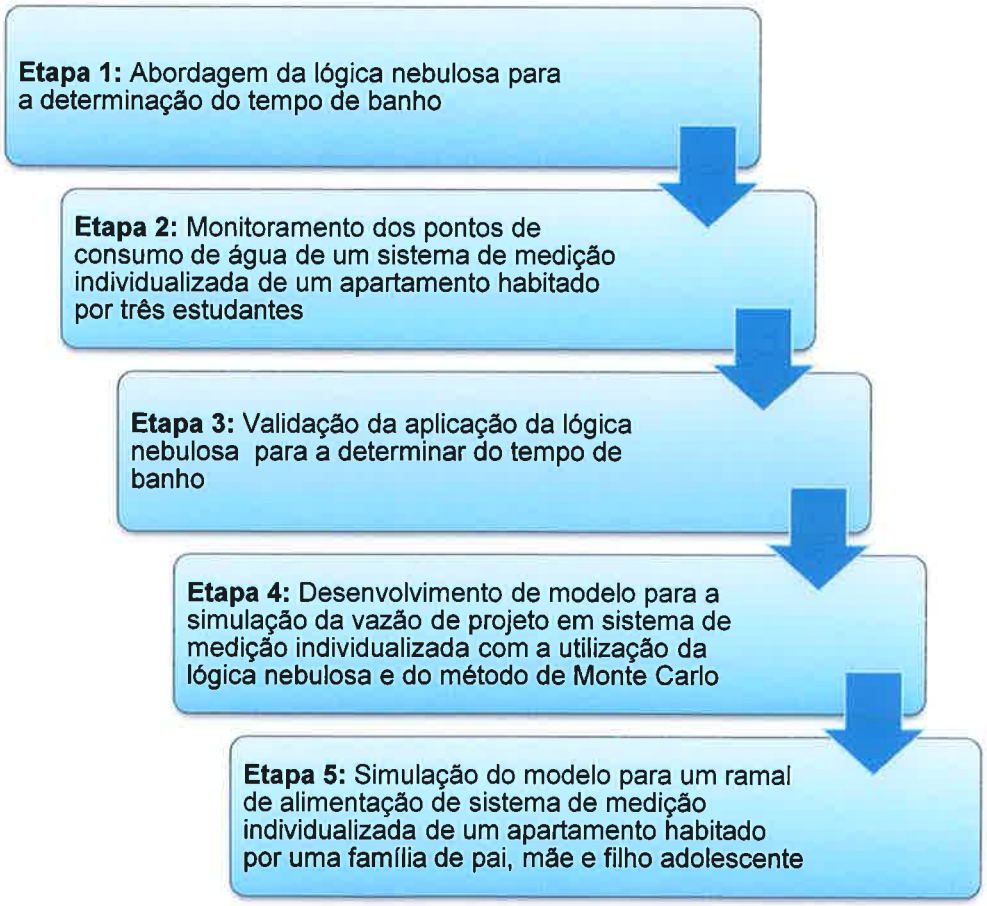


Figura 2.1 – Caracterização geral das atividades da pesquisa

2.1.1 Abordagem da lógica nebulosa para a determinação do tempo de banho

Nesta etapa foram estudados os conceitos de lógica nebulosa e desenvolvido um simulador para a determinação do tempo de banho dos usuários com a consideração das seguintes variáveis: temperatura do ambiente, horário e duração de banho. O simulador para calcular o tempo de banho em função das variáveis de entrada foi desenvolvido na linguagem Java e os resultados obtidos da abordagem da lógica nebulosa estão apresentados no capítulo 5.

2.1.2 Monitoramento dos pontos de consumo de água de um apartamento com sistema de medição individualizada

Para validar a aplicação da lógica nebulosa na determinação do tempo de banho, foi realizado um monitoramento dos pontos de utilização de água de um apartamento habitado por três estudantes de pós-graduação da Escola Politécnica da USP. Para validar a aplicação da lógica nebulosa, os resultados de duração de banho coletados no apartamento foram comparados com os tempos de banho calculados para validar a aplicação da lógica nebulosa. Os outros pontos de utilização e, também, o ramal de alimentação foram monitorados tendo em vista a importância da disponibilização destes dados na área de sistemas prediais.

Os estudantes do apartamento monitorado são de diferentes estados do Brasil, sendo um do Pará, outro da Bahia e outro do Paraná, o que implica em diferentes hábitos relacionados ao uso da água. Os estudantes vão para a USP de manhã e só retornam no final do dia. Portanto, na maioria das vezes, os aparelhos sanitários são utilizados no início da manhã e quando os estudantes retornam ao apartamento no final da tarde ou à noite.

O apartamento monitorado está no 5º andar de um edifício de 10 andares e o ramal de alimentação com o medidor individual é localizado no banheiro. O apartamento dispõe de uma sala, três dormitórios, dois banheiros, sendo um deles desativado, uma cozinha, uma área de serviço e uma dependência de empregada.

O banheiro em uso possui uma bacia sanitária convencional com caixa acoplada, um chuveiro elétrico e um lavatório. A cozinha possui uma pia e a área de serviço possui um tanque e uma máquina de lavar roupa com capacidade de 6,0 Kg.

2.1.2.1 Coleta de dados

A coleta de dados de vazão e de tempo de uso nos aparelhos sanitários e no ramal de alimentação do apartamento foi realizada durante vinte dias, entre os neses de fevereiro e março de 2009. Ressalta-se que o período de coleta de dados foi caracterizado por dias quentes e com temperaturas variando de 16 a 34°C. Nota-se ainda que a temperatura observada no período em que ocorreram os banhos matutinos ficou em torno de 21°C.

O sistema de monitoramento em tempo real utilizado constitui-se de hidrômetros volumétricos classe C, com vazão nominal QN = 1,5 m^3/h, acoplados aos respectivos *cyble pulse* da Actaris, ilustrado na Figura 2.2 e a um sistema de aquisição de dados MGCplus da HBM, mostrado na Figura 2.3. A função do *cyble pulse* é enviar os dados a uma taxa de 10Hz (dados/segundo) por meio de um programa denominado Catman Easy versão 2.24 do sistema de aquisição da HBM. Além disso, utilizou-se um cartão de memória de 2 GB acoplado ao MGCplus para que os dados fossem armazenados diretamente no sistema de aquisição de dados sem a necessidade de dedicar um computador no apartamento durante a etapa de coleta de dados.

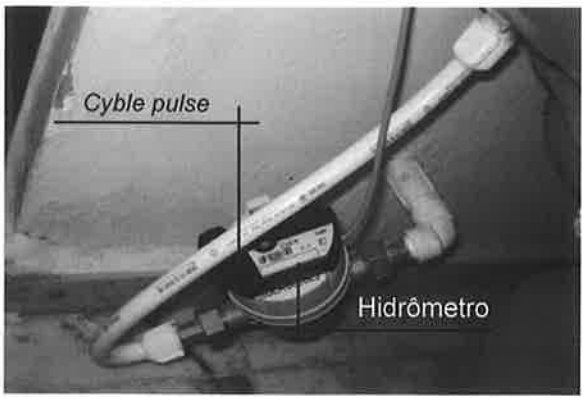


Figura 2.2 – Hidrômetro acoplado ao *cyble pulse*

Figura 2.3 – Sistema de aquisição de dados

Todos os hidrômetros utilizados são do modelo Aquadis, da marca Actaris, e foram aferidos conforme Portaria nº 13/87, do Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO. Na Figura 2.4 é ilustrada a interface do programa Catman Easy, que apresenta os dados coletados através de gráficos.

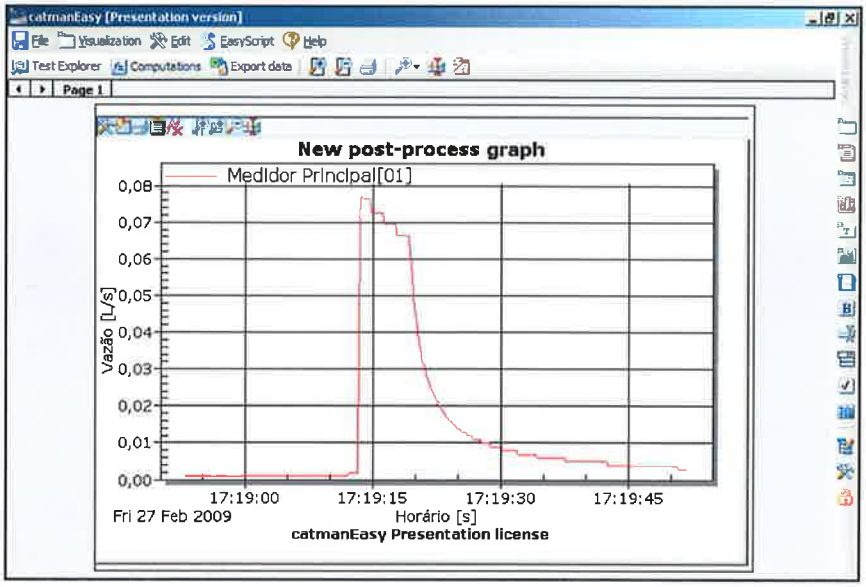


Figura 2.4 – Interface do *software* Catman Easy versão 2.24

Ressalta-se que o hidrômetro instalado no ramal de alimentação do apartamento é do tipo velocimétrico de classe B, ou seja, com o valor de $Q_{mín}$ de 30L/h, cerca de 0,008 L/s, segundo a Portaria nº 246 do INMETRO (2000). Já o hidrômetro utilizado nesta pesquisa foi do tipo volumétrico de classe C, com o valor de $Q_{mín}$ de 10 L/h, cerca de 0,003 L/s, (ACTARIS, 2003),.

Para a aquisição de dados do hidrômetro principal e do hidrômetro instalado na pia também foi utilizado o sistema de coleta automática de armazenamento cronológico de dados, *data logger,* da marca Sensus, ilustrado na Figura 2.5, pois nos últimos dias de coleta de dados, o sistema MGCplus não estava armazenando os dados referentes a esses dois pontos de consumo.

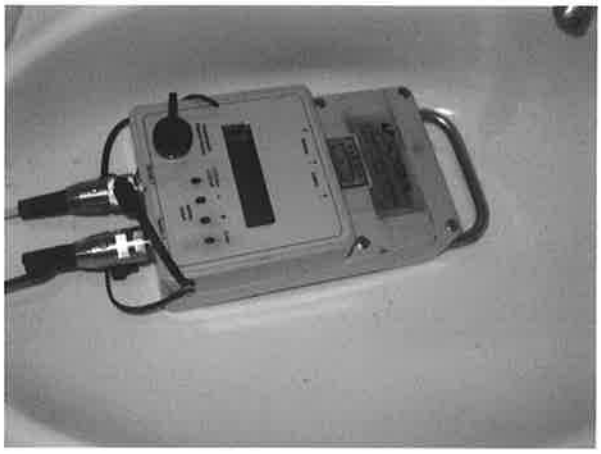


Figura 2.5 – *Data Logger* da marca Sensus

Para a leitura das informações do *data logger* utilizou-se um *software* denominado CDLWin 3.42 e a sua interface está ilustrada na Figura 2.6.

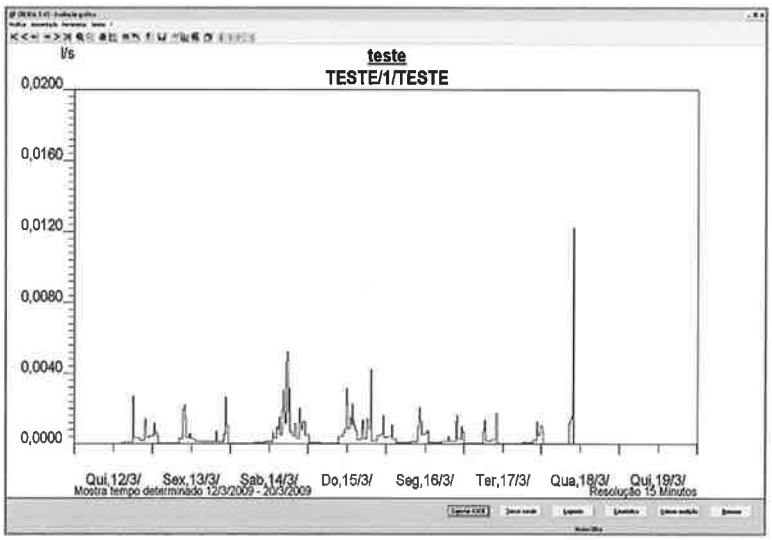


Figura 2.6 – Interface do *software* CDLWin 3.42

Foram também realizadas entrevistas com os três estudantes para analisar se as suas atividades relacionadas ao uso da água coincidiam com os dados coletados como, por exemplo, tempo de banho. Também foram elaboradas planilhas para que os usuários anotassem os horários de utilização dos aparelhos sanitários, para posterior conferência com os dados coletados e validação do sistema de aquisição de dados.

Todos os pontos de utilização de água do apartamento foram monitorados quais sejam: chuveiro, bacia sanitária, lavatório, pia, tanque e máquina de lavar roupa, além do ramal de alimentação do apartamento. As Figuras 2.7 a 2.13 ilustram as fotos dos hidrômetros e os *cyble pulse* em todos os pontos de utilização e no ramal de alimentação, onde o hidrômetro da pesquisa foi instalado à jusante do hidrômetro existente.

Figura 2.7 - Hidrômetro no ramal de alimentação

Figura 2.8 - Hidrômetro no chuveiro

Figura 2.9 - Hidrômetro no lavatório

Figura 2.10 - Hidrômetro na bacia sanitária

Figura 2.11 - Hidrômetro na pia

Figura 2.12 - Hidrômetro no tanque

Figura 2.13 - Hidrômetro na máquina de lavar roupa

Os dados foram coletados durante vinte dias, porém dos vinte dias de coleta foram obtidos dados de somente treze dias, devido à interrupção de energia e problemas com o sistema de aquisição. Maiores detalhes da coleta de dados estão apresentados em Colussi (2009).

Os resultados e a discussão dos dados obtidos no monitoramento dos pontos de consumo de água do apartamento dos estudantes estão apresentados e discutidos no capítulo 5.

2.1.3 Validação da aplicação da lógica nebulosa para determinar o tempo de banho

A validação da abordagem da lógica nebulosa para determinar o tempo de banho por foi realizada por meio de comparação dos dados de durações de banhos coletados no apartamento dos estudantes com os resultados dos tempos de banho obtidos por meio do simulador com base em lógica nebulosa e desenvolvido em linguagem Java. Os resultados desta etapa estão apresentados e discutidos no capítulo 5.

2.1.4 Desenvolvimento de modelo para a determinação da vazão de projeto com a utilização da lógica nebulosa e do método de Monte Carlo

Nesta etapa desenvolveu-se o modelo teórico para determinar as vazões de projeto em um ramal de alimentação de um apartamento habitado por uma família composta por pai, mãe e filho adolescente. O modelo utiliza o método de Monte Carlo para determinar o instante de entrada do usuário no sistema com base em distribuições de freqüências de entrada no banheiro de cada usuário e o simulador para determinar do tempo de banho por meio da lógica nebulosa.

Também nesta etapa foi desenvolvido um programa em linguagem Java para simular o instante, a duração do uso da água bem como a vazão no ramal de alimentação e durante o período de pico de 1 hora no período da manhã. O detalhamento do modelo está apresentado no capítulo 6.

2.1.5 Simulação de vazões para um sistema de medição individualizada

Nesta etapa o modelo foi simulado 128 vezes para um sistema de medição individualizada de um apartamento habitado por uma família de pai, mãe e filho adolescente com o objetivo de determinar a vazão de projeto no ramal de alimentação do sistema de medição individualizada de água do apartamento desta família. Os resultados obtidos estão apresentados no capítulo 6.

3 MODELOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO EM SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA

Neste capítulo apresentam-se os modelos utilizados para a determinação das vazões de projetos em sistemas prediais de água, bem como as suas limitações.

O modelo mais utilizado no Brasil para a determinação das vazões de projeto em sistemas prediais de água fria tem sido um modelo empírico, denominado método dos pesos relativos, recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998). Embora a norma citada também cite os modelos probabilísticos, eles não são utilizados dada a dificuldade encontrada pelos profissionais de sistemas prediais nesta abordagem.

Segundo Gonçalves (1997) os modelos empíricos compreendem aqueles cuja técnica de determinação das vazões de projeto baseia-se na utilização de tabelas, gráficos e expressões matemáticas estabelecidas a partir da experiência e julgamento de seus propositores. No que diz respeito aos modelos probabilísticos, são aqueles cuja técnica de determinação das vazões de projeto baseia-se no emprego de tabelas, gráficos e expressões matemáticas estabelecidas a partir de conceitos probabilísticos, utilizando como ferramental básico a função de distribuição de probabilidades binomial.

Enquanto os métodos empíricos simples e diretos, mas obsoletos, continuam sendo recomendados pela NBR 5626 (ABNT, 1998), os modelos probabilísticos com resultados que podem estar mais próximos das condições de operação do sistema, uma vez que possibilitam ao projetista a escolha da confiabilidade das soluções de projeto tem sido pouco utilizado pelos projetistas de sistemas prediais hidráulicos. Um grande estímulo para a determinação das vazões de projeto por meio do método probabilístico foi o aumento da demanda de sistemas de medição individualizada de água em edifícios.

A seguir são apresentados os conceitos fundamentais dos métodos empíricos e dos métodos probabilísticos utilizados atualmente e também citados na NBR 5626 (ABNT, 1998).

3.1 Modelos empíricos

Basicamente são utilizados dois tipos de expressão para os métodos empíricos. O primeiro deles é o apresentado pela equação 3.1.

$$Q_p = f.Q_T \tag{3.1}$$

Onde:

Q_p é a vazão de projeto;

Q_T é a vazão total - somatório das vazões de todos os pontos de utilização;

f é o fator de simultaneidade de uso.

Este fator de simultaneidade "f" é obtido, dependendo do modelo, por meio de tabelas ou gráficos, ou de funções dependentes do número total de pontos de utilização, como é o caso dos métodos apresentados em Gonçalves (1986):

- Dawson e Kalinske, em 1932;
- Dawson e Bowman, em 1933;
- Francês, em 1942;
- Britânico, em 1946;
- Fretwell;
- RAE – Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo;
- U.S. Department of Commerce;
- Macintyre.

O segundo tipo, denominado modelo da raiz quadrada, é apresentado pela equação 3.2.

$$Q_p = q_r \sqrt{\sum n_i P_i} \tag{3.2}$$

Onde:

q_r é a vazão de referência;

P_i é o "peso" atribuído ao aparelho sanitário do tipo i, função de sua vazão unitária (q_i) com relação à vazão q_r;

n_i é o número de aparelhos sanitários do tipo i.

Esta equação é oriunda do modelo da raiz quadrada, de origem alemã, sendo ainda hoje utilizado com algumas particularidades. Enquadra-se, também, neste tipo o método da Raiz quadrada modificado proposto em 1978 e descrito em Gonçalves (1986).

O método de pesos relativos, recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998) tem origem no modelo da raiz quadrada, cuja expressão constante é apresentada pela equação 3.3.

$$Q = 0{,}3\sqrt{\sum P} \tag{3.3}$$

Onde:

Q é a vazão de projeto no trecho considerado, em L/s;

$\sum P$ é a somatório dos pesos relativos de todas as peças de utilização, instaladas a jusante do trecho considerado.

3.2 Modelos probabilísticos

O modelo probabilístico clássico, desenvolvido por Roy B. Hunter na década de 1930, ainda é muito utilizado como, por exemplo, nos Estados Unidos e na Inglaterra. O modelo binomial proposto considera que a probabilidade de que **r** ou mais aparelhos sanitários estejam em uso simultâneo em um grupo de **n** aparelhos instalados de um mesmo tipo ($n \geq r$) é dada pela equação 3.4.

$$P(x \geq r) = \sum_{x=r}^{n} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \tag{3.4}$$

Onde:

p é a probabilidade de funcionamento de um aparelho sanitário;

n é o número total de aparelhos sanitários;

r é o número de aparelhos sanitários em uso simultâneo.

Considerando um fator de falha ε igual a 0,01, ou seja, $P(x \geq r) < \varepsilon$, Hunter construiu curvas baseadas nas probabilidades de cada tipo de aparelho (p_i), determinando o número de aparelhos (r_i) em uso simultâneo e as respectivas vazões de projeto. A partir dessas curvas desenvolveu o conceito de "unidades de contribuição", funcionando como "pesos" associados a cada tipo de aparelho sanitário e, desta maneira, simplificando a obtenção das vazões de projeto (Q_p).

A partir do modelo de Hunter foram desenvolvidos outros modelos similares como, por exemplo, o modelo proposto por Webster (1972), com a utilização da distribuição binomial generalizada, e o proposto por Courtney (1976), usando a distribuição multinomial.

Atualmente, vários trabalhos tem sido desenvolvidos com o objetivo de determinar a demanda de água em edifícios residenciais multifamiliares dentre eles podem ser citados Blokker and Schee (2006), Wong and Mui (2005) e Petrucci (2001).

Ressalta-se que na maioria dos modelos estudados poucos consideram as particularidades de cada situação de projeto. Alguns trabalhos desenvolvidos por (OLIVEIRA, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2007a; OLIVEIRA *et al.*, 2007b) evidenciam a necessidade de modelos mais adequados para o dimensionamento do sistema de distribuição de água.

No Brasil, a maior contribuição de modelo probabilístico veio de Gonçalves (1986), que propôs modelo "aberto" para a determinação das vazões de projeto em sistemas prediais de água tendo como característica a possibilidade de representar as condições reais de cada situação de projeto. Em seu trabalho, ele evidencia a variabilidade de resultados obtidos com o emprego desses modelos determinísticos e probabilísticos por meio de simulação efetuada com vários deles, cujos resultados para a vazão de projeto em um mesmo trecho de um sistema variaram de 1,2 L/s a 30,2 L/s, o que mostra uma grande dispersão de resultados.

O método apresentado por Gonçalves (1986), apresentado a seguir, se diferencia dos demais métodos probabilísticos por permitir a caracterização do comportamento

do sistema. Assim, a ocorrência de vazões em um sistema predial de distribuição de água depende da interação entre o usuário e o sistema de equipamentos sanitários, nos pontos de utilização, conforme os seguintes fatores:

- **atividades dos usuários**, função do tipo de edifício - habitação, escola, hotel etc., e das características dos usuários, determinadas por aspectos fisiológicos, regionais, culturais, sociais e climáticos;
- **características do edifício**, função da população - quantidade e distribuição - e da organização espacial;
- **características do conjunto de aparelhos sanitários**, função dos tipos de aparelho e do número de aparelhos sanitários.

As variáveis intervenientes, que consideram os fatores anteriormente mencionados, influenciando as vazões nos sistemas, são assim agrupadas no modelo:

- intensidade de utilização do conjunto de aparelhos sanitários;
- vazões unitárias de cada tipo de aparelho sanitário.

A intensidade de utilização do conjunto de aparelhos sanitários é representada no modelo pelas seguintes variáveis:

- duração da descarga de um aparelho sanitário, denotada por **t**;
- intervalo de tempo entre descargas consecutivas de um aparelho sanitário, denotado por **T**, que depende do número de usos por pessoa durante o período de pico, da população atendida e do número de aparelhos sanitários disponíveis no ambiente sanitário, tendo sido proposto um modelo de teoria das filas para a determinação desta variável;
- número de aparelhos sanitários instalados à jusante do trecho da tubulação, denotado por **n**.

A vazão unitária de um determinado tipo de aparelho sanitário é denotada por **q.**

No modelo, todas estas variáveis são abertas e tratadas como determinísticas ou aleatórias. As variáveis aleatórias **t** e **T** são representadas pela função densidade de probabilidade do tipo Erlang ou exponencial e **q** é representada pela função densidade de probabilidade do tipo Gama. Foi proposto no modelo que os valores

de média e desvio padrão dessas variáveis poderiam ser obtidos pelo método de estimação por três pontos característicos, resultantes de levantamento de campo ou de experiência do projetista.

Assim, a duração da descarga de um aparelho (t) consiste no período compreendido entre o início da descarga e o final da descarga. Essa variável pode ser obtida por meio de levantamentos em campo, com o cálculo da média e da variância do conjunto de dados ou a partir do método da estimativa por três pontos: um valor mínimo ($t_{mín}$), outro mais provável (t_{prov}) e outro máximo ($t_{máx}$), empregando as equações 3.5 e 3.6 para a determinação da média (μ_t) e da variância (σ^2_t), respectivamente.

$$\mu_t = \frac{t_{mín} + 3t_{prov} + t_{máx}}{5} \tag{3.5}$$

$$\sigma_t^2 = \frac{(t_{máx} - t_{mín})^2}{25} \tag{3.6}$$

Onde:

μ_t é a duração média da descarga de um tipo de aparelho sanitário;

$t_{mín}$ é a duração mínima da descarga de um tipo de aparelho sanitário;

t_{prov} é a duração mais provável da descarga de um tipo de aparelho sanitário;

$t_{máx}$ é a duração máxima da descarga de um tipo de aparelho sanitário;

σ_t^2 é a variância da duração da descarga de um tipo de aparelho sanitário.

De maneira análoga, a vazão unitária de cada aparelho (q) pode ser também obtida por meio de levantamentos em campo, com o cálculo da média e da variância ou a partir do método da estimativa por três pontos: um valor mínimo, outro mais provável e outro máximo, utilizando expressões 3.7 e 3.8.

$$\mu_q = \frac{q_{mín} + 3q_{prov} + q_{máx}}{5} \tag{3.7}$$

$$\sigma_q^2 = \frac{(q_{máx} - q_{mín})^2}{25} \tag{3.8}$$

Onde:

μ_q é valor médio da vazão unitária de um aparelho sanitário;

$q_{mín}$ é a vazão unitária mínima de um aparelho sanitário em uso;

q_{prov} é a vazão unitária mais provável de um aparelho sanitário em uso;

$q_{máx}$ é a vazão unitária máxima de um aparelho sanitário em uso;

σ_q^2 é a variância da vazão unitária de um aparelho sanitário.

O intervalo entre dois usos consecutivos (T) depende de diversos fatores, que podem ser representados pelas seguintes variáveis:

- número de aparelhos do tipo considerado instalados no ambiente sanitário (n);
- número de usos *per capita* de um tipo de aparelho durante o período de pico (u);
- população atendida pelo ambiente sanitário no qual o aparelho está instalado (P).

Vale ressaltar que um "tipo" de aparelho é caracterizado por um conjunto de parâmetros no período de maior utilização, denominado período de pico, quais sejam: número de usos *per capita,* duração da descarga, intervalo entre duas descargas consecutivas e vazão unitária. Assim, o chuveiro da suíte, que atende a dois usuários, é um "tipo" diferente de aparelho quando comparado ao chuveiro do banheiro social, que atende, por exemplo, a três outros usuários da família.

O número de usos *per capita* de cada tipo de aparelho sanitário no período de pico (u) pode ser determinado de maneira similar ao da vazão unitária e da duração da descarga, ou seja, a partir de levantamentos em campo, com o cálculo da média e da variância ou a partir do método da estimativa por três pontos: um valor mínimo, outro mais provável e outro máximo, utilizando-se de expressões análogas às apresentadas anteriormente, 3.5 e 3.6.

A população atendida pelo aparelho sanitário corresponde ao número de usuários que utilizam o aparelho em questão (P). No caso de edificações comerciais, a população pode ser estimada a partir da densidade populacional (número de pessoas/m^2) e da área de influência do ambiente sanitário (área do ambiente sanitário onde os usuários utilizam os aparelhos sanitários em estudo).

Deste modo, a média e a variância do intervalo entre dois usos consecutivos de um aparelho sanitário no período de pico podem ser determinadas a partir das equações 3.9 e 3.10, apresentadas a seguir.

$$\mu_T = \frac{n \cdot t_p}{P} \left(\frac{1}{\mu_u} + \frac{\sigma_u^2}{\mu_u^3} \right) \tag{3.9}$$

$$\sigma_T^2 = \left(\frac{n \cdot t_p}{P} \right)^2 \frac{\sigma_u^2}{\mu_u^4} \tag{3.10}$$

Onde:

μ_T é o intervalo de tempo médio entre o início ou término de descargas consecutivas de um aparelho sanitário;

σ_T^2 é a variância do intervalo de tempo entre o início ou término de descargas consecutivas de um aparelho sanitário;

μ_u é o número médio de usos *per capita* de um tipo de aparelho sanitário durante o período de pico;

σ_u^2 é a variância do número de usos *per capita* de um tipo de aparelho sanitário durante o período de pico;

t_p é o período de pico considerado;

P é a população atendida pelo ambiente sanitário no qual o aparelho está instalado;

n é o número de aparelhos do tipo considerado instalados no ambiente sanitário.

Assim, a vazão no sistema pode ser determinada pela equação 3.11.

$$Q = \sum_i r_i \cdot q_i \tag{3.11}$$

Onde:

r_i é o número de aparelhos do tipo i em uso simultâneo, que segue uma distribuição beta-binomial, apresentada na equação 3.12, com parâmetros a_i , b_i , e dependentes de p_i, em que:

$$r_i \stackrel{d}{=} B - B(a_i, b_i, n_i) \tag{3.12}$$

$$p_i = \frac{t_i}{T_i} \tag{3.13}$$

q_i é a vazão unitária do aparelho do tipo i.

Com os valores da média e desvio padrão de Q (μ_Q, σ_Q) é possível determinar os valores da média e desvio padrão da variável Q' ($\mu_{Q'}$, $\sigma_{Q'}$) que representa os valores não nulos (Q/Q≠0) da vazão, no período de pico. A função densidade de probabilidades que representa a variável Q' (Q/Q≠0) é do tipo Gama, conforme apresentada na equação 3.14 e na Figura 3.1.

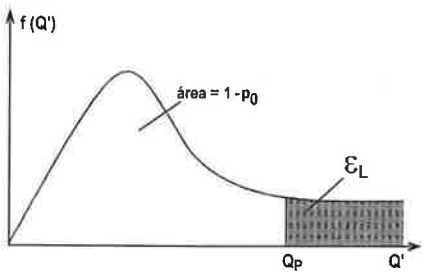
$$f(Q') = \frac{\lambda_Q^{r_Q}}{\Gamma_{(r_Q)}} \cdot Q'^{r_Q - 1} \cdot e^{Q'}, \qquad (3.14)$$

Onde:

$\lambda_Q > 0$ e $r_Q > 0$

λQ é o parâmetro de escala da função densidade de probabilidades tipo Gama, da variável aleatória Q/Q≠0;

r_Q é parâmetro que determina a forma da função densidade de probabilidade, tipo Gama, da variável aleatória Q/Q≠0.



p_0 - probabilidade da ocorrência de vazões nulas durante o período de pico

ε_L - fator de falha local

Figura 3.1 – Função densidade de probabilidades do tipo Gama (GONÇALVES,1997)

Considerando o fator de falha local e a aproximação de Johnston para a função Gama, é possível calcular o valor z e, conseqüentemente, a vazão de projeto Q_p pode ser determinada usando a equação 3.15.

$$Q_p = \mu_{Q'} + z\sigma_{Q'} \qquad (3.15)$$

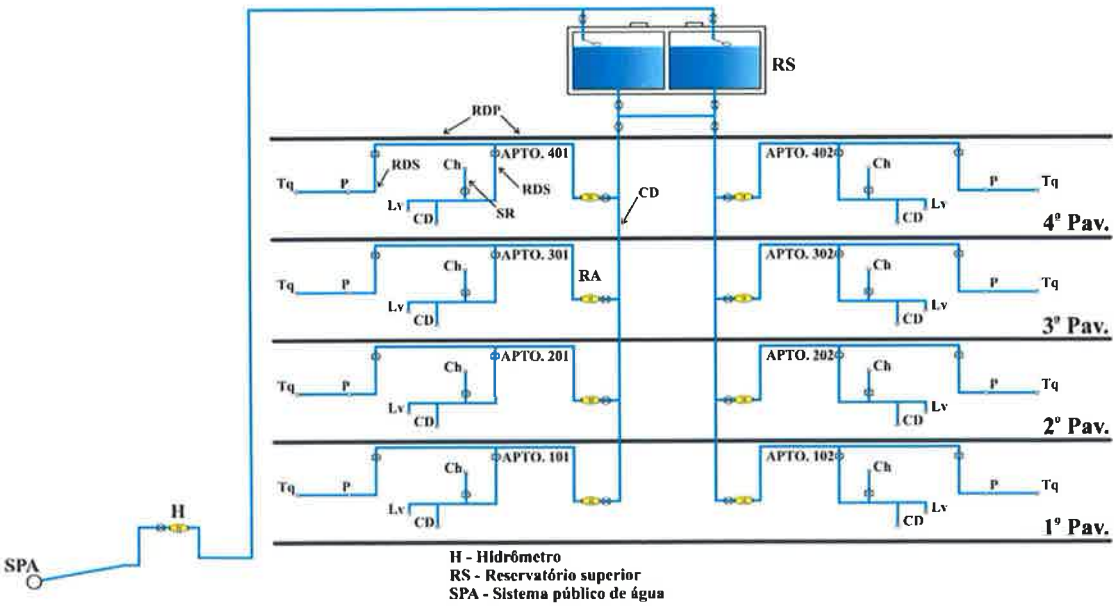
Denomina-se fator de falha global (ε_G) a probabilidade de que a vazão de projeto seja ultrapassada durante o período de pico considerado. Exprime a falha admitida no sistema. Assim, se o desejado é que a vazão de projeto calculada para o trecho

não seja ultrapassada em mais do que 1% do tempo, o fator de falha global deverá ser 0,01.

Denomina-se fator de falha local máximo ($\varepsilon_{LMÁX}$) a probabilidade de que a vazão de projeto seja ultrapassada, considerando-se apenas os intervalos de tempo em que ocorrem vazões no trecho em análise durante o período de pico considerado. Assim, se o desejado é que a vazão de projeto calculada para o trecho não seja ultrapassada em mais do que 5% do tempo em que ocorrem vazões no período de pico, o fator de falha local deverá ser 0,05.

3.2.1 A determinação da vazão de projeto em sistema de medição individualizada

Os sistemas prediais de água com medição individualizada (Figura 3.2) tem sido dimensionados com as vazões de projeto determinadas segundo a NBR 5626 (ABNT, 1998), cujo procedimento segue o método empírico alemão da Raiz Quadrada, tendo como referência a equação 3.3.



CD – coluna de distribuição; RA – ramal de alimentação; RDP – ramal de distribuição principal; RDS – ramal de distribuição secundária

Figura 3.2 – Sistema predial de água fria com medição individualizada (PERES, 2006)

Segundo Gonçalves (2007) o emprego deste método, que conduz a valores apenas razoáveis das vazões de projeto, pressupõe que o regime de funcionamento

simultâneo dos aparelhos sanitários ocorra em um mesmo período de pico e em um mesmo tipo de ambiente sanitário.

O padrão de uso dos aparelhos sanitários considerado no método recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), em geral, não ocorre nos sistemas de medição individualizada de edifícios residenciais, uma vez que considera o mesmo período de pico para a utilização de todos os aparelhos sanitários do apartamento. Esse padrão de uso é verificado em sistemas com medição coletiva (Figura 3.3), com uma coluna de distribuição para cada ambiente sanitário, onde a maior intensidade de utilização dos aparelhos ocorre praticamente em um mesmo período.

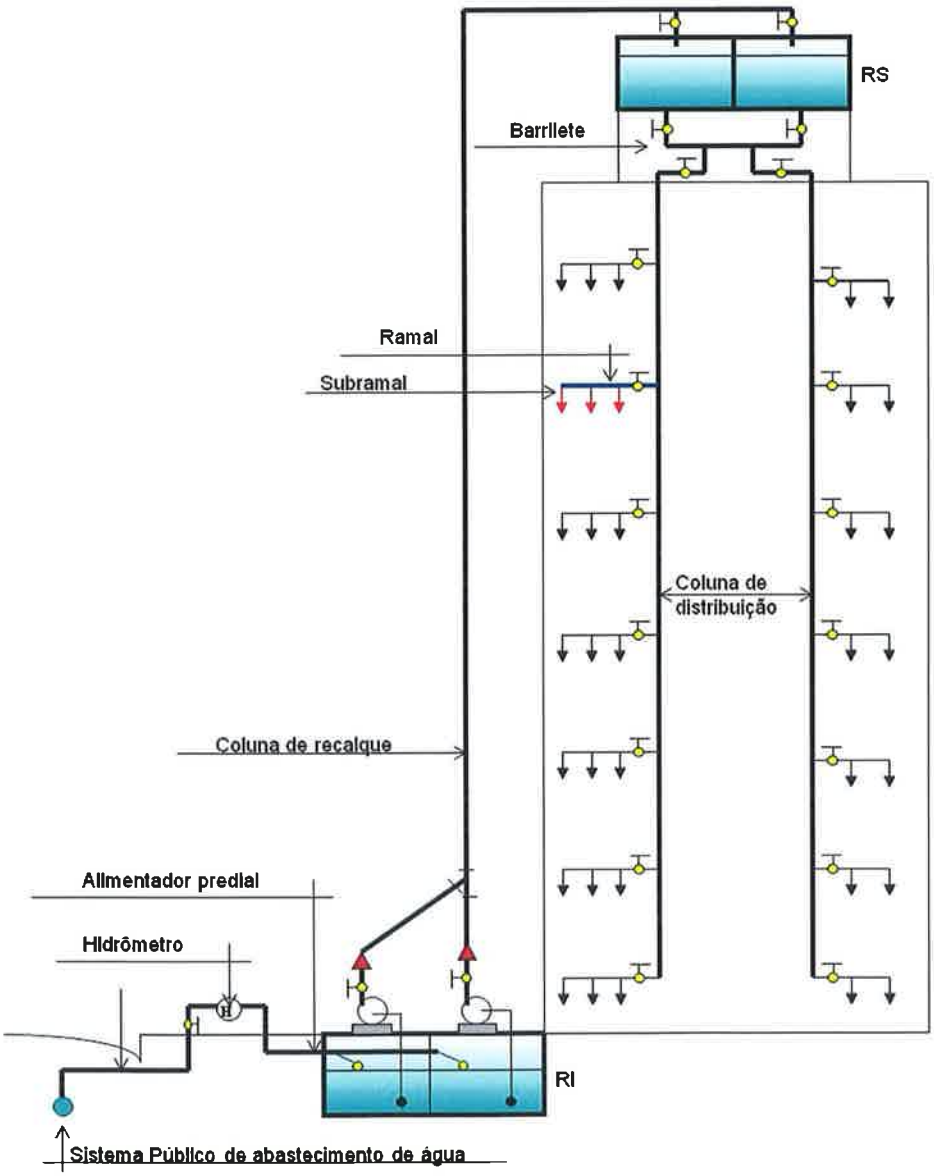


Figura 3.3 – Sistema predial de água fria com medição coletiva

No caso do sistema de medição individualizada, os ramais de alimentação, trechos da tubulação, onde estão instalados os medidores, atendem a diferentes tipos de ambientes sanitários tais como cozinhas, banheiros, áreas de serviços, cujos picos de consumo de água não coincidem. O horário de pico das atividades da área de serviço não é o mesmo do banheiro social, pois enquanto o uso mais intenso de chuveiros e de bacias sanitárias se dá no início da manhã, a máquina de lavar roupa, em geral, é utilizada no meio da manhã ou no período da tarde.

Exemplificando, um ramal de alimentação pode atender simultaneamente banheiros, com períodos de pico das 6 h às 8 h e das 18 h às 20 h, e cozinha, com período de pico das 11 h às 14 h ou das 18 h às 20 h. Na condição mais desfavorável o período de pico ocorrerá das 18 h às 20 h com o uso simultâneo de alguns aparelhos sanitários do banheiro e da cozinha.

Por essas razões o método dos pesos não é adequado também para sistemas com medição individualizada, pois não considera que as vazões de projeto dependem das atividades dos usuários que, por sua vez, são função do tipo do edifício e das características do usuário; das características do edifício, definidas pela quantidade e distribuição da população; e das características, vazões e intensidade de utilização dos aparelhos sanitários.

Essa abordagem inadequada do método dos pesos resulta em tratamentos idênticos para edifícios com características diferentes como, por exemplo, um edifício de apartamento com um banheiro e população de duas pessoas e outro com um banheiro e população de seis pessoas apresentam o mesmo valor de vazão de projeto no barrilete. Para este mesmo caso a consideração do método probabilístico apresentaria diferentes vazões de projeto para os sistemas prediais de água dos dois edifícios.

Oliveira (2007), utilizando os dois métodos, apresenta uma avaliação comparativa das vazões de projeto obtidas em três seções de um sistema de água fria de um edifício residencial de 12 pavimentos com quatro apartamentos por andar contendo cada apartamento uma suíte, um dormitório, um banheiro social, uma cozinha e uma

área de serviço. As seções analisadas foram: coluna de distribuição (S1), ramal de alimentação (S2) e ramal de distribuição (S3), conforme ilustrado na Figura 3.4.

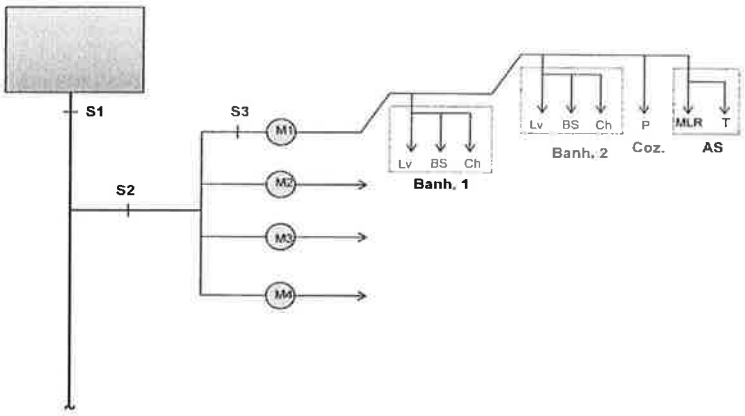


Figura 3.4 – Seções do sistema de medição individualizada onde as vazões de projeto foram determinadas pelo método probabilístico e pelo método da NBR 5626 (ABNT, 1998)

As vazões de projeto foram obtidas variando a população de cada apartamento. No caso 1 a comparação foi feita alterando a população do apartamento. Inicialmente seis pessoas, duas delas utilizando o banheiro da suíte e quatro utilizando o banheiro social. Em seguida, foram consideradas três pessoas, duas utilizando o banheiro da suíte e uma utilizando o banheiro social. Os tempos de banho utilizados foram: mínimo de 5 minutos, mais provável de 8 minutos e máximo de 15 minutos, para as duas simulações. Ressalta-se que o tempo de banho provável foi obtido de pesquisa desenvolvida por Ilha (1991).

No caso 2, foi considerada uma população de quatro pessoas, duas delas utilizando o banheiro da suíte e as outras duas utilizando o banheiro social, porém variando os tempos de banho em três simulações, respectivamente mínimo, mais provável e máximo, (5 min, 8 min e 15 min; 8 min, 10 min e 15 min e 10 min, 15 min e 20 min).

Os ambientes sanitários dos apartamentos dispõem dos seguintes aparelhos sanitários:

- Banheiros: uma bacia sanitária com volume nominal de descarga de 6 litros (BS), um lavatório (Lv) e um chuveiro elétrico (Ch);
- Cozinha: uma pia (P);

- Área de serviço: uma máquina de lavar roupas (MLR) e um tanque (Tq).

Os valores de duração de descarga, vazão e número de usos dos aparelhos sanitários no período de pico utilizados na simulação com o modelo probabilístico foram estimados a partir da experiência da autora e também do manual da lavadora de roupas Brastemp 8 Kg, modelo Turbo performance, os quais são apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2.

Tabela 3.1 – Durações das descargas, vazões e número de usos utilizados na simulação do modelo probabilístico

Aparelho sanitário	Duração de descarga (s)			Vazão (L/s)			Número de usos *per capita*		
	Mín.	Mais provável	Máx.	Mín.	Mais provável	Máx	Mín.	Mais provável	Máx.
Lv social	15	25	30	0,05	0,07	0,10	0	1	2
Lv suite							0	1	1
BS social e suite	45	68	85	0,08	0,10	0,15	0	1	1
Chuveiro social e suite	300	480	900	0,05	0,08	0,10	0	1	1
Pia	15	30	60	0,10	0,12	0,20	3	4	6
Lavadora de roupas	480	720	960	0,10	0,13	0,19	0	1	2
Tanque	20	30	40	0,10	0,15	0,20	0	1	1

Para o método recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), a vazão de projeto foi calculada para as três seções através da equação 3.2 e dos dados apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Valores dos pesos utilizados na simulação do método da NBR 5626 (ABNT, 1998)

Aparelho sanitário	Peso
Lavatório	0,3
Bacia sanitária	0,3
Chuveiro	0,1
Pia	0,7
Máquina de lavar roupa	1,0
Tanque	0,7

Os fatores de falha global e local máximo foram considerados iguais em todos os trechos: 0,01 e 0,05, respectivamente. O período de pico foi de 1 h e 30 min, no período noturno, que é a situação mais freqüente nas grandes cidades brasileiras.

Os valores de duração das descargas, de vazão e de número de usos *per capita*, são apresentados na Tabela 3.1.

Este modelo foi simulado com o auxílio do programa computacional que calcula a vazão de projeto em cada trecho do sistema, considerando os fatores de falha adotados.

Os resultados obtidos no primeiro caso, para verificar a influência da população de 6 pessoas na vazão de projeto indicam que pelo método probabilístico ocorre na seção1, no topo da coluna de distribuição que alimenta os 48 apartamentos, valor de vazão maior 18% em relação ao método recomendado pela NBR 5626 (ABNT,1998) para a população de 6 pessoas e de 15% menor para a população de 3 pessoas. No ramal que alimenta os quatro apartamentos, ou seja, na seção 2, foram verificados valores de vazão 39% menor para a população de 6 pessoas e de 52% menor para a população de 3 pessoas pelo método probabilístico e, por último, para os ramais de alimentação dos apartamentos, seção 3, o método probabilístico resultou em valores 52% e 59% menores em relação ao método recomendado pela NBR 5626 (ABNT,1998). Os resultados para o caso 1 estão apresentados na Figura 3.5.

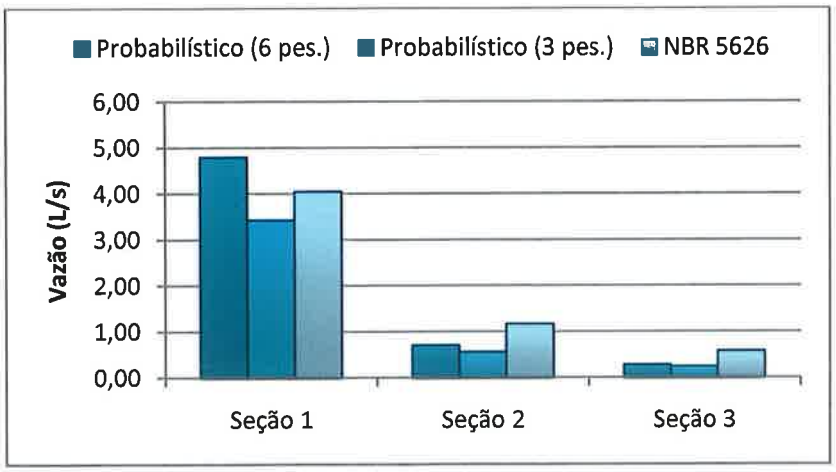


Figura 3.5 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna de distribuição), seção 2 (ramal dos apartamentos) e seção 3 (ramal de alimentação), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626 (ABNT, 1998), com a variação da população

No caso 2, conforme ilustra a Figura 3.6, a variação do tempo de banho indica que, para o método probabilístico, os valores de vazão aumentaram em função do

aumento do tempo de banho para o método probabilístico, exceto para os tempos de 5 min (mínimo), 8 min (mais provável) e 15 min (máximo), que ficou cerca de 4% menor do que o valor obtido pelo método da NBR 5626/1998. No entanto, nas seções 2 e 3 os valores de vazão obtidos para os três tempos de banho variaram de 38 a 52% menor que o valor da NBR 5626/1998.

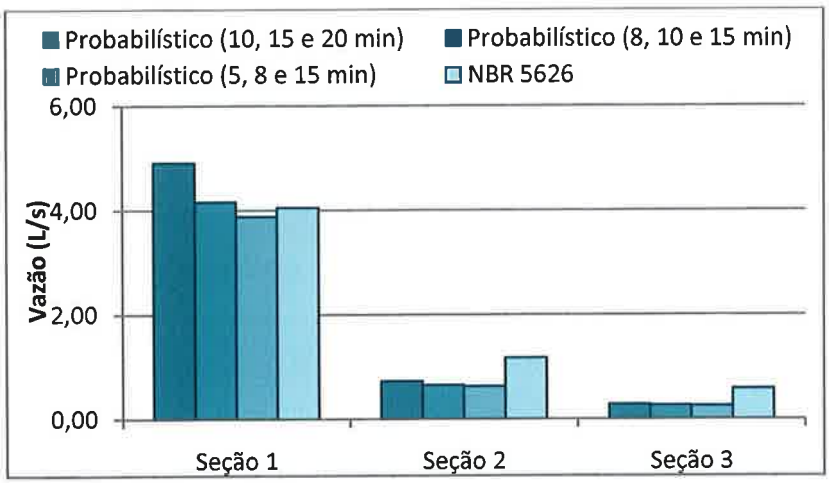


Figura 3.6 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna de distribuição), seção 2 (ramal do apartamento) e seção 3 (ramal de alimentação), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626 (ABNT, 1998), com a variação do tempo de banho

Os resultados indicam que o método probabilístico oferece grande adaptabilidade às condições de projeto e de uso do sistema, possibilitando que as vazões de projeto do sistema sejam determinadas considerando-se:

- o comportamento dos usuários como, por exemplo, tomar um ou mais banhos por dia, com maior ou menor duração, dentro ou fora do período de pico;
- os períodos de pico compatíveis com as atividades realizadas;
- o tempo de utilização dos aparelhos sanitários e tempo entre usos;
- as vazões dos aparelhos sanitários.

Assim, o método probabilístico mostra-se adequado para o dimensionamento dos sistemas de medição individualizada, pois é possível considerar as reais condições de solicitação do sistema

Apesar de o método probabilístico gerar resultados mais precisos que o determinístico, a utilização dos aparelhos sanitários é fortemente dependente dos usuários, cujos comportamentos subjetivos podem ser modelados como variáveis nebulosas (KIATAKE *et al.*, 2005). Por esta razão, além dos modelos determinísticos e probabilísticos, abordagem com base na lógica nebulosa pode ser eficaz no que diz respeito à determinação de vazões de projeto.

Deste modo, a fim de desenvolver um método mais preciso para determinar as vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada, no presente trabalho propõe-se a aplicação do método de Monte Carlo para modelar as variáveis aleatórias como, por exemplo, o instante de uso de aparelhos sanitários e a lógica nebulosa para modelar o comportamento dos usuários com um conjunto de regras de inferência nebulosa para o uso do chuveiro, que é particularmente relacionado com o instante de temperatura de uso e o ar ambiente.

Assim, no capítulo 4 são apresentados os conceitos das ferramentas utilizadas na proposição deste modelo: lógica nebulosa e método de Monte Carlo.

4 FERRAMENTAS EMPREGADAS NO MODELO: LÓGICA NEBULOSA E MÉTODO DE MONTE CARLO

Neste capítulo apresentam-se os conceitos básicos das duas ferramentas matemáticas utilizadas no modelo de simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada: a lógica nebulosa e o método de Monte Carlo. Para o estabelecimento do tempo de banho no período matutino, que depende do tempo disponível do usuário e a temperatura ambiente, é utilizada a lógica nebulosa e para a determinação do instante de início de utilização dos aparelhos sanitários pelos usuários de uma família, considera-se o método de Monte Carlo.

4.1 Lógica nebulosa

Segundo Yen, Langari e Zadeh (1994) a lógica nebulosa é o mecanismo para inferir com regras nebulosas, dadas proposições reais. De uma forma mais simples, pode-se conceituar lógica nebulosa como uma ferramenta capaz de converter informações subjetivas, geralmente descritas em linguagem natural, para um valor numérico.

Considerando-se que a lógica nebulosa utiliza conjuntos nebulosos, definidos por funções de pertinência em expressões lógicas, é necessário entender os conceitos da teoria dos conjuntos nebulosos. Assim, inicialmente são apresentados os conceitos básicos da teoria dos conjuntos nebulosos.

4.1.1 A teoria dos conjuntos nebulosos

Os conceitos fundamentais da teoria dos conjuntos nebulosos ou *fuzzy* foram introduzidos, em 1965, pelo Prof. Lofti A. Zadeh da Universidade da Califórnia, em Berkeley, quando ele trabalhava com problemas de classificação de conjuntos que não possuíam limites bem definidos (ZADEH, 1965).

A teoria dos conjuntos nebulosos é o fundamento da teoria dos sistemas nebulosos, assim como a teoria clássica dos conjuntos é o fundamento da matemática clássica. Na teoria clássica dos conjuntos um elemento pertence a um conjunto ou não pertence e na teoria dos conjuntos nebulosos um conjunto é denominado nebuloso quando seus limites não são definidos com exatidão.

O conceito de que o conjunto nebuloso é uma generalização do conceito de um conjunto binário pode ser explicada a seguir, segundo Gomide e Gudwin (1994). Dado um conjunto universo U e um elemento particular $x \in U$, o grau de participação ou grau de pertinência $\mu_A(x)$ em relação a um conjunto $A \subseteq U$ é dado por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 \text{ se } x \in A \\ 0 \text{ se } x \notin A \end{cases} \tag{4.1}$$

A função $\mu_A(x) : U \rightarrow \{0,1\}$ é denominada função característica na teoria clássica de conjuntos. Em geral, uma generalização desta idéia é utilizada, por exemplo, para a manipulação de dados com erros limitados. Todos os números dentro de um erro percentual terão um fator de pertinência 1, tendo todos os demais um fator de pertinência 0, conforme apresentado na Figura 4.1 (a). Para o caso preciso, o grau de pertinência é 1 somente no número exato, sendo 0 para todos os demais, conforme apresentado na Figura 4.1 (b).

Zadeh (1965) apud Gomide e Gudwin (1994) propôs uma caracterização mais ampla, na medida em que sugere que alguns elementos são mais membros de um conjunto do que de outros. O grau de pertinência pode então assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa completa pertinência. Esta generalização aumenta o poder de expressão da função característica.

Um exemplo modificado, para expressar a idéia de que o tempo de banho normal é cerca de 10 minutos, é a utilização de uma função de pertinência triangular, conforme apresentado na Figura 4.1 (c), com o pico em 10, para sugerir a idéia de

que quanto mais próximo o valor de tempo de banho estiver do valor 10, mais ele se identifica com o conceito apresentado.

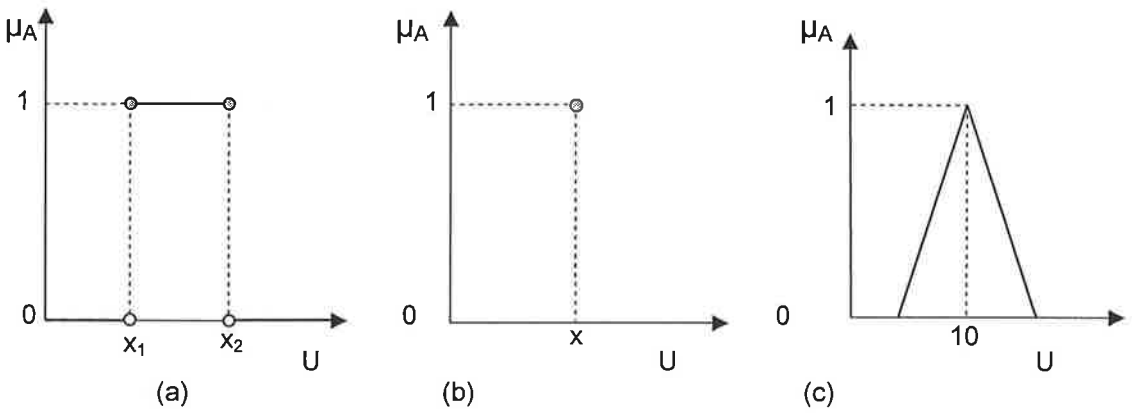


Figura 4.1 – Funções de pertinência (Gomide e Gudwin, 1994 - modificado)

Assim, na teoria dos conjuntos nebulosos, um conjunto nebuloso Ã em um universo U é definido por uma função $\mu_{\tilde{A}}$, denominada função de pertinência em Ã, que assume valores em um intervalo [0,1]:

$$\mu_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0, 1] \tag{4.2}$$

A função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$ expressa o grau que um elemento x é membro do conjunto nebuloso Ã. Quanto mais o valor de $\mu_{\tilde{A}}(x)$ se aproxima de 1, maior será o grau de pertinência do elemento ao conjunto nebuloso Ã. Desta forma, pode-se dizer que:

$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ implica que x está totalmente em Ã;

$\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ implica que x não está em Ã;

$0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ implica que x está parcialmente em Ã.

Caso a função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$ assumisse somente os valores de 0 e 1, ela ficaria equivalente à função característica da teoria clássica de conjuntos, definida na equação 4.1. Neste caso, o conjunto nebuloso Ã perderia as características de um conjunto nebuloso e tornaria um conjunto binário A. Assim, verifica-se que a função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$ do conjunto nebuloso Ã é uma generalização da função

característica $\mu_A(x)$ do conjunto binário A e que um conjunto nebuloso é uma generalização do conjunto binário (CHENG, 1997a).

Para modelar os termos subjetivos da linguagem natural utilizam-se as variáveis linguísticas, que são variáveis cujos valores são expressos qualitativamente por um termo linguístico e quantitativamente por uma função de pertinência. Na Figura 4.2 está apresentado um exemplo de função de pertinência para a "Temperatura ambiente" – $\mu_{\tilde{A}}$: T. A temperatura de 21 °C apresenta grau de pertinência do seguinte modo:

- Temperatura baixa – $\mu_{\tilde{A}}$ (21 °C) = 0,8;
- Temperatura média – $\mu_{\tilde{A}}$ (21 °C) = 0,2;
- Temperatura alta – $\mu_{\tilde{A}}$ (21 °C) = 0,0.

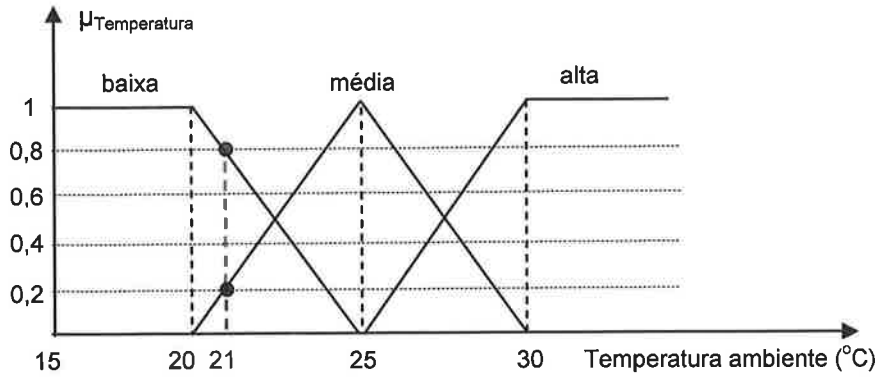


Figura 4.2 – Variável linguística Temperatura e suas funções de pertinência

O vetor grau de pertinência (0,8; 0,2; 0) em que o valor do gráfico da Figura 4.2 satisfaz o conceito linguístico do termo (baixa, média e alta) de uma variável linguística (temperatura), é denominado grau de pertinência. No caso de uma variável contínua, o grau de pertinência, é expresso pela função de pertinência.

Neste caso, o grau de pertinência em um conjunto se torna o grau de verdade de uma declaração. No exemplo da Figura 4.2, a expressão "21 °C é uma temperatura baixa" com grau de verdade de 0,8.

Conforme apresentado, os conjuntos nebulosos são generalizações de conjuntos binários. Assim, os casos μ=0, μ=1 da função característica da teoria clássica dos conjuntos, são especiais da função de pertinência da teoria dos conjuntos nebulosos.

4.1.2 A lógica nebulosa e a teoria de probabilidade

Em geral, o conceito de grau de pertinência da lógica nebulosa é confundido com o conceito de probabilidade, o que resulta na consideração da função de pertinência como sendo uma função de distribuição estatística.

Segundo Simões (200?) a probabilidade é a chance de que um elemento pertença a um conjunto, enquanto que a possibilidade expressa o grau em que o elemento é membro de um conjunto. Exemplificando, suponha que um pai afirme que a chance de sua filha tomar banho na manhã seguinte seja de 0,8. Assim, a probabilidade de que a filha tome banho na manhã seguinte é de 0,8, mas não informa a qualidade ou quão longo será o banho. No entanto, usando os diferentes tempos de banho de uma escala (1,0 = banho muito longo, 0,8 = banho longo, 0,5 = banho normal, 0,3 = banho rápido e 0 = não há banho) ele poderia afirmar que o banho de sua filha seria longo.

De acordo com Sandri e Correa (1999) dois dos principais aspectos da imperfeição da informação são a imprecisão e a incerteza. Estas duas características são intrinsecamente ligadas e opostas entre si: quanto mais se aumenta a incerteza mais se diminui a imprecisão e vice-versa. Por exemplo, suponha que o pai do exemplo anterior esteja seguro em afirmar que a vazão do chuveiro seja entre 0,05 e 0,15 L/s. Se ele for solicitado a informar um valor mais preciso da vazão do chuveiro, ele tenderá a aumentar a incerteza, dizendo, por exemplo, que a vazão do chuveiro é de 0,10 L/s, com uma probabilidade diferente de 1. Uma informação imprecisa também pode ser vaga, como por exemplo, quando o pai diz que a vazão do chuveiro é "cerca de 0,10 L/s".

Observa-se que a probabilidade não contribui para informar "o quanto" um evento esteja ocorrendo. A mensuração de quão grande seja a vazão do chuveiro, por exemplo, é uma medida nebulosa que varia de vazão mínima a vazão máxima.

Ainda segundo Sandri e Correa (1999), as teorias mais conhecidas para tratar da imprecisão e da incerteza são respectivamente a teoria dos conjuntos e a teoria de probabilidades. Estas teorias, embora muito úteis, nem sempre conseguem captar a riqueza da informação fornecida por seres humanos. A teoria dos conjuntos não é capaz de tratar o aspecto vago da informação e a teoria de probabilidades, na qual a probabilidade de um evento determina completamente a probabilidade do evento contrário é mais adequada para tratar de informações usuais do que aquelas fornecidas por seres humanos.

Um exemplo, apresentado por Massolino (2009) na Figura 4.3, também ilustra a diferença entre a lógica nebulosa e a teoria de probabilidades. Caso uma pessoa disser que o dia está quente, deve-se dizer o quanto ele está quente, qual é o grau do valor quente. Esse valor varia de 0, representando nada quente, a 1, representando totalmente quente.

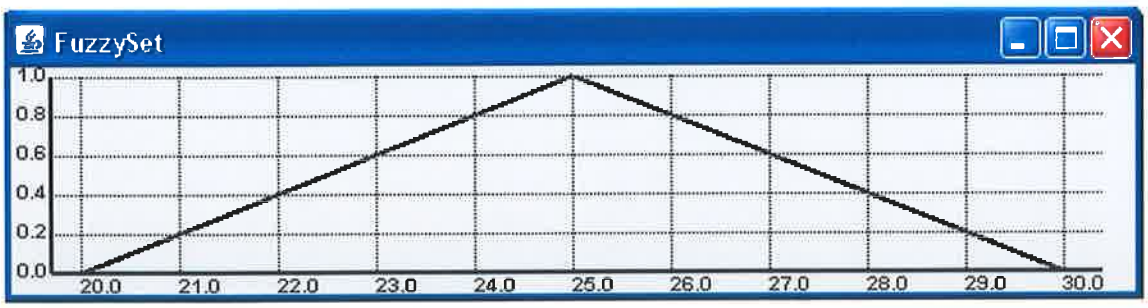


Figura 4.3 – Conjunto nebuloso "quente" (MASSOLINO, 2009)

Na Figura 4.3, caso a temperatura ambiente esteja a 24° C então, por meio do conjunto nebuloso, pode-se dizer que está 0,8 quente e não que tem 80% de chance de estar ou não quente, como utilizado na teoria da probabilidade. Deste modo, é criado um grau para saber o quanto uma temperatura é considerada quente. Caso a temperatura fosse 15° C ou 35° C significaria 0,0 quente, ou seja, não estaria

quente. Caso a temperatura fosse 25° C, então seria 1,0 quente ou completamente quente.

Assim, pode-se afirmar que a teoria de probabilidade utiliza variáveis aleatórias dependentes de ocorrências de eventos futuros e incertos, enquanto a matemática nebulosa utiliza variáveis nebulosas, mas certas a respeito de suas ocorrências.

4.1.3 Operações de lógica nebulosa

O processo de dedução lógica que considera informações vagas e subjetivas, denominadas nebulosas, é o fundamento do sistema de lógica nebulosa. Segundo Von Altrock (1997), a estrutura do sistema de lógica nebulosa baseia-se em três passos: nebulização ou fuzzificação, inferência nebulosa e denebulização ou defuzzificação, conforme apresentado na Figura 4.4.

Uma vez que todas as variáveis de entrada são traduzidas para as respectivas variáveis linguísticas, a inferência nebulosa avalia o conjunto de regras do tipo *condição-ação*, que definem a avaliação. O resultado obtido é novamente uma variável linguística. O passo da denebulização traduz este resultado de variável linguística para um valor numérico. Estes passos são detalhados a seguir.

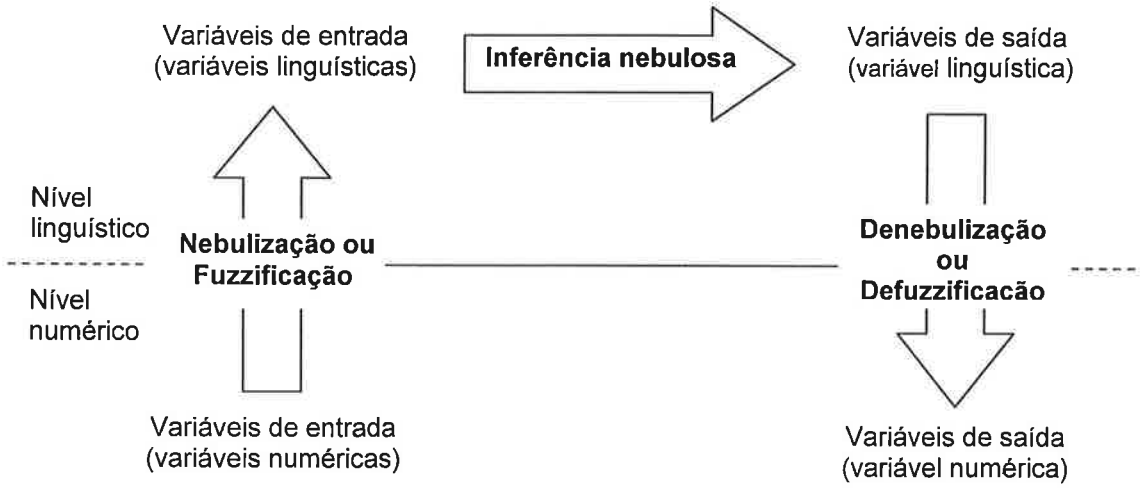


Figura 4.4 – Estrutura do sistema de lógica nebulosa (Von Altrock,1997)

4.1.3.1 Nebulização ou Fuzzificação

É o primeiro passo do sistema de lógica nebulosa, em que há atribuição de valores linguísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada. Na lógica binária uma proposição bem definida seria como, por exemplo, "a vazão na torneira do lavatório é de 0,05 L/s". Na lógica nebulosa esta mesma proposição poderia ser: "a vazão na torneira do lavatório é baixa". Genericamente uma proposição nebulosa pode ser representada pela expressão:

$$x = \tilde{A} \tag{4.3}$$

em que:
x é o nome do sujeito e Ã é o predicado nebuloso.

O predicado nebuloso é representado por um subconjunto nebuloso do conjunto universo e, muitas vezes, denominado variável nebulosa ou variável linguística. Na Figura 4.2 está apresentado o processo de nebulização das informações relativas à variável linguística "Temperatura ambiente", que poderá assumir como valor lingüístico um dos membros do conjunto {baixa, média, alta}.

As proposições nebulosas podem ser acompanhadas de modificadores linguísticos tais como: muito, mais ou menos, pouco, bastante, entre outros, para modificar o seu predicado. Seguindo o exemplo anterior pode se dizer: "a vazão na torneira do lavatório é muito baixa". A forma genérica de uma proposição nebulosa modificada é representada da seguinte forma:

$$x = m\tilde{A} \tag{4.4}$$

em que:
m é o modificador linguístico.

4.1.3.2 Inferência nebulosa

No segundo passo do sistema de lógica nebulosa realiza-se a inferência nebulosa, que é uma dedução lógica que envolve uma proposição ou um conjunto nebuloso e

tem como objetivo relacionar as variáveis nebulosas entre si por meio de regras pré-estabelecidas.

Segundo Cheng (2007b) o método mais utilizado na inferência da lógica binária é a implicação do tipo: "se A então B". Neste método se destacam o "modus ponens" – modo afirmativo e o oposto "modus tollens" – modo negativo.

A dedução "modus ponens: "se A então B", "A é verdadeiro" implica que "B é verdadeiro" é a mais utilizada e pode ser representada pela expressão lógica:

$$((A \rightarrow B) \text{ e } A) \rightarrow B \tag{4.5}$$

onde A e B são proposições precisamente definidas.

Exemplo:
Se a temperatura da água está a 45° C ligar o aquecedor.
A temperatura da água está a 45° C.
Então, ligar o aquecedor.

Por meio das proposições condicionais do tipo "se x é $\tilde{A}$ então y é $\tilde{B}'$, pode-se fazer generalização de uma inferência nebulosa da seguinte forma:

- Premissa 1: $\tilde{A} \rightarrow \tilde{B}$ (se x é $\tilde{A}$ então y é $\tilde{B}$)
- Premissa 2: $\tilde{A}'$ (x é $\tilde{A}'$)
- Conclusão: $\tilde{B}'$ (então y é $\tilde{B}'$) (4.6)

onde:
$\tilde{A}$ e $\tilde{A}'$ são conjuntos nebulosos de U;
$\tilde{B}$ e $\tilde{B}'$ são conjuntos nebulosos de V.

Ressalta-se que $\tilde{A}$ e $\tilde{A}'$, $\tilde{B}$ e $\tilde{B}'$ não precisam ser necessariamente iguais.

a) Operações da inferência nebulosa

As operações de inferência nebulosa $\tilde{B}' = \tilde{A}' \circ (\tilde{A} \rightarrow \tilde{B})$, utilizadas neste trabalho são baseadas na regra de composição de max-min e na relação de Mamdani R_m e são dadas por:

$$\mu_{\tilde{B}'}(v) = a \wedge \mu_B(v) \tag{4.7}$$

onde:

$\mu_{\tilde{A}}(u)$ é a função de pertinência do conjunto nebuloso $\tilde{A}$;

$\mu_{\tilde{A}'}(u)$ é a função de pertinência do conjunto nebuloso $\tilde{A}'$;

$\mu_{\tilde{B}'}(u)$ é a função de pertinência do conjunto nebuloso $\tilde{B}'$;

$a = \max_u \{\mu_{\tilde{A}'}(u) \wedge \mu_{\tilde{A}}(u)\}$ é o grau de conformidade entre $\tilde{A}'$ e $\tilde{A}$;

$\circ$ representa o operador de composição;

$\wedge$ representa o operador mínimo "min".

A função de pertinência do resultado $\mu_{\tilde{B}'}(v)$, como apresentado na Figura 4.5, é o resultado do corte da curva da função de pertinência do conjunto nebuloso $\tilde{B}'$ pelo grau de conformidade "a".

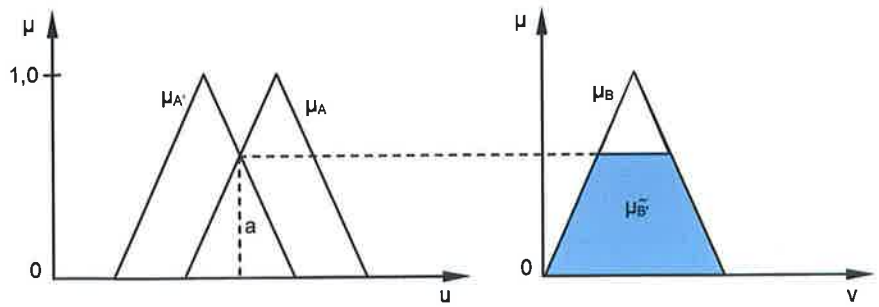


Figura 4.5 – Determinação da função de pertinência $\mu_{B'}$ pelo "Método de cortar a cabeça"

Este processo de inferências pode ser realizado sobre múltiplas proposições nebulosas, em que o resultado final é interpretado como a união dos resultados das "n" inferências isoladas, conforme está ilustrado na Figura 4.6.

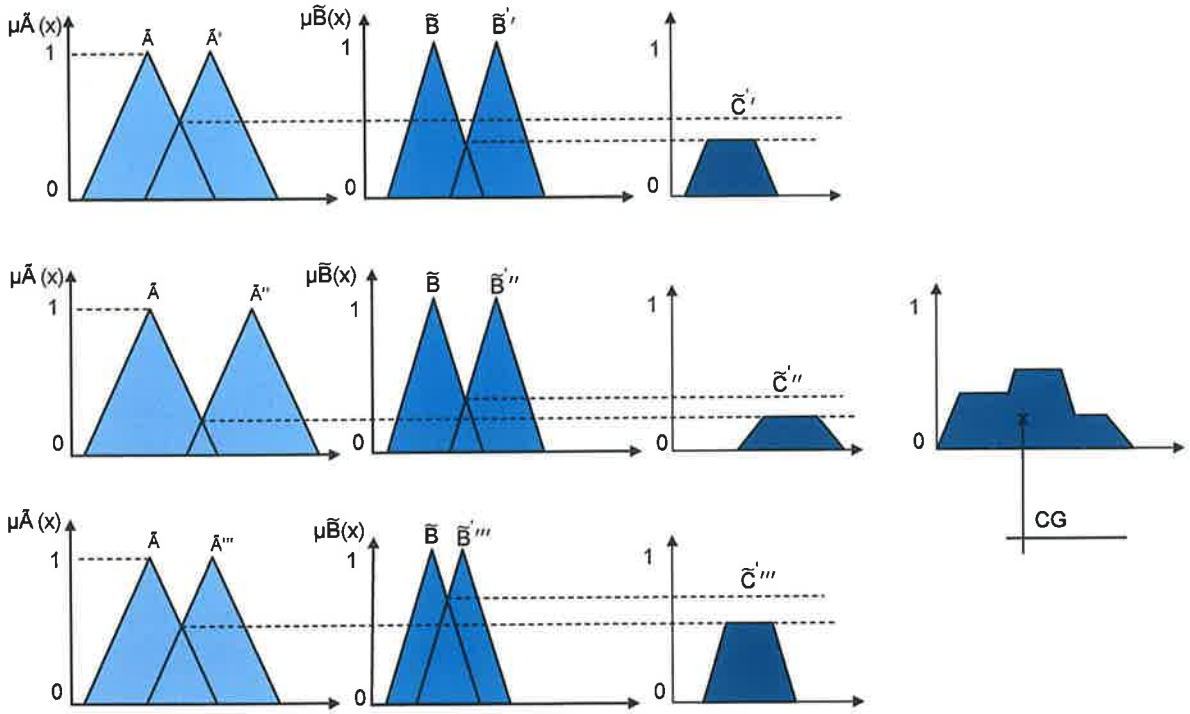


Figura 4.6 – Inferências sobre múltiplas proposições nebulosas (HARRIS, 1999)

Assim, o resultado da inferência nebulosa é utilizado como entrada para a denebulização com a finalidade gerar uma resposta determinística como, por exemplo, o centro de gravidade do conjunto resultante.

4.1.3.3 Denebulização ou Defuzzificação

Neste terceiro e último passo do sistema de lógica nebulosa, a variável linguística gerada pelas regras de inferência é transformada em variável numérica. Segundo Shaw e Simões (1999), o objetivo é a obtenção de um único valor numérico discreto que melhor represente os valores nebulosos inferidos da variável linguística de saída. Embora conste na literatura vários métodos de denebulização, Cox (1995), ressalta dois, que são: centro de área e média do máximo.

a) Centro de área

O método do centro da área (CA), também denominado método centro de gravidade, pois ele calcula o baricentro da área composta que representa o termo de saída nebuloso ($\mu_{saída}$), que é composto pela união de todas as contribuições de regras. O baricentro é um ponto que divide a área de $\mu_{saída}$ em duas partes iguais. O baricentro é calculado por meio da equação 4.8.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i \ \mu_{saída}(u_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu_{saída}(u_i)} \tag{4.8}$$

Onde:

$\mu_{saída}(u_i)$ é a área de uma função de pertinência modificada pelo resultado da inferência nebulosa;

u_i é a posição do baricentro da função de pertinência individual.

b) Média do máximo

O método de denebulização da média do máximo (MM) calcula a média de todos os valores de saída que tenham os maiores graus de pertinência, pois segundo Shaw e Simões (1999) uma abordagem para a denebulização poderia ser a de utilizar a saída cujo valor tenha o maior grau de pertinência $\mu_{saída}(u_i)$. Em casos onde a função de pertinência tenha mais de um máximo essa idéia não pode ser utilizada. A média do máximo é calculada por meio da equação 4.9.

$$x = \sum_{m=1}^{M} \frac{u_m}{M} \tag{4.9}$$

Onde:

u_m é o m-ésimo elemento no universo de discurso;

M é o número total desses elementos.

Para validar a aplicação da lógica nebulosa na determinação do tempo de banho dos usuários, foi realizada uma pesquisa de campo em um apartamento habitado por três estudantes, conforme descrito no capítulo 5.

4.2 Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo é uma ferramenta que gera valores para as variáveis aleatórias com a mesma distribuição da variável considerada. Segundo Souza (2004) a principal característica do método de Monte Carlo é a utilização de técnicas de amostragem aleatória para obter a solução do problema. Além disso, o método pode ser aplicado a problemas matemáticos que não tenham relação com variáveis aleatórias como, por exemplo, no cálculo da área de uma figura plana.

Neste trabalho as variáveis aleatórias são: instante de início de uso de um aparelho sanitário, a vazão e a duração do uso da água. Ressalta-se que a duração do uso do chuveiro é determinada por meio da lógica nebulosa e, por uma questão de simplificação, somente os instantes de início de utilização dos aparelhos foram determinados por meio do método de Monte Carlo. Assim, foram preparadas frequências do uso da água para os usuários considerados.

4.2.1 O uso do método de Monte Carlo em modelos de sistemas prediais de água

O método de Monte Carlo é uma ferramenta bastante utilizada em modelos para a determinação da demanda de água em sistemas prediais. A seguir são apresentados alguns trabalhos desenvolvidos por pesquisadores da área.

Wong e Mui (2005), utilizam as distribuições de frequências horárias de descargas por usuário, o número de usuários em relação ao total existente nos edifícios e a variação de utilização de bacias sanitárias. Estes dados são utilizados em modelo que determina a demanda horária e diária de água para descarga de bacias sanitárias por meio do método de Monte Carlo. A proposta deste modelo foi

contribuir para o planejamento da oferta de água em cidades com densidade populacional similar a de Hong Kong.

Outro modelo aplicado aos sistemas prediais de água e desenvolvido por Mui; Wong e Law (2007) utiliza o método de Monte Carlo para determinar o valor de referência de consumo doméstico de água, tendo-se em vista a promoção de práticas de sustentabilidade sem ter que levantar o consumo real do edifício.

Murakawa *et al.* (2008) tem desenvolvido modelos para a simulação da demanda de água quente e fria para diferentes tipologias de edifícios com a utilização do método de Monte Carlo. Neste trabalho são abordados os edifícios multifuncionais, denominados complexos e, para tal, utilizam os modelos concluidos para outras tipologias até o momento: residencial (Murakawa *et al.*, 1989), escritórios (Takata *et al.*, 2004), hotéis (Takata *et al.*, 2005), restaurantes (Murakawa et al., 2005), hotéis urbanos Murakawa et al. (2007). Em todos estes trabalhos foi confirmada a adequação dos resultados simulados com os resultados medidos.

Murakawa *et al.* (2007) apresentam modelo para a determinação de vazões instantâneas, horárias de água quente e fria em apartamentos de hotéis urbanos. Para tal monitoraram o consumo em três apartamentos com intervalo de um minuto e durante um ano e os aparelhos sanitários foram monitorados em intervalos de cinco segundos. Isso possibilitou a análise da freqüência, a duração e a vazão de cada uso nos aparelhos sanitários, bem como da temperatura da água. Com a utilização do modelo é possível estimar as demandas de água quente e fria para diferentes quantidades de apartamentos em hotéis urbanos. Ressalta-se também que foram realizadas 100 simulações com repetições.

Takata *et al.* (2004), desenvolveram modelo para calcular a demanda de água fria e quente em edifícios de escritórios japoneses com a aplicação do método de Monte Carlo. A coleta de dados foi conduzida em dois edifícios de escritórios, por um período aproximado de quatro semanas por estação. Em um dos edifícios os volumes e as temperaturas da água quente e da água fria da copa foram medidos separadamente dos sanitários. No outro edifício, foram medidos os consumos de cada aparelho sanitário nos sanitários masculino e feminino, além do consumo de

água da copa. Isto possibilitou a caracterização do uso da água por meio da determinação de vazões diárias, horárias e instantâneas, da temperatura de uso da água quente, da frequência de utilização e da duração do uso da água. Os valores da demanda horária e diária simulados foram muito próximos dos valores coletados.

4.2.2 Passos do método de Monte Carlo

Segundo Shamblin e Stevens Jr. (1974), o método de Monte Carlo pode ser realizado por meio dos seguintes passos:

a) Estabelecer uma distribuição de probabilidade para uma variável do caso estudado;
b) Construir a função de distribuição acumulada para cada variável;
c) Estabelecer os intervalos dos números aleatórios para cada variável;
d) Gerar números aleatórios;
e) Simular o experimento.

A solução de um problema com a utilização deste método exige várias tentativas aleatórias e a precisão do resultado depende, em geral, do número de tentativas. Por isso é interessante a determinar o número mínimo de simulações para um erro de estimativa previsto.

4.2.3 Números aleatórios

O método de Monte Carlo requer números aleatórios para gerar dados a partir de uma distribuição de probabilidade. Segundo Shamblin e Stevens Jr. (1974), um número aleatório é um número em um sequência de números cuja probabilidade de ocorrência é a mesma que de qualquer outro número em sequência. Os números aleatórios podem ser obtidos manualmente, por tabelas ou por métodos computacionais.

O processo mais utilizado para a obtenção de números aleatórios é a geração de números pseudoaleatórios com a utilização de programas computacionais. Uma sequência de números pseudoaleatórios não é verdadeiramente aleatória, pois elas são obtidas por meio de um processo matemático determinístico. Entretanto, os números gerados deste modo são considerados aleatórios desde que passem por certo número de testes estatísticos de aleatoriedade. Uma sequência de pseudonúmeros aleatórios eventualmente se repetem ciclicamente, mas sem problema desde que o ciclo seja bastante longo.

Neste trabalho, utilizou-se o gerador de números pseudoaleatórios da biblioteca padrão *java.util.Math*, cuja função se chama *random* ( ). O algoritmo da função *random* usa semente de 48 bits para gerar uma tabela de números pseudoaleatórios conforme descrito em java (200?). Os valores gerados por esta função apresentam precisão dupla maior ou igual a zero e menor que um, com sinal positivo. Os valores gerados são escolhidos pseudoaleatoriamente com distribuição uniforme para aquela faixa.

4.2.4 Cálculo do número de simulações

De acordo com Shamblin e Stevens Jr. (1974) a determinação do tamanho da amostra ou do número de simulações é uma tarefa difícil, pois muitas das informações requeridas para especificar o número de iterações corretamente não são conhecidas até que as simulações sejam executadas. Na maioria das simulações, em geral, há dois parâmetros de particular interesse: a média e o desvio padrão da população.

Considerando-se que a média da amostra tenha distribuição normal e que a amostra seja suficientemente grande, o número de simulações é dado pela equação 4.10.

$$N = \frac{\sigma^2 (Z_{\alpha/2})^2}{d^2} \qquad (4.10)$$

Onde:

N = número de simulações;

σ = desvio padrão conhecido da população;

$Z_{\alpha/2}$ = desvio padrão normalizado correspondente ao coeficiente de confiança $1 - \alpha$ e que a média verdadeira esteja entre $\alpha/2$ e $1 - \alpha/2$;

d = erro de estimativa.

Em geral, o desvio padrão da população não é conhecido, conforme proposto na equação 4.10. Neste caso, segundo Shamblin e Stevens Jr. (1974), pode-se, considerando uma amostra grande, calcular o tamanho da amostra ou o número de simulações por meio da equação 4.11.

$$N = \frac{s^2 (Z_{\alpha/2})^2}{d^2} \tag{4.11}$$

Onde:

s = desvio padrão conhecido da amostra;

N e $Z_{\alpha/2}$, definidos anteriormente.

No programa desenvolvido para a simulação do modelo, tanto a determinação do tempo de banho dos usuários, por lógica nebulosa, quanto a determinação dos instantes de início de utilização dos aparelhos sanitários, pelo método de Monte Carlo, são sub-rotinas do programa principal.

No capítulo 5 são apresentados os resultados do levantamento de campo para validar a aplicação da lógica nebulosa, bem como a sua validação e no capítulo 6 são apresentados os resultados das simulações para a determinação das vazões no ramal de alimentação de um apartamento com medição individualizada.

5 VALIDAÇÃO DA APLICAÇÃO DA LÓGICA NEBULOSA PARA DETERMINAR O TEMPO DE BANHO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos dos dados de vazão e de tempo de utilização coletados nos aparelhos sanitários e no ramal de alimentação do sistema de medição individualizada de água do apartamento de três estudantes. Apresentam-se também a determinação do tempo de banho dos estudantes com a utilização da lógica nebulosa, bem como a validação desta abordagem por meio da comparação dos resultados coletados e calculados.

5.1 Resultados e discussão dos dados coletados nos pontos de utilização e no ramal de alimentação

Embora para a validação da utilização da lógica nebulosa sejam considerados somente os dados de duração de uso do chuveiro, são apresentados também os resultados dos outros aparelhos sanitários tendo-se em vista a utilização destes resultados na continuidade desta pesquisa.

5.1.1 Chuveiro

Um evento de banho foi caracterizado quando da ocorrência de um intervalo com vazão nula superior a três minutos entre dois eventos. A Figura 5.1 mostra um evento de banho com duas interrupções de cerca de trinta segundos, hábito observado em dois dos três estudantes e confirmado por meio da entrevista.

As Figuras 5.2 a 5.4 ilustram gráficos de duração e de vazão dos banhos dos estudantes E1, E2 e E3, respectivamente, no período matutino. Ressalta-se que somente o estudante A tem o hábito de tomar banho no período da manhã. Assim, a validação da lógica nebulosa para a determinação do tempo de banho é feita utilizando somente os dados do estudante E1, uma vez que ele apresentou o maior número de banhos no período da manhã.

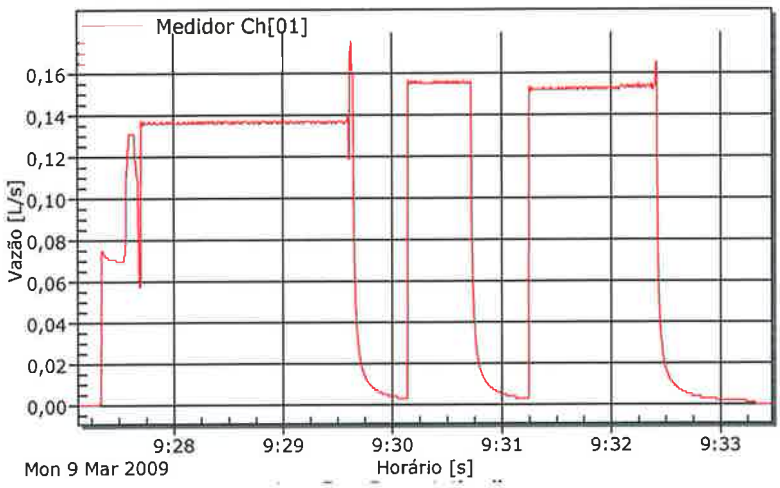


Figura 5.1 – Um evento de banho com duração aproximada de cinco minutos e duas interrupções de cerca de trinta segundos

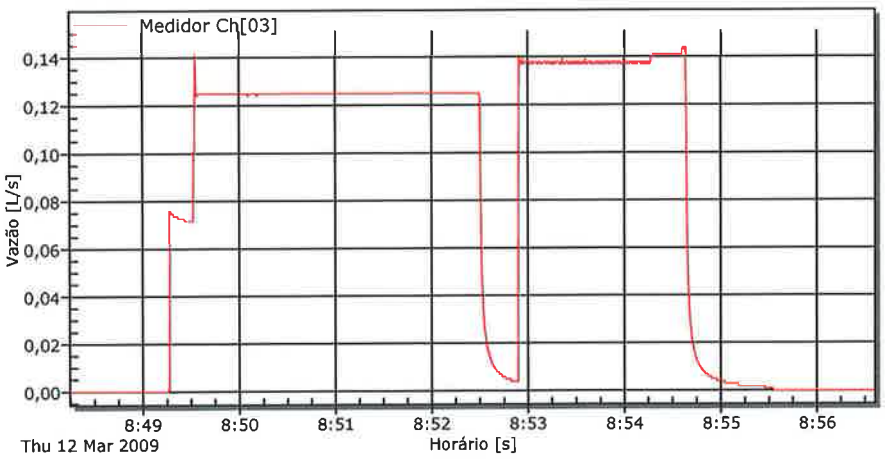


Figura 5.2 – Gráfico de vazão, horário e de tempos de banho do estudante E1

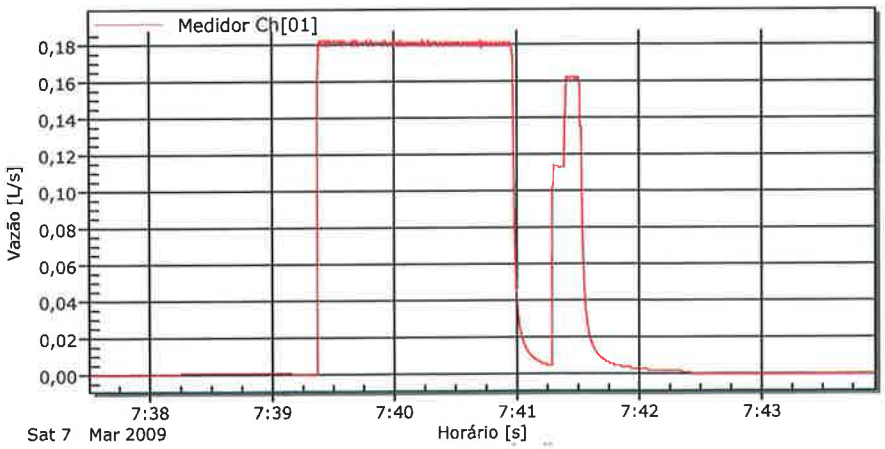


Figura 5.3 – Gráfico de vazão, horário e de tempos de banho do estudante E2

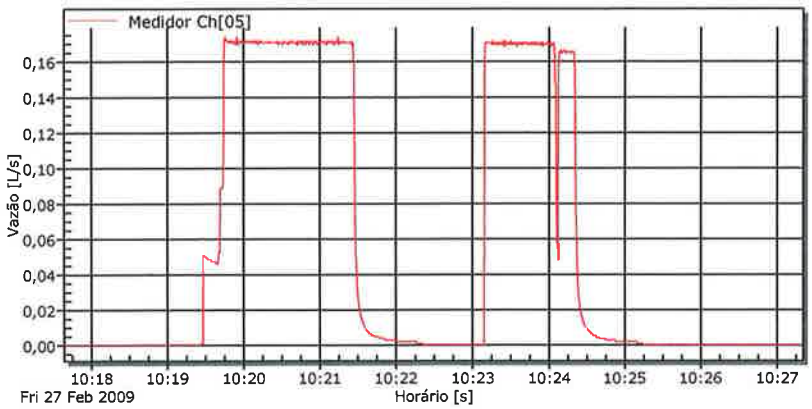


Figura 5.4 – Gráfico de vazão, horário e de tempos de banho do estudante E3

Nas Figuras 5.5 e 5.6 são apresentadas as distribuições de frequências de vazões e de tempos de banhos dos três estudantes monitorados.

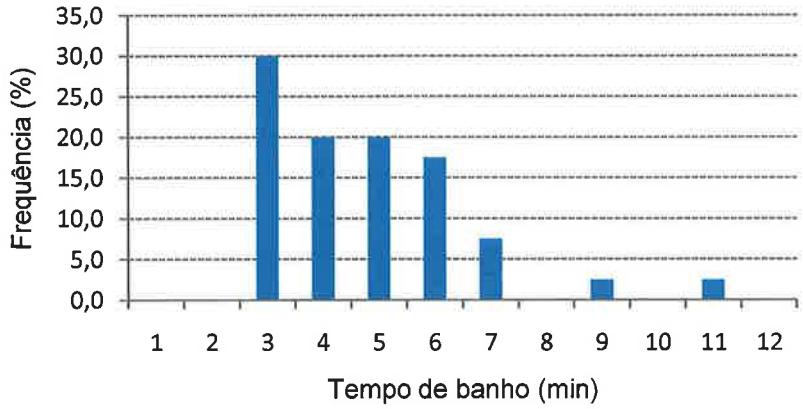


Figura 5.5 – Distribuição de frequências de tempos de banho para os usuários do apartamento

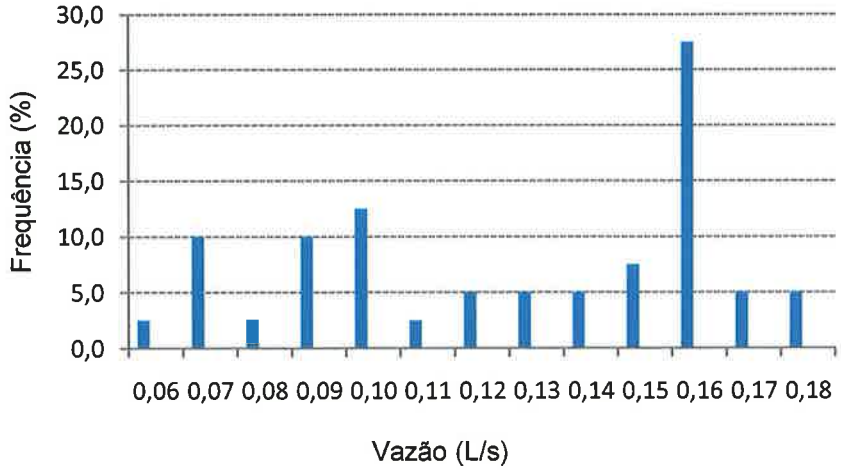


Figura 5.6 – Distribuição de frequências de vazões de banho para os usuários do apartamento

A Tabela 5.1 mostra os valores de vazão provável (q_{prov}), vazão mínima ($q_{mín}$), vazão máxima ($q_{máx}$), tempo provável (t_{prov}), tempo mínimo ($t_{mín}$) e tempo máximo ($t_{máx}$) obtidos com os dados coletados nos eventos de banho dos estudantes.

Tabela 5.1 – Valores prováveis, mínimos e máximos da vazão e tempo de banho analisados na pesquisa

q_{prov} (L/s)	$q_{mín}$ (L/s)	$q_{máx}$ (L/s)	t_{prov} (min)	$t_{mín}$ (min)	$t_{máx}$ (min)
0,16	0,06	0,18	3	3	11

Com esses dados, foi possível obter, através das equações 3.5 a 3.8, a vazão média (μ_q), o tempo médio (μ_t) e respectivas variâncias σ_q^2 e σ_t^2. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.2, a seguir.

Tabela 5.2 – Valores médios e variância de vazão e de tempo de banho analisados na pesquisa

μ_q (L/s)	σ_q^2 (L/s)	μ_t (min)	σ_t^2 (min)
0,14	0,00	4,6	2,6

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 5.2, verifica-se que o valor da vazão para o chuveiro elétrico é maior que o valor recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), que é de 0,10 L/s.

Na Figura 5.7 é possível verificar que o horário de maior utilização do chuveiro no período de coleta de dados ocorreu entre 8 e 9 h no período matutino e entre 20 e 22 horas no período noturno.

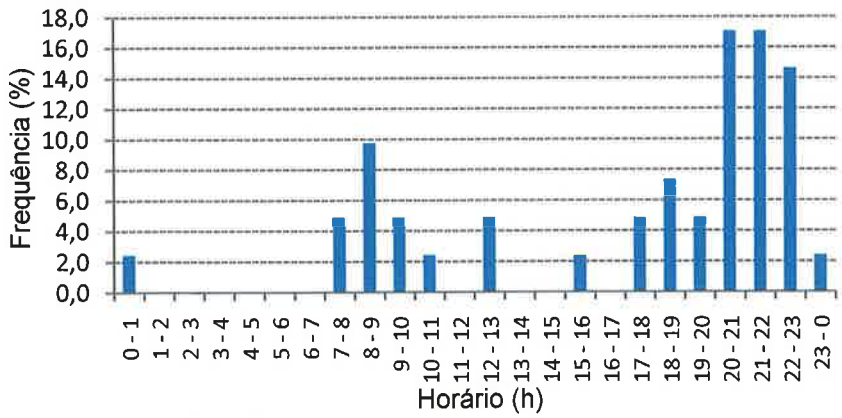
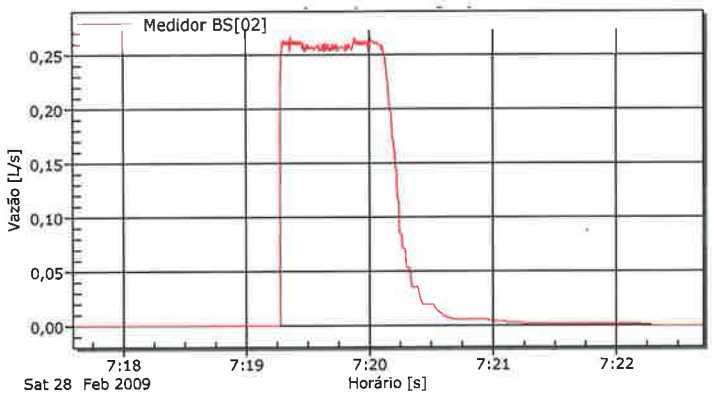


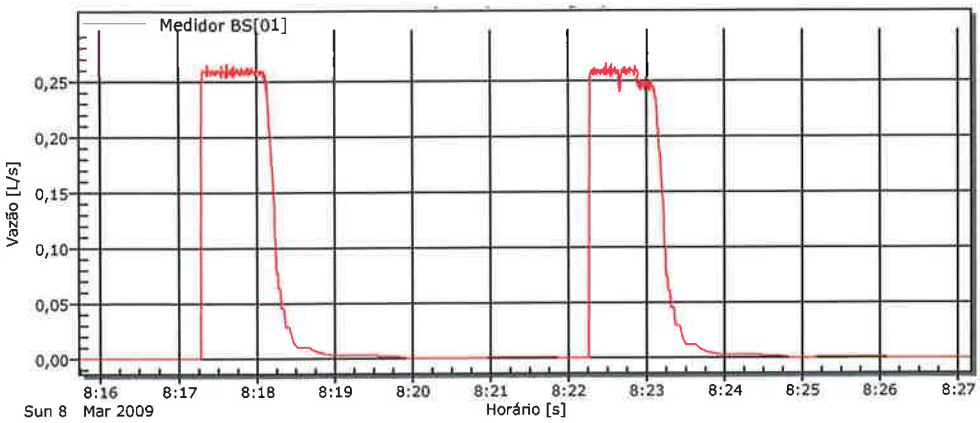
Figura 5.7 – Distribuição de freqüências de horários dos banhos dos usuários

5.1.2 Bacia Sanitária

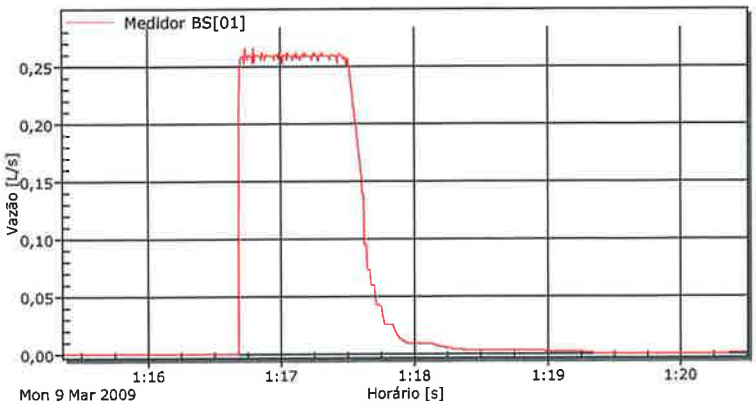
Por se tratar de uma bacia sanitária convencional com caixa acoplada, tanto a vazão quanto o tempo de uso da descarga são constantes, uma vez que não dependem da interação com o usuário. É possível observar isto em curvas de quatro descargas apresentadas na Figura 5.8, ressaltando que na Figura 5.8 (b) são ilustradas duas descargas com intervalo de 4 minutos.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.8 – Curvas de descarga da bacia sanitária

Observando-se a Figura 5.9 é possível verificar o horário de pico de utilização da bacia sanitária no período de monitoramento ocorreu entre 8 e 9 h no período matutino e entre 21 e 22 h no período noturno.

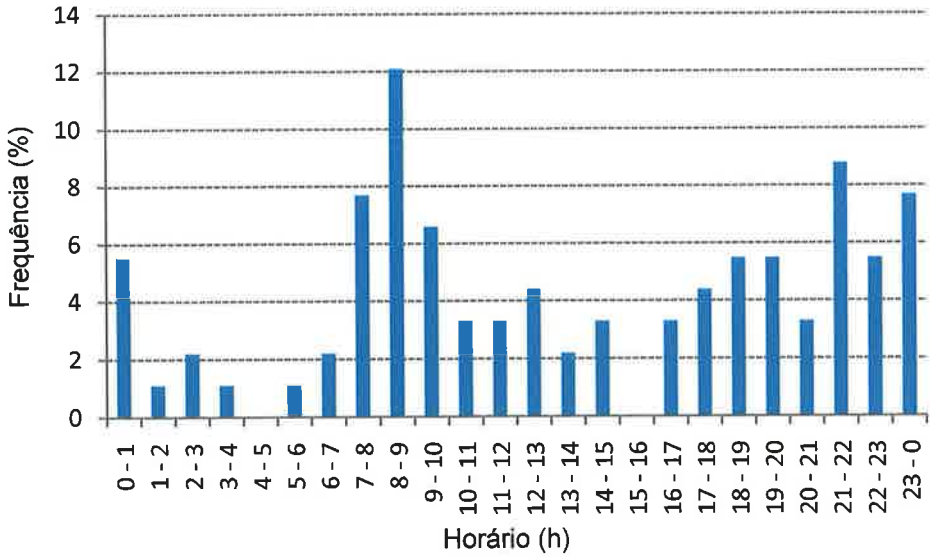


Figura 5.9 – Distribuição de freqüências de horários de pico da bacia sanitária

5.1.3 Lavatório

Assim como na análise referente ao chuveiro, considerou-se um evento do lavatório, aquele separado de outro evento por um intervalo com vazão nula superior a um minuto. A Figura 5.10 mostra um exemplo desse intervalo entre dois eventos e a Figura 5.11 um exemplo de intervalo menor que um minuto, em que os dois usos foram considerados como um só evento.

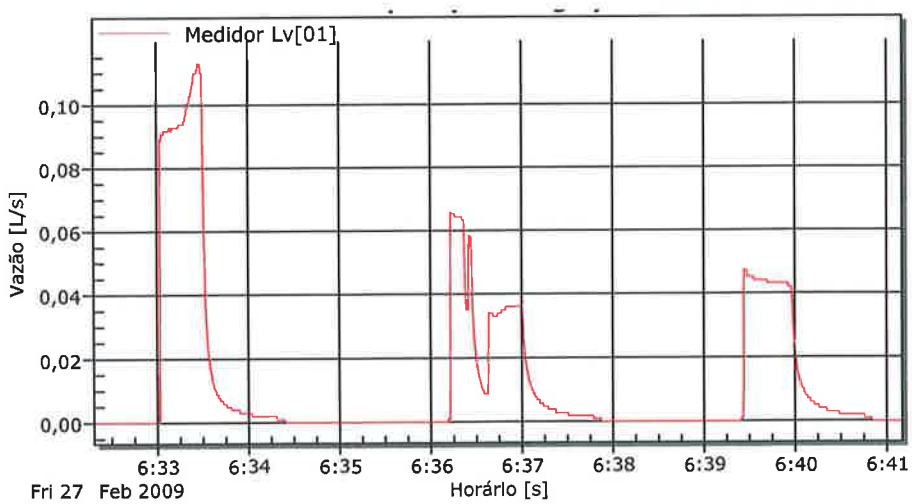


Figura 5.10 – Usos consecutivos do lavatório com intervalo maior que um minuto

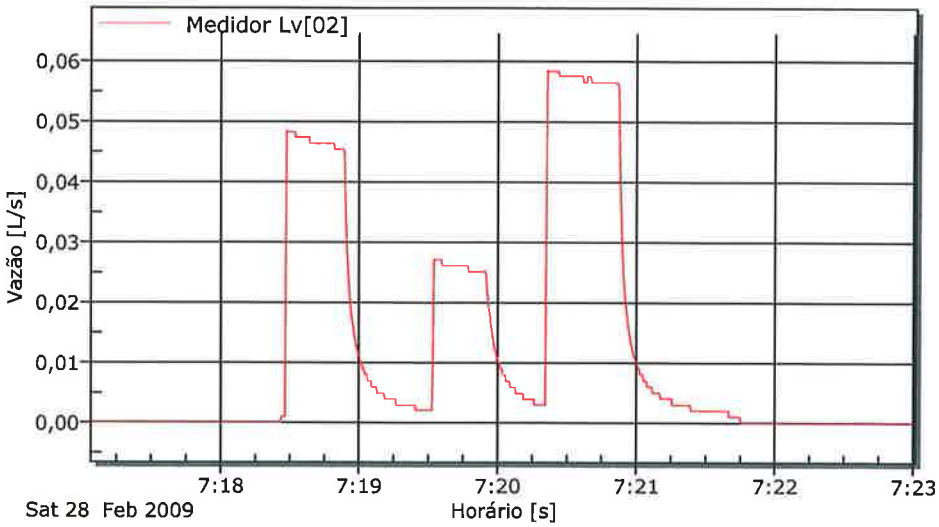
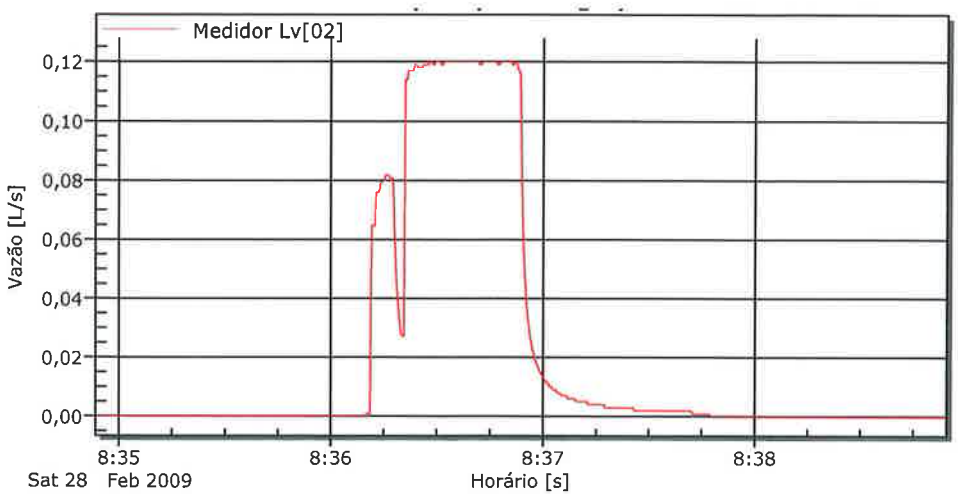
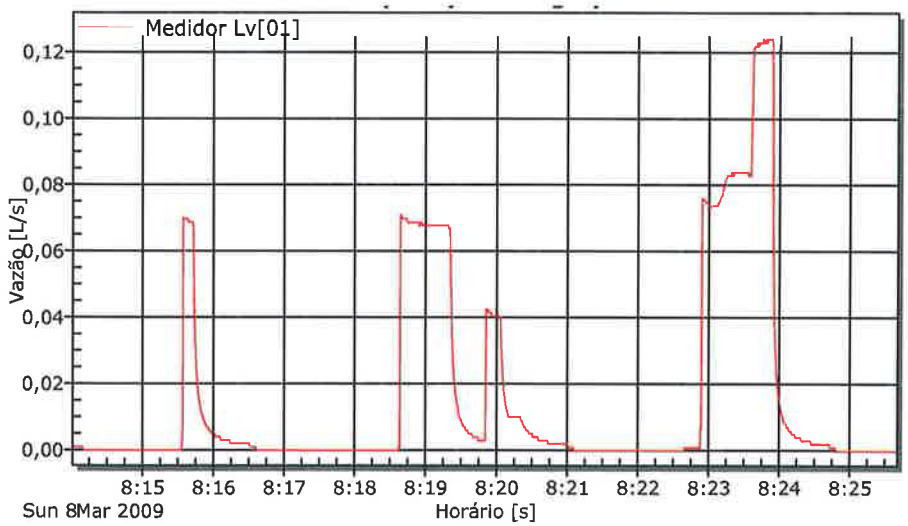


Figura 5.11 – Usos consecutivos do lavatório com intervalo menor que um minuto, considerando um só evento

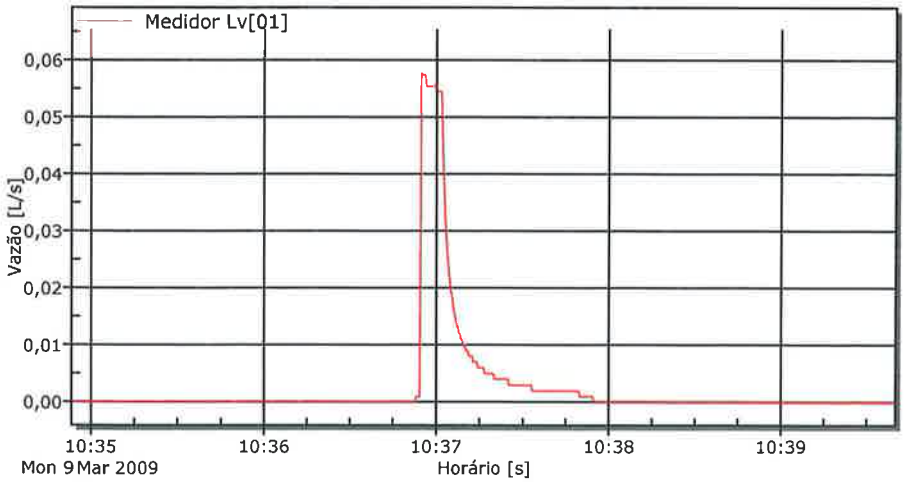
Após a definição de evento, foram separados individualmente todos os períodos de uso do lavatório que condiziam com apenas um evento e, em seguida, foram analisados os valores de vazão, do tempo de utilização e do horário de cada um desses usos. Nos gráficos da Figura 5.12 (a), (b) e (c) estão ilustrados alguns dos períodos de uso dos usuários no lavatório.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.12 – Gráficos de vazão, horário e de tempos de uso no lavatório

Nas Figuras 5.13 e 5.14 são mostradas as distribuições de freqüências de vazões e de tempos de usos do lavatório.

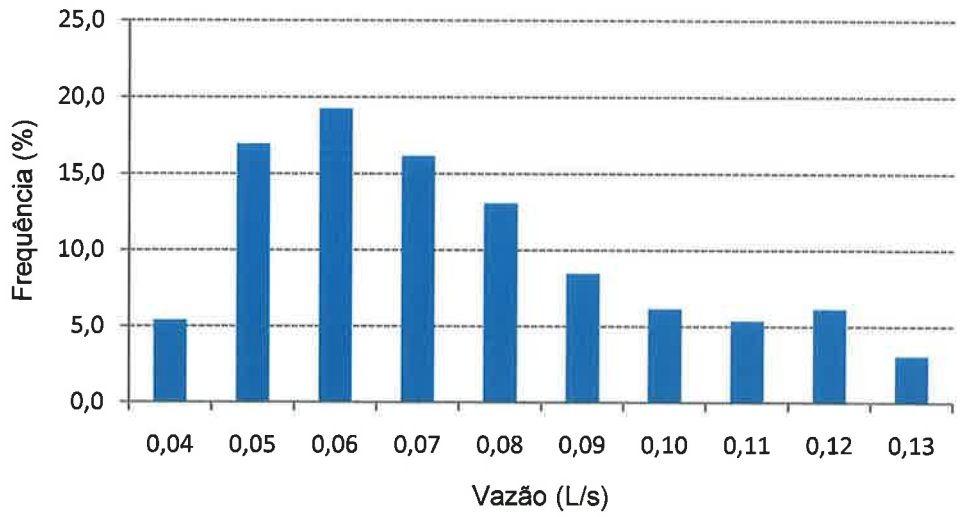


Figura 5.13 – Distribuição de frequências de vazões no lavatório

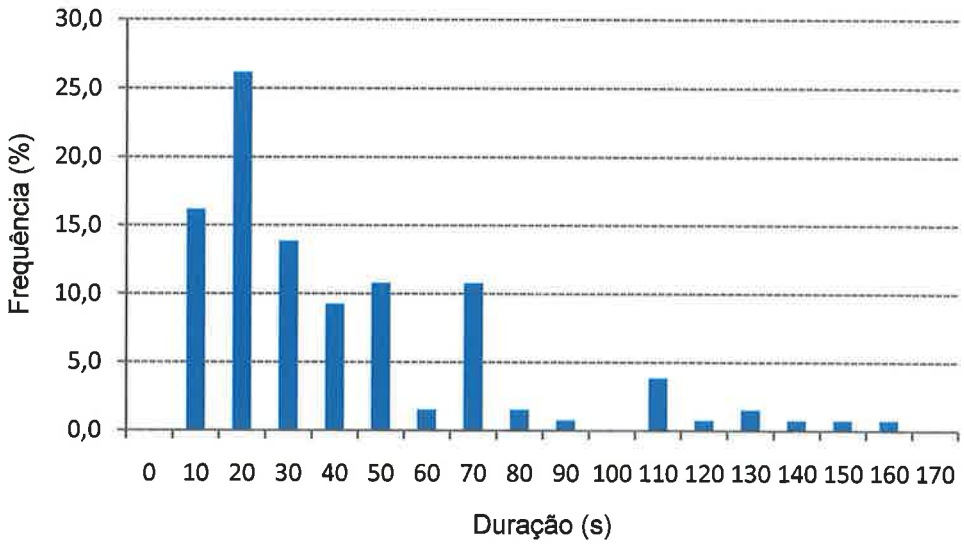


Figura 5.14 – Distribuição de frequências de tempos de usos no lavatório

A Tabela 5.3 mostra os valores de vazão provável (q_{prov}), vazão mínima ($q_{mín}$), vazão máxima ($q_{máx}$), tempo provável (t_{prov}), tempo mínimo ($t_{mín}$) e tempo máximo ($t_{máx}$) ocorridos no lavatório.

Tabela 5.3 – Valores prováveis, mínimos e máximos da vazão e tempo dos usos no lavatório

q_{prov} (L/s)	$q_{mín}$ (L/s)	$q_{máx}$ (L/s)	t_{prov} (s)	$t_{mín}$ (s)	$t_{máx}$ (s)
0,06	0,04	0,13	20	10	160

Com esses dados, foi possível obter, através das equações 3.5 a 3.8, a vazão média (μ_q), o tempo médio (μ_t) e respectivas variâncias σ_q^2 e σ_t^2. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.4, a seguir.

Tabela 5.4 – Valores médios e variância de vazão e de tempo dos usos no lavatório

μ_q (L/s)	σ_q^2 (L/s)	μ_t (s)	σ_t^2 (s)
0,07	0,00	46	900

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 5.4, verifica-se que o valor da vazão para o lavatório é menor que o valor recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), que é de 0,15 L/s. Pode-se também afirmar que o consumo médio de água por uso do lavatório dos usuários foi de aproximadamente 3,2 litros.

Na Figura 5.15 é possível verificar que o período de pico no lavatório no período de coleta de dados ocorreu entre 7 h e 9 h no período matutino e entre 22 h e 23 h no período noturno.

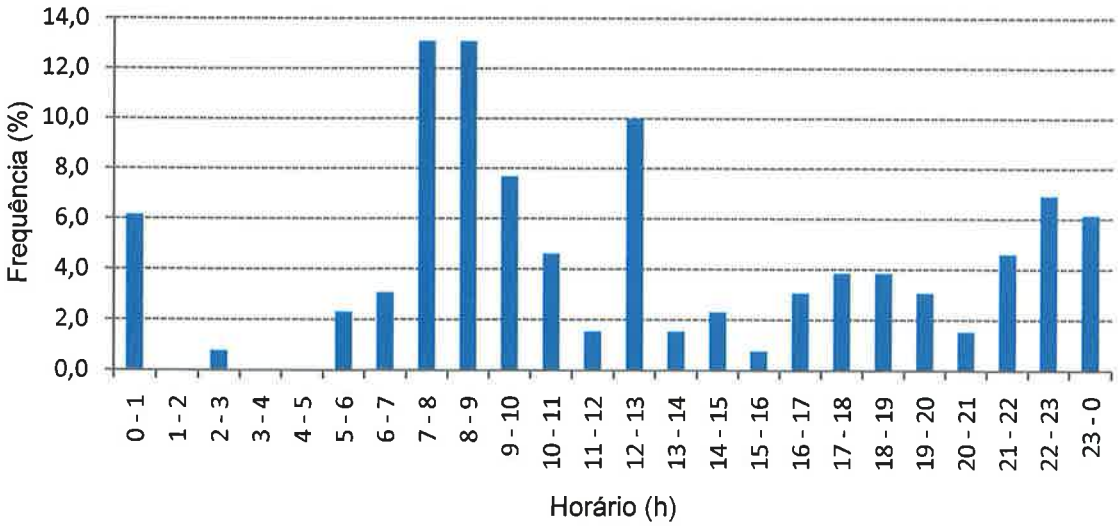
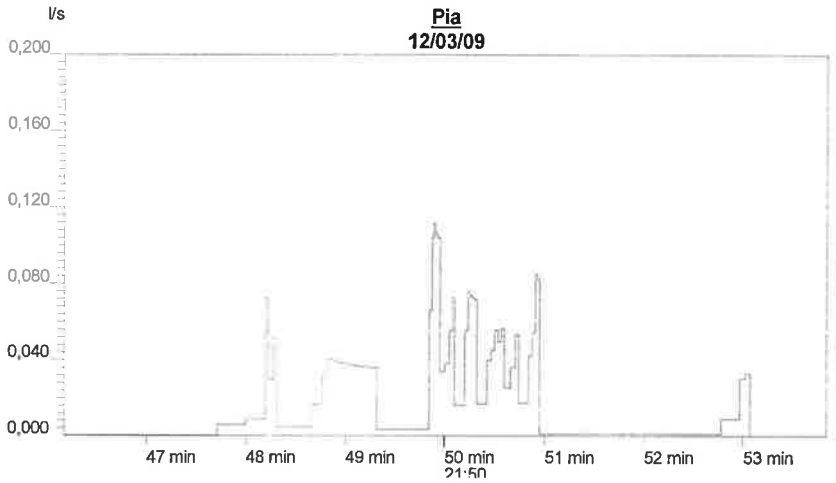


Figura 5.15 – Distribuição de freqüências dos inícios de usos no lavatório

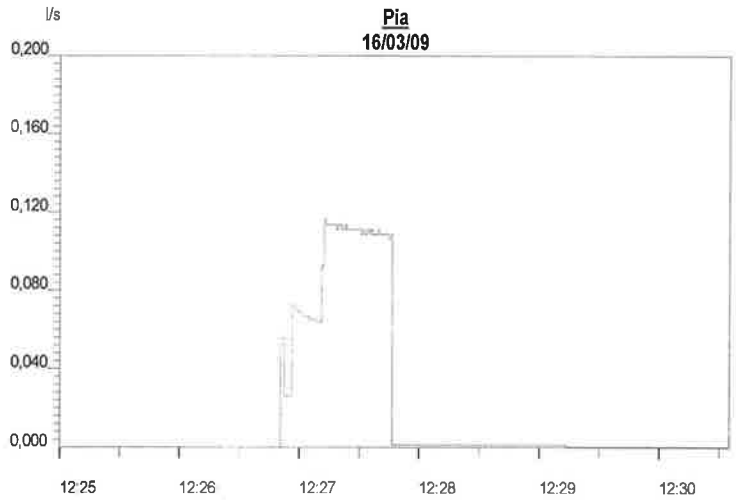
5.1.4 Pia

A análise referente aos usos da água na pia indicou que, em geral, o intervalo entre a abertura e o fechamento da torneira é maior que no lavatório, implicando em uma duração maior dos eventos. Assim, um evento para o uso da água na pia foi caracterizado por dois minutos com vazão nula entre dois eventos.

É importante ressaltar que os dados da pia foram coletados por meio de um *data logger* e não com o sistema de aquisição HBM, conforme comentado no capítulo 2. Observa-se, também, que o *data logger* estava com seu horário adiantado em 57 minutos. Portanto, os horários dos gráficos da pia apresentados estão adiantados em 57 minutos, mas para os cálculos de horário de pico estes valores foram corrigidos. Os gráficos da Figura 5.16 mostram alguns dos períodos de uso na pia.



(a)



(b)

Figura 5.16 – Gráficos de vazão, horário e de tempos de uso na pia

Nas Figuras 5.17 e 5.18 estão apresentadas as distribuições de freqüências de vazões e de tempos de usos na pia.

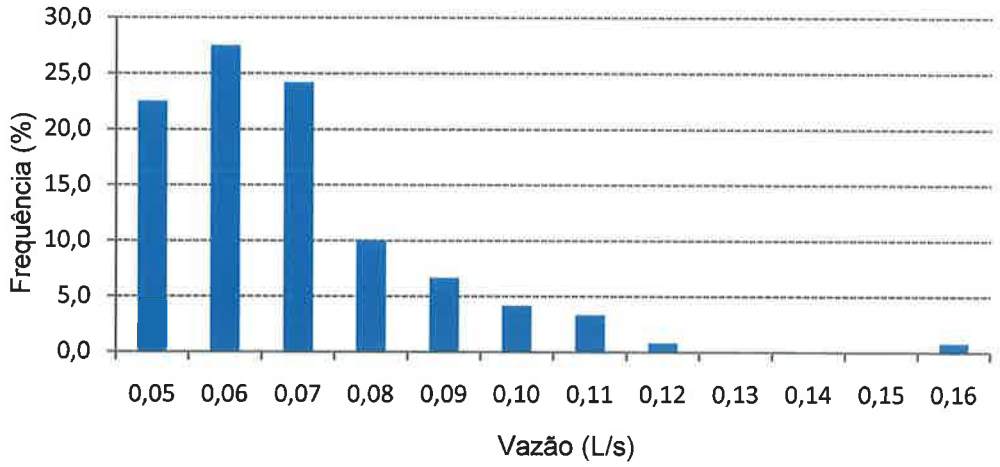


Figura 5.17– Distribuição de freqüências de vazões de usos na pia

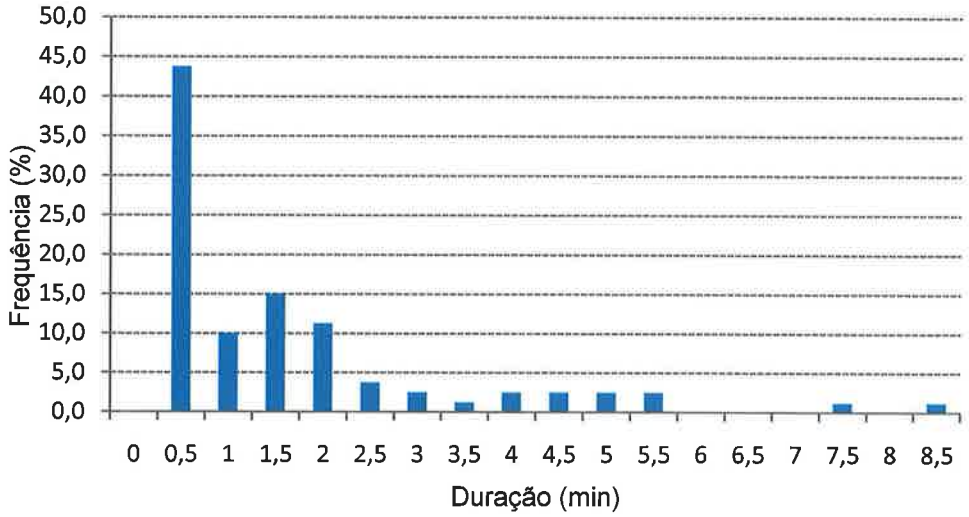


Figura 5.18 – Distribuição de freqüências de duração dos usos na pia

A Tabela 5.5 mostra os valores de vazão provável (q_{prov}), vazão mínima ($q_{mín}$), vazão máxima ($q_{máx}$), tempo provável (t_{prov}), tempo mínimo ($t_{mín}$) e tempo máximo ($t_{máx}$).

Tabela 5.5 – Valores prováveis, mínimos e máximos da vazão e tempo dos usos na pia

q_{prov} (L/s)	$q_{mín}$ (L/s)	$q_{máx}$ (L/s)	t_{prov} (min)	$t_{mín}$ (min)	$t_{máx}$ (min)
0,06	0,05	0,16	0,5	0,5	8,5

Com esses dados, foi possível obter, através das equações 3.5 a 3.8, a vazão média (μ_q), o tempo médio (μ_t) e respectivas variâncias σ_q^2 e σ_t^2. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.6, a seguir.

Tabela 5.6 – Valores médios e variância de vazão e de tempo dos usos na pia

μ_q (L/s)	σ_q^2 (L/s)	μ_t (min)	σ_t^2 (min)
0,08	0,00	2,1	153,6

Pode-se afirmar que o consumo médio de água por uso na pia foi de aproximadamente 10,1 litros. Observa-se ainda, que o valor de vazão obtido foi bastante inferior ao valor recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), que é de 0,25 L/s. Esse baixo valor da vazão pode ter sido influenciado pela posição da torneira da pia que estava fora do eixo da cuba devido a instalação do hidrômetro, o que pode ter contribuído para os usuários utilizarem menos para que a água não respingasse para fora da cuba.

Na Figura 5.19 é possível verificar que os horários de maior utilização da pia no período de coleta de dados foram das 11 às 12 h no período da manhã e das 17 h às 18 h, quando chegavam da USP e preparavam lanche antes de sair para as atividades esportivas, e das 20 às 21 h quando retornavam e preparavam jantar.

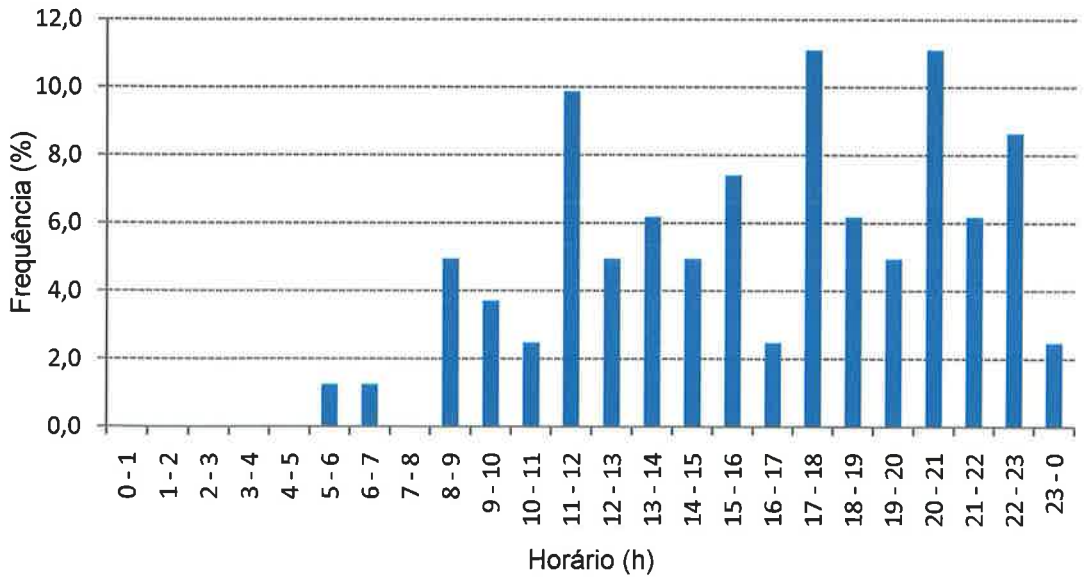
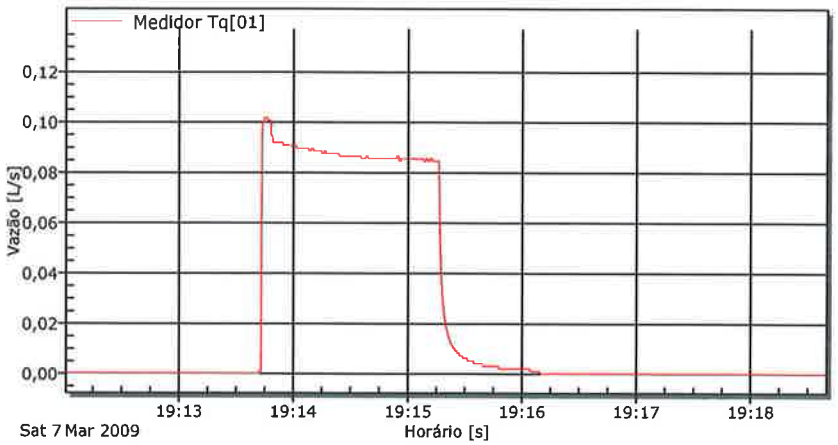


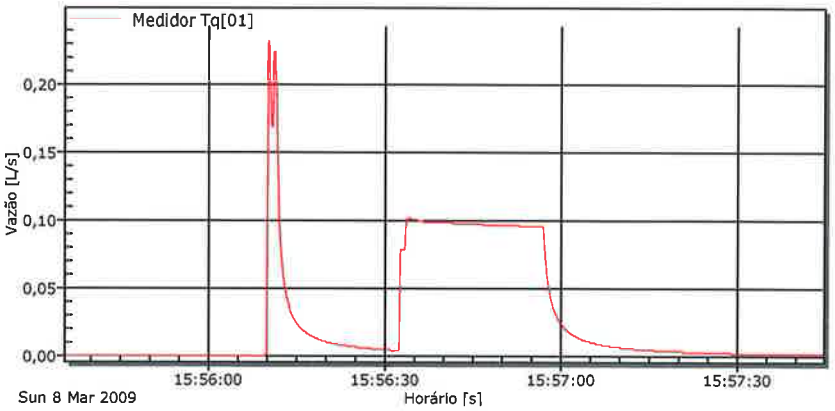
Figura 5.19 – Distribuição de frequências dos inícios de usos na pia

5.1.5 Tanque

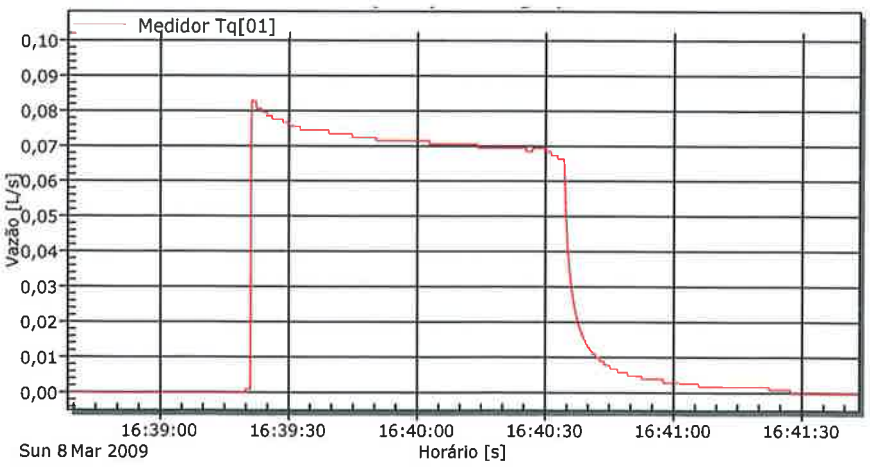
Foram separados todos os eventos de uso do tanque e analisados a vazão, o tempo e o horário de cada um desses eventos. Os gráficos da Figura 5.20 mostram alguns eventos de uso da água no tanque.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.20 – Gráficos de vazão, horário e de tempos de uso do tanque

Nas Figuras 5.21 e 5.22 estão apresentadas as distribuições de freqüência de vazões e de duração dos usos do tanque.

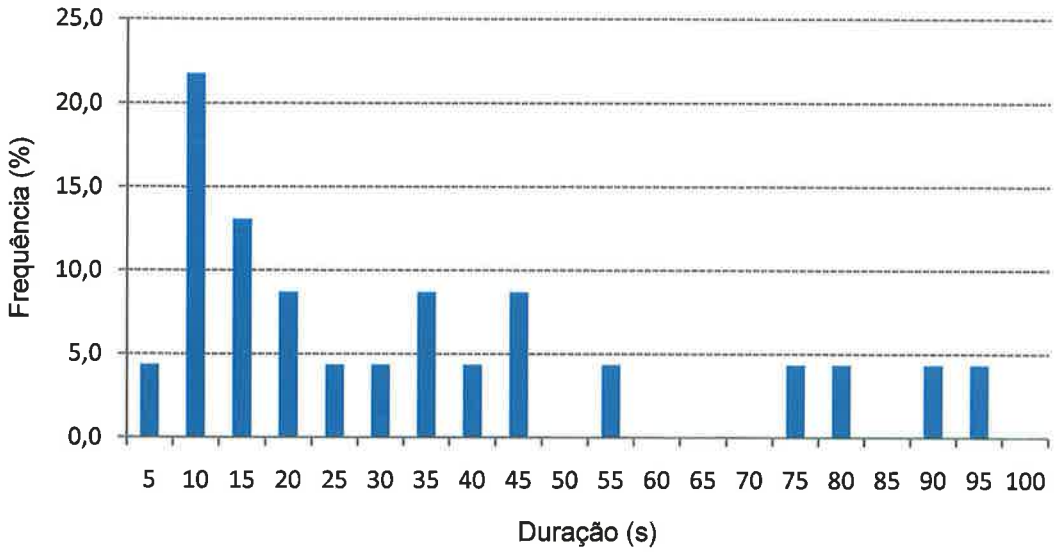


Figura 5.21 – Distribuição de freqüências de tempos de usos da água no tanque

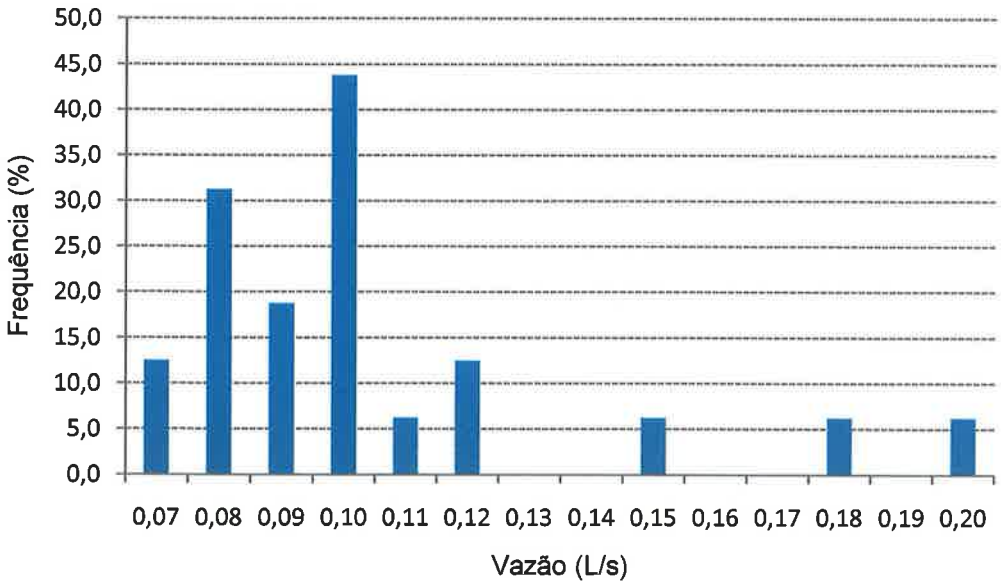


Figura 5.22 – Distribuição de freqüências de vazões no tanque

Na Tabela 5.7 estão apresentados os valores de vazão provável (q_{prov}), vazão mínima ($q_{mín}$), vazão máxima ($q_{máx}$), tempo provável (t_{prov}), tempo mínimo ($t_{mín}$) e tempo máximo ($t_{máx}$) coletados no apartamento dos estudantes.

Tabela 5.7 – Valores prováveis, mínimos e máximos da vazão e duração dos usos da água no tanque

q_{prov} (L/s)	$q_{mín}$ (L/s)	$q_{máx}$ (L/s)	t_{prov} (s)	$t_{mín}$ (s)	$t_{máx}$ (s)
0,10	0,07	0,20	5	10	95

Com esses dados, foi possível obter, através das equações 3.5 a 3.8, a vazão média (μ_q), o tempo médio (μ_t) e respectivas variâncias σ_q^2 e σ_t^2. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.8, a seguir.

Tabela 5.8 – Valores médios e variância de vazão e de duração dos usos no tanque

μ_q (L/s)	σ_q^2 (L/s)	μ_t (s)	σ_t^2 (s)
0,11	0,00	26	324

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 5.8, verifica-se que o valor da vazão para o tanque é menor que o valor recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), que é de 0,25 L/s. Pode-se também afirmar que o consumo médio de água por uso do tanque dos usuários foi de aproximadamente 2,9 litros.

Na Figura 5.23 é possível verificar que o horário de pico de uso deste aparelho sanitário ocorreu entre as 18 e 19 horas. Isto é coerente com o horário de chegada dos estudantes da USP ou das atividades esportivas.

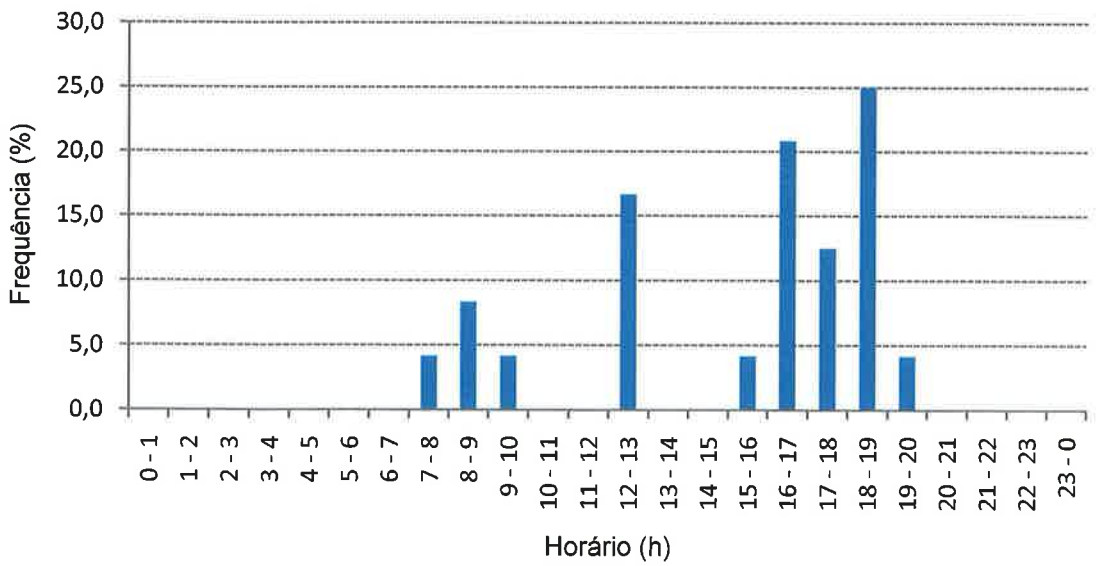
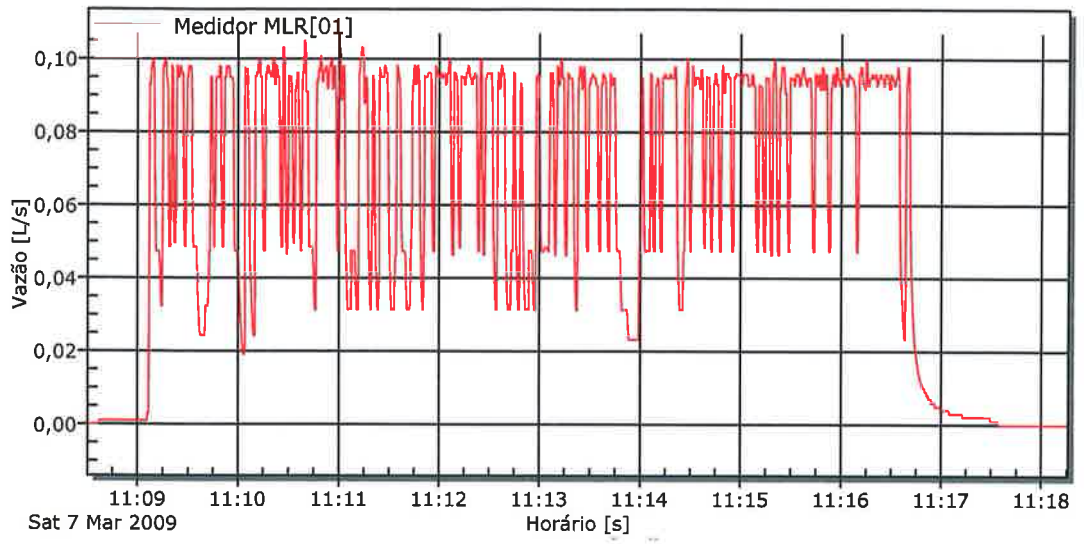


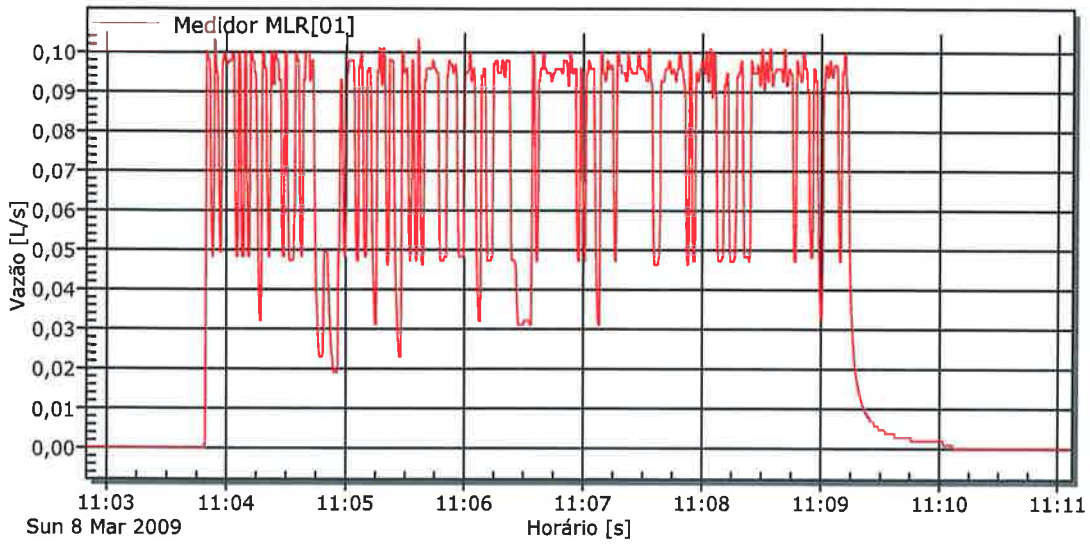
Figura 5.23 – Distribuição de freqüências de horários dos usos da água no tanque

5.1.6 Máquina de lavar roupa

A máquina de lavar roupa apresentou vazão constante de 0,10 L/s. Os gráficos da Figura 5.24 mostram alguns dos períodos de uso deste aparelho sanitário.



(a)



(b)

Figura 5.24 – Gráficos de vazão, horário e de tempos de uso da máquina de lavar roupa

Na Figura 5.25 é apresentada a distribuição de frequências de duração dos usos da máquina de lavar roupa.

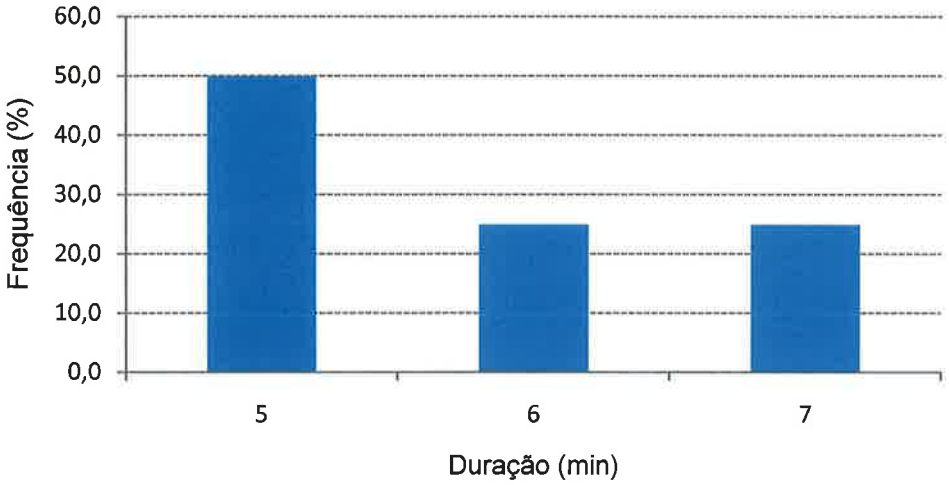


Figura 5.25 – Distribuição de freqüências de tempos de usos da máquina de lavar roupa

Na Tabela 5.9 são apresentados os valores de tempo provável (t_{prov}), tempo mínimo ($t_{mín}$) e tempo máximo ($t_{máx}$).

Tabela 5.9 – Valores prováveis, mínimos e máximos da duração dos usos da máquina de lavar roupa

t_{prov} (min)	$t_{mín}$ (min)	$t_{máx}$ (min)
6,1	5,1	7,6

Com esses dados, foi possível obter, através das equações 3.5 a 3.8, a vazão média (μ_q), o tempo médio (μ_t) e respectivas variâncias σ_q^2 e σ_t^2. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.10. Pode-se afirmar que o consumo médio de água por uso da máquina de lavar roupa dos usuários foi de aproximadamente 34,8 litros.

Tabela 5.10 – Valores médios e variância de duração dos usos da máquina de lavar roupa

μ_t (min)	σ_t^2 (min)
5,8	0,0

Na Figura 5.26 é possível verificar que o horário de pico da máquina de lavar roupa ocorreu das 11 h às 12 h, o que foi confirmado pelos estudantes que, em geral, lavam as roupas aos finais de semana e após as 10 horas.

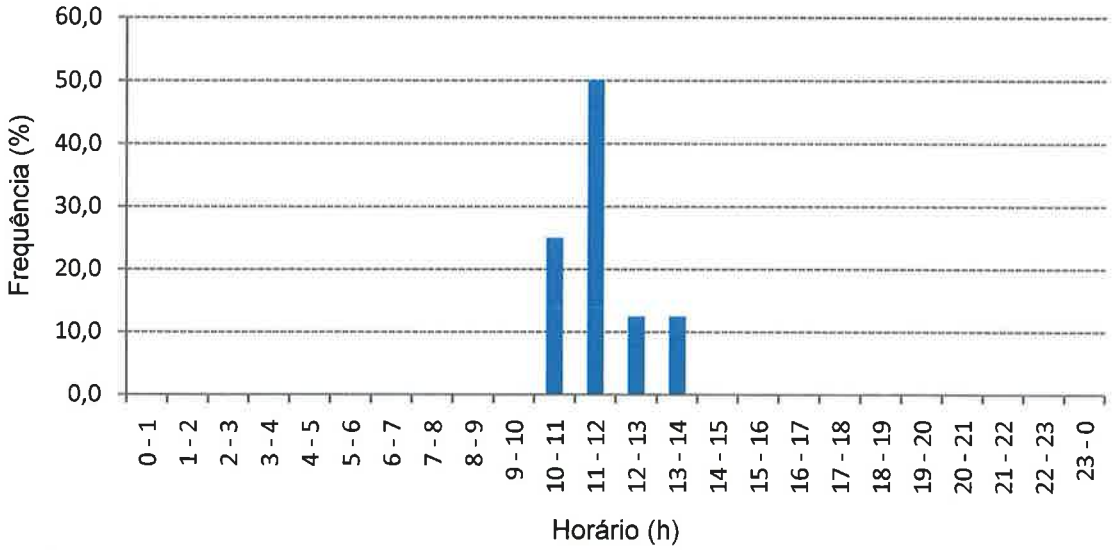


Figura 5.26 – Distribuição de freqüências de horários dos usos da máquina de lavar roupa

5.1.7 Ramal de alimentação

A análise do ramal de alimentação foi uma das mais importantes já que devido a ela foi possível concluir o horário de pico e a vazão máxima de todo o apartamento com o uso de um ou mais aparelhos sanitários. Os gráficos das Figuras 5.27, 5.28 e 5.29 mostram respectivamente os valores máximos, mínimos e médios de vazão ocorridos no ramal de alimentação durante uma semana.

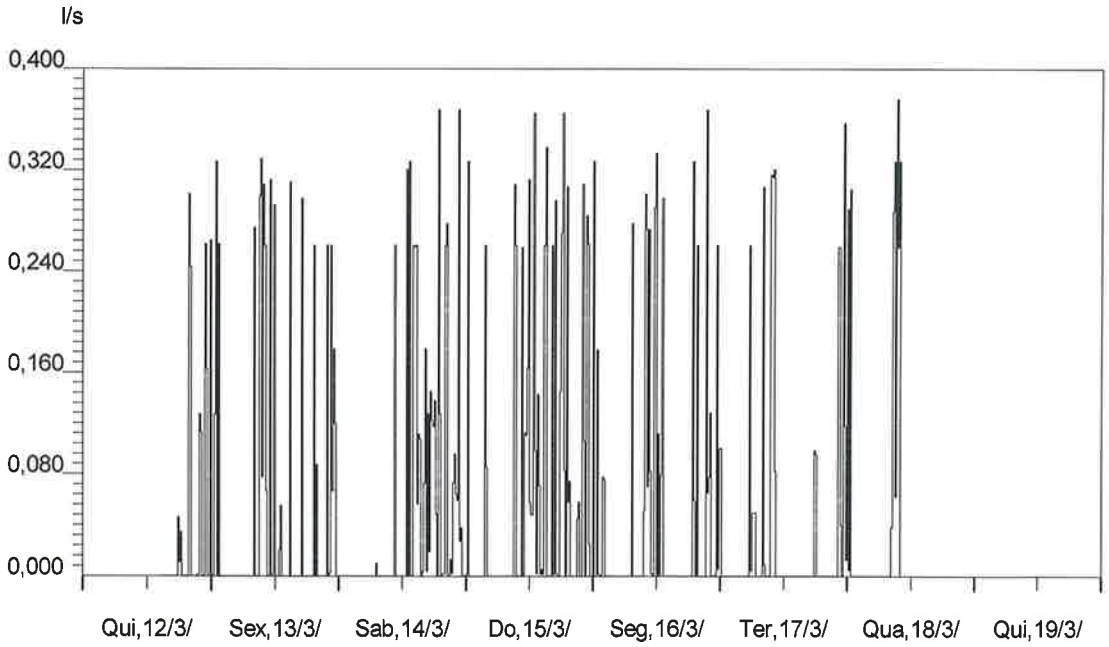


Figura 5.27 – Gráfico dos valores máximos de vazão ocorridos no ramal de alimentação

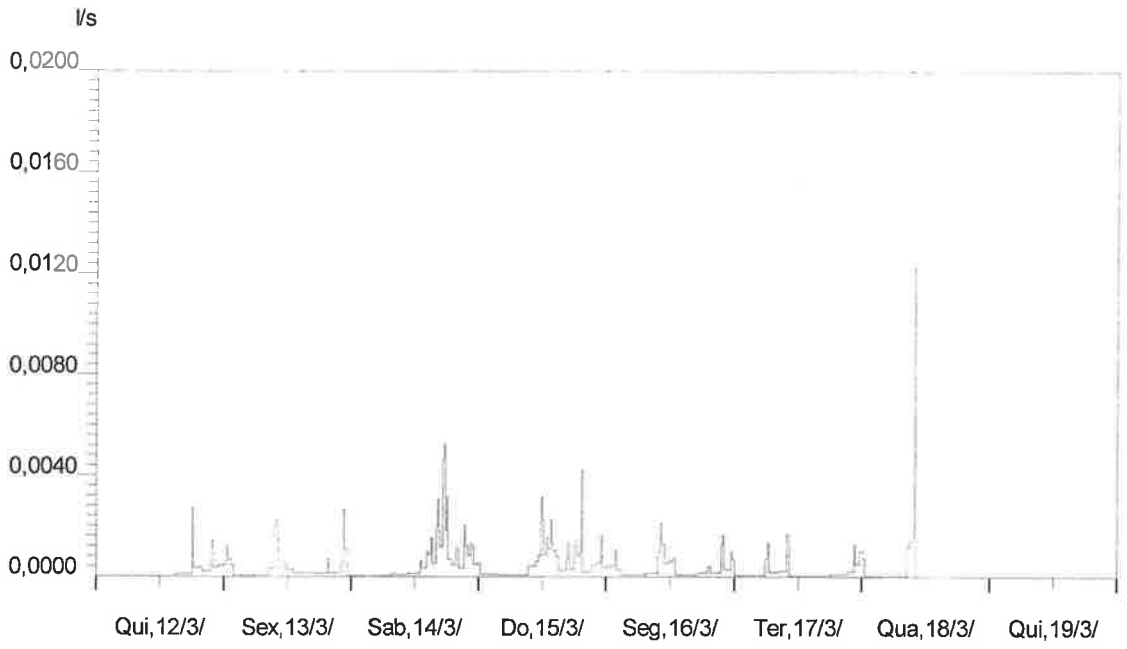


Figura 5.28 – Gráfico dos valores mínimos dos usos do ramal de alimentação

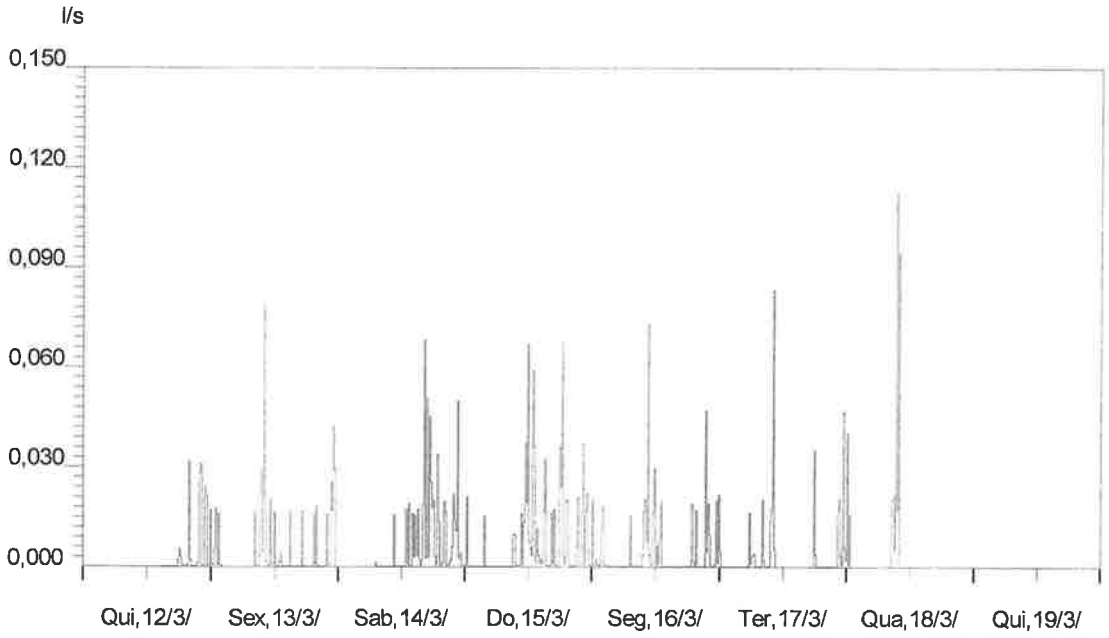
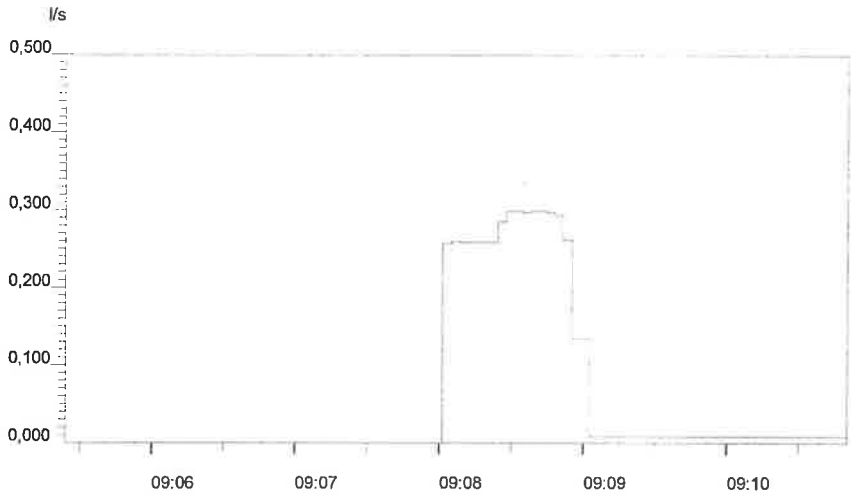


Figura 5.29 – Gráfico dos valores médios dos usos do ramal de alimentação do apartamento

Os gráficos da Figura 5.30 (a) e (b) mostram alguns dos períodos de uso do ramal de alimentação com a provável simultaneidade de dois ou mais aparelhos sanitários.



(a)

(b)

Figura 5.30 – Gráficos de vazão, horário e de tempos de uso do ramal de alimentação

Analisando os gráficos da Figura 5.30, é possível notar que a Figura 5.30 (a) mostra a curva de vazão da bacia sanitária, uma vez que a vazão inicial é de 0,26 L/s e a sua duração é de aproximadamente um minuto, com um provável uso do lavatório, fazendo assim com que a vazão média aumentasse um pouco. Além disso, o gráfico da Figura 5.30 (b) ilustra o uso de vários aparelhos simultaneamente devido à longa duração do evento, mas não é possível afirmar com precisão quais aparelhos foram utilizados.

A Figura 5.31 mostra a distribuição de freqüências de vazões no ramal de alimentação.

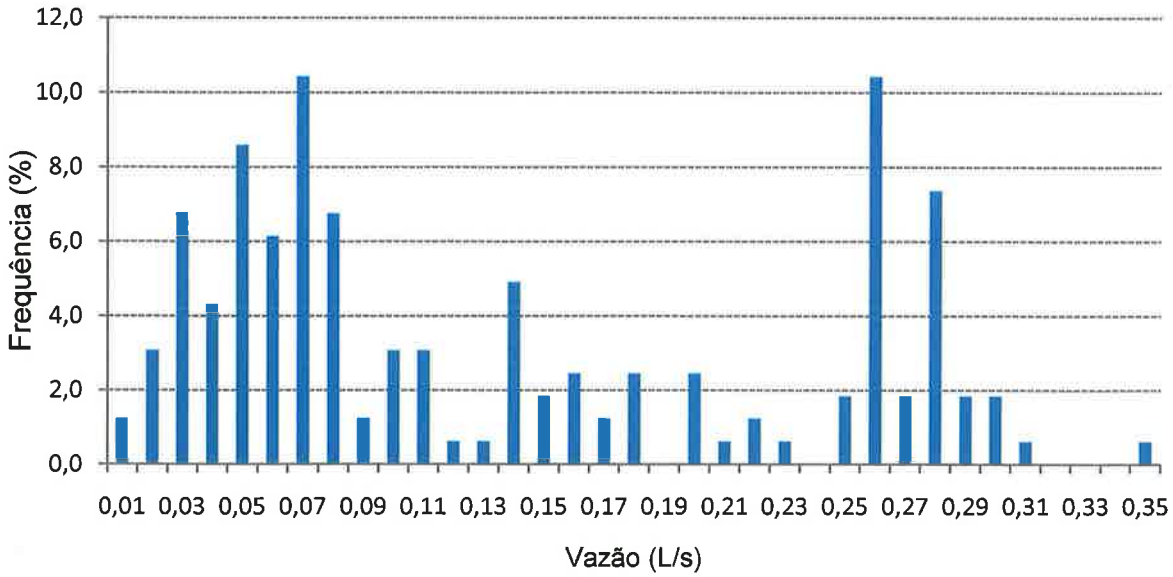


Figura 5.31 – Distribuição de frequências de vazões no ramal de alimentação do apartamento

É possível notar no gráfico da Figura 5.31 que a dispersão dos valores de vazão é elevada e que ocorreram dois valores de vazão bastante distintos com a freqüência máxima. Assim, a Tabela 5.11 mostra dois valores de vazão provável (q_{prov}), a vazão mínima ($q_{mín}$) e a vazão máxima ($q_{máx}$), que foi obtida através da análise do gráfico da Figura 5.31.

Tabela 5.11 – Valores prováveis, mínimos e máximos da vazão e duração dos usos do ramal de alimentação

$q_{prov}1$ (L/s)	$q_{prov}2$ (L/s)	$q_{mín}$ (L/s)	$q_{máx}$ (L/s)
0,07	0,26	0,01	0,38

Com esses dados, foi possível obter, através das equações 3.5 a 3.8, a vazão média (μ_q), o tempo médio (μ_t) e respectivas variâncias σ_q^2 e σ_t^2. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Valores médios e variância de vazão dos usos do ramal de alimentação

μ_q1 (L/s)	σ_q^2 1(L/s)	μ_q2(L/s)	σ_q^2 2(L/s)
0,12	0,01	0,23	0,01

Na Figura 5.32 é possível verificar os horários de pico do ramal de alimentação.

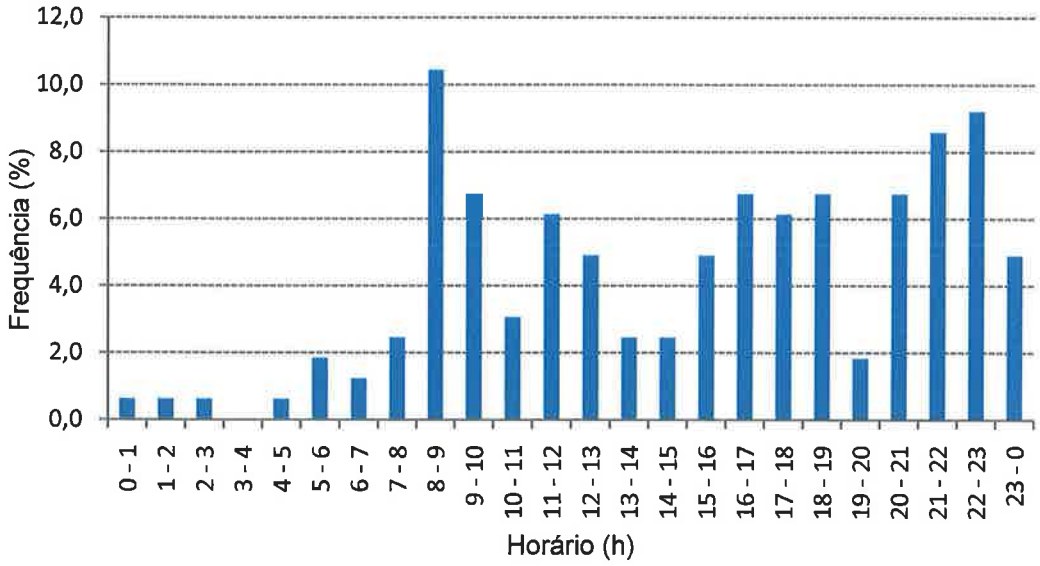


Figura 5.32 – Distribuição de freqüências de horários de pico de vazão no ramal de alimentação

Nota-se que o horário de pico do ramal de alimentação ocorreu entre 8 h e 9 h, igual ao horário de pico do lavatório e da bacia sanitária. Além disso, os dois valores prováveis de vazão foram 0,07 e 0,26 L/s, que são as vazões médias do lavatório e da bacia sanitária. Portanto é possível notar a coerência entre os resultados obtidos nos aparelhos e no ramal de alimentação.

5.2 Determinação do tempo de banho por lógica nebulosa

Por uma questão de simplicidade, dentre as variáveis que afetam a duração do banho no período de pico matutino, duas variáveis principais "instante de banho" e "temperatura do ar" são consideradas. Com base nessas duas variáveis, o conjunto de variáveis linguísticas para "instante de banho", "temperatura do ar" e "duração do banho" são definidas por meio de entrevistas aplicadas aos estudantes.

As perguntas realizadas na entrevista foram:

- Quais as temperaturas ambientes você considera muito frio, frio, agradável, quente, muito quente?

- Dentro do período de pico, associe intervalos com os seguintes termos: muito cedo, cedo, no horário, atrasado e muito atrasado.
- Associe o seu tempo de banho em "minutos" com as seguintes expressões: muito rápido, rápido, normal e longo.

Os resultados destas entrevistas geraram os valores linguísticos das variáveis nebulosas e também as matrizes de regras de relações nebulosas, conforme apresentadas a seguir.

5.2.1 Variáveis linguísticas

As entrevistas geraram dados que apresentam algumas distorções, típicas da subjetividade pessoal dos estudantes. Assim, o valor médio obtido dos três estudantes foi utilizado para estabelecer o conjunto de valores linguísticos nebulosos correspondentes ao "instante de banho", à "temperatura do ar" e à "duração do banho", os quais são apresentados nas Figuras 5.33, 5.34 e 5.35, respectivamente.

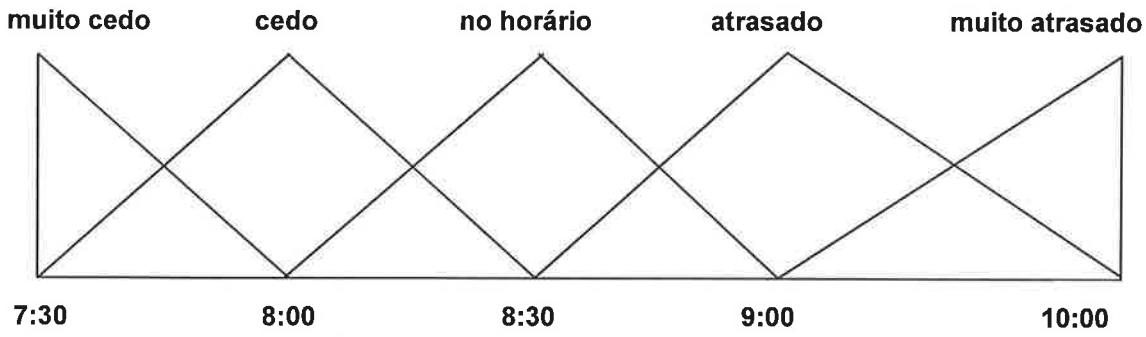


Figura 5.33 – Valores linguísticos das variáveis "instante de banho" dos estudantes

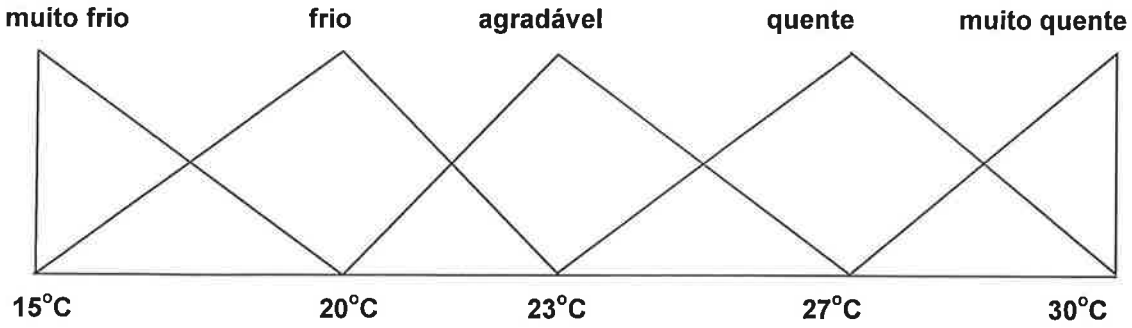


Figura 5.34 – Valores linguísticos da variável "temperatura do ar" para os estudantes

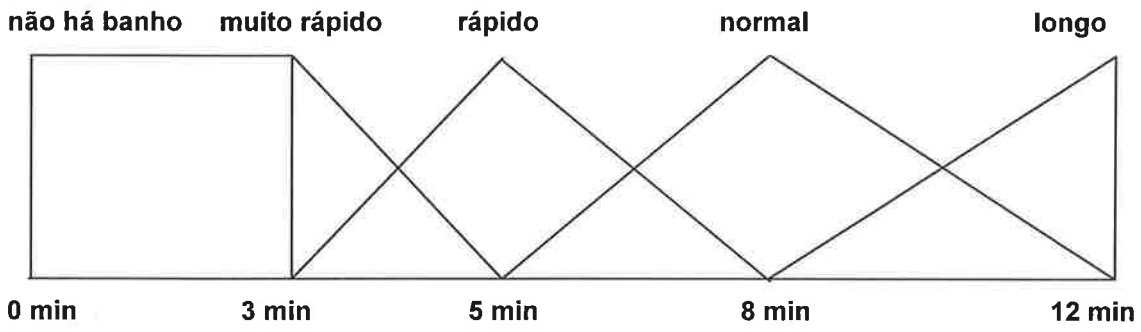


Figura 5.35 – Valores linguísticos da variável "duração do banho" para os estudantes

5.2.2 Regras de relações nebulosas

Também, a partir das entrevistas, obteve-se uma matriz de regras de relações nebulosas para cada estudante. Tendo-se em vista que cada estudante apresenta diferentes hábitos, as matrizes também apresentam diferentes padrões, conforme mostrado nos Quadros 5.1, 5.2 e 5.3 para os estudantes E1, E2 e E3, respectivamente.

Quadro 5.1 – Matriz nebulosa para o estabelecimento do tempo de banho do estudante E1

Horário / Temperatura	muito cedo	cedo	horário	atrasado	muito atrasado
muito frio	normal	normal	normal	rápido	muito rápido
frio	normal	normal	normal	rápido	muito rápido
agradável	longo	longo	longo	rápido	muito rápido
quente	longo	longo	longo	rápido	muito rápido
muito quente	longo	longo	longo	rápido	muito rápido

Quadro 5.2 – Matriz nebulosa para o estabelecimento do tempo de banho do estudante E2

Horário / Temperatura	muito cedo	cedo	horário	atrasado	muito atrasado
muito frio	rápido	rápido	rápido	muito rápido	não há banho
frio	rápido	rápido	normal	muito rápido	não há banho
agradável	normal	normal	normal	rápido	muito rápido
quente	longo	normal	normal	rápido	muito rápido
muito quente	longo	longo	normal	rápido	muito rápido

Quadro 5.3 – Matriz nebulosa para o estabelecimento do tempo de banho do estudante E3

Horário / Temperatura	muito cedo	cedo	horário	atrasado	muito atrasado
muito frio	longo	longo	normal	rápido	muito rápido
frio	longo	normal	normal	rápido	muito rápido
agradável	normal	normal	normal	rápido	muito rápido
quente	rápido	rápido	rápido	rápido	muito rápido
muito quente	rápido	rápido	rápido	rápido	muito rápido

5.3 Resultados e validação

Para o cálculo da duração dos banhos, por meio da relação de Mandani, um programa na linguagem Java foi desenvolvido por Massolino (2009). O programa de lógica nebulosa desenvolvido simula qualquer tipo de lógica nebulosa, além do caso objeto de estudo que é a determinação de tempos de banho. A Figura 5.36 ilustra o programa simulando um tempo de banho para um pai de uma família fictícia, em que a temperatura ambiente é de 10°C, o início do banho ocorreu às 6 h e15 min com a duração foi de 6,06 minutos.

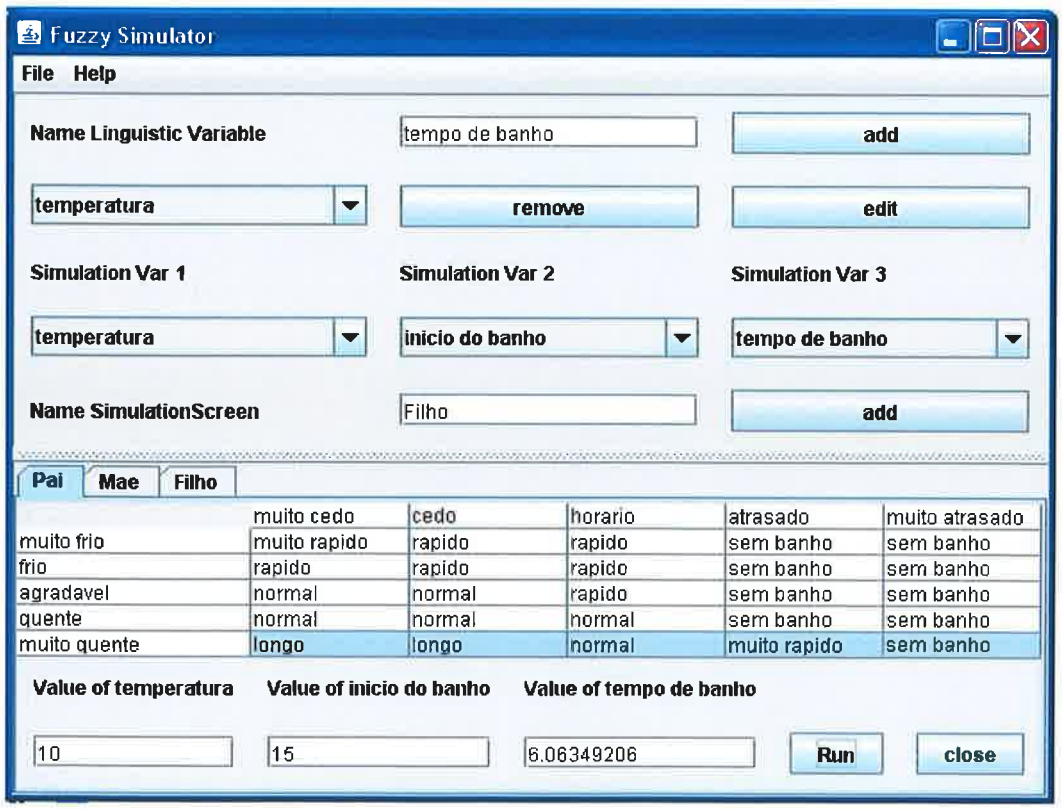


Figura 5.36 – Programa de lógica nebulosa simulando um tempo de banho (Massolino, 2009)

Os resultados obtidos com a simulação dos tempos de banhos dos estudantes E1, E2 e E3, respectivamente são apresentados nas Figuras 5.37, 5.38 e 5.39. Conforme mencionado no item 5.1.1, o estudante E1 apresentou o maior número de banhos no período da manhã. Desta maneira, os dados de durações dos banhos do estudante E1 são utilizados para validar a abordagem nebulosa para a determinação do tempo de banho.

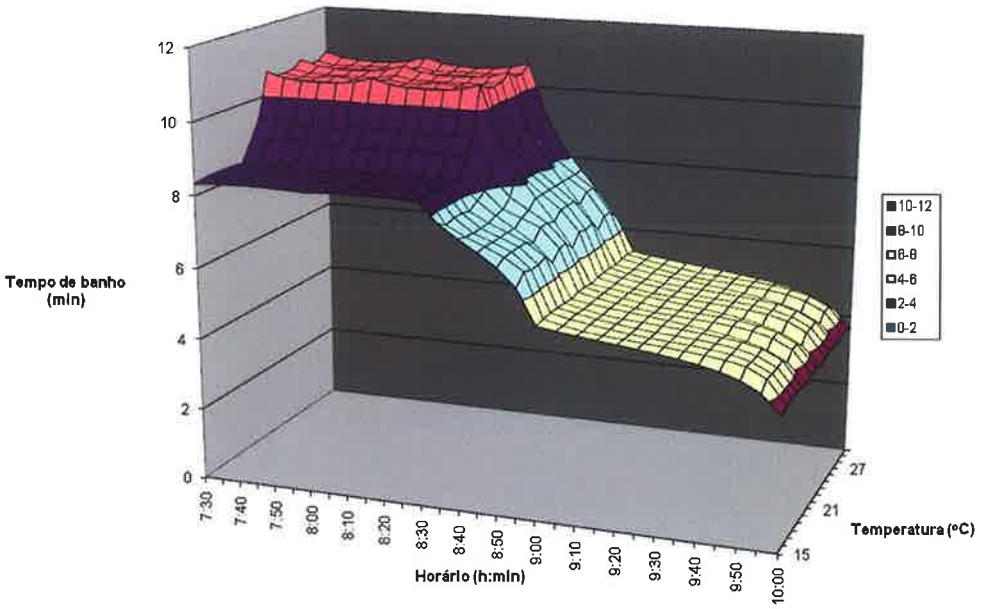


Figura 5.37 – Duração de banho no período matutino para o estudante E1

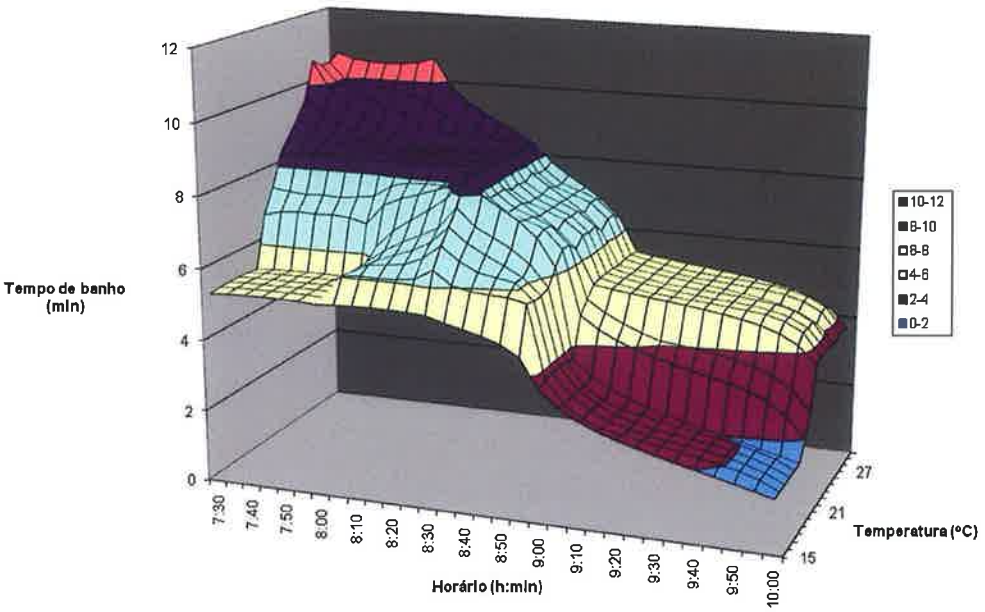


Figura 5.38 – Duração de banho no período matutino para o estudante E2

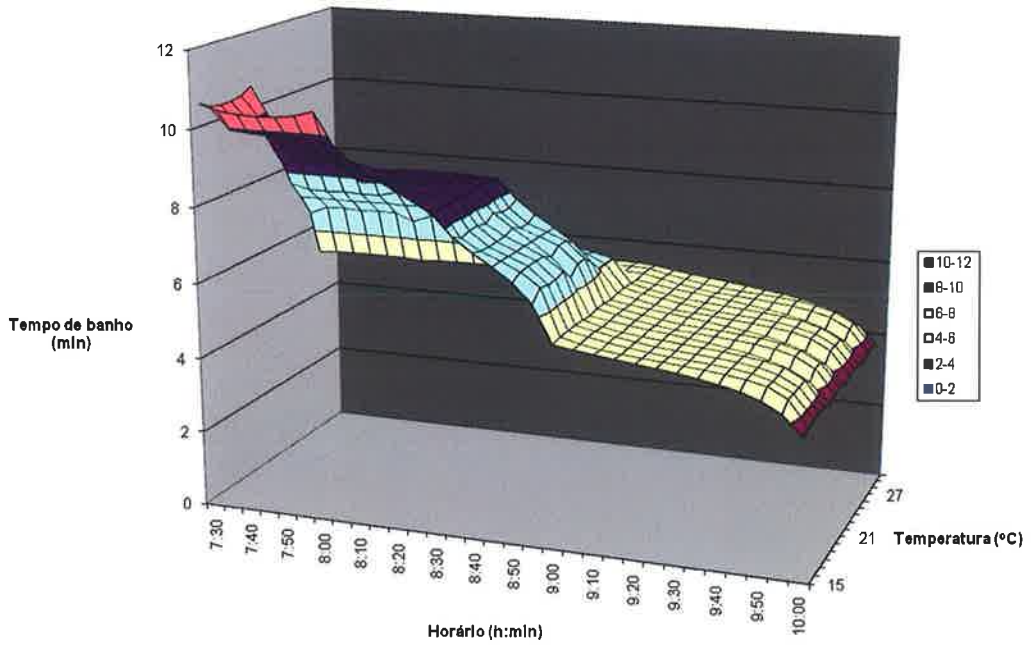


Figura 5.39 – Duração de banho no período matutino para o estudante E3

O Quadro 5.4 apresenta o instante e a temperatura do ar dos eventos de banho do estudante A, monitorados pelo sistema de aquisição de dados.

Quadro 5.4 – Instante de banho do estudante E1 obtido pelo sistema de aquisição de dados e respectiva temperatura do ar no horário do banho

Evento de banho	Horário (h:min)	Temperatura (°C)
A	7:33	22
B	8:44	22
C	8:49	22
D	8:57	22
E	9:10	22
F	9:27	22

A Figura 5.40 mostra as durações dos banhos obtidos pelo sistema de aquisição de dados no apartamento dos estudantes e os obtidos por lógica nebulosa para os eventos apresentados no Quadro 5.4. Considerando-se que os eventos de banho foram coletados em um período em que as variações diárias de temperatura foram pequenas, todas as temperaturas registradas no período de pico ficaram em torno de 22°C.

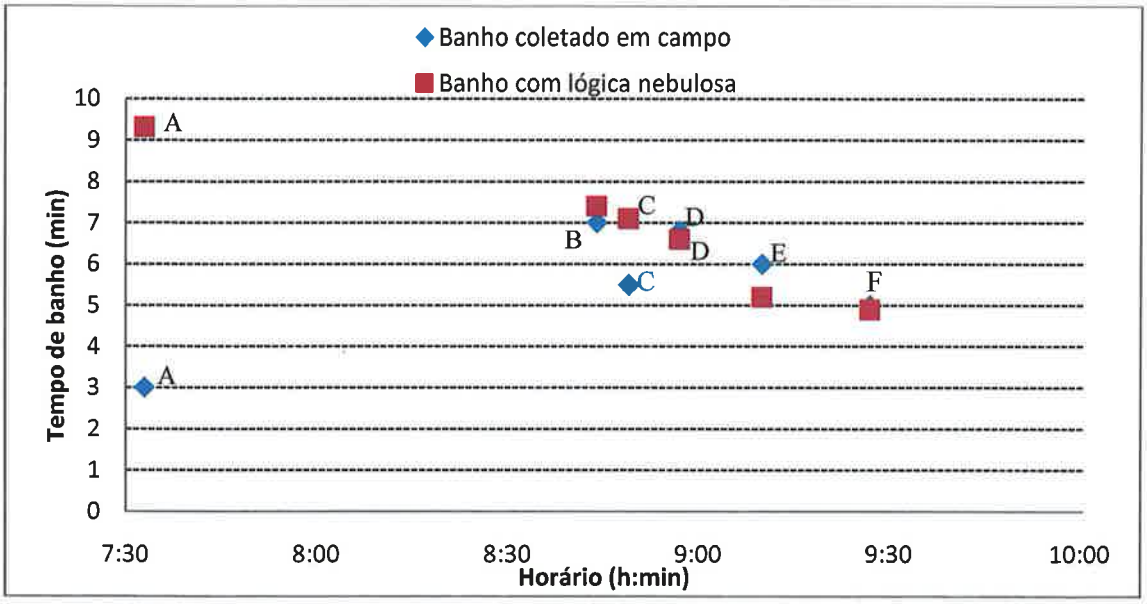


Figura 5.40 – Durações dos banhos matutinos do estudante E1, obtidos por medidas de campo em tempo real e por lógica nebulosa (OLIVEIRA et al., 2009 a, b)

Observa-se na Figura 5.40, que as durações dos banhos, medido e calculado, para o evento A são bastante diferentes. Há duas possibilidades para esta discrepância: a primeira delas é que este evento de banho ocorreu muito mais cedo do que o horário usual do estudante E1 e o segundo é que este evento ocorreu em fim de semana enquanto os outros ocorreram em dias normais de atividades. Assim, desconsiderando este evento atípico, que é esperado devido a alguns eventos aleatórios, a duração dos banhos de todos os outros eventos é compatível com a duração dos banhos medidos.

Este resultado mostra a efetividade da abordagem com base na lógica nebulosa para determinar a duração de uso de chuveiros. Sabe-se que a duração de uso dos aparelhos sanitários e, em especial, a do chuveiro é de grande importância na determinação das vazões em sistemas prediais hidráulicos. A vantagem da aplicação da lógica nebulosa é a capacidade de considerar a influência da subjetividade do usuário no uso dos aparelhos sanitários. Ressalta-se a necessidade de outros trabalhos para validação, mas esta abordagem se mostra muito efetiva e serve de referência para o desenvolvimento de um modelo mais acurado para o estabelecimento de vazões de projeto em sistemas prediais hidráulicos e, em especial, em sistemas de medição individualizada.

Considerando-se que a utilização da lógica nebulosa para a determinação do tempo de banho dos usuários foi validada por meio da comparação dos dados coletados em um sistema de medição individualiza de um apartamento habitado por três estudantes, apresenta-se no capítulo 6 a proposição de modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada com a utilização da lógica nebulosa e do método de Monte Carlo.

6 MODELO PARA A SIMULAÇÃO DE VAZÕES DE PROJETO EM SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA COM MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA

Apresenta-se neste capítulo o modelo para a determinação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada em edifícios multifamiliares com a utilização da lógica nebulosa e do método de Monte Carlo. Embora o modelo possa ser aplicado a qualquer trecho do sistema, este foi desenvolvido para determinar a vazão de projeto em um ramal de alimentação de apartamento de uma família de três pessoas: pai, mãe e filho adolescente.

6.1 Estrutura do modelo

As variáveis utilizadas para determinação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada são as seguintes:

- determinística – quantidade de aparelhos sanitários (n);
- aleatórias – vazão unitária dos aparelhos sanitários (q); duração de uso dos aparelhos sanitários (t), exceto o tempo de duração de uso do chuveiro, que é obtido por meio da lógica nebulosa; instante de início das atividades relacionadas ao uso da água no período de pico.
- nebulosas – valores linguísticos da variável "instante de banho", "temperatura ambiente" e "duração do banho".

Para determinar o instante em que todos os usuários dão início ao uso dos aparelhos sanitários no período de pico é utilizada o método de Monte Carlo.

A duração de uso do chuveiro é obtida por lógica nebulosa e a dos outros aparelhos sanitários pode ser obtida pelo método de Monte Carlo, quando se dispõe das distribuições de freqüências das durações dos usos dos aparelhos sanitários no período de pico. No entanto, neste trabalho a duração de uso dos outros aparelhos sanitários foi obtida por meio de dados de campo, conforme a equação 3.5, que aqui é reapresentada.

$$\mu_t = \frac{t_{mín} + 3t_{prov} + t_{máx}}{5}$$

Devido à maior duração de uso do chuveiro, bem como a influência subjetiva do comportamento do usuário, o tempo de banho é determinado por meio de lógica nebulosa, cujos conceitos estão apresentados no capítulo 4.

Em caso de sobreposição de uso de algum aparelho sanitário, ou seja, dois usuários sorteados no mesmo instante para iniciar o uso dos aparelhos sanitários, uma estratégia que estabelece a prioridade entre os usuários é adotada para resolver o conflito.

Os valores de vazões unitárias dos aparelhos sanitários foram obtidos por meio de dados de campo, conforme a equação 3.7, que aqui é reapresentada.

$$\mu_q = \frac{q_{mín} + q_{prov} + q_{máx}}{5}$$

A Figura 6.1 apresenta a estrutura do modelo para a determinação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada.

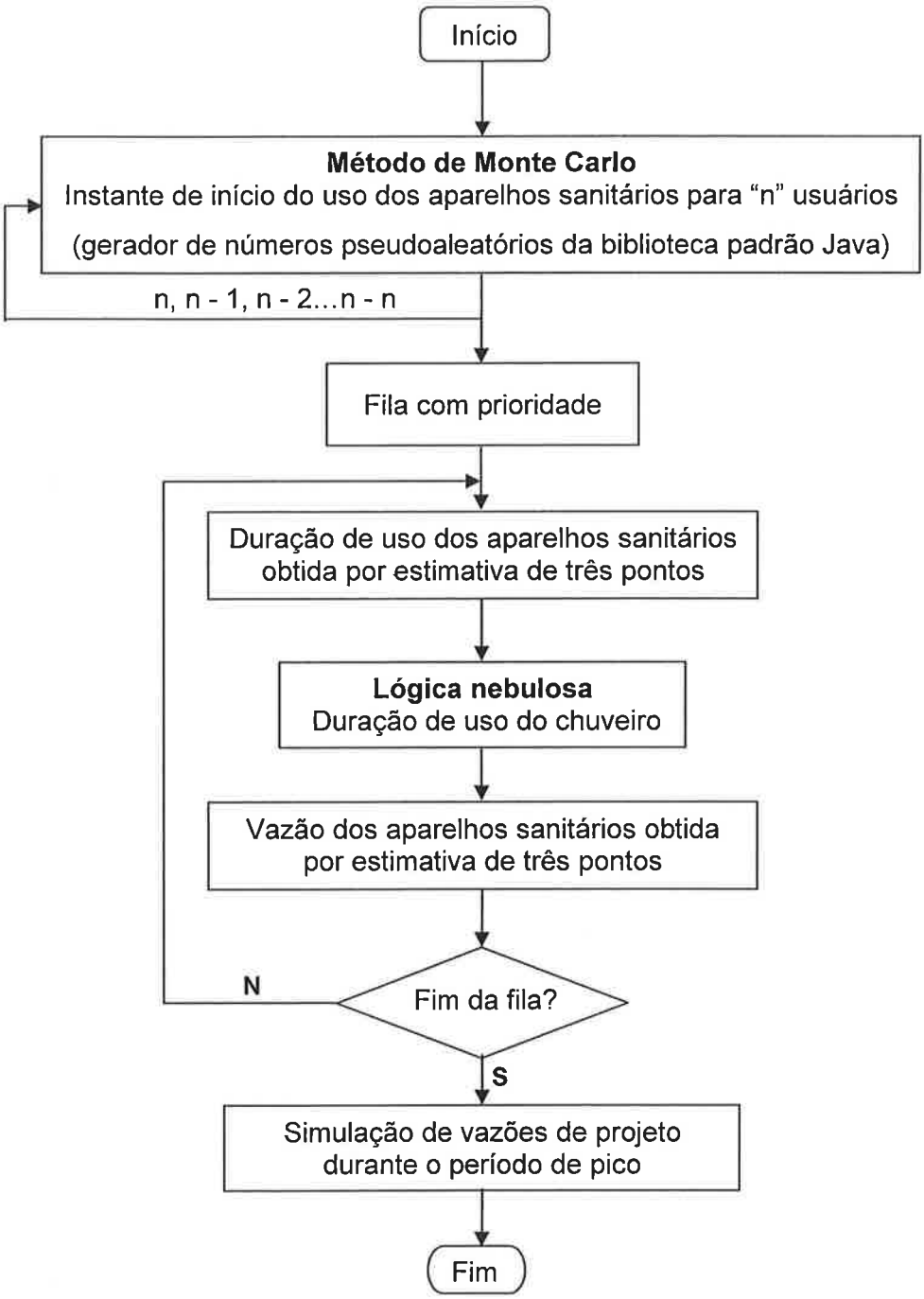


Figura 6.1 – Estrutura do modelo de simulação de vazões de projeto em sistemas de medição individualizada com a utilização da lógica nebulosa e do método de Monte Carlo

6.2 Modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada

O modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada empregando lógica nebulosa e o método de Monte Carlo

consiste em uma sequência lógica de atividades relacionadas ao uso da água, que tem início no período de pico matutino, que neste caso é considerado das 6 h às 7 h, quando os usuários de uma família dão início às atividades de higienização e de preparação do café da manhã. O período de pico é finalizado, quando os usuários saem para as atividades externas como, por exemplo, escola e trabalho. O modelo é descrito a seguir.

Inicialmente, por meio do método de Monte Carlo determina-se o instante em que cada um dos usuários da família dá início ao uso de aparelhos sanitários, no período de pico. Há uma sequência de atividades neste período, ilustrada na Figura 6.2, que é respeitada por todos os usuários. Neste caso, as atividades "preparar café" e "lavar louça" foram consideradas somente para a mãe.

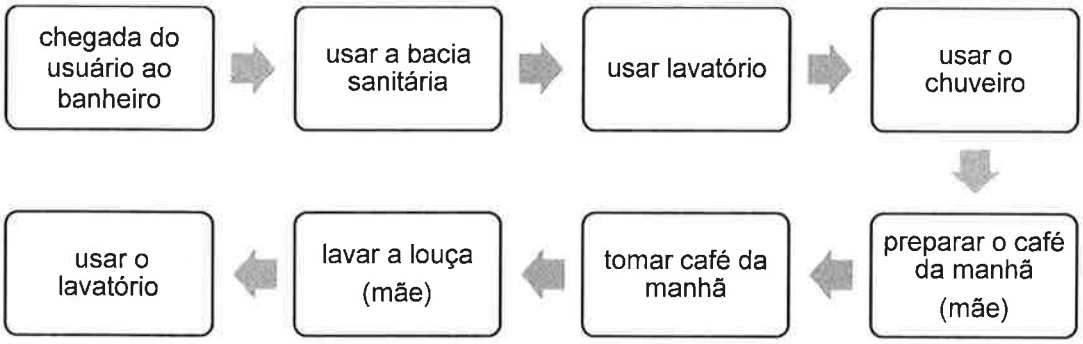


Figura 6.2 – Sequência de atividades previstas para os usuários no período de pico

Foi estabelecida uma prioridade de início de atividades, quando o método de Monte Carlo determina o mesmo horário de início das atividades para dois usuários, que é a seguinte: pai, mãe e filho. Assim, se pai e mãe são sorteados no mesmo horário, o pai usa a bacia sanitária antes da mãe. Além disso, o pai pode utilizar o banheiro junto com a mãe e com o filho, porém o filho nunca utiliza o banheiro com a mãe.

De uma maneira geral, as atividades relacionadas ao uso da água e realizadas no período de pico matutino podem ser descritas da seguinte maneira: um usuário dá início às atividades tentando usar a bacia sanitária. Em caso de insucesso (outro usuário esteja utilizando a bacia sanitária), ele fica esperando para realizar esta

atividade, porém se consegue usar a bacia sanitária, ele tenta usar o lavatório. Se não conseguir usar o lavatório ele fica esperando para realizar esta atividade. Caso tenha utilizado o lavatório ele tenta usar o chuveiro. Se o chuveiro estiver livre ele toma banho. Caso o chuveiro esteja ocupado, ele tenta tomar café. Se não conseguir, ele espera para tomar banho. Caso consiga tomar café, ele tenta usar o lavatório. Se não conseguir, ele espera para usar o lavatório. Se conseguir, ele verifica se precisa usar o chuveiro. Em caso afirmativo, ele espera para usar o chuveiro e, em caso negativo, ele está com todas as atividades concluídas.

6.2.1 Determinação da duração do banho por lógica nebulosa

A Figura 6.3 apresenta uma visão geral do sistema de relações nebulosas para a determinação da duração dos banhos no período matutino. A rotina diária de toda a família é ir para a escola e trabalho no início da manhã e só retornar ao final da tarde.

Para simplificar, são consideradas as duas variáveis que mais afetam a duração do banho no período de pico da manhã: "instante de início de banho" e "temperatura do ar". Com base nessas duas variáveis, o conjunto de variáveis linguísticas para "instante de início de banho" e "temperatura do ar" são definidas por meio de entrevistas aplicadas aos usuários.

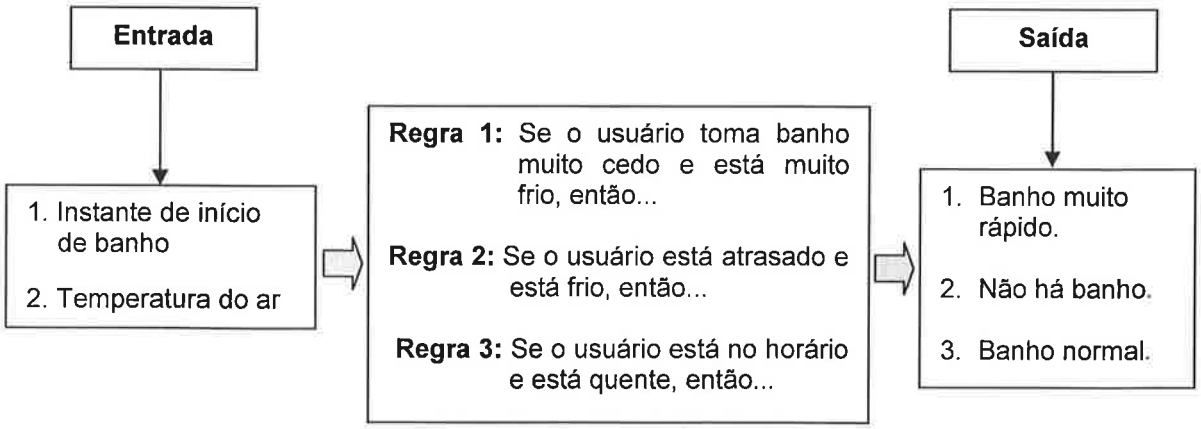


Figura 6.3 – Sistema de relações nebulosas para determinar a duração de banhos no período matutino em função do instante de início de banho e da temperatura do ar

As perguntas realizadas na entrevista foram:

- Quais os valores de temperatura você considera muito frio, frio, agradável, quente e muito quente?
- Durante o período de pico, quais são os intervalos de tempo associados às expressões: muito cedo, cedo, no horário, atrasado e muito atrasado?
- Associar a duração de seus banhos, em minutos, com as seguintes expressões: muito rápido, rápido, normal e longo.

6.2.1.1 Variáveis linguísticas

As entrevistas geram dados que apresentam algumas distorções, típicas da subjetividade pessoal de cada usuário. Assim, os valores médios para cada uma das variáveis "instante de banho", "temperatura do ar" e "duração do banho", obtido da entrevista com os usuários foram utilizados para o estabelecimento dos conjuntos de variáveis linguísticas nebulosas apresentadas nas Figuras 6.4, 6.5 e 6.6 respectivamente.

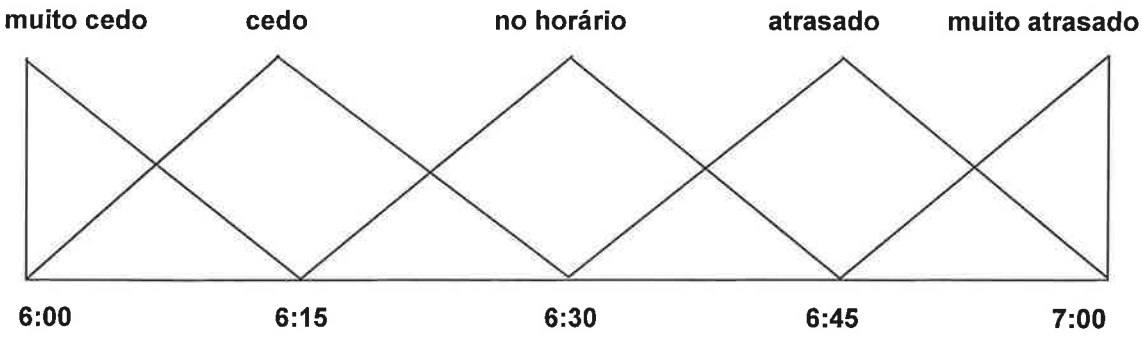


Figura 6.4 – Valores linguísticos da variável "instante de início de banho" para a família

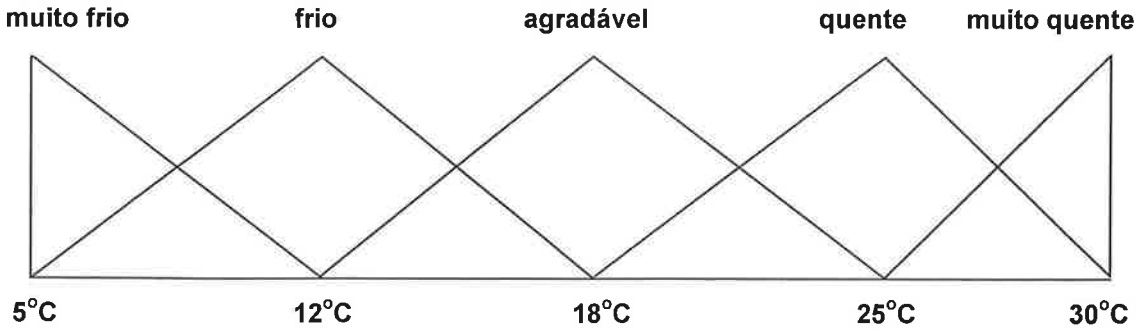


Figura 6.5 – Valores linguísticos da variável "temperatura do ar" para a família

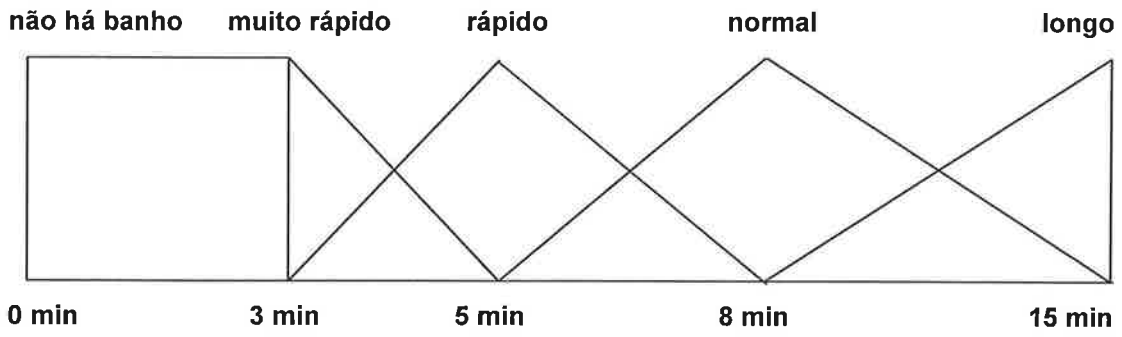


Figura 6.6 – Valores linguísticos da variável "tempo de banho" para a família

6.2.1.2 Regras de relações nebulosas

Das entrevistas também foram obtidas as matrizes de relações nebulosas para cada usuário, as quais apresentam as características peculiares de hábitos dos usuários conforme apresentado nos Quadros 6.1, 6.2 e 6.3.

Quadro 6.1 – Matriz de relações nebulosas para a duração do banho do pai

Horário / Temperatura	muito cedo	cedo	no horário	atrasado	muito atrasado
muito frio	muito rápido	muito rápido	muito rápido	não há banho	não há banho
frio	rápido	rápido	rápido	não há banho	não há banho
agradável	normal	normal	rápido	não há banho	não há banho
quente	normal	normal	normal	não há banho	não há banho
muito quente	longo	longo	normal	muito rápido	não há banho

Quadro 6.2 – Matriz de relações nebulosas para a duração do banho da mãe

Horário / Temperatura	muito cedo	cedo	no horário	atrasado	muito atrasado
muito frio	muito rápido	muito rápido	muito rápido	não há banho	não há banho
frio	rápido	rápido	rápido	não há banho	não há banho
agradável	rápido	rápido	rápido	não há banho	não há banho
quente	normal	normal	normal	não há banho	não há banho
muito quente	normal	longo	normal	muito rápido	não há banho

Quadro 6.3 – Matriz de relações nebulosas para a duração do banho do filho

Horário / Temperatura	muito cedo	cedo	no horário	atrasado	muito atrasado
muito frio	não há banho	não há banho	não há banho	não há banho	não há banho
frio	não há banho	não há banho	não há banho	não há banho	não há banho
agradável	rápido	normal	normal	não há banho	não há banho
quente	longo	normal	longo	rápido	não há banho
muito quente	longo	longo	longo	muito rápido	não há banho

Os tempos de banho calculados por lógica nebulosa para o pai, a mãe e o filho, também apresentadas por Oliveira *et al.* (2009a), estão apresentados nas Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 para o pai, a mãe e o filho respectivamente.

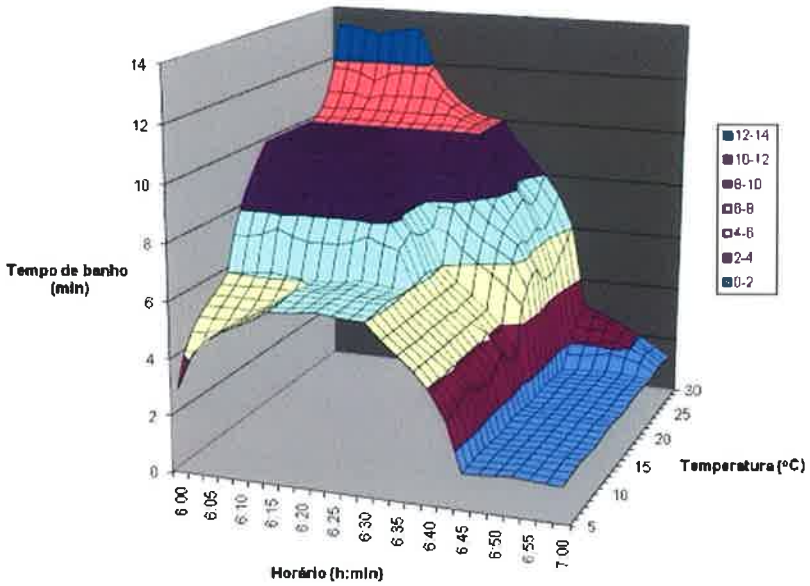


Figura 6.7 – Tempos de banhos matutinos obtidos por lógica nebulosa para o pai

Os resultados do pai, Figura 6.7, mostra que ele é o mais preocupado com o horário do banho, pois o gráfico indica que à medida que o horário de banho avança os tempos de banho diminuem. Assim, ele apresenta uma forte tendência para ter banhos curtos ou não tomar banho quando está atrasado.

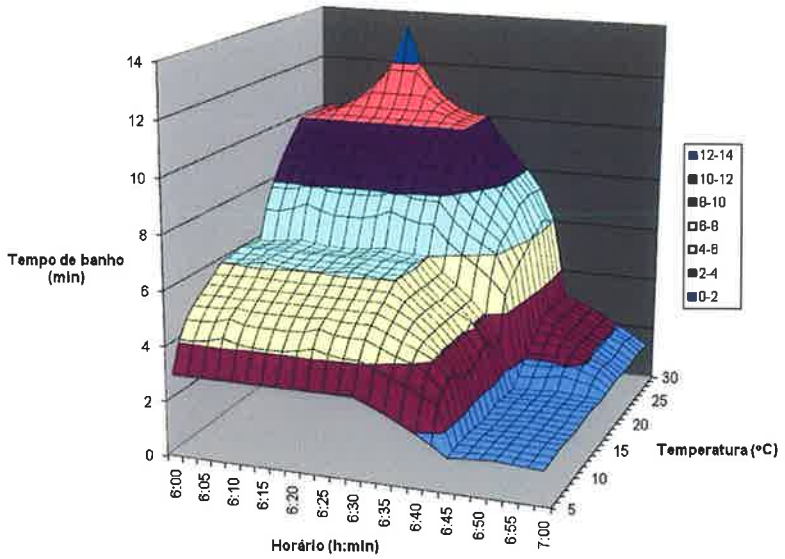


Figura 6.8 – Tempos de banhos matutinos obtidos por lógica nebulosa para a mãe

Conforme ilustra a Figura 6.8 a mesma tendência do pai é seguida pela mãe, ou seja, banhos de curta duração. Observa-se também que a mãe apresenta os menores tempos de banho e com durações mais uniformes em relação aos outros membros da família.

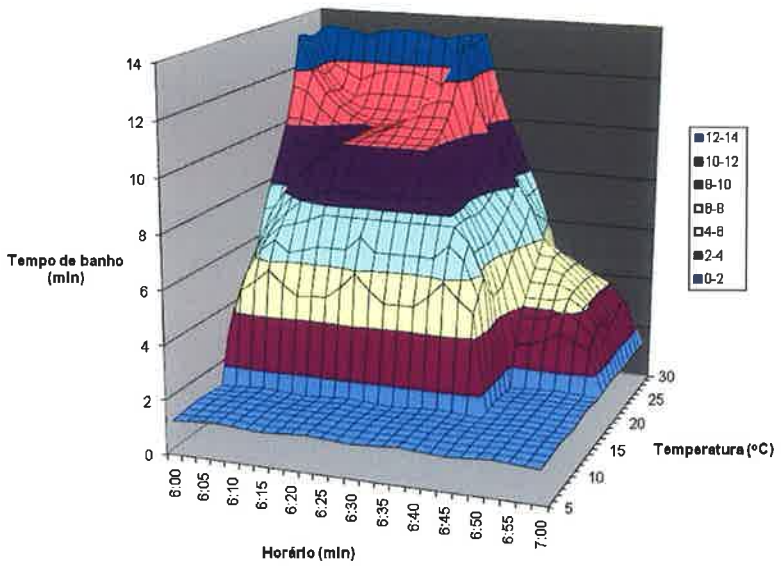


Figura 6.9 – Tempos de banhos matutinos obtidos por lógica nebulosa para o filho

O filho, conforme ilustra a Figura 6.9, não se preocupa com a duração do banho em dias quentes, porém ele se mostra muito sensível e não toma banho em dias frios. Pode-se ainda afirmar que o filho apresenta os banhos mais longos em relação aos outros membros da família.

Observando as Figuras 6.7, 6.8 e 6.9, que mostram os resultados para a duração dos banhos do pai, da mãe e do filho obtidos por lógica nebulosa, pode-se notar que eles refletem os respectivos papéis e condições dentro da família.

6.3 Programa para simular as vazões de projeto

Para a simulação das vazões de projeto no ramal de alimentação do sistema de medição individualizada do apartamento, descrito anteriormente, foi desenvolvido um programa em linguagem Java, cujos passos, para a determinação de vazões, são apresentados a seguir:

1. Sorteio dos usuários para dar início às atividades relacionadas ao uso da água durante o período de pico (6 h – 7 h). A distribuição de probabilidades dos horários de início de uso dos aparelhos sanitários pelos usuários são as apresentadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Distribuição de probabilidades dos horários de início das atividades relacionadas ao uso da água dos usuários da família estudada

Pai		Mãe		Filho	
Horário h:min	**Frequência (%)**	**Horário h:min**	**Frequência (%)**	**Horário h:min**	**Frequência (%)**
				6:10	00
6:05	10	6:00	50	6:20	20
6:10	20	6:05	20	6:30	50
6:15	50	6:10	20	6:40	20
6:20	20	6:15	10	6:50	10

2. Os usuários entram em fila para utilizar os aparelhos sanitários.

3. A sequência de utilização dos aparelhos sanitários proposta é: bacia sanitária, lavatório, chuveiro e pia. Caso dois usuários sejam sorteados no mesmo horário, a simulação estabelece a seguinte prioridade: pai, mãe e filho. A utilização do banheiro por dois usuários é permitida somente nos seguintes casos: pai com mãe e pai com filho.

4. O tempo de utilização da bacia sanitária é de 3 minutos para a mãe, 2 minutos para o pai e 3 minutos para o filho. O tempo de descarga da bacia sanitária é o mesmo para todos os usuários, ou seja, de 60 segundos com vazão de 0,15 L/s.

5. O tempo de utilização do lavatório é de 40 segundos para todos os usuários com uma vazão de 0,08 L/s, tanto após o uso da bacia sanitária quanto após o café da manhã.

6. O tempo de banho dos usuários é determinado com base na lógica nebulosa em função das suas respectivas matrizes de relações nebulosas, apresentadas nas Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3. A vazão do chuveiro é a mesma para todos os usuários, 0,12 L/s.

7. A mãe, após o banho, prepara o café em 5 minutos e no início deste período ela coleta água por 40 segundos a uma vazão de 0,10 L/s, perfazendo um volume de 4 litros.

8. Após o banho os usuários tomam café. A mãe toma café em 5 minutos, o pai em 10 minutos e o filho em 10 minutos.

9. Após tomar o café, a mãe lava a louça do café durante 5 minutos e a torneira da pia tem vazão de 0,10 L/s. Neste caso, somente a mãe lava a louça.

10. Quando todos os usuários concluem as suas atividades a simulação é concluída, que pode ocorrer antes do final do período de pico.

Não foi desenvolvida uma interface, mas os resultados das simulações podem ser de duas formas: somente por dados de instante do início da ação e da respectiva vazão ou por dados e por uma sequência de ações que justificam os dados. No Quadro 6.4 estão ilustrados os dois tipos de saída de dados da simulação do programa para a determinação das vazões de projeto. Ressalta-se que o período de pico considerado foi das 6 h às 7 h os tempos de banhos dos usuários são calculados utilizando o programa de lógica nebulosa desenvolvido na etapa 1 e apresentado no capítulo 5.

Quadro 6.4 - Dados de saída da simulação do programa para a determinação das vazões de projeto

Saída do tipo 1	**Saída do tipo 2**
Horario – Vazao	Horario – Vazao – Sequência de atividades
06:07:12 0.15	06:04:12 0.0 CHEGADA mae A mae acordou A mae vai tentar usar o banheiro
6:8:12 0.0	06:04:12 0.0 AGENDAMENTO A mae verificou a proxima acao mae vai tentar usar a bacia sanitaria
06:08:12 0.08	06:04:12 0.0 USAR_BACIA_SANITARIA mae mae tentou usar bacia sanitaria mae ocupa bacia sanitaria e vai sair em alguns minutos
06:08:52 0.0	06:07:12 0.15 DAR_DESCARGA mae mae da descarga e vai sair em alguns minutos
....	.....

Observa-se no Quadro 6.4 que a apresentação dos resultados acompanhados de descrição das ações é muito mais longa, mas tem a sua utilidade quando se deseja conferir as atividades desenvolvidas pelos usuários no período de pico. No Anexo 1 é apresentada uma planilha completa com os dois tipos de saída para uma simulação.

6.4 Simulação do modelo

Para simular o modelo considerou-se um apartamento com uma população de três pessoas: pai, mãe e filho adolescente. O apartamento apresenta um banheiro, uma cozinha e uma área de serviço com os respectivos aparelhos sanitários: lavatório (Lv); bacia sanitária com caixa de descarga (BS/CD); chuveiro (Ch); pia (P), tanque (Tq) e máquina de lavar roupa (MLR). Os valores de duração de descarga (t), de

vazão dos aparelhos sanitários (q) e de número de usos (u) foram estimados tendo-se como referência dados de campo, levantados por Ilha (1991) e Uchida (2006) e também estimativas apresentadas por Oliveira (2007) e Oliveira *et al.* (2007b).

6.4.1 Cálculo do número de simulações

Para o cálculo do número de simulações foi determinado o desvio padrão da amostra de 10 instantes de início de banho para cada um dos três usuários no período de pico considerado (s = 0,22), estabelecido um coeficiente de confiança de 95% ($Z_{\alpha/2}$ = 1,96). Com estes dados pode-se calcular o número de simulações necessárias para um erro de estimativa igual a 0,50. Por meio da equação 4.11 obtém-se:

$$N = \frac{s^2 (Z_{\alpha/2})^2}{d^2}$$

$$N = 74$$

Considerando-se que foram realizadas 128 simulações o erro de estimativa é bem menor, ou seja, de 0,038.

As Figuras 6.10 a 6.15 apresentam os resultados de algumas das 128 simulações de vazão no ramal de alimentação de um apartamento com medição individualizada para as atividades realizadas no período de pico, das 6 h às 7 h e condições definidas anteriormente. O apartamento dispõe de dois dormitórios, um banheiro, uma cozinha e uma área de serviço. A família é composta de pai, mãe e filho adolescente, conforme descrito anteriormente.

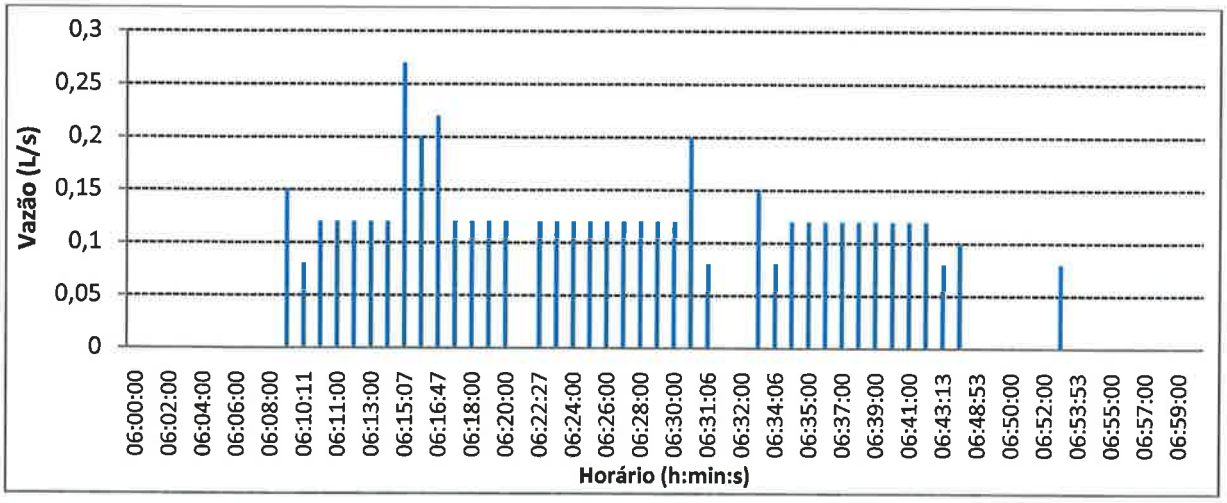


Figura 6.10 – Simulação 01

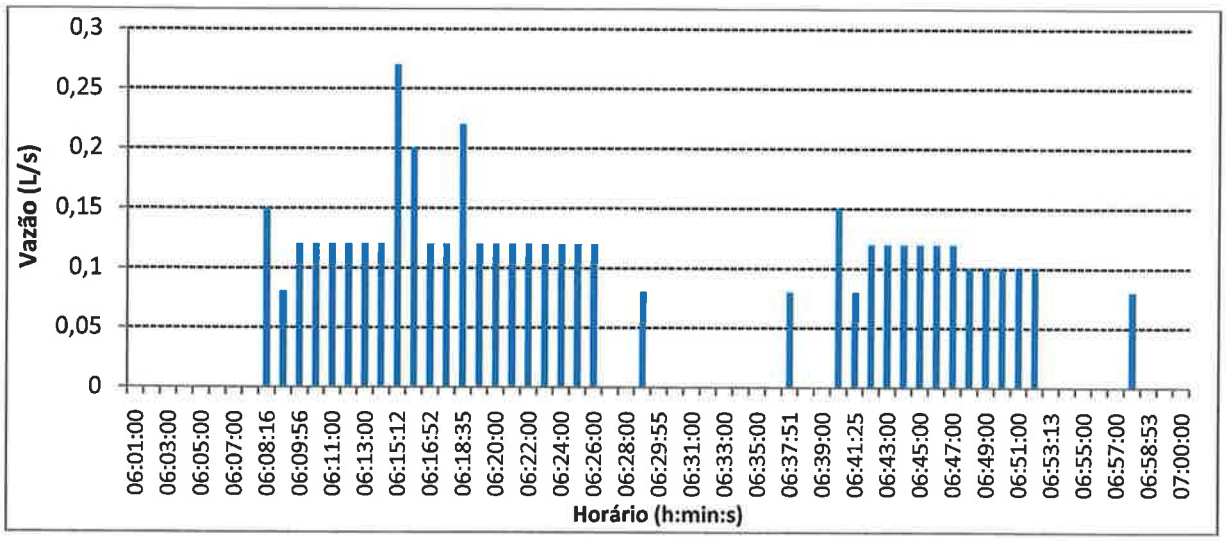


Figura 6.11 – Simulação 02

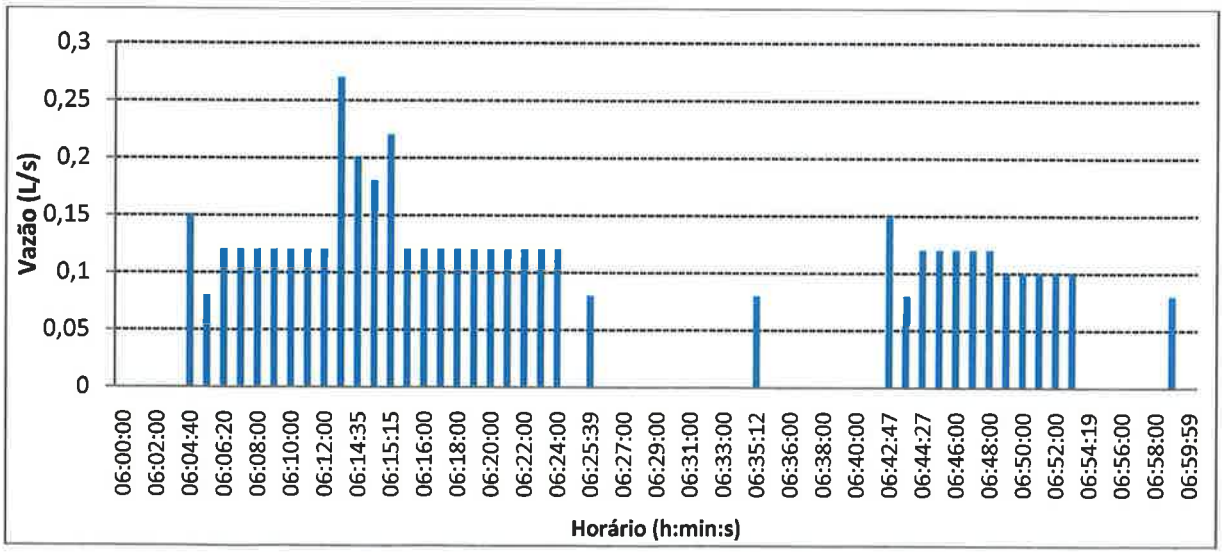


Figura 6.12 – Simulação 03

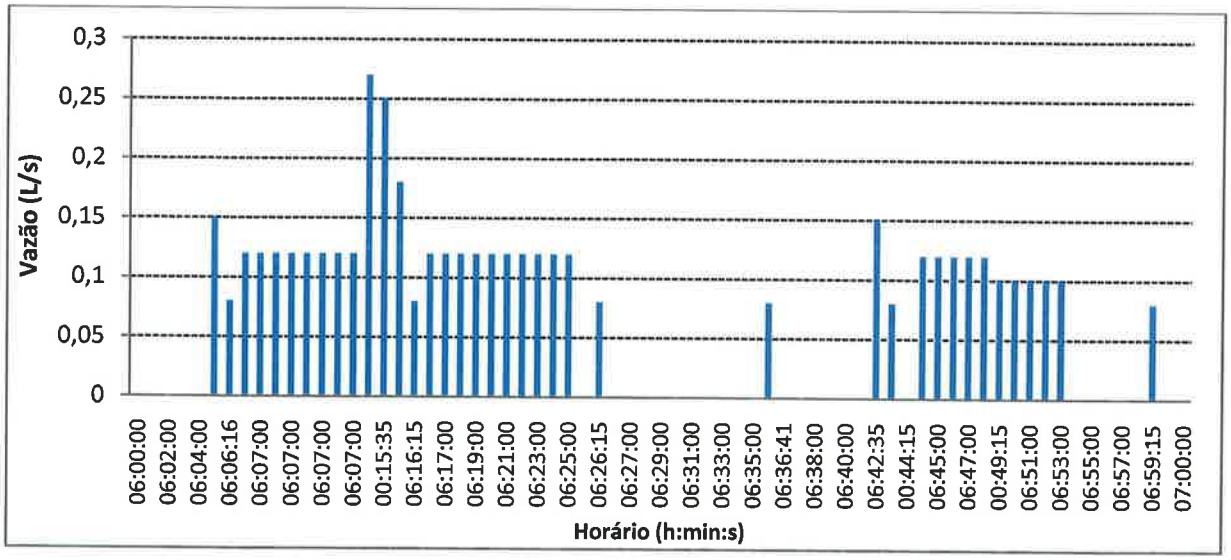


Figura 6.13 – Simulação 04

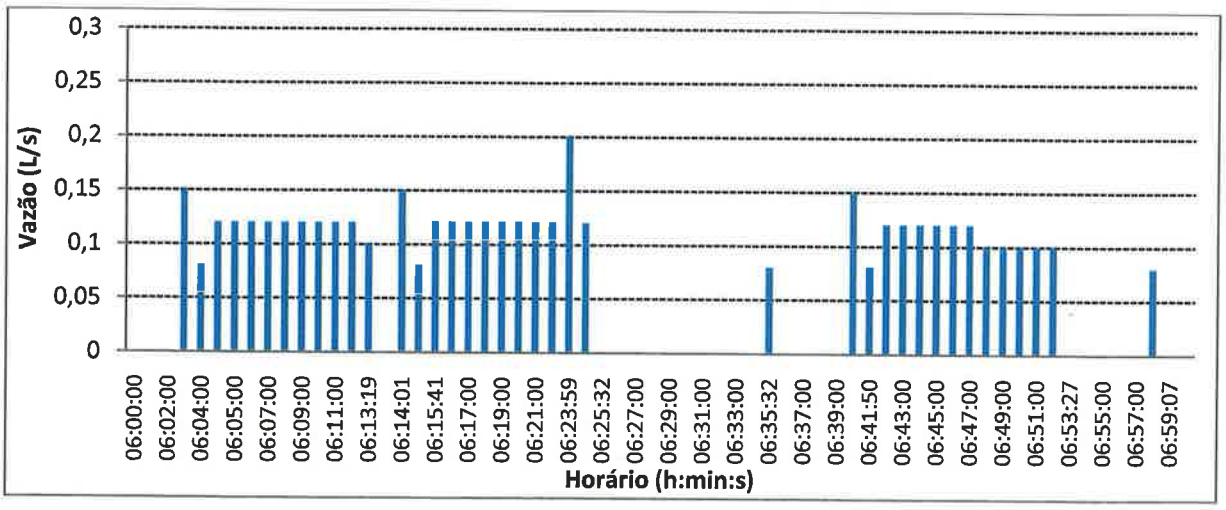


Figura 6.14 – Simulação 05

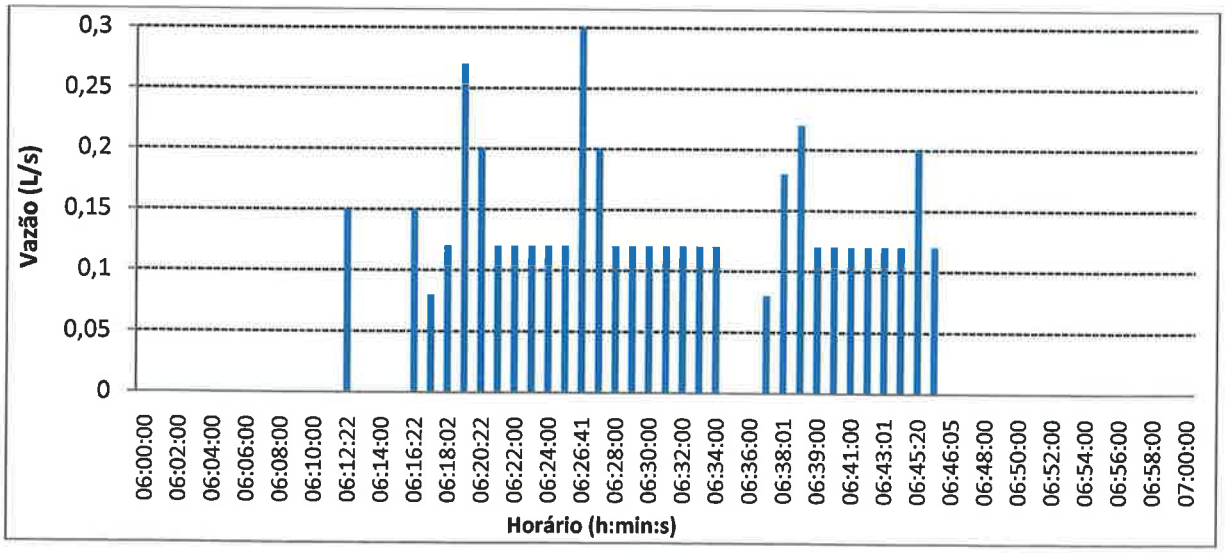


Figura 6.15 – Simulação 06

Conforme verificado nos resultados apresentados nas Figuras 6.10 a 6.15, das 128 simulações realizadas somente duas vezes ocorreu a vazão de 0,30 L/s e por um período de 40 segundos, conforme o resultado ilustrado na Figura 6.15, quando houve utilização simultânea do chuveiro, lavatório e pia. Pode-se observar na Figura 6.15 que, nesta simulação, os usuários acordaram tarde e concluíram as suas atividades antes do período de pico.

A Figura 6.16 ilustra a distribuição de frequências de vazões máximas no ramal de alimentação do sistema analisado durante o período de pico, das 6 h às 7 h. Em 104 simulações (81%) o valor máximo da vazão foi de 0,27 L/s, em três simulações (2%) a vazão máxima foi de 0,25 L/s, em 19 simulações (15%) a vazão máxima foi de 0,20 L/s e somente em duas simulações (2%) a vazão máxima foi de 0,30 L/s.

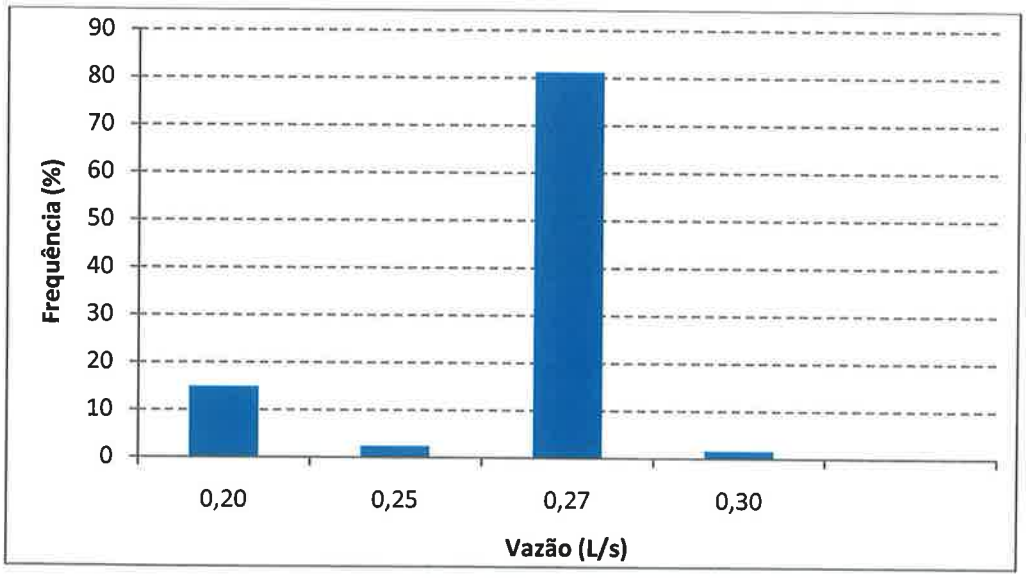


Figura 6.16 – Distribuição de frequências de vazões máximas no ramal de alimentação do sistema analisado durante o período de pico, das 6 h às 7 h

Assim, pode-se afirmar que o valor mais provável de vazão de projeto no ramal de alimentação deste apartamento e para esta família é de 0,27 L/s, cujo valor representa o funcionamento simultâneo do chuveiro e da descarga da bacia sanitária. Ressalta-se que a descarga da bacia sanitária ocorre durante 60 segundos, ou seja, um período muito pequeno durante o período de banho.

6.4.2 Avaliação das frequências de vazões no ramal de alimentação

Com o objetivo de avaliar a frequência dos valores de vazão no ramal de alimentação foram realizadas 74 simulações e levantadas as freqüências relativas e acumuladas em tempo (segundos) quando da ocorrência de escoamento, conforme ilustrado na Figura 6.17.

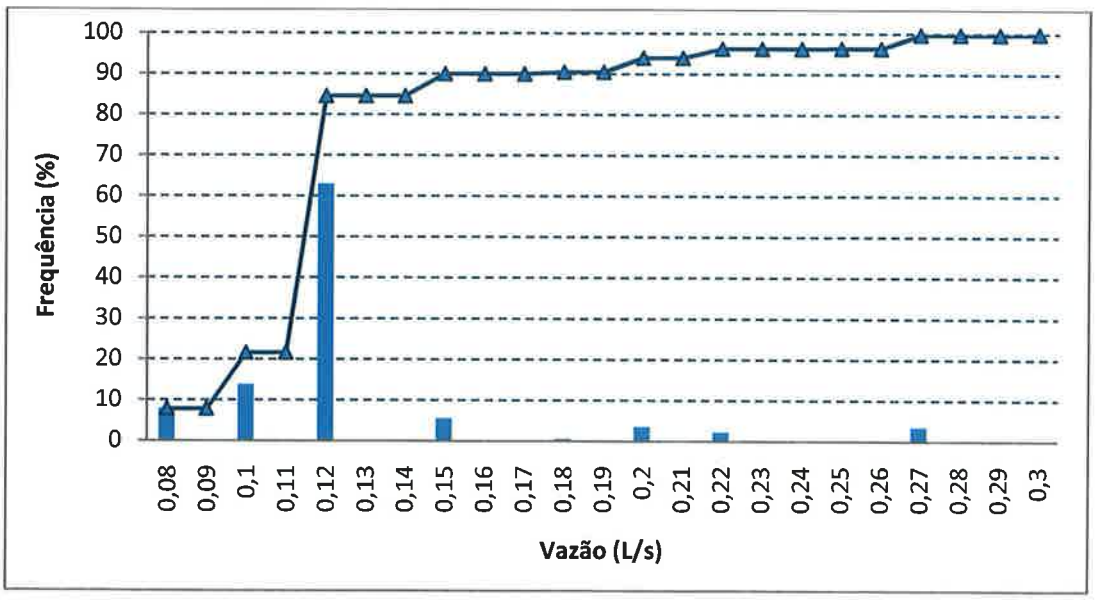


Figura 6.17 – Distribuição de freqüências relativas e acumuladas de vazões no ramal de alimentação do sistema analisado durante o período de pico das 6 h às 7 h

Com base nos resultados da Figura 6.17, pode-se afirmar que em 90% do tempo em que ocorre escoamento no ramal de alimentação, os valores de vazão são inferiores a 0,17 L/s e em 96,4% das ocorrências os valores de vazão são inferiores a 0,26 L/s.

Considerando-se que, em geral, os hidrômetros de ramais de alimentação especificados para esta faixa de valores tem sido de vazão nominal igual 1,5 m^3/h (0,42 L/s), pode-se afirmar com base na Tabela 6.2, que este mesmo hidrômetro poderia ser de vazão nominal de 0,75 m^3/h (0,21 L/s).

Tabela 6.2 – Vazões características de hidrômetros de classe metrológica B segundo a vazão nominal

Vazão nominal (m^3/h)	**0,75**	**1,00**	**1,50**
Vazão nominal (L/s)	0,21	0,28	0,42
Vazão máxima (L/s)	0,42	0,56	0,83
Vazão mínima (L/s)	0,004	0,006	0,008
Vazão de transição(L/s)	0,02	0,02	0,03

Fonte: INMETRO (2000) adaptado

Sabe-se que uma das limitações para esta opção é a perda de carga elevada do medidor, mas diante destes resultados recomenda-se um aprofundamento da questão.

6.5 Comparação entre métodos para a determinação de vazões de projeto

Apresenta-se neste item uma avaliação comparativa entre o método dos pesos relativos, recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), o probabilístico (Gonçalves, 1986) e o proposto neste trabalho.

Considerando-se o mesmo sistema predial de água apresentado no item 6.3, ou seja, um apartamento com sistema de medição individualizada e uma família com três usuários que utilizam o mesmo banheiro com chuveiro (Ch), lavatório (Lv) e bacia sanitária com caixa de descarga (BS/CD) e a cozinha com uma pia (P) no período de pico de 1 hora, das 6 h às 7 h. A vazão de projeto no ramal de alimentação, à montante do medidor, foi determinada na seção S, indicada na Figura 6.18.

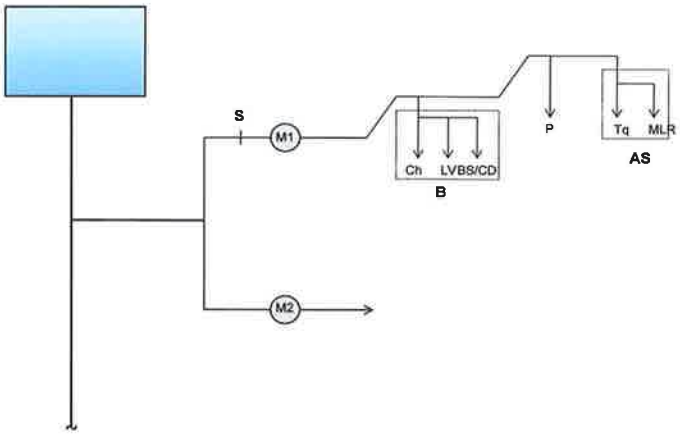


Figura 6.18 – Configuração analisada, sendo "S" a seção onde será determinada a vazão de projeto no ramal de alimentação

Para o método probabilístico, os valores de duração de descarga, de vazão dos aparelhos sanitários e do número de usos utilizados na simulação foram obtidos de outros trabalhos desenvolvidos por Colussi (2009) e Ilha (1991) e estão apresentados nas Tabelas 6.3 e 6.4. Os fatores de falha global e local máximo foram considerados iguais em todos os trechos: 0,01 e 0,05, respectivamente. O período de pico foi de 1 h no período da manhã (6 h - 7 h).

Tabela 6.3 – Valores de vazão e de duração das descargas utilizados na simulação do modelo probabilístico

Aparelho	Duração de descarga (s)			Vazão (L/s)		
	Mín.	Prevista	Máx.	Mín.	Prevista	Máx.
Lavatório	30	40	50	0,06	0,08	0,10
Bacia sanitária	45	60	80	0,12	0,15	0,20
Chuveiro	180	600	900	0,10	0,12	0,15
Pia	180	300	420	0,08	0,10	0,12
Máquina de lavar roupa	---	---	---	---	---	---
Tanque	---	---	---	---	---	---

Tabela 6.4 – Número de usos *per capita* utilizados na simulação do modelo probabilístico

Aparelho sanitário	Número de usos *per capita* Mínimo	Mais provável	Máximo
Lavatório	1	2	3
Bacia sanitária	0	1	2
Chuveiro	0	1	1
Pia	3	4	6
Máquina de lavar roupa	---	---	---
Tanque	---	---	---

O modelo probabilístico foi simulado com o auxílio do programa computacional, denominado ProAcqua, que calcula a máxima vazão em cada trecho do sistema, considerando os fatores de falha adotados.

Tendo-se em vista a análise comparativa entre os métodos com lógica nebulosa, probabilístico e dos pesos relativos e no período de pico das 6 h às 7 h, não foram considerados o tanque e também a máquina de lavar roupa para ser compatível com o modelo com lógica nebulosa.

Os resultados de vazão de projeto obtidos para a seção S com por meio dos três métodos estão apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Vazão de projeto na seção "s" do ramal de alimentação obtida pelos métodos dos pesos relativos, probabilístico e por lógica nebulosa

Q (L/s) Método dos pesos relativos	Q (L/s) Método probabilístico	Q(L/s) Método lógica nebulosa
0,35	0,31	0,27

Observando-se os resultados pode-se afirmar que a vazão de projeto obtida pelo método dos pesos relativos é cerca de 30% maior que o método da lógica nebulosa e 13% maior que o valor obtido pelo método probabilístico.

Ressalta-se que apesar do resultado obtido pelo método da lógica nebulosa indicar valor de vazão de projeto muito próximo do obtido pelo método probabilístico, mais simulações confrontação com dados de campo devem ser realizadas para a validação do método. No entanto, somente com esta simulação observa-se a possibilidade de avanço de modelos para a determinação de vazões de projeto em sistemas prediais e, em especial, aqueles que consideram a subjetividade dos usuários.

Outro fato que deve ser ressaltado é que este modelo simula as ocorrências de vazões em todo o período de pico, o que propicia ao projetista fazer melhor a gestão das falhas admissíveis no sistema, pois em muitos casos valores de vazão máxima ocorrem por poucos segundos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi desenvolvido com o principal objetivo de propor um modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água de edifícios residenciais multifamiliares com medição individualizada. O modelo desenvolvido emprega os conceitos de lógica nebulosa para determinar a duração dos banhos dos usuários e o método de Monte Carlo para determinar o instante de uso dos aparelhos sanitários em função das distribuições de probabilidade do uso dos aparelhos sanitários em um dado período de pico.

Apresentam-se a seguir as principais conclusões obtidas e, também, sugestões de propostas de pesquisas que poderão contribuir para o avanço de modelos para a determinação de vazões de projeto e, deste modo, para a otimização do dimensionamento de sistemas prediais hidráulicos.

7.1 Conclusões

As principais conclusões obtidas nesta pesquisa são:

- a abordagem dos conceitos de lógica nebulosa foi válida para a determinação dos tempos de banho em sistemas prediais de água no período matutino e para o caso estudado neste trabalho, tendo sido comprovada por uma medição em tempo real, realizada em um apartamento habitado por três estudantes, cujos resultados mostraram boa aderência entre os valores calculados e os valores medidos;

- a aplicação da lógica nebulosa, para a determinação dos tempos de banho dos usuários de família, mostra o comportamento de cada um deles em relação ao uso do chuveiro, porém precisa ser validada com dados de campo;

- o modelo para a simulação de vazões em ramal de alimentação de sistema de medição individualizada de edifícios residenciais, durante o período de pico,

empregando a lógica nebulosa e o método de Monte Carlo, mostra resultados aproximados aos obtidos pelo método probabilístico, proposto por Gonçalves (1986), porém com a vantagem de simular as vazões durante todo o período de pico e não somente determinar o valor máximo em uma dada seção e, ainda, com valores de vazão cerca de 30% menores que os obtidos pelo método dos pesos relativos, recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998);

- os resultados de simulações realizadas mostra que em 90% do tempo em que ocorre escoamento no ramal de alimentação, os valores de vazão são inferiores a 0,17 L/s e, em 96,4% das ocorrências, os valores de vazão são inferiores a 0,26 L/s, fatos que indicam superdimensionamento de hidrômetros que vem sendo utilizados em sistemas similares ao simulado neste trabalho.

Assim, conclui-se que o modelo desenvolvido neste trabalho, empregando a lógica nebulosa e o método de Monte Carlo, pode ser aplicado para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água de edifícios residenciais multifamiliares, com medição individualizada, necessitando, no entanto, de uma maior base dados de campo, para a sua consolidação e ampliação da aplicação a outras tipologias de edifícios.

7.2 Propostas de pesquisas para o avanço do modelo com o emprego da lógica nebulosa e do método de Monte Carlo em sistemas prediais de água

No processo de desenvolvimento do modelo foi-se deparando com complexidades inerentes ao comportamento aleatório dos usuários que, por sua vez, implicam em modelos mais complexos. Assim, apresentam-se a seguir algumas sugestões para o avanço do modelo apresentado:

- proposição de regras nebulosas adequadas ao evento de banho no período noturno como, por exemplo, o instante de banho depende do horário de chegar em casa; do horário do jantar; ou do horário do jornal? Ou seria melhor a previsão de uma condição crítica em função do horário de chegada?;

- aplicação da lógica nebulosa para a determinação de duração de uso em outros aparelhos sanitários e do método de Monte Carlo para distribuições de outras variáveis aleatórias como, por exemplo, vazões;

- aumento do número de ambientes sanitários e, também, do números de usuários, o que implica em novo modelo de sequência de atividades relacionadas ao uso da água;

- simulação das vazões de projeto em qualquer seção do sistema e, em especial, no barrilete;

- levantamento de dados de campo de vazões de projeto em ramal de alimentação e em barrilete de sistemas prediais de água de tipologias diferentes de edifícios residenciais de forma a validar o modelo.

O desenvolvimento deste trabalho ampliou as oportunidades de atuação na área de sistemas prediais por meio da aplicação de ferramentas matemáticas, que possibilitam gerar informações a respeito do funcionamento dos sistemas prediais de água e, assim, contribuir para o avanço de tecnologias que promovam a gestão e o uso eficiente da água no edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTARIS. Cyble™ Sensor. Setembro, 2003. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998, 41p.

BLOKKER, E.J.M.; SCHEE, W.G. van der. Simulation of water demands provides insight. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062, 32nd, 2006, Taiwan. **Proceedings...** Taiwan, 2006. p.1-7.

CHENG, L.Y. **Teoria dos conjuntos nebulosos**. São Paulo: Epusp, 1997, a. Notas de aula para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC 5015 - Quantificação de variáveis subjetivas no projeto.

CHENG, L.Y. **Inferência nebulosa**. São Paulo: Epusp, 1997, b. Notas de aula para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC 5015 - Quantificação de variáveis subjetivas no projeto.

COURTNEY, R.G. A multinomial analysis of water demand. **Building and Environment,** Pergamon Press, v. 11, p.203-209, 1976.

COX, E. **Fuzzy logic for business and industry**. Massachusetts: Charles River Media Inc, 1995.

COLUSSI, S.S. **Avaliação do consumo de água em pontos de utilização de apartamentos**. São Paulo, 2009. Relatório Final de Iniciação Científica. Programa Institucional de Iniciação Científica - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GOMIDE, F.A.C.; GUDWIN, R.R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v. 4, n. 3. p. 7-115. Setembro-outubro, 1994.

GONÇALVES, O.M.; OLIVEIRA, L.H.; ILHA, M.S.O. Modelos de determinação das vazões de projeto adaptados às condições de uso. **Hydro**, n. 22, p.62-69, 2008.

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

GONÇALVES, O.M. **Contribuições para a Economia e Qualidade dos Sistemas Prediais.** São Paulo, 1997. Memorial circustanciado (Livre-docência junto ao Departamento de Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GONÇALVES, O.M. Medição individualizada de água em edifícios residenciais – Uma realidade? **Hydro**, n. 4, p.60-62, 2007.

HARRIS, A.L.N.C. **Metodologia baseada na teoria dos sistemas nebulosos (Fuzzy System Theory) para o tratamento das informações subjetivas do projeto arquitetônico.** São Paulo, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ILHA, M.S.O. **Estudo dos parâmetros relacionados com a utilização de água quente em edifícios residenciais**. São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. Portaria nº 246 de 17 de outubro de 2000.

JAVA TM Platform Standard. Ed. 6, (200?). Disponível em: <http://java.sun.com/javase/6/docs/api/java/util/Random.html>. Acesso em novembro, 2009.

KIATAKE, M.; CHENG, L.Y.; PETRECHE, J.R.D. Knowledge Representation of Architectural Design: A Case Study by Using IBIS-FRS System. **Journal of Advanced Computer Intelligence and Intelligent Informatics**, Fuji Technology Press, Japan, 9(6), 677-683, Nov. 2005.

MUI, K.W.; WONG, L.T. LAW, L.Y. Domestic water consumption benchmark development for Hong Kong. **Building Service Engineering Research and Technology**, v. 28, n.4, p. 329-335, 2007. Disponível em http://bse.sagepub.com. Acesso em 01/02/2008.

MASSOLINO, P.M.C. **Ferramenta para o estabelecimento de tempo de utilização de chuveiro em edifícios residenciais utilizando lógica nebulosa.** São Paulo, 2009. Relatório Final de Iniciação Científica. Projeto de Pesquisa FAPESP. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MURAKAWA, S.; KOSHIKAWA, Y.; TAKATA, H.; TANAKA, A. A study of the leveling hot water supply demands and the reduction for equipment capacity in complex buildings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062, 34th, 2008, Hong Kong, China. **Proceedings...** Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, Sep. 2008, p. 118-129.

MURAKAWA, S.; KOSHIKAWA, Y.; TAKATA, H.; TANAKA, A. Calculation for the cold and hot water demands in the guest rooms of city hotel. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062, 33rd, 2007, Brno, Czech Republic. **Proceedings...** Brno: Brno University of Technology, Sep. 2007, p. 73-85.

MURAKAWA, S.; NISHINA, D.; TAKATA, H.; TANAKA, A. An analysis on the loads of hot water consumption in the restaurants. In: INTERNATIONAL

SYMPOSIUM CIB W062, 31st, 2005, Brussels, Belgium. **Proceedings...** Brussels, Sep. 2005, p. 1-11.

OLIVEIRA, L.H. Fatores que influenciam as vazões de projeto em sistemas de medição individualizada de água. **Hydro**, São Paulo, n. 11, p.64-67, set./2007.

OLIVEIRA, L.H.; ILHA, M.S.O.; GONÇALVES, O.M. A influência do método de determinação de vazões de projeto no dimensionamento de sistemas de medição individualizada. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, X, 2007, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, ANTAC, ago. 2007a, CD ROM.

OLIVEIRA, L.H.; ILHA, M.S.O.; GONÇALVES, O.M. Design flowrate simulation using probabilistic and empiric methods for water submetering system in Brazilian multifamily buildings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062, 33rd, 2007, Brno, Czech Republic. **Proceedings...** Brno: Brno University of Technology, Sep. 2007b, p. 99-109.

OLIVEIRA, L.H.; CHENG, L.Y.; MASSOLINO, P.M.C.; BRISIGHELLI, C.Q. Assessment of the Duration of the Use of Sanitary Appliances for Sizing of Water Submetering Systems in Multi-Family Buildings by means of Fuzzy Logic. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFT COMPUTING TECHNOLOGY IN CIVIL, STRUCTURAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 1st, 2009, Funchal, Ilha da Madeira, Portugal. **Proceedings...** Scotland: Civil-Comp Press, Stirlingshire, Sep. 2009a, p. 1-18 (CD-ROM).

OLIVEIRA, L.H.; CHENG, L.Y.; GONÇALVES, O.M; MASSOLINO, P.M.C.; Application of fuzzy logic to the assessment of design flow rate in water supply system of multifamily building. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062, 35th, 2009, Dusseldorf, Alemanha. **Proceedings...** Dusseldorf: University of Applied Sciences, Sep. 2009b, p. 39-53.

ORTEGA, N.R.S. **Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da Biomedicina**. 2001. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

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

PERES, A.R.B. **Avaliação durante operação de sistemas de medição individualizada de água em edifícios residenciais.** Goiânia, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

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

SANDRI, S.; CORREA, C. Lógica nebulosa. In: ESCOLA DE REDES NEURAIS, V, 1999, São José dos Campos - SP: ITA, ANTAC, julho. p.c073-c090. Disponível em <http://www.deti.ufc.br/~guilherme/PAPERS/curso_ERN99 _fuzzy.pdf.> Acesso em 01/10/2009.

SHAMBLIN, J.E.; STEVENS JR., G.T. **Operations research a fundamental approach**. McGraw-Hill, 1974.

SHAW, I.S.; SIMÕES, M.G. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo, Editora Blücher Ltda, 1975, 1ª edição, 165p.

SIMÕES, A. S. **Introdução à lógica fuzzy**. Sorocaba: UNESP, 200?. Notas de aula da disciplina Inteligência Artificial – Aula 15. Disponível em:< http://www.sorocaba.unesp.br/professor/assimoes > Acesso em 06.01.10.

SOUZA, M.C.M. **Quantificação das incertezas na avaliação de projetos: O modelo utilizado na agência de fomento do Estado da Bahia**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TAKATA, H.; MURAKAWA, S.; NISHINA, D.; TANAKA, A. An analysis on the loads of hot water consumption of the guest rooms in a hotel. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062, 31st, 2005, Brussels, Belgium. **Proceedings...** Brussels, Sep. 2005, p. 1-10.

TAKATA, H.; MURAKAWA, S.; NISHINA, D.; YAMANE, Y. Development of the calculating method for the loads of cold and hot water consumption in office building. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062, 30th, 2004, Paris, France. **Proceedings...** Paris, Sep. 2004, A-2, p. 1-16.

UCHIDA, C.R. **Avaliação do consumo de água de bacias sanitárias com volume de descarga reduzido e sistema de descarga dual**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

VON ALTROCK, C. **Fuzzy- logic and neurofuzzy applications in business and finance**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1997.

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

WONG, L.T.; MUI, K.W. Determination of domestic flushing water consumption in Hong Kong. **Facilities**, v. 23, n. 1/2, p. 82-92, 2005. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com>. Acesso em jan. 2007.

YEN, J.; LANGARI, R.; ZADEH, L.A. **Industrial applications of fuzzy logic and intelligent systems**. New York: IEEE Press, 1994.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n.3, p. 338-353. 1965. Retirado do livro Fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy systems – selected papers by Lofti A. Zadeh. World Scientific. Disponível em: <http://books.google.com>. Acesso em 31 jul. 2008.

ANEXO 1: SAÍDA DE DADOS DA SIMULAÇÃO DE VAZÕES

Saída tipo 1: vazões em função do horário

Horário (hh:min:s)	Vazão (L/s)
06:07:12	0,15
06:08:12	0,0
06:08:12	0,08
06:08:52	0,0
06:08:52	0,12
06:12:42	0,27
06:13:42	0,12
06:13:42	0,2
06:14:22	0,12
06:17:31	0,0
06:17:31	0,12
06:17:31	0,22
06:18:11	0,12
06:27:00	0,0
06:30:30	0,15
06:31:30	0,0
06:31:30	0,08
06:32:10	0,0
06:32:10	0,12
06:37:00	0,2
06:37:40	0,12
06:41:37	0,0
06:41:37	0,08
06:42:17	0,0
06:42:17	0,1
06:47:17	0,0
06:51:37	0,08
06:52:17	0,0

Saída tipo 2: vazões em função do horário e atividades

Horário (hh:min:s)	Vazão (L/s)	Atividade
06:4:12	0.0	CHEGADA mae A mae acordou A mae vai tentar usar o banheiro
06:4:12	0.0	AGENDAMENTO mae verificou a proxima acao mae vai tentar usar a bacia sanitaria
06:4:12	0.0	USAR_BACIA_SANITARIA mae tentou usar bacia sanitaria mae ocupa privada e vai sair em alguns minutos
06:7:12	0.15	DAR_DESCARGA mae tentou dar descarga mae da descarga e vai sair em alguns minutos
06:8:12	0,0	SAIR_BACIA_SANITARIA mae saiu da bacia sanitaria mae vai usar a pia, fila da privada move, caso precise
06:8:12	0.08	USAR_LAVATORIO mae tentou usar lavatorio mae ocupa lavatorio e vai sair em alguns minutos
06:8:52	0.0	SAIR_LAVATORIO mae saiu da lavatorio mae verifica o que fazer, fila do lavatorio move, caso precise
06:8:52	0.0	AGENDAMENTO mae verificou a proxima acao mae vai tentar usar o chuveiro
06:8:52	0,12	USAR_CHUVEIRO mae tentou usar chuveiro mae ocupa chuveiro e vai sair em alguns minutos
06:10:42	0,12	CHEGADA O pai acordou A pai vai tentar usar o banheiro
06:10:42	0,12	AGENDAMENTO pai verificou a proxima acao pai vai tentar usar a bacia sanitaria
06:10:42	0,12	USAR_BACIA_SANITARIA pai tentou usar bacia sanitaria pai ocupa privada e vai sair em alguns minutos
06:12:42	0,27	DAR_DESCARGA pai tentou dar descarga pai da descarga e vai sair em alguns minutos
06:13:42	0,12	SAIR_BACIA_SANITARIA pai pai saiu da bacia sanitaria pai vai usar a pia, fila da privada move, caso precise
06:13:42	0,2	USAR_LAVATORIO pai entou usar lavatorio pai ocupa lavatorio e vai sair em alguns minutos
06:14:22	0,12	SAIR_LAVATORIO pai pai saiu da lavatorio pai verifica o que fazer, fila do lavatorio move, caso precise
06:14:22	0,12	AGENDAMENTO pai pai verificou a proxima acao pai vai tomar o cafe da manha
06:14:22	0,12	TOMAR_CAFE pai pai quer tomar cafe Cafe nao esta pronto e pai precisa tomar banho, logo entra na fila do chuveiro
06:17:31	0,0	SAIR_CHUVEIRO mae mae saiu do chuveiro mae verifica o que fazer, fila do chuveiro move, caso precise
06:17:31	0,12	USAR_CHUVEIRO pai pai tentou usar chuveiro pai ocupa chuveiro e vai sair em alguns minutos
06:17:31	0,12	AGENDAMENTO mae mae verificou a proxima acao mae vai fazer o cafe da manha
06:17:31	0,22	FAZER_CAFE mae mae tenta fazer cafe mae coloca o cafe na chaleira
06:18:11	0,12	POR_AGUA_CAFE mae mae termina de por agua na chaleira mae vai terminar de preparar o cafe da manha
06:23:11	0,12	FINALIZAR_CAFE mae mae termina de fazer cafe mae vai ver o que fazer, fila do cafe se move, caso tenha alguem
06:27:00	0,0	SAIR_CHUVEIRO pai pai saiu do chuveiro pai verifica o que fazer, fila do chuveiro move, caso precise

Saída tipo 2: vazões em função do horário e atividades
(continuação)

06:27:00	0,0	AGENDAMENTO pai pai verificou a proxima acao pai vai tomar o cafe da manha
06:27:00	0,0	TOMAR_CAFE pai pai tenta tomar cafe pai toma cafe e vai usar a pia, caso alguem esteja esperando lavar a louça, então lava
06:28:11	0,0	AGENDAMENTO mae mae verificou a proxima acao mae vai tomar o cafe da manha
06:28:11	0,0	TOMAR_CAFE mae mae tenta tomar cafe mae toma cafe e vai usar a pia, caso alguem esteja esperando lavar a louça, então lava
06:28:30	0,0	CHEGADA filho A filho acordou A filho vai tentar usar o banheiro
06:28:30	0,0	AGENDAMENTO filho filho verificou a proxima acao filho vai tentar usar a bacia sanitaria
06:28:30	0,0	USAR_BACIA_SANITARIA filho filho tentou usar bacia sanitaria filho ocupa privada e vai sair em alguns minutos
06:30:30	0,15	DAR_DESCARGA filho filho tentou dar descarga filho da descarga e vai sair em alguns minutos
06:31:30	0,0	SAIR_BACIA_SANITARIA filho filho saiu da bacia sanitaria filho vai usar a pia, fila da privada move, caso precise
06:31:30	0,08	USAR_LAVATORIO filho filho tentou usar lavatorio filho ocupa lavatorio e vai sair em alguns minutos
06:32:10	0,0	SAIR_LAVATORIO filho filho saiu da lavatorio filho verifica o que fazer, fila do lavatorio move, caso precise
06:32:10	0,0	AGENDAMENTO filho filho verificou a proxima acao filho vai tentar usar o chuveiro
06:32:10	0,12	USAR_CHUVEIRO filho filho tentou usar chuveiro filho ocupa chuveiro e vai sair em alguns minutos
06:33:11	0,12	USAR_LAVATORIO mae mae tentou usar lavatorio Banheiro esta ocupado, mae vai entrar na fila de espera
06:37:00	0,20	USAR_LAVATORIO pai pai tentou usar lavatorio pai ocupa lavatorio e vai sair em alguns minutos
06:37:40	0,12	SAIR_LAVATORIO pai pai saiu da lavatorio pai verifica o que fazer, fila do lavatorio move, caso precise
06:37:40	0,12	AGENDAMENTO pai pai verificou a proxima acao pai nao tem mais o que fazer, vai sair da simulacao
06:37:40	0,12	COMPLETO pai O pai saiu da simulacao A pai já simulou o que precisava
06:37:40	0,12	USAR_LAVATORIO mae mae tentou usar lavatorio Banheiro esta ocupado, mae vai entrar na fila de espera
06:41:37	0,0	SAIR_CHUVEIRO filho filho saiu do chuveiro filho verifica o que fazer, fila do chuveiro move, caso precise
06:41:37	0,08	USAR_LAVATORIO mae mae tentou usar lavatorio mae ocupa lavatorio e vai sair em alguns minutos
06:41:37	0,08	AGENDAMENTO filho filho verificou a proxima acao filho vai tomar o cafe da manha
06:41:37	0,08	TOMAR_CAFE filho filho tenta tomar cafe filho toma cafe e vai usar a pia, caso alguem esteja esperando lavar a louça, então lava
06:42:17	0,0	SAIR_LAVATORIO mae mae saiu da lavatorio mae verifica o que fazer, fila do lavatorio move, caso precise
06:42:17	0,0	AGENDAMENTO mae mae verificou a proxima acao mae vai lavar a louça

Saída tipo 2: vazões em função do horário e atividades
(continuação)

06:42:17	0,10	LAVAR_LOUÇA mae mae tenta lavar louca mae lava a louca e se prepara para acabar
06:47:17	0,0	FINALIZAR_LOUÇA mae mae acaba de lavar louca mae procura o que fazer
06:47:17	0,0	AGENDAMENTO mae mae verificou a proxima acao mae nao tem mais o que fazer, vai sair da simulacao
06:47:17	0,0	COMPLETO mae O mae saiu da simulacao A mae já simulou o que precisava
06:51:37	0,08	USAR_LAVATORIO filho filho tentou usar lavatorio filho ocupa lavatorio e vai sair em alguns minutos
06:52:17	0,0	SAIR_LAVATORIO filho filho saiu da lavatorio filho verifica o que fazer, fila do lavatorio move, caso precise
06:52:17	0,0	AGENDAMENTO filho filho verificou a proxima acao filho nao tem mais o que fazer, vai sair da simulacao
06:52:17	0,0	COMPLETO filho O filho saiu da simulacao A filho já simulou o que precisava

Preparação dos dados para fazer o gráfico

Horário (hh:min:s)	Vazão (L/s)	Horário (hh:min:s)	Vazão (L/s)	Horário (hh:min:s)	Vazão (L/s)	Horário (hh:min:s)	Vazão (L/s)
06:00:00	0	06:15:00	0,12	06:31:30	0,08	06:46:00	0,1
06:01:00	0	06:16:00	0,12	06:32:10	0	00:47:17	0
06:02:00	0	06:17:31	0,12	06:32:10	0,12	06:48:00	0
06:03:00	0	06:17:31	0,12	06:33:00	0,12	06:49:00	0
06:04:00	0	06:17:31	0,22	06:34:00	0,12	06:50:00	0
06:05:00	0	06:18:11	0,12	06:35:00	0,12	06:51:37	0,08
06:06:00	0	06:19:00	0,12	06:36:00	0,12	06:52:17	0
06:07:12	0,15	06:20:00	0,12	06:37:00	0,2	06:53:00	0
06:08:12	0	06:21:00	0,12	00:37:40	0,12	06:54:00	0
06:08:12	0,08	06:22:00	0,12	06:38:00	0,12	06:55:00	0
06:08:52	0	06:23:00	0,12	06:39:00	0,12	06:56:00	0
06:08:52	0,12	06:24:00	0,12	06:40:00	0,12	06:57:00	0
06:09:00	0,12	06:25:00	0,12	06:41:37	0	06:58:00	0
06:10:00	0,12	06:26:00	0,12	06:41:37	0,08	06:59:00	0
06:11:00	0,12	06:27:00	0	06:42:17	0	07:00:00	0
06:12:42	0,27	06:28:00	0	06:42:17	0,1		
06:13:42	0,12	06:29:00	0	06:43:00	0,1		
06:13:42	0,2	06:30:30	0,15	06:44:00	0,1		
06:14:22	0,12	06:31:30	0	06:45:00	0,1		

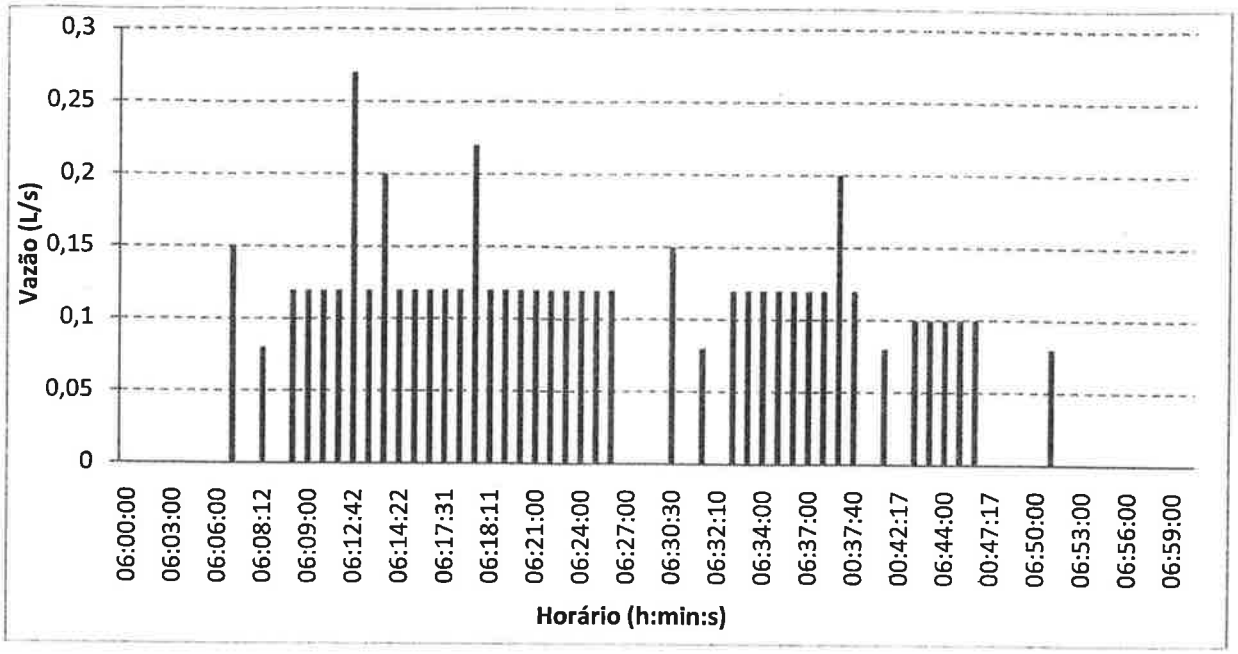



Gráfico gerado em função da simulação de vazões no período de pico