Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em
Métodos Numéricos em Engenharia

OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE CAIXAS DE UMA LOJA DE DEPARTAMENTOS

Curitiba
2001

DANIELLE DURSKI FIGUEIREDO

OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE CAIXAS DE UMA LOJA DE DEPARTAMENTOS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia-Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jair Mendes Marques

CURITIBA
2001

TERMO DE APROVAÇÃO

DANIELLE DURSKI FIGUEIREDO

OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE CAIXAS DE UMA LOJA DE DEPARTAMENTOS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Jair Mendes Marques
Departamento de Estatística, UTP

Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto
Departamento de Estatística, UFPR

Prof. Dr. Pedro Luís Kantek Garcia Navarro
UNICENP

Curitiba, 19 de dezembro de 2001

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao professor Jair Mendes Marques, pela orientação e principalmente pela paciência e dedicação para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Erni e Silvia (em memória), que me deram força e motivação durante toda a minha vida escolar.

Ao meu marido Gustavo e meu filho Augusto pela compreensão e paciência durante estes anos de curso.

Aos colegas Elon, Ronilson e Sérgio, pelo companheirismo e pela amizade que tanto ajudou na conclusão do curso.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE GRÁFICOS

RESUMO

No presente trabalho é proposta uma solução para a previsão da demanda, determinação da quantidade de caixas operantes e elaboração do horário de caixas em uma empresa do setor logístico. Para tanto foram consideradas duas fases: na primeira, determina-se o número de atendentes necessários para cada meia hora do dia tendo como principal restrição o tempo máximo de espera na fila; na segunda fase encontra-se os melhores horários de forma a minimizar os custos da empresa. Para a primeira fase foi utilizado um programa, nomeado de FilaMMC, elaborado para armazenar dados diários da demanda, realizar a previsão da demanda e determinar o número otimimizado de caixas utilizando a teoria das filas. Para desenvolver a segunda fase são utilizados os resultados gerados na primeira fase. Fazendo uso do algoritmo *Branch and Bound* resolve-se um modelo de Programação Inteira, usando o pacote computacional QSB. O resultado obtido é o conjunto de horários de menor custo. Os resultados encontrados foram analisados em termos de economia para a empresa e melhor atendimento ao usuário do serviço.

ABSTRACT

In the present job a solution is proposed for the demand forsight, determination of the quantity of working open cashier and the elaboration of the cashiers schedule in a logistic sector company. For such, two phases were considered. On the first phase, the number of attendants in every half-hour of the day were determined having as its main constraint the maximum waiting time in the queue. On the second phase, one should find the best time to minimize the cost of the company. For the first phase it was used a program to store the daily data of demand, as well as the demand forsight and the optimum number of cashiers, using the queue theory. To develop the second phase the results generated in the first phase were used. There fore, an Integer Programming is solved by using the computer QSB package, that applies Branch and Bound algorithms. The results shown are the schedules of minor cost set. The conclusions found were analyzed in terms of economy for the company and better customer service support.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O principal objetivo deste trabalho é, através da teoria das filas buscar procedimentos para otimizar o número de caixas de uma loja de departamentos, buscando minimizar os custos sem diminuir a satisfação dos clientes quanto à agilidade no atendimento.

Os objetivos específicos são:

- desenvolver, com o uso de programação computacional, um programa que calcule, para cada meia hora de funcionamento da loja, o número otimizado de caixas que devem estar operando de forma que o tempo de espera na fila seja menor que um tempo pré estabelecido.
- Encontrar os melhores horários de forma a minimizar o número de caixas, usando o pacote computacional QSB.

1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

O número de clientes que chegam à fila única para efetuar o pagamento das mercadorias, varia dia a dia. Por este motivo a dificuldade de prever o número de caixas que devem estar operando para este atendimento é significativa. A dificuldade aumenta com o compromisso, anunciado pela loja, de que o cliente irá esperar na fila um tempo máximo estabelecido.

Atualmente a determinação do número de caixas operantes é realizado manualmente por um funcionário. Como a loja não possui parâmetros para avaliar seu atual sistema de trabalho, um processo utilizando técnicas de Pesquisa Operacional com o auxílio de um computador pessoal podem avaliar o desempenho deste sistema.

Pode-se ainda simular uma demanda para a determinação antecipada do número de caixas operantes visando melhorar o planejamento da loja.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A empresa não armazena dados sobre a demanda de clientes atendidos. Estes dados estão à disposição somente no dia de funcionamento e em períodos mínimos de trinta minutos, vindo a fornecer somente 24 (vinte e quatro) dados por dia o que dificultou os ajustes das distribuições de probabilidade.

Nos domingos o horário de funcionamento da loja é diferenciado e os dados da demanda são ainda menores, tornando o ajuste da distribuição praticamente inválido.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A descrição do problema de otimização do número de caixas operantes em uma filial das Lojas Americanas S/A é feita no Capítulo II que trata também dos dados utilizados neste trabalho.

No Capítulo III faz-se uma revisão bibliográfica, abordando exemplos de modelos de filas e técnicas de pesquisa operacional utilizadas neste trabalho.

A metodologia adotada neste trabalho, retrata a determinação do modelo teórico de filas que se adapta ao sistema real, do número otimizado de caixas operantes e a construção do modelo de Programação Linear para encontrar a solução para os horários são assuntos descritos no Capítulo IV.

O Capítulo V mostra a implementação computacional do trabalho e também os resultados obtidos usando-se a metodologia apresentada no capítulo anterior para a otimização do número de caixas operantes de quatro semanas.

Finalmente, no Capítulo VI, tem-se a análise dos resultados, conclusões e citações de algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

2.1 INTRODUÇÃO

As Lojas Americanas S/A é uma empresa nacional que se faz presente desde 1929. Existem atualmente 94 filiais distribuídas em todas as regiões do país.

Com o intuito de combater a concorrência no setor logístico as Lojas Americanas S/A possuem compromissos de padrões de atendimento com seus clientes, como por exemplo oferecer uma variedade grande de produtos e promover preços atrativos. E no setor de atendimento os funcionários devem realizar o serviço de maneira rápida e eficiente, principalmente na seção de caixas onde o cliente aguarda em uma fila única para efetuar o pagamento das suas compras. O número de clientes que entram na fila única varia de tempo em tempo o que vem a dificultar a previsão do número de caixas necessários. A determinação do número de caixas está sendo realizado através de um sistema manual denominado AGIFILA. O sistema AGIFILA, adotado por todas as Lojas Americanas do Brasil, designa um funcionário para verificar a cada 30 minutos a quantidade de clientes que aguardam na fila para serem atendidos e este mesmo funcionário convoca ou dispensa os caixas de maneira que atenda a seguinte regra: o número de guichês abertos deverá ser, se possível, a metade do número de clientes que aguardam na fila para o atendimento. As reclamações dos clientes quanto ao tempo de espera diminuíram consideravelmente após a implantação do AGIFILA, porém não revelou o tempo médio de espera do cliente e dificultou o planejamento da loja já que o funcionário pode deixar suas atividades a qualquer momento para abrir um guichê.

2.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Uma das filiais das Lojas Americanas S/A foi selecionada para a realização deste estudo. A loja em questão abre suas portas para o atendimento ao público de segunda – feira a sábado das 10:00 horas às 22:00 horas e no domingo das 13:00 horas às 20:00 horas.

Para efetuar o pagamento das suas compras os clientes se dirigem à uma fila única e aguardam para serem atendidos pelos caixas. O compromisso de atendê-los em um tempo máximo estabelecido é, a nível nacional, uma forte ferramenta de marketing para a loja. Sendo assim a loja precisa ter um número de caixas operando de forma a atender seus clientes no tempo médio estipulado.

Logo um dos objetivos deste trabalho é diminuir as chances dos clientes esperarem na fila única um tempo maior que o compromissado, utilizando o mínimo de caixas possível, aumentando a satisfação dos clientes por conseqüência a credibilidade do estabelecimento , minimizando os gastos com pessoal e melhorando o planejamento da loja.

O trabalho tem ainda como objetivo avaliar o sistema AGIFILA , atualmente utilizado pelo estabelecimento, de maneira a esclarecer a eficiência do modelo.

A loja dispõe de 17 (dezessete) guichês de atendimento. Os caixas são classificados em Fixos e Volantes e os tempos de serviços em *Fulltimes* (8 horas) e *Partimes* (6 horas) .

Os caixas fixos são funcionários que exercem somente a função de caixa. Ou seja, havendo ou não cliente na fila para ser atendido os funcionários fixos estão sempre com os guichês abertos. Já os Volantes são caixas que abrem seus guichês somente se tiver muitos clientes na fila para o pagamento das mercadorias, caso contrário estes funcionários auxiliam em outros departamentos da loja, como recolher cestinhas, remarcar preços, organizar mercadorias, etc. O tempo de serviço dos funcionários volantes é de 8 horas e o tempo de serviço destes funcionários no caixa é variável de acordo com o movimento da loja. O quadro 2.1 indica a quantidade de funcionários disponíveis para cada horário.

QUADRO 2.1 – TIPOS E QUANTIDADES DE CAIXAS DISPONÍVEIS - 2001

TIPO	HORÁRIO	FIXOS	VOLANTES
Fulltimes	8:00 às 16:00	0	15
Partimes	10:00 às 16:00	3	0
Partimes	16:00 às 22:00	3	15

FONTE: Lojas Americanas S/A

Para resolver este problema o trabalho será separado em duas fases:

a) cálculo do número otimizado de atendentes, conhecidos o tempo de chegada entre clientes, usando sempre a média dos dados das três semanas anteriores àquela em estudo e o tempo de atendimento;
b) determinação dos horários de forma a organizar o planejamento da loja.

2.3 DADOS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do trabalho serão utilizados, os dados fornecidos por uma filial das Lojas Americanas S/A.

Um modelo de filas é determinado pelo padrão das chegadas e dos atendimentos e pelo número de canais de atendimento. Para a caracterização dos padrões de chegadas e atendimentos, foi realizado um levantamento ao longo de sete semanas nos meses de maio e junho de 2001. Neste período, foram registrados a quantidade de clientes que chegavam na fila única a cada trinta minutos e os tempos de atendimento de cinco caixas escolhidos de forma aleatória.

2.3.1 Processo de Chegada dos Clientes

Para verificar e analisar o processo de chegadas, construiu-se a Tabela 2.1 com o número médio de chegadas observadas a cada 30 minutos no período de pesquisa, seqüencialmente para cada um dos sete dias de cada semana de observação (ver Anexo 1).

TABELA 2.1 – NÚMERO MÉDIO DE CHEGADAS A CADA 30 MINUTOS – MAI-JUN-2001

PERÍODO	2.º FEIRA	3.º FEIRA	4.º FEIRA	5.º FEIRA	6.º FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
10:00 10:30	113	100	67	225	90	95	—
10:30 11:00	120	129	95	75	95	106	—
11:00 11:30	113	180	86	129	113	86	—
11:30 12:00	129	164	95	95	120	95	—
12:00 12:30	106	129	120	100	106	95	—
12:30 13:00	78	113	78	138	150	95	—
13:00 13:30	225	113	120	90	129	95	127
13:30 14:00	90	120	86	106	120	78	140
14:00 14:30	75	129	120	138	129	100	157
14:30 15:00	100	164	100	120	100	90	166
15:00 15:30	95	150	129	138	120	69	164
15:30 16:00	90	138	78	129	95	113	163
16:00 16:30	113	138	95	164	106	113	156
16:30 17:00	200	150	82	82	180	82	149
17:00 17:30	72	129	120	106	90	62	127
17:30 18:00	113	120	86	86	120	78	99
18:00 18:30	100	113	100	95	95	138	71
18:30 19:00	129	95	82	75	82	106	49
19:00 19:30	164	82	69	95	129	67	37
19:30 20:00	90	90	95	82	113	113	33
20:00 20:30	164	58	100	106	95	75	—
20:30 21:00	113	64	164	113	90	138	—
21:00 21:30	106	62	120	86	100	67	—
21:30 22:00	86	67	138	164	180	138	—

FONTE: Sistema computacional das Lojas Americanas S/A

Na Tabela 2.2 apresenta-se os tempos entre chegadas dos clientes com base na Tabela 2.1.

TABELA 2.2 – TEMPO ENTRE CHEGADA DOS CLIENTES EM SEGUNDOS

PERÍODO	2°. FEIRA	3°. FEIRA	4°. FEIRA	5°. FEIRA	6°. FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
10:00 10:30	16	18	27	8	20	19	—
10:30 11:00	15	14	19	24	19	17	—
11:00 11:30	16	10	21	14	16	21	—
11:30 12:00	14	11	19	19	15	19	—
12:00 12:30	17	14	15	18	17	19	—
12:30 13:00	23	16	23	13	12	19	—
13:00 13:30	8	16	15	20	14	19	14
13:30 14:00	20	15	21	17	15	23	13
14:00 14:30	24	14	15	13	14	18	11
14:30 15:00	18	11	18	15	18	20	11
15:00 15:30	19	12	14	13	15	26	11
15:30 16:00	20	13	23	14	19	16	11
16:00 16:30	16	13	19	11	17	16	12
16:30 17:00	9	12	22	22	10	22	12
17:00 17:30	25	14	15	17	20	29	14
17:30 18:00	16	15	21	21	15	23	18
18:00 18:30	18	16	18	19	19	13	25
18:30 19:00	14	19	22	24	22	17	37
19:00 19:30	11	22	26	19	14	27	48
19:30 20:00	20	20	19	22	16	16	55
20:00 20:30	11	31	18	17	19	24	—
20:30 21:00	16	28	11	16	20	13	—
21:00 21:30	17	29	15	21	18	27	—
21:30 22:00	21	27	13	11	10	13	—

FONTE: Lojas Americanas S/A

2.3.2. Processo de Atendimento

Os dados com relação ao tempo de atendimento de cada caixa foram coletados no mês de junho de 2001. Vinte amostras, de 5 caixas que estavam operando no momento da coleta, foram cronometradas, conforme Tabela 2.3.

TABELA 2.3 – TEMPO DE ATENDIMENTO EM SEGUNDOS

CAIXA 1	CAIXA 2	CAIXA 3	CAIXA 4	CAIXA 5
16	11	90	17	55
30	35	46	31	35
45	65	38	63	24
86	99	76	79	56
42	38	27	31	28
79	90	34	62	27
9	15	173	10	120
40	46	30	58	25
18	25	104	18	74
24	15	61	25	45
58	69	27	55	24
38	56	102	45	72
17	19	204	16	125
101	118	52	86	37
19	16	95	12	67
52	49	49	55	36
118	150	32	109	26
38	19	19	36	16
75	85	10	58	10
10	9	44	10	32

FONTE: Coleta realizada nas Lojas Americanas S/A

A média das durações dos atendimentos coletados foi de 51 segundos.

Dada uma amostra o programa *Input Analyse* do *software* ARENA 5.0 indica através dos testes Qui-Quadrado e Komolgorov-Smirnov a melhor distribuição de probabilidade a ser adotada. Com este programa utilizou-se o teste com 5% de significância na situação observada , conclui-se que não podemos descartar a possibilidade de que os tempos de chegadas dos clientes seguem uma distribuição de probabilidade Poisson e os tempos de atendimento aos clientes seguem uma distribuição de probabilidades exponencial.

Para a realização da avaliação do sistema AGIFILA, adotado atualmente pela loja, realiza-se uma comparação entre o número de caixas abertos a cada trinta minutos indicado pelo modelo teórico, que se utiliza da teoria das filas, e o número de caixas abertos, no mesmo intervalo de tempo, fornecido pelo sistema AGIFILA.

Os estudos refere-se ao período de 7 (sete) semanas, onde a cada três semanas calcula-se uma média e compara-se com a semana imediatamente posterior. Sendo assim obtém-se 4 (quatro) semanas para a comparação dos resultados. A Tabela 2.4 indica os resultados coletados do AGIFILA nestas 4 (quatro) semanas.

TABELA 2.4-NÚMERO DE CAIXAS INDICADO PELO AGIFILA A CADA 30 MINUTOS

continua

1ª.SEMANA	25/6	26/6	27/6	28/6	29/6	30/6	1/7
10:00 10:30	4	9	4	6	5	6	—
10:30 11:00	4	4	6	6	6	6	—
11:00 11:30	6	6	5	5	7	6	—
11:30 12:00	7	7	7	6	7	6	—
12:00 12:30	5	7	6	5	7	7	—
12:30 13:00	8	5	6	6	7	6	—
13:00 13:30	5	5	6	5	6	8	7
13:30 14:00	7	5	6	6	6	8	7
14:00 14:30	6	5	6	7	6	8	8
14:30 15:00	6	7	6	8	7	8	8
15:00 15:30	6	6	7	8	7	8	9
15:30 16:00	7	6	7	8	8	9	9
16:00 16:30	6	5	9	8	8	9	9
16:30 17:00	6	6	7	8	8	9	10
17:00 17:30	7	6	7	8	7	8	8
17:30 18:00	5	6	6	6	7	8	6
18:00 18:30	5	6	6	6	7	6	4
18:30 19:00	5	6	5	6	6	6	4
19:00 19:30	5	5	5	7	6	6	3
19:30 20:00	4	5	4	7	5	6	3
20:00 20:30	5	5	4	5	5	4	—
20:30 21:00	4	4	4	4	4	4	—
21:00 21:30	4	5	4	4	4	3	—
21:30 22:00	3	4	4	3	3	3	—
2ª.SEMANA	**2/7**	**3/7**	**4/7**	**5/7**	**6/7**	**7/7**	**8/7**
10:00 10:30	4	6	7	7	5	6	—
10:30 11:00	5	7	7	8	5	6	—
11:00 11:30	7	7	7	9	8	9	—
11:30 12:00	7	7	6	8	8	9	—
12:00 12:30	6	7	6	8	8	8	—
12:30 13:00	7	7	6	7	6	8	—
13:00 13:30	5	7	6	7	6	7	5
13:30 14:00	7	7	6	7	6	7	5
14:00 14:30	7	7	6	7	6	8	7
14:30 15:00	7	7	6	7	7	8	7
15:00 15:30	7	7	7	7	7	8	7
15:30 16:00	7	6	7	7	7	8	7

continua

2ª.SEMANA		2/7	3/7	4/7	5/7	6/7	7/7	8/7
16:00	16:30	6	6	7	7	7	8	7
16:30	17:00	6	6	7	7	7	8	6
17:00	17:30	6	6	7	7	7	8	5
17:30	18:00	5	6	7	7	7	8	5
18:00	18:30	5	6	7	7	7	8	4
18:30	19:00	6	5	5	6	7	7	4
19:00	19:30	5	4	5	6	5	7	4
19:30	20:00	4	4	4	5	4	6	4
20:00	20:30	4	4	4	5	4	6	—
20:30	21:00	4	3	4	4	4	5	—
21:00	21:30	3	3	4	4	3	5	—
21:30	22:00	3	3	3	3	3	3	—

3ª.SEMANA		9/7	10/7	11/7	12/7	13/7	14/7	15/7
10:00	10:30	4	5	6	5	5	5	—
10:30	11:00	5	6	6	5	6	5	—
11:00	11:30	6	8	7	7	6	7	—
11:30	12:00	7	8	7	7	7	7	—
12:00	12:30	7	7	8	6	6	7	—
12:30	13:00	7	5	7	6	6	7	—
13:00	13:30	6	5	7	6	6	7	6
13:30	14:00	5	6	7	6	6	8	7
14:00	14:30	5	6	7	6	6	8	7
14:30	15:00	6	6	8	6	6	8	8
15:00	15:30	6	7	8	7	7	8	7
15:30	16:00	6	7	6	7	7	8	6
16:00	16:30	6	7	6	7	7	10	6
16:30	17:00	6	7	6	7	7	8	6
17:00	17:30	7	7	6	7	6	6	6
17:30	18:00	7	5	6	7	6	6	7
18:00	18:30	6	5	6	8	6	6	7
18:30	19:00	5	5	6	8	6	6	5
19:00	19:30	5	5	5	5	5	6	5
19:30	20:00	5	4	5	5	5	5	4
20:00	20:30	4	4	5	5	5	5	—
20:30	21:00	4	4	4	4	5	5	—
21:00	21:30	4	4	3	4	4	4	—
21:30	22:00	3	3	3	4	3	3	—

4ª.SEMANA		16/7	17/7	18/7	19/7	20/7	21/7	22/7
10:00	10:30	5	5	5	5	9	8	—
10:30	11:00	6	7	7	8	8	8	—
11:00	11:30	7	8	7	8	8	8	—
11:30	12:00	7	8	7	8	8	8	—
12:00	12:30	5	8	7	7	8	8	—

conclusão

4ª.SEMANA		16/7	17/7	18/7	19/7	20/7	21/7	22/7
12:30	13:00	6	7	6	7	7	8	—
13:00	13:30	6	7	6	7	7	8	7
13:30	14:00	6	7	6	7	7	8	7
14:00	14:30	6	7	6	7	7	10	7
14:30	15:00	6	7	7	7	7	10	7
15:00	15:30	6	7	7	7	7	10	7
15:30	16:00	6	7	7	7	7	9	7
16:00	16:30	6	7	7	7	8	8	6
16:30	17:00	7	7	7	7	8	9	6
17:00	17:30	7	7	6	7	8	9	5
17:30	18:00	7	7	6	7	8	7	5
18:00	18:30	5	6	6	7	6	6	4
18:30	19:00	5	6	6	6	6	6	7
19:00	19:30	5	5	5	5	6	6	4
19:30	20:00	4	5	5	5	8	5	4
20:00	20:30	4	4	4	4	5	5	—
20:30	21:00	4	3	4	3	5	4	—
21:00	21:30	3	3	3	3	3	4	—
21:30	22:00	3	3	3	3	3	4	—

FONTE : Lojas Americanas S/A
NOTA: Dados coletados através do sistema AGIFILA.

CAPÍTULO III

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSOS ESTOCÁSTICOS

Considere o experimento que consiste em medir a quantidade de clientes que chegam a uma fila durante um período de tempo contínuo. Obtém-se uma função X(t), do tempo t, chamada função aleatória. Repetindo-se o experimento durante vários dias, tem-se uma família de realizações da função aleatória X(t).

Neste trabalho foi adotada a nomenclatura mais freqüentemente usada na literatura, a de processo estocástico, para designar uma função aleatória.

Segundo TAYLOR e KARLIN (1994, p. xxx), um processo estocástico é uma família de variáveis aleatórias $\{X(t), t \in T\}$, onde T é conjunto de índices ou parâmetro do espaço. Dentro de uma situação comum, o índice t corresponde a unidades discretas do tempo e X(t) denota a observação no tempo t. Por exemplo, t pode representar um tempo decorrido e X(t) pode contar o número de carros no intervalo (0 , t] ao longo de uma estrada, ou número de clientes que chegam a uma fila.

Os processos estocásticos seguem uma classificação de acordo com o parâmetro t.

O conjunto de valores de $\{X(t) , t \in T\}$ é chamado espaço de estados do processo estocástico e os valores de X(t) são chamados estados.

Se T é uma seqüência infinita, por exemplo, $T = \{0, 1, 2, ...\}$, então o processo $\{X(t), t \in T\}$ é dito ser um processo de parâmetro discreto definido no conjunto T de índices t.

Se T é um intervalo ou uma combinação algébrica de intervalos, por exemplo, $T = \{ t : 0 \leq t < +\infty\}$, então o processo estocástico $\{X(t), t \in T\}$ é chamado um processo de parâmetro contínuo definidos no conjunto de índices T.

O conjunto de estados também pode ser discreto ou contínuo. No primeiro caso X(t) pode representar uma contagem, como por exemplo, o número de chamadas telefônicas que chegam a uma central durante um período de duas horas. No segundo caso, X(t) representa uma medida que varia continuamente, como temperatura, voltagem, altura de ondas, etc.

Nas situações em que se pretende utilizar modelos para descrever processos físicos, é necessário introduzir suposições simplificadoras no modelo. No caso de processos estocásticos, uma suposição normalmente feita é a da estacionaridade. Intuitivamente, um processo é estacionário se ele desenvolve-se no tempo de modo que a escolha de uma origem dos tempos não é importante. Ou seja, as características probabilísticas de $X(t+\tau)$, para todo τ , são as mesmas para X(t). As medidas das vibrações de um avião em regime estável de vôo horizontal, durante seu cruzeiro, constituem um exemplo de processo estacionário.

Em seguida serão apresentados abaixo exemplos de processos estocásticos.

Exemplo 1: Considere $\{ X_n , n \geq 1 \}$ uma seqüência de valores aleatórios. Tome T = {1, 2, 3, ...} e tem-se um processo estocástico com parâmetro discreto. Considere lançamentos sucessivos de uma moeda e defina:

$$X_n = \begin{cases} 1 \text{, se o n} - \text{ésimo lançamento resulta "cara"} \\ 0 \text{, se o n-ésimo lançamento resulta "coroa"} \end{cases}$$

O espaço dos estados é E = {0 , 1} e $P\{ X_n = 0 \} = P \{X_n = 1\} = 1/2$, se a moeda é "honesta". Tem-se, então uma seqüência aleatória estacionária.

Exemplo 2 (Passeio aleatório): Considere uma seqüência de valores aleatórios $\{X_n , n \geq 1\}$ onde supõe-se que cada X_n possa tomar os valores –1 e 1, com probabilidades $P \{ X_n = 1 \} = p$, $P \{X_n = -1\} = q$, com p + q = 1. Definindo-se a seqüência $\{ Y_n , n \geq 1 \}$, onde para cada $n \geq 1$, $Y_n = X_1 + X_2 + X_3 + ... + X_n$.

Este processo estocástico é chamado de passeio aleatório e à medida que o tempo passa Y_n tende a oscilar com amplitude crescente. O processo é, então, não estacionário.

Se $\{X_n\}$ representa uma seqüência de deslocamentos independentes e unitários de uma partícula no eixo real, sendo que ela move-se uma unidade para a direita, com probabilidade p ou uma unidade para a esquerda, com probabilidade q, então Y_n representa a posição da partícula após n deslocamentos. No Gráfico 3.1, tem-se a trajetória de $\{Y_n , n \geq 1\}$, correspondente à trajetória de $\{ X_n , n \geq 1\}$ representada no Gráfico 3.2.

GRÁFICO 3.1 – TRAJETÓRIA DE $\{Y_n , n \geq 1\}$

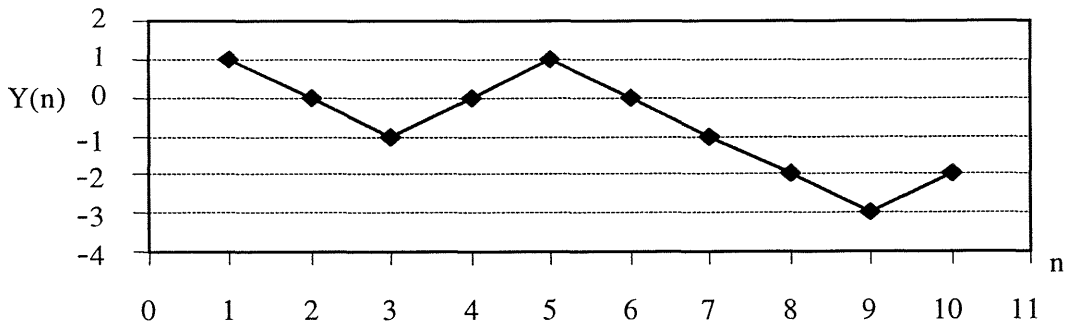
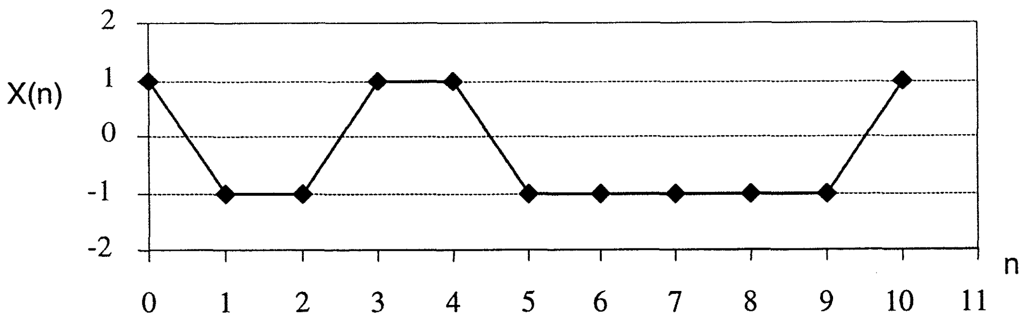


GRÁFICO 3.2 – TRAJETÓRIA DE $\{ X_n , n \geq 1\}$



Pode-se observar que $Y_n = Y_{n-1} + X_n$, logo dado o valor de Y_{n-1} , Y_n depende apenas de X_n . Por exemplo, dado $Y_4 = 0$, Y_5 poderá ser +1 ou –1, com probabilidade p e q, respectivamente. Logo, a probabilidade de Y_5 tomar o valor +1 ou o valor –1 só depende do estado imediatamente anterior do sistema, e não dos estados precedentes. O processo$\{ Y_n , n \geq 1\}$ é denominado Cadeia de Markov.

O espaço dos estados de X_n é $E_1 = \{-1 , +1\}$ ao passo que o espaço dos estados de Y_n é $E_2 = \{0 , \pm 1, \pm 2, ...\}$.

<u>Exemplo 3. (Processo de Poisson)</u>: Suponha interesse no número de eventos de certo tipo que ocorrem no intervalo de tempo (0 , t]. Por exemplo, pode-se estar contando o número de chamadas telefônicas que chegam a uma central de atendimento no intervalo (0 , t], ou o número de clientes que chegam a uma fila.

Indicando-se por $\{N(t) , t \geq 0\}$ o número de eventos que ocorreram no período de 0 a t, dizemos que este é um processo de Poisson com média λ se as seguintes condições estão satisfeitas:

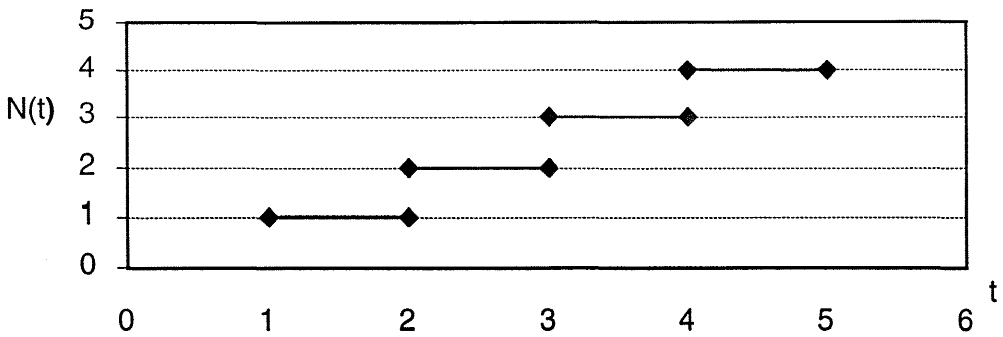
1) $N(0) = 0$;
2) Para toda escolha de $t_0 < t_1 < ... < t_n$ em $(0 , \infty)$, as variáveis aleatórias $N(t_1) - N(t_0) , ... , N(t_n) - N(t_{n-1})$ são independentes;
3) Para toda escolha de t_1 , t_2 e τ positivos, as variáveis aleatórias $N(t_2+\tau) - N(t_1+\tau)$ e $N(t_2) - N(t_1)$ têm a mesma distribuição;
4) Para quaisquer s e t , s < t, a variável aleatória $N(t) - N(s)$ tem distribuição de Poisson com média λ (t – s), isto é,

$$P\{N(t) - N(s) = k\} = \frac{e^{-\lambda(t-s)}[\lambda(t-s)]^k}{k!} \quad \text{, para } k = 0, 1, 2, ... \qquad (3.1)$$

O parâmetro λ representa a taxa média de ocorrências dos eventos por período de tempo fixado. O processo de Poisson será melhor detalhado neste trabalho (ver 3.3).

O gráfico 3.3 ilustra uma trajetória típica de um processo de Poisson.

GRÁFICO 3.3 – TRAJETÓRIA DE UM PROCESSO DE POISSON



Observa-se que o processo $\{ N(t) , t \geq 0 \}$ não é estacionário.

3.2 CADEIAS DE MARKOV

Os conceitos apresentados a seguir não completam, de forma alguma, um estudo sobre cadeias de Markov. Para o tratamento completo do assunto ver KEMENY e SNELL (1960) e HOWARD (1971). As demonstrações dos teoremas enunciados podem ser encontradas nas referências citadas.

Seja $S = \{ s_1, s_2, \ldots, s_n \}$ um conjunto de estados. Um processo de Markov é um sistema estocástico que pode estar em um estado $s_i \in S$ em um determinado instante e a troca de estados se verifica de uma forma discreta no tempo. O estado no qual o sistema se encontra no k-ésimo instante de tempo depende apenas do estado em que o sistema estava no (k – 1)-ésimo instante.

Para cada $s_i \in S$ deve estar associada a probabilidade para a próxima transição a cada $s_j \in S$. A probabilidade de transição, P_{ij}, é a probabilidade de, se o estado atual do processo é s_i, seu próximo estado ser s_j. Estas probabilidades devem satisfazer

$$0 \leq P_{ij} \leq 1 \qquad \text{e} \qquad \sum_j P_{ij} = 1 .$$

Se as probabilidades de transição são constantes e não variam com o tempo, diz-se que o processo de Markov é um processo estacionário ou invariante com o tempo.

Uma cadeia é um conjunto de estados $S' \subseteq S$, com a propriedade de, quando o processo entra em algum $S_i \in S'$, nunca poderá deixar S'. Todos os processos de Markov tem no mínimo uma cadeia ($S' = S$). O maior número de cadeias que um processo pode ter é igual ao seu número de estados.

Uma cadeia de Markov é um processo de Markov estacionário. Se o processo é finito, ou seja, seu conjunto de estados é finito, a cadeia é dita finita.

A matriz de transição P, de uma cadeia de Markov é a matriz quadrada de ordem n (n é o número de estados), com elementos P_{ij} . O vetor de probabilidades iniciais , $\pi_0 = (\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_n)$, é o vetor de n elementos π_j, j = 1, 2, ..., n , onde π_j é a probabilidade do processo iniciar no estado s_j.

Pode-se visualizar uma cadeia de Markov imaginando-se um processo que se move de estado a estado. O processo começa no instante s_j com probabilidade π_j ,se em um determinado instante de tempo, o processo está no estado s_i, então ele se move, num próximo passo, para o estado s_k com probabilidade $P_{i\,k}$. Os elementos de π_0 são as probabilidades fornecidas para os vário estados nos quais o processo deve começar.

O vetor de probabilidades iniciais e a matriz de transição determinam completamente uma cadeia de Markov, uma vez que estes dois elementos são suficientes para fornecer a probabilidade do processo estar em qualquer estado em um dado instante.

Qualquer matriz quadrada, com elementos reais e não negativos, na qual a soma de cada linha é igual a unidade, é chamada matriz estocástica. Então, toda matriz estocástica é a matriz de transição de algum processo de Markov, e vice-versa. Ainda, se P é uma matriz estocástica, então P^k, k = 0, 1, 2 ... é também uma matriz estocástica, por convenção $P^0 = I$, a matriz identidade.

Seja $\pi_m = (P_1^{(m)}, P_2^{(m)}, \ldots, P_n^{(m)})$ um vetor que forneça para cada j, j = 1, 2, ..., n, a probabilidade do processo estar no estado s_j após m passos (ou m transições).

<u>Teorema</u>: Seja π_m como definido acima, π_0 o vetor de probabilidades iniciais e P a matriz de transição de uma cadeia de Markov. Então,

$$\pi_m = \pi_0 P^m \,. \qquad (3.2)$$

O Teorema mostra que para o estudo das probabilidades de uma cadeia de Markov finita, é de grande importância o estudo das potências da matriz de transição. Por exemplo, seja π_0 composto por elementos iguais a zero, exceto o i-ésimo, que é igual a 1. O produto $\pi_0 P^m$ é a i-ésima linha da matriz P^m. Então, a i-ésima linha da m-ésima potência da matriz de transição fornece a probabilidade do processo estar em cada um de seus n estados, sob a hipótese de ter iniciado no estado s_i .

As potências de P tem algumas propriedades importantes:

(a) Todas as linhas de P^m tendem a ser iguais à medida que m aumenta. Isto significa que a probabilidade de transição $P_{ij}^{(m)}$ independe do estado inicial para grandes valores de m.

(b) Como conseqüência desta propriedade, as grandes potências de P são iguais, isto é, para m bastante grande, $P^m = P \,.\, P^m = P \,.\, P^{m+1} = \ldots$ porque P é uma matriz estocástica e P^m tem linhas iguais.

É interessante ainda, classificar os estados de uma cadeia de Markov de acordo com as possibilidades de se ir de um estado a outro. Um conjunto S' de estados é dito ergódico se nenhum estado que não esteja em S' possa ser atingido a partir de um estado $s_j \in S'$. Isto quer dizer que, uma vez que o processo tenha atingido um estado pertencente a um conjunto ergódico não poderá mais atingir estados que não estejam neste conjunto. Os outros sub-conjuntos de S, que não são ergódicos, são chamados de conjuntos transientes. Tais conjuntos caracterizam-se pelo fato de, uma vez que o processo deixou um conjuntos transiente, não poderá mais retornar a ele. Não é possível, portanto, que todos os conjuntos de estados de um processo de Markov sejam transientes. Deve existir pelo menos um conjunto ergódico.

Um estado $s_j \in S$ é dito absorvente quando $P_{jj} = 1$, ou seja, existe um auto-laço em s_j. Sendo assim, as cadeias com estados transientes onde os conjuntos ergódicos são conjuntos unitários são conhecidas como cadeias absorventes.

Normalmente, as informações que podem ser obtidas de uma cadeia de Markov dizem respeito ao comportamento do processo até que o mesmo tenha atingido um conjunto ergódico.

A cadeia de Markov que surge com maior freqüência nas aplicações é a Cadeia de Nascimento e Morte.

A maneira mais natural de introduzir o conceito de do processo de nascimento e morte é considerando uma população cujos elementos podem "morrer" e em conseqüência sair da população e na qual também é possível o ingresso de novos elementos através de nascimentos. Para cada t > 0, X(t) nos dará o número de elementos da população no instante t. Os termos população, nascimento e morte são usados num sentido genérico e na realidade são denominações sugestivas para entrada e saída de elementos de um dado conjunto.

Existem situações concretas onde seria razoável considerarmos um modelo tipo nascimento-morte:

(a) O estudo do crescimento de uma população humana ou animal;

(b) Alterações causadas numa população pela imigração ou emigração;

(c) O número de elementos que esperam numa fila para serem atendidos por um caixa. Nesse caso ocorre um "nascimento" sempre que um indivíduo se junta a fila e uma "morte" sempre que o atendimento de um cliente é concluído.

3.3 PROCESSO DE POISSON

Segundo DANTAS e RODRIGUES (1977), dentre os processos estocásticos com parâmetros contínuos, o processo de Poisson é um dos mais simples e mais importantes.

Nas aplicações de processos estocásticos, principalmente nas aplicações ligadas à pesquisa operacional, são comuns as situações nas quais o nosso interesse é observar eventos que acontecem no decorrer do tempo. Para analisar essas situações, utilizam-se os chamados processos de contagem, que a cada $t > 0$, associam o número de eventos que ocorrem no intervalo $[0 , t]$. Assim, os clientes que chegam a um banco, os carros que passam por um posto de pedágio, os aviões que descem num aeroporto, as chamadas que chegam a uma central telefônica, os átomos de uma substância radioativa, que se desintegram, são exemplos de situações que podem ser representadas e estudadas através de processos de contagem.

Tomando-se como referência um modelo de filas, ROSS (1996, p. 250) define que num processo de chegadas $\{ N(t) , t \geq 0\}$, onde $N(t)$ denota o número total de chegadas até o tempo t, com $N(0) = 0$, é um processo de Poisson se forem satisfeitas as três condições a seguir:

(i) A probabilidade que uma chegada ocorra entre o tempo t e $t + \Delta t$ é igual a $\lambda\Delta t + o(\Delta t)$. Define-se isto como: P (chegada ocorrer entre t e $t + \Delta t$) $= \lambda\Delta t + o(\Delta t)$, onde λ é uma constante independente de N(t), Δt é um incremento e $o(\Delta t)$ denota uma função de Δt tal que: $\lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{o(\Delta t)}{\Delta t} = 0$;

(ii) P {mais que uma chegada entre t e $t + \Delta t$} $= o(\Delta t)$;

(iii) O número de chegadas dentro dos intervalos são estatísticamente independentes.

<u>Proposição</u>: Considerar { N(t) , $t \geq 0$} um processo de Poisson com taxa λ. Pode-se afirmar que para todo $t > 0$, a variável aleatória N(t), tem distribuição de Poisson com média λt, isto é:

$$P[N(t)] = \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^k}{k!}, \; k = 0, 1, 2, \ldots \qquad (3.3)$$

A demonstração desta proposição pode ser encontrada na obra de GROSS e HARRIS (1974).

Da proposição acima segue-se que, para todo $t > 0$, $E[N(t)] = \lambda t$. No processo de Poisson, portanto, o parâmetro λ representa o número médio de ocorrências (ou de chegadas) por unidade de tempo.

No processo de Poisson, procura-se a lei de probabilidade dos intervalos de tempo entre sucessivas chegadas. Para isto, considere um intervalo T, que se segue imediatamente a uma ocorrência do evento e no qual este não ocorra e um intervalo ΔT, imediatamente seguinte, no qual ocorra o evento.

Busca-se definir a função densidade de probabilidade f(T) da variável aleatória T.

A probabilidade de que não ocorra sucesso em T é :

$$P_0(T) = \frac{(\lambda T)^0 e^{-\lambda T}}{0!} = e^{-\lambda T} \qquad (3.4)$$

e em ΔT,

$$P_0(\Delta T)\frac{(\lambda\Delta T)^0 e^{-\lambda\Delta T}}{0!} = e^{-\lambda\Delta T} \qquad (3.5)$$

A probabilidade de que ocorra pelo menos um sucesso em ΔT é:

$$1 - P_0(\Delta T) = 1 - e^{-\lambda\Delta T} \qquad (3.6)$$

Para Δt tendendo a zero, tem-se:

$$\lim_{\Delta T \to 0}\left(\frac{1 - e^{-\lambda\Delta T}}{\Delta T}\right) = \lambda \qquad (3.7)$$

A probabilidade de que não ocorra o evento em T e ocorra em ΔT é dada por:

$$f(T)dT = e^{-\lambda T}\left(\lim_{Ht \to 0}\frac{1 - e^{-\lambda\Delta T}}{\Delta T}\right)dT = \lambda e^{-\lambda T}dT \qquad (3.8)$$

Portanto, para T>0, a função de densidade é $f(T) = \lambda e^{-\lambda T}$, ou seja, distribuição exponencial de parâmetro λ .

Sendo assim, no Processo de Poisson, o intervalo de tempo entre duas ocorrências sucessivas do evento é uma variável aleatória com distribuição exponencial.

A probabilidade de que o intervalo I entre dois sucessos consecutivos seja menor de que ou igual a um valor fixado t (em outras palavras, que ocorra o evento no intervalo t) é obtida pela função de distribuição:

$$P(I \le T) = f(T) = \int_0^T \lambda e^{-\lambda T}dT = 1 - e^{-\lambda T} \qquad (3.9)$$

e a probabilidade de que I seja maior de que T é:

$$P(I > T) = f(T) = \int_T^\infty \lambda e^{-\lambda T}dT = e^{-\lambda T} \qquad (3.10)$$

De acordo com KARLIN e McGREGOR (1958) pode-se concluir que a média do tempo entre chegadas será $1/\lambda$ se a taxa média de chegadas for λ. Pode-se analisar esta nova informação da seguinte forma: se os tempos entre chegadas são independentes e tem uma distribuição exponencial então a taxa de chegadas segue uma distribuição de Poisson.

3.4 TEORIA DAS FILAS

Atualmente, um dos sintomas mais freqüentes de funcionamento deficiente de um sistema é o congestionamento de clientes. Quando o número de clientes à espera de atendimento, num banco por exemplo, for muito grande permanentemente, ou ao contrário é nulo na maior parte do tempo, é sinal de que o número de caixas não está adequadamente dimensionado.

Este tipo de problema pode ser abordado através da Teoria das Filas, que é um tópico da Pesquisa Operacional. Nas referências de BRONSON (1985), SHAMBLIN e STEVENS (1989), pode-se encontrar maiores detalhes sobre Teoria das filas.

Embora o termo "teoria das filas" e as definições que firmam seu rigorismo sejam relativamente recentes, o efetivo trabalho no campo iniciou-se há cerca de noventa e dois anos. O investigador pioneiro foi Agner Krarup Erlang, que, em 1908, realizou trabalho da mais fundamental natureza sobre ligações telefônicas para a Companhia Telefônica de Copenhague, essa companhia teve a distinção de endossar e apoiar diversas investigações importantes em teoria das probabilidades.

De uma forma mais simples, um sistema de filas é composto por elementos que querem ser atendidos em um posto de serviço e que, eventualmente, devem esperar até que o posto esteja disponível.

Os sistemas de filas são caracterizados por cinco componentes: modelo de chegadas dos usuários, modelo de serviço, número de canais (atendentes), capacidade do estabelecimento para atender usuários e a disciplina da fila, ou seja , a ordem de atendimento.

a) Modelo de chegadas

O modelo de chegadas dos usuários é usualmente especificado pelo tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao estabelecimento de prestação de serviços. Ele pode ser determinístico (isto é, exatamente conhecido) ou ele pode ser uma variável aleatória. As chegadas de clientes a um sistema ocorrem , geralmente, de forma aleatória. Torna-se importante, dessa forma, realizar um levantamento estatístico com a finalidade de descobrir se o processo de chegadas pode ser caracterizado por uma distribuição de probabilidades. Para o estudo do tempo entre chegadas dos usuários é importante observar se os usuários chegam um a um ou em conjunto e se existe usuários que venham a abandonar a fila .

b) Modelo de serviço

O primeiro passo no estudo de um sistema de filas é o levantamento estatístico do número de clientes atendidos por unidade de tempo, ou do tempo gasto em cada atendimento.

Esse tempo pode ser regular ou aleatório, que é a situação mais comum, onde cada cliente exige um tempo próprio para solução de seu problema.

A finalidade do levantamento estatístico é, então, determinar a distribuição de probabilidades do número de atendimentos ou da duração de cada atendimento.

Além disso, a disponibilidade do serviço e a capacidade de atendimento simultâneo do sistema são fatores que devem ser analisados na definição do regime de atendimento.

c) Número de canais

O número de canais refere-se ao número de serviços paralelos que efetuam o atendimento simultaneamente.

d) Capacidade do sistema

A capacidade do sistema é o número máximo de usuários, tanto aqueles que estão sendo atendidos quanto os que estão na fila de espera, permitidos no estabelecimento ao mesmo tempo. Um sistema que não possui limite no número permitido de usuários no estabelecimento tem uma capacidade infinita ao passo que um sistema com um limite tem capacidade limitada ou finita.

e) Disciplina da fila

A disciplina da fila é um conjunto de regras que determinam a ordem em que os clientes serão atendidos. Esta ordem pode ocorrer nos seguintes critérios:

– FIFO (*first in-first out*), primeiro a entrar na fila é o primeiro a ser atendido;

– LIFO (*last in-first out*), o último a entrar na fila é o primeiro ser atendido;

– SIRO (*served in random order*), onde escolhe-se de uma maneira aleatória a ordem de atendimento;

– PRI (*priority*), onde estipula-se uma prioridade de atendimento;

3.4.1 Notação de Kendall

Um modelo de filas é descrito com uma série de símbolos para a especificação das características. Os símbolos são A/B/X/Y/Z, onde A indica a distribuição do tempo entre chegadas, B indica a distribuição do tempo de serviço, X é o número de canais operando no sistema, Y representa a capacidade do sistema e Z designa a disciplina da fila. Esta simbologia é conhecida como notação de Kendall (1953). As notações mais utilizadas e suas características são apresentadas no Quadro 3.1.

QUADRO 3.1 – NOTAÇÃO DE MODELO DE FILAS

CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO	EXPLANAÇÃO
Tempo entre chegadas (A)	M	Exponencial
	D	Determinístico
	E	Erlang
Tempo de serviço (B)	M	Exponencial
	D	Determinístico
	E	Erlang
Número de caixas paralelos (X)	1,2,...	
Capacidade do sistema (Y)	1,2,...	
Disciplina do sistema (Z)	FIFO	First in, first out
	LIFO	Last in, last out
	SIRO	Service in randon order
	PRI	Priority

FONTE: GROSS e HARRIS (1974)

Em muitas situação somente os três primeiros símbolos são utilizados. Ao omitir os dois últimos símbolos , convenciona-se que a capacidade do sistema é infinita, a disciplina segue o critério FIFO (*first in – first out*).

3.4.2 Modelos de filas

As características gerais de um sistema de filas determinam o modelo do sistema de filas. Estes sistemas podem ter estruturas mais variadas possíveis, sendo que cada caso exige um estudo analítico diferente.

Neste trabalho serão apresentados alguns dos modelos de filas existentes.

A estrutura mais simples é mostrada na Figura 3.1, onde temos um sistema de 1 fila e 1 canal. A Figura 3.2 mostra um sistema de 1 fila e 3 canais em paralelo, enquanto a Figura 3.3 mostra um sistema complexo de filas e canais em série e em paralelo.

FIGURA 3.1 – SISTEMA DE 1 FILA E 1 CANAL

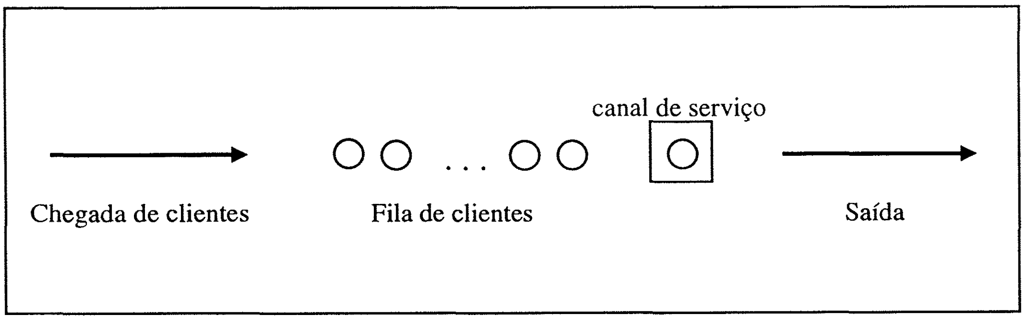


FIGURA 3.2 – SISTEMA DE 1 FILA E 3 CANAIS

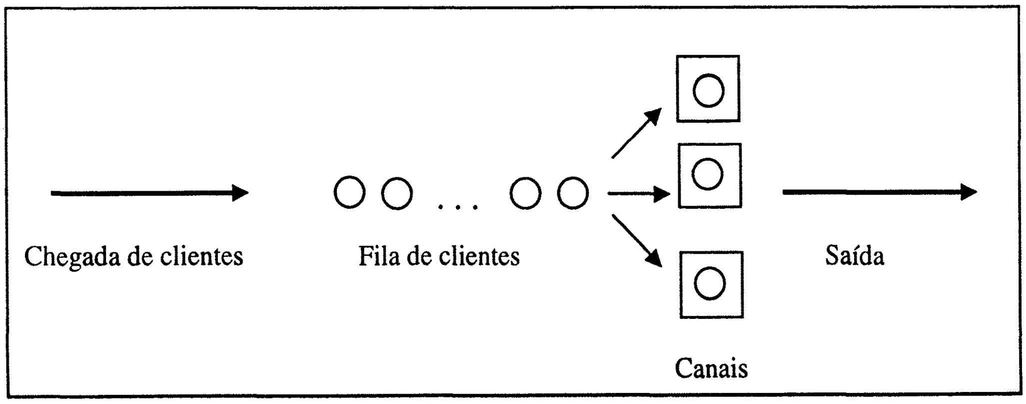
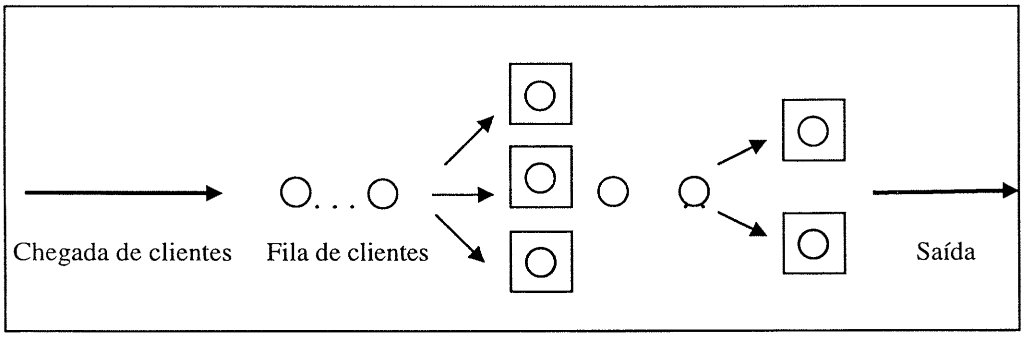


FIGURA 3.3 – SISTEMA COMPLEXO DE FILAS



3.4.3 Modelo M/M/1

O modelo M/M/1, onde a distribuição do tempo entre chegadas e a distribuição do tempo de serviço é exponencial com apenas um canal de atendimento, pode ser representado na Figura 3.1. As características gerais deste modelo são:

a) As chegadas se processam segundo uma distribuição de Poisson com média λ por unidade de tempo;
b) Os tempos de atendimento, por canal, seguem a distribuição exponencial com média $\frac{1}{\mu}$ (ou seja, o número de atendimento segue a distribuição de Poisson com média μ).
c) Atendimento à fila é feito pela ordem de chegada (FIFO).
d) Número de possíveis clientes é suficientemente grande para que a população possa ser considerada infinita.

Tanto a distribuição de Poisson quanto a distribuição exponencial tem as seguintes propriedades:

a) A probabilidade de uma chegada é proporcional a $\Delta\lambda$, ou seja, igual a $\lambda \cdot \Delta t$.
b) A probabilidade de término de um serviço é proporcional ao intervalo de tempo $\mu \cdot \Delta t$.

c) A probabilidade de mais de uma chegada no intervalo Δt é desprezível, logo, no intervalo Δt só podemos ter uma chegada com probabilidade $\lambda . \Delta t$ ou nenhuma, com probabilidade $1- \lambda \Delta t$.

d) Propriedade análoga para o término de um serviço: ou termina um com probabilidade $\mu . \Delta t$ ou nenhum com probabilidade $1- \mu \Delta t$.

Nessas condições, a probabilidade de que existam n>0 clientes no sistema, no instante $t + \Delta t$, pode-se representar pela soma das probabilidades dos seguintes eventos:

- Existem (n – 1) clientes no instante t; há uma chegada no intervalo Δt; não há saída por término no intervalo Δt: $P_{n-1}(t) . \lambda \Delta t . (1- \mu \Delta t)$.
- Existem n clientes no instante t; não há chegada alguma no intervalo Δt; não há saída alguma no intervalo Δt: $P_n(t) .(1- \lambda \Delta t) . (1- \mu \Delta t)$.
- Existem (n +1) clientes no instante t; não há chegada alguma e há uma saída no intervalo Δt: $P_{n+1}(t) .(1- \lambda \Delta t) .\mu \Delta t$.

Assim, somando esses quatro elementos, encontra-se a probabilidade de haver n clientes no instante $t +\Delta t$:

$$P_n(t + \Delta t) = P_{n-1}(t) . \lambda \Delta t . (1- \mu \Delta t) + P_n(t) .(1- \lambda \Delta t) . (1- \mu \Delta t) + P_n(t) . (1- \lambda \Delta t) . (1- \mu \Delta t) + P_{n+1}(t) .(1- \lambda \Delta t) .\mu \Delta t$$

Para se calcular a probabilidade de não haver cliente no sistema, ou seja, n=0, basta considerar os dois eventos possíveis:

- Existe um cliente no instante t e não há chegada no intervalo Δt: $P_0(t) . (1- \lambda\Delta t)$.
- Existe um cliente no instante t; não há chegada alguma e há uma saída no intervalo Δt: $P_1(t) . (1- \lambda \Delta t) . \mu \Delta t$.

Soma-se, como no caso anterior:

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) . (1- \lambda \Delta t) + P_1(t) . (1- \lambda \Delta t) . \mu \Delta t .$$

Calcula-se a expressão: $\frac{P_n(t+\Delta t - P_n(t)}{\Delta t}$ e fazendo Δt tender para 0, tem-se:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = \lambda \cdot P_{n-1} - (\lambda + \mu)P_n + \mu \cdot P_{n+1} \qquad (3.11)$$

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda \cdot P_0 + \mu \cdot P_1 \qquad (3.12)$$

Como considera-se o sistema em equilíbrio, ou seja, a distribuição das probabilidades de ocorrência dos estados é constante e essa distribuição independe das condições iniciais, a derivada $\frac{dP_n(t)}{dt}$ é nula, logo: $-\lambda \cdot P_0 + \mu \cdot P_1 = 0$ e $-\lambda \cdot P_{n-1} - (\lambda + \mu)P_n + \mu \cdot P_{n+1} = 0$, com $n > 0$.

Resolve-se por substituição sucessiva:

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \ ,$$

$$P_2 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_0 \ , \qquad (3.13)$$

$$\Lambda$$

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \ .$$

Para obter P_0 tem-se que considerar o fato de que os eventos que descrevem o número de chegadas a um sistema são mutuamente exclusivos: $\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1$. Logo,

$$P_0\left[1 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \Lambda + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \Lambda\right] = 1 \qquad (3.14)$$

A expressão entre colchetes é a soma de uma progressão geométrica de razão $\frac{\lambda}{\mu}$, com infinitos termos. Para que sua soma seja convergente, deve-se ter $\frac{\lambda}{\mu} > 1$.

Por considerações de ordem física com relação ao sistema, pode-se ver que essa condição geralmente é satisfeita. Sendo λ o número médio de chegadas ao sistema por unidade de tempo e sendo μ o número médio de saídas, se ocorrer $\lambda > \mu$ poderia haver congestionamento crescente.

Para o caso de $\lambda = \mu$, pode-se definir o equilíbrio do sistema como instável. Qualquer variação no número de chegadas, acima da média, poderia provocar congestionamento.

Por essas considerações e pela observação de que a expressão acima só se torna verdadeira quando $\frac{\lambda}{\mu} > 1$, pode-se estabelecer como condição de estabilidade do sistema, $\lambda < \mu$.

Definindo como fator de utilização: $\sigma = \frac{\lambda}{\mu}$, a soma da progressão geométrica será: $\left(1 + \sigma + \sigma^2 + \Lambda + \sigma^n + \Lambda\right) = \frac{1}{1-\sigma}$, assim:

$$P_0\left(\frac{1}{1-\sigma}\right) = 1 \text{ , donde } \quad P_0 = 1 - \sigma = \frac{\mu - \lambda}{\mu} .$$

Substituindo-a em (3.12), tem-se:

a) Probabilidade de haver n clientes no sistema:

$$P(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(\frac{\mu - \lambda}{\mu}\right) \qquad (3.15)$$

A partir dessa expressão, pode-se calcular outras probabilidades importantes.

b) Probabilidade de que o sistema seja ocioso:

$$P(n = 0) = \frac{\mu - \lambda}{\mu} \qquad (3.16)$$

Significa a porcentagem de tempo em que o sistema está inativo, sendo também chamada de taxa de ociosidade.

c) Probabilidade de que o sistema esteja ocupado:

$$P(n > 0) = \frac{\lambda}{\mu} \qquad (3.17)$$

Analogamente, designa-se de fator ou taxa de ocupação.

Conhecida a distribuição de probabilidades do número de clientes no sistema n, pode-se calcular os parâmetros da fila.

a) Número médio de clientes no sistema (NS):

$$NS = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \qquad (3.18)$$

b) Número médio de clientes na fila (NF):

$$NF(\text{fila} > 0) = \frac{\mu}{\mu - \lambda} \qquad (3.19)$$

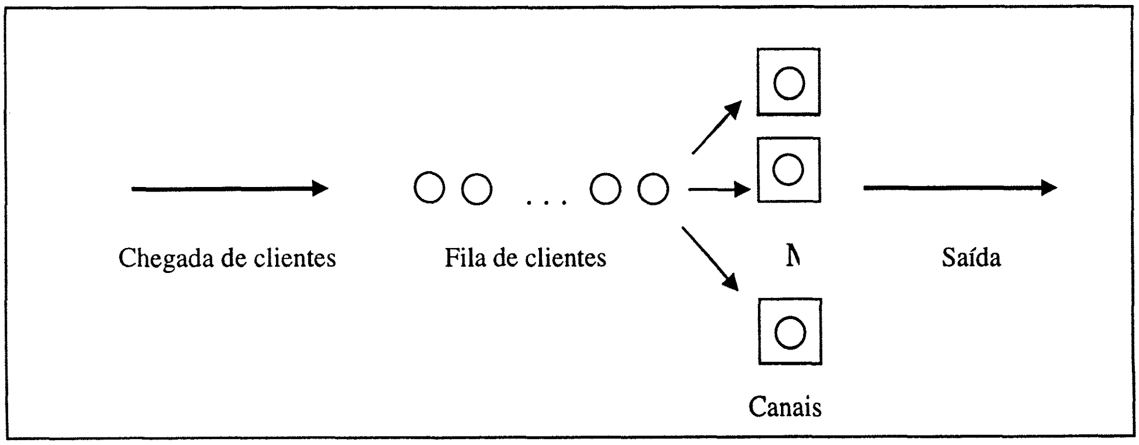
c) Tempo médio de espera na fila (TF):

$$TF(\text{espera} > 0) = \frac{1}{\mu - \lambda} \qquad (3.20)$$

3.4.4 Modelo M/M/c

Seja o caso de um fila e vários canais de serviço, conforme Figura 3.4.

FIGURA 3.4 – SISTEMA DE 1 FILA E C CANAIS



As características gerais do modelo M/M/c são:

a) As chegadas se processam segundo uma distribuição de Poisson com média λ por unidade de tempo.
b) Os tempos de atendimento, por canal, seguem a distribuição exponencial negativa com média $\frac{1}{\mu}$ (ou seja, o número de atendimento segue a distribuição de Poisson com média μ).
c) O atendimento à fila é feito pela ordem de chegada.
d) O número de canais de serviço no sistema é c.
e) O número de possíveis clientes é suficientemente grande para que a população possa ser considerada infinita.
f) O ritmo de serviço é $\mu .c$.
g) A condição de estabilidade do sistema é $\lambda < \mu .c$.

Serão mostradas aqui as principais equações do modelo, cujas deduções, que tem como base o modelo M/M/1, podem ser encontradas na obra de GROSS e HARRIS (1974)

a) Probabilidade de haver 0 cliente no sistema:

$$Po = \frac{1}{\sum_{j=0}^{c-1}\left(\frac{\sigma^j}{j!}+\frac{\sigma^c}{c!\cdot(1-\sigma/c)}\right)} \quad \text{com} \quad \sigma = \frac{\lambda}{\mu} \qquad (3.21)$$

b) **Probabilidade de haver n clientes no sistema:**

b.1) n < c:

$$Pn = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\cdot\frac{1}{n!}\cdot Po \qquad (3.22)$$

b.2) n $\geq$c:

$$Pn = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{c! \cdot c^{n-c}} \cdot Po \qquad (3.23)$$

c) Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados:

$$P_{(\text{ocupação total})} = P(n \geq c) = \frac{\sigma^c}{c!\,(1 - \sigma/c)} \cdot Po \qquad (3.24)$$

d) Número médio de clientes na fila:

$$NF = \frac{\sigma^c \cdot \lambda \cdot \mu \cdot c}{c! \cdot (\mu \cdot c - \lambda)^2} \cdot Po \qquad (3.25)$$

ou simplificadamente:

$$NF = \frac{\sigma}{c - \sigma} \cdot P_{(\text{ocupação total})} \qquad (3.26)$$

e) Tempo médio de espera na fila:

$$TF = NF \cdot \frac{1}{\lambda} \qquad (3.27)$$

f) Número médio de clientes no sistema:

$$NS = NF + \sigma \qquad (3.28)$$

g) Tempo médio gasto no sistema:

$$TS = \frac{NS}{\lambda} \qquad (3.29)$$

h) Probabilidade de que o tempo de espera na fila seja $\geq$ t (W(t)).

$$w_q(t) = \begin{cases} 1 - \dfrac{c\left(\lambda/\mu\right)^c}{c!\left(c - \lambda/\mu\right)} Po & (t = 0) \\[2ex] \dfrac{\left(\lambda/\mu\right)^c \left(1 - \sigma^{-(\mu c - \lambda)t}\right)}{(c-1)!\left(c - \lambda/\mu\right)} Po + w_q(0) & (t > 0) \end{cases} \qquad (3.30)$$

3.5 APLICAÇÕES DA TEORIA DAS FILAS.

Em várias situações existem clientes solicitando serviços, que são limitados por restrições próprias do sistema. Assim existe a possibilidade de que esses clientes venham a formar filas, até que o serviço solicitado possa ser prestado.

Serão citados, entre outros, trabalhos sobre problemas de fila que envolvem vagas de estacionamento, tráfego rodoviário, problemas de telefonia e tráfego aéreo.

3.5.1 Cálculo do número de vagas para carga e descarga de mercadorias

O estacionamento de veículos na via pública é um problema bastante estudado e combatido. O fornecimento de vagas protegidas parece ser o meio mais eficiente e menos conflitante para solucioná-lo. LUNA (1999) realizou um estudo, o qual gerou sua tese de dissertação, e apresentou um método de cálculo de número de vagas para carga e descarga que se utiliza dos princípios da Teoria das Filas.

O estudo baseia-se na estimativa de um índice de demanda por vagas de estacionamento. Esse índice reflete a atratividade de um tipo específico de estabelecimento e sua determinação é feita através de levantamento da demanda.

O objeto de estudo dessa dissertação constitui-se de um supermercado de médio porte, situado na região central da cidade de São Carlos. O supermercado em questão possui uma área que pode ser dividida em três partes: o supermercado citado, um depósito de distribuição e um estacionamento usado por clientes e veículos da empresa.

Devido à variedade de produtos entregues, há uma grande variabilidade no porte e tipo de veículos que fazem a transferência de mercadorias, mas em todos os casos, não há estacionamento protegido para as atividades de transferência de carga, ficando os veículos estacionados ao longo da via.

Um modelo de filas é determinado pelo padrão das chegadas e dos atendimentos, pelo número de canais de atendimento e pela disciplina da fila. Após o levantamento de dados, foi possível verificar que não se poderia descartar a hipótese de que o processo de chegadas segue uma distribuição de Poisson e o atendimento uma distribuição Exponencial, considerando ainda a disciplina de fila FIFO (*first in – first out*) que é adotada pelo sistema.

LUNA (1999) concluiu que a aplicação de princípios da Teoria das Filas para o redimensionamento já instalado se mostra bastante promissor.

A avaliação pela Teoria das Filas fornece ao analista um detalhamento do funcionamento do objeto de estudo através das medidas de desempenho associadas ao modelo ajustado. Esse conhecimento adicional (tempo de espera no sistema, tamanho de fila, probabilidade de não haver espera, etc.) possibilita ao pesquisador uma liberdade maior no dimensionamento, uma vez que, baseado em um procedimento científico, ele pode controlar a qualidade de operação do sistema e conhecer, antecipadamente, as conseqüências de sua decisão.

Diversos estudos adotaram esta abordagem:

- RUGGERO e GORYS (1987) estudando o impacto da implantação de um novo hotel na cidade de North York, Canadá, fizeram uma estimativa do número necessário de vagas para estacionamento de automóveis de hóspedes, correlacionando a demanda com o número de leitos e/ou a área bruta construída dos hotéis já existentes.
- COOPER (1987) necessitando dimensionar o número de vagas de táxis para um hotel a ser construído em Dallas, U.S.A, levantou a demanda por

táxis de 22 hotéis nas cidades de Dallas e Houston, obtendo um valor médio de 1 vaga para táxi para cada 100 quartos. Mostrou ainda que esse índice varia entre as cidades e quanto sua proximidade da zona central.

- GASKINS (1989), em artigo sobre problemas associados ao tráfego e número de vagas de estacionamento de automóveis com o número de estudantes existente nas instituições de ensino.

3.5.2 Problemas de tráfego rodoviário

MACHADO e MENDES (2000) realizaram um estudo que trata do problema de tráfego e congestionamento em um retorno próximo a cruzamento com semáforos, na Avenida das Torres, esquina com a Rua A. Twardowski em Curitiba.

Foram levantados dados com o objetivo de simular um modelo que represente o tráfego, e que forneça subsídios para melhorar o escoamento de veículos.

Para obtenção dos dados, adotou-se a metodologia a seguir, onde as aferições foram efetuadas no local em investigação inicial, e através de filmagem, no mesmo horário e em diferentes dias da semana. Os dados coletados foram:

- Tempos entre chegadas de veículos;
- Tempos de Abertura/Fechamento de semáforo;
- Proporções de veículos que tomam o retorno.

Os autores deste trabalho utilizaram o software ARENA de simulação para programar e analisar o modelo proposto. Este software se utiliza das técnicas de Monte Carlo e da Teoria das Filas para realizar simulações que envolvam filas.

As funções distribuições de probabilidade para os tempos de chegadas entre veículos foram obtidas com a utilização do programa *Input Analyzer*, do *software* ARENA. Pode-se obter detalhes do desenvolvimento matemático e da manipulação do *software* na obra de PEGDEN, SHANNON e SADOWSKI (1995).

Concluíram que simulações com o *software* ARENA, permitem analisar a performance do modelo, bem como sugerir tempos de abertura/fechamento de semáforo que melhoram o escoamento do tráfego.

3.5.3 Problemas da telefonia

A complexidade das atuais redes telefônicas torna difícil isolar os fatores determinando seu comportamento. Ao longo do dia poderemos ter períodos de ociosidade e de congestionamento.

O engenheiro que projeta uma central telefônica contenta-se em achar um número de linhas que garanta que a probabilidade de haver um excesso de demanda, ou congestionamento da central, não seja maior do que um valor considerado razoável.

Conseqüentemente, o projeto de uma central telefônica envolverá três variáveis:

- o número de linhas (ou canais, ou troncos telefônicos), denotado por L.
- a demanda da central, ou seja: o volume de tempo - expresso em horas - do total das ligações solicitadas à central em uma hora, ou seja, a unidade de medida da demanda é a quantidade de ligações por hora, sendo que os engenheiros deram o nome de erlang a essa unidade de medida, denotado por d.
- o congestionamento provável da central, ou seja, o provável percentual de chamadas que encontrarão a central ocupada, denotado por c.

Assim, observa-se que o projeto de uma central telefônica estará resolvido se conseguir expressar o número L de linhas em termos da demanda d a ser atendida e do congestionamento provável c que dispõe-se a aceitar. Assim o problema básico da telefonia é: achar a função $L = L (c , d)$.

Os primeiros estudos teóricos das redes telefônicas foram feitos, no inicio do século. XX, pelo matemático dinamarquês A. K. Erlang, quando esse trabalhava na central telefônica de Copenhagen. Os resultados que ele conseguiu ainda hoje são usados na telefonia. Para viabilizar esses estudos, Erlang fez as seguintes idealizações de comportamento da central telefônica: as chamadas telefônicas chegam aleatoriamente na central. Elas produzem ou não conexão com seu destino, dependendo da disponibilidade momentânea da central. Havendo linha disponível, a ligação é feita instantaneamente; caso contrário, quando todos os canais estiverem ocupados, a chamada do usuário recebe o sinal de "ocupado" e a mesma é imediatamente perdida (ou seja: ela não fica esperando até a liberação de uma linha; ao contrário, posteriormente, o usuário deverá tentar outra ligação).

Trabalhando com essas idealizações de central telefônica , o primeiro resultado importante que Erlang conseguiu ocorreu em 1 909, quando descobriu que as chamadas podiam muito bem ser aproximadas por uma distribuição de probabilidades do tipo de Poisson. Isso foi feito no trabalho: "The Theory of Probabilities and Telephone Conversations" em artigo da Banish Telephone Engineer.

A partir desse resultado, mais alguns anos de trabalho lhe permitiram relacionar as três variáveis básicas: c, L e d. Esse resultado, ainda hoje fundamental tanto para telefonia clássica como para telefonia celular, foi publicado em 1913 no artigo "Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges" e pode-se resumir pela seguinte fórmula:

$$c(L,d) = \frac{\dfrac{d^1}{L!}}{1+\dfrac{d}{1!}+\dfrac{d^2}{2!}+\dfrac{d^3}{3!}+\dfrac{d^4}{4!}+\ldots+\dfrac{d^L}{L!}} \qquad (3.31)$$

Pode-se consultar SIEMENS (1975) para se obter a demonstração da fórmula de Erlang, bem como maiores informações sobre a análise e projeto de centrais telefônicas.

Observamos que a fórmula de Erlang nos dá uma relação do tipo c = c(L,d), enquanto que o problema do projeto consiste em achar o número L de linhas em função do grau de congestionamento aceitável e da demanda envolvida, ou seja, para projeto, o conveniente é trabalharmos com relação da forma L = L (c, d). A tentativa de transformar, algebricamente, a relação c = c (L , d) em uma relação tipo L = L(c,d) não se configura. Isso deixa duas alternativas:

- tratar c = c (L , d) como uma equação na incógnita L;
- ou faz-se uma tabela de valores L para uma grande quantidade de possibilidades de d e c, e então usar interpolação

A maioria dos engenheiros prefere a segunda alternativa acima. Contudo, por ser matematicamente mais natural, a Segunda alternativa é mais utilizada.

3.5.4 Congestionamentos em aeroportos

Outro exemplo de solução de um problema de teoria de filas é descrito por ADLER e FRICKER (1975). Esses relatos abrangem estudos de congestionamentos que ocorrem em aeroportos, quando aeronaves chegam fora da programação estabelecida. Analisam diversos métodos para reduzir o congestionamento de modo a conseguir os seguintes objetivos:

a) manter a segurança;
b) utilizar mais eficientemente a pista de aterrissagem;
c) reduzir a duração total das viagens.

O estudo real foi realizado numericamente com a utilização de equipamento computacional. Foi empregado um grupo de 1000 aviões hipotéticos: cada um era representado por um ponto e cada um "voava" ao aeroporto com uma demora selecionada de maneira aleatória da distribuição apropriada. Isso foi feito para diversos valores de parâmetro de densidade de tráfego, E, que aqui é definido como:

$$E = \frac{\text{(intervalo médio de chegada programada)}}{t_0} \qquad (3.32)$$

Foram estudados dois métodos para revisar a programação de aviões, com o propósito de aliviar o congestionamento, a saber:

- "ponto de controle de redistribuição", no qual os aviões são redistribuídos num ponto intermediário, a fim de que cheguem ao destino com intervalo de uma unidade ;
- "ponto de controle de horário", no qual os aviões são postos em suas programações originais num ponto intermediário.

O ponto onde se dá a redistribuição não é, necessariamente, um ponto físico em algum lugar entre dois aeroportos, mas pode ser uma zona próxima do destino e sob seu controle. Nenhum dos métodos trouxe melhorias surpreendentes; ambos, porém, deram algum alívio ao congestionamento durante situações críticas.

O estudo apresenta resultados expressivos para as condições de estabilidade, isto é, os períodos de tempo durante os quais as taxas de chegadas e de aterrissagens programadas são estáveis. As operações reais de um aeroporto são, entretanto, raramente estáveis, e os períodos críticos são os de más condições de vôo generalizadas. Mesmo com tempo normal, não são constantes as cargas dos aeroportos e a taxa de aterrissagem dos aviões. Existe, por conseguinte, evidente necessidade de estudos mais extensivos, para o futuro, em que a teoria da fila seja aplicada a operações em aeroportos.

3.6 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A Programação Linear visa fundamentalmente encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos representados por equações lineares. A grande aplicabilidade e simplicidade que a caracterizam devem-se à linearidade do modelo.

A tarefa da Programação Linear consiste na maximização ou minimização de uma função linear, denominada Função Objetivo, respeitando-se um sistema linear de igualdades ou desigualdades que recebem o nome de Restrições do modelo. As restrições representam normalmente limitações de recursos disponíveis (capital, mão de obra, recursos minerais ou fatores de produção) ou, então, exigências e condições que devem ser cumpridas no problema. Essas restrições do modelo determinam uma região à qual damos o nome de Conjunto das Soluções Viáveis ou das Soluções Factíveis. A melhor das soluções factíveis, isto é, aquela que maximiza ou minimiza a função objetivo denomina-se Solução Ótima. O objetivo da Programação Linear consiste na determinação da Solução Ótima.

O problema de programação linear será chamado daqui por diante de PPL. Dois passos são fundamentalmente necessários para a resolução de um PPL:

1) Modelagem do problema, neste passo devemos seguir algumas etapas:

a) Definição do problema;
b) Identificação das variáveis relevantes;
c) Formulação da Função Objetivo;
d) Formulação das restrições;
e) Escolha do método matemático de solução;
f) Aplicação do método de solução;
g) Avaliação da solução.

No PPL o método matemático mais utilizado é o Simplex descrito por DANTZIG (1963). Pode-se encontrar o método Simplex em ZIONTS (1974).

BARBOZA (2000) utilizou em sua dissertação de mestrado está técnica para otimização do número de telefonistas de uma central de auxílio à lista telefônica.

2) A formulação matemática do problema que pode-se assim apresentar:

Função objetivo:

Maximizar $z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \Lambda + c_n x_n$

Sujeito às (Restrições):

$$
\begin{array}{l}
a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \Lambda + a_{1n}x_n \leq b_1 \\
a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \Lambda + a_{2n}x_n \leq b_2 \\
\quad M \qquad M \qquad\quad M \quad M \\
a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \Lambda + a_{1m}x_n \leq b_m
\end{array}
\qquad (3.33)
$$

Restrição de não negatividade:

$x_1, x_2, \Lambda, x_n \geq 0$

Os números a_{ij}, b_i e c_j são conhecidos na descrição do problema. As variáveis x_j serão calculadas de forma a satisfazer as restrições e maximizar a função objetivo.

O modelo 3.32, acima, pode também ser formulado por meio de notação matricial:

Maximizar $z = c^T x$

Sujeito à $Ax = b$

$x \geq 0$, onde:

a) z é a função objetivo;
b) c é o vetor de lucros de dimensão n x 1;
c) c^T é o vetor transposto de c, de dimensão 1 x n;
d) x é o vetor das variáveis de decisão de dimensão n x 1;
e) A é a matriz tecnológica de dimensão m x n;
f) b é o vetor dos recursos de ordem m x 1.

O problema também pode ser de minimizar a função objetivo.

3.6.1 Programação Inteira

Um Problema de Programação Inteira (PPI) é um problema de Programação Linear, com o requisito adicional de que o valor de todas as variáveis sejam números inteiros.

Existem vários algoritmos para resolver este tipo de problema. O mais utilizado, o chamado Branch and Bound pode ser encontrado em detalhes no ZIONTS (1974).

3.6.1.1 Algoritmo Branch and Bound

O primeiro artigo que apresenta o algoritmo Branch and Bound data de 1960, das cientistas A. H. Land e A.G. Doig. O método exige a utilização do algoritmo Simplex e pode resolver problemas inteiros e inteiros-mistos.

A solução de qualquer problema de programação inteira pode ser obtida, ignorando-se o requisito de valores inteiros e resolvendo-se o problema de programação linear da seguinte forma:

1ª Aproximação: Se a solução do PPL for inteira, então esta também será a solução do PPI.

2ª Aproximação: Se a solução não for inteira, pode-se arredondar a solução aos valores inteiros mais próximos.

Este procedimento é válido quando a primeira aproximação envolve números grandes, mas pode ser impreciso quando os números são pequenos.

Seja um PPL, onde a variável x_j^* é não inteira, então, $i_1 < x_j^* < i_2$, onde i_1 e i_2 são inteiros consecutivos e não negativos.

Dois novos modelos de PPI são criados, acrescentando ao PPI original as restrições: $x_j^* < i_1$ ou $x_j^* < i_2$.

Este processo é chamado bifurcação (branch) e tem o efeito de contrair a região de modo a eliminar a solução corrente não inteira para x_j, preservando todas as possíveis soluções inteiras do problema original.

Se a função objetivo deve ser maximizada (minimizada) a bifurcação continua até que seja obtida uma 1ª aproximação inteira, esta torna-se um limite (*bound*) inferior (superior) para o problema e todos os modelos cujas primeiras aproximações, inteiras ou não, conduzam a valores da função objetivo menores (maiores) que o limite inferior (superior), devem ser descartados.

O processo da bifurcação prossegue até que não haja mais modelos com 1ª aproximação não inteira a considerar. Neste ponto a solução correspondente ao limite inferior (superior) corrente é a solução ótima do PPI original.

Neste processo do algoritmo *Branch and Bound* deve-se ter algumas considerações:

a) Bifurca-se sempre a partir do modelo que se revela mais próximo do ótimo, com maior valor para z, se a função objetivo for de maximizar ou menor valor para z, se a função objetivo for de minimizar.
b) São acrescentadas restrições adicionais, uma de cada vez. Se a 1ª aproximação envolver mais de uma variável não inteira, as novas restrições serão impostas sobre a variável que está "mais longe" de se tornar inteira, isto é, a variável cuja parte decimal estiver mais próxima de 0,5. Em caso de empate escolhe-se arbitrariamente uma das variáveis.

Um modelo de Programação Inteira, pode ser escrito na forma:

$$\text{Max } z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{j=1}^{n} a_j x_j \leq p \qquad (3.34)$$

$$x_j \geq 0 \text{ e inteiros}$$

$$j = 1, 2, ..., n$$

CAPITULO IV

4. METODOLOGIA

4.1 INTRODUÇÃO

As Lojas Americanas S/A é a empresa alvo para o desenvolvimento da previsão e avaliação do número de caixas, para cada 30 minutos do período de funcionamento.

A loja abre suas portas para o atendimento ao público num período de 12 horas de Segunda à Sábado e 7 horas nos Domingos.

A metodologia adotada neste trabalho é composta de 2 fases:

Fase I: Determinação do número de caixas através da Teoria das Filas;

Fase II: Otimização dos horários dos caixas.

4.2 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CAIXAS ATRAVÉS DA TEORIA DAS FILAS (FASE I).

Um dos compromissos das Lojas Americanas S/A é de atender seus clientes, que se encaminham para efetuar o pagamento de suas compras, num tempo anunciado. Necessita-se realizar uma previsão de caixas que deverão estar abertos para o atendimento deste público. Existe ainda a necessidade de avaliar o sistema AGIFILA que é um sistema manual utilizado atualmente pela empresa.

Faz-se necessária a determinação do melhor modelo de fila que se ajusta ao problema real, ou seja procura-se um modelo teórico que possa se ajustar ao problema real.

Para se determinar o modelo de fila mais adequado é fundamental uma amostra com a duração de tempos de atendimento e uma amostra com os intervalos de tempo entre chegadas dos clientes. Com estas amostra é possível obter a distribuição de probabilidade de cada um.

Os dados referentes ao tempo entre chegadas, a cada 30 minutos, foram coletados a partir de relatórios fornecidos pelo sistema computacional da loja. Estes relatórios não são armazenados pelo sistema, logo pode-se obter somente os relatórios do dia.

Durante 7 sete semanas coletou-se os dados referentes à quantidade de clientes que chegaram na fila para serem atendidos a cada 30 minutos e uma tabela com a média aritmética destes registros foi gerada (ver Tabela 2.1). A partir desta tabela calcula-se os tempos entre chegadas dos clientes, obtendo-se então uma outra tabela (ver Tabela 2.2) que é utilizada para aplicação dos testes de hipóteses.

Os dados com relação ao tempo de atendimento de cada caixa foram coletados no mês de junho de 2001. Vinte amostras, de 5 caixas escolhidos de acordo com a disponibilidade no momento, foram cronometradas em segundos (ver Tabela 2.3).

Então, realizaram-se testes de hipóteses para avaliar se os processos tem características compatíveis com um sistema de fila com canais de atendimento em paralelo no padrão M/M/C, isto é, se pode-se ajustar o tempo entre chegadas e o tempo de atendimento às distribuições de Poisson e exponencial, respectivamente.

Input Analyzer é um programa do software ARENA, de simulação, que indica o resultado de todas as distribuições de probabilidade de uma amostra utilizando os testes Quì-Quadrado e de Kolmogorov-Smirnov. Através do *Input Analyzer* , a distribuição de Poisson foi verificada para o tempo entre chegadas de clientes em cada dia em estudo e a distribuição Exponencial foi verificada para o tempo de atendimento de 5 caixas escolhidos aleatoriamente. No teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, utilizou-se um nível de significância de 5% e o teste Qui-Quadrado foi aplicado para um nível de significância de 5% e 4 graus de liberdade.

Analisando os dados é aceitável a hipótese de que o tempo de chegada entre clientes siga uma distribuição de Poisson e o tempo de atendimento de clientes uma distribuição Exponencial.

A disciplina da fila segue o padrão FIFO (*first in- first out*).

Sendo assim, o modelo M/M/C (Poisson, Exponencial, c canais), da Teoria das Filas, foi aplicado ao problema real a fim de se obter o número de caixas para cada 30 minutos, levando-se em consideração o tempo médio de espera na fila e registrando ainda a probabilidade de erro.

Após a determinação do modelo de fila a ser adotado no problema real, deve-se calcular o número de caixas, ou seja, o número de canais operantes com a condição de que o tempo médio de espera na fila não seja maior que o estipulado.

Para resolver este problema de determinação do número de canais operantes, foram utilizadas as equações do modelo de fila escolhido.

Este cálculo trabalha com probabilidades e fornece dados sobre o modelo como: tempo médio de espera na fila, tempo médio gasto no sistema, tempo médio de ociosidade, número médio de clientes na fila e no sistema, etc.

4.3 DETERMINAÇÃO DOS HORÁRIOS DOS CAIXAS (FASE II)

Obtido o número necessário de caixas através da Teoria das Filas, procura-se a seguir o conjunto de horários que distribui os caixas de forma a se conseguir o número necessário de caixas para cada meia hora do período de trabalho.

Esta fase do problema é resolvida com um modelo de Programação Inteira, que procura a melhor distribuição de horários de forma a atender a quantidade de caixas já estipulado na Fase I com o mínimo de caixas abertos.

A empresa possui funcionários que podem abrir um caixa a qualquer hora do dia e permanecem no caixa por até 6 horas, que é o tempo máximo previsto em lei. Logo foi estipulado, juntamente com a empresa, tempos fixos de trabalho distribuídos em 2 horas, 3 horas, 4 horas ou 6 horas de trabalho.

O modelo definido com sua Função Objetivo e suas Restrições tem como notação:

- i: o tempo de duração do horário;
- j: o horário de início;
- S_k: o número de atendentes para cada meia hora;
- X_{ij}: o número de horários com duração i e iniciando no tempo j, necessariamente representada por números inteiros e não-negativos.

4.3.1 Função Objetivo

A função objetivo considerada no problema visa minimizar a quantidade de caixas , respeitando o número de caixas necessários a cada meia hora e não ultrapassando o número de caixas disponíveis.

Então a função objetivo ficará:

$$z = \sum X_{ij} \qquad (4.1)$$

4.3.2 Restrições

São três os conjuntos de restrições para este modelo:

- Restrições de atendentes estipulados para cada meia hora;
- Restrições do número de atendentes disponíveis no sistema;
- Restrições de integralidade da solução.

Os horários serão definidos pelo seu horário de início e tempo de duração (2 horas,3 horas, 4 horas ou 6 horas).

4.3.3 Restrições do número de caixas

Na Fase I, usando a Teoria das Filas, calcula-se o número de caixas que devem estar operando a cada meia hora. Como citado anteriormente, considerar-se à S_k com k = 1, 2, 3, ..., 24, sendo S_1 o número de caixas para o intervalo de 10:00h a 10:30h , S_2 o número de caixas para o intervalo de 10:30h a 11:00h e assim por diante.

O modelo terá então, a princípio, 24 restrições de número de caixas, como mostradas a seguir.

As variáveis X_{ij} são representadas de forma a identificarem o número de horas de trabalho e o horário de início, onde i é o número que será 2, 3, 4 ou 6 que indica o número de horas de trabalho e j é o número no formato 00:00 indicando o horário de início.

1) Restrições contendo os horários para os períodos de 10:00h a 22:00h com demanda S_k, com k =1, 2, 3, ..., 24.

Horário 10:00h a 10:30h

$X2_{10:00} + X3_{10:00} + X4_{10:00} + X6_{10:00} >= S_1$

Horário 10:30h a 11:00h

$X2_{10:00} + X2_{10:30} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X6_{10:00} + X6_{10:30} >= S_2$

Horário 11:00h a 11:30h

$X2_{10:00} + X2_{10:30} + X2_{11:00} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + X3_{11:00} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} >= S_3$

Horário 11:30h a 12:00h

$X2_{10:00} + X2_{10:30} + X2_{11:00} + X2_{11:30} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + X3_{11:00} + X3_{11:30} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X4_{11:30} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} >= S_4$

Horário 12:00h a 12:30h

$X2_{10:30} + X2_{11:00} + X2_{11:30} + X2_{12:00} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + X3_{11:00} + X3_{11:30} + X3_{12:00} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} >= S_5$

Horário 12:30h a 13:00h

$X2_{11:00} + X2_{11:30} + X2_{12:00} + X2_{12:30} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + X3_{11:00} + X3_{11:30} + X3_{12:00} + X3_{12:30} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} >= S_6$

Horário 13:00h a 13:30h

$X2_{11:30} + X2_{12:00} + X2_{12:30} + X2_{13:00} + X3_{10:30} + X3_{11:00} + X3_{11:30} + X3_{12:00} + X3_{12:30} + X3_{13:00} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30} + X4_{13:00} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} >= S_7$

Horário 13:30h a 14:00h

$X2_{12:00} + X2_{12:30} + X2_{13:00} + X2_{13:30} + X3_{11:00} + X3_{11:30} + X3_{12:00} + X3_{12:30} + X3_{13:00} + X3_{13:30} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30} + X4_{13:00} + X4_{13:30} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} >= S_8$

Horário 14:00h a 14:30h

$X2_{12:30} + X2_{13:00} + X2_{13:30} + X2_{14:00} + X3_{11:30} + X3_{12:00} + X3_{12:30} + X3_{13:00} + X3_{13:30} + X3_{14:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30} + X4_{13:00} + X4_{13:30} + X4_{14:00} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} >= S_9$

Horário 14:30h a 15:00h

$X2_{13:00} + X2_{13:30} + X2_{14:00} + X2_{14:30} + X3_{12:00} + X3_{12:30} + X3_{13:00} + X3_{13:30} + X3_{14:00} + X3_{14:30} + X4_{11:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30} + X4_{13:00} + X4_{13:30} + X4_{14:00} + X4_{14:30} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} >= S_{10}$

Horário 15:00h a 15:30h

$X2_{13:30} + X2_{14:00} + X2_{14:30} + X2_{15:00} + X3_{12:30} + X3_{13:00} + X3_{13:30} + X3_{14:00} + X3_{14:30} + X3_{15:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30} + X4_{13:00} + X4_{13:30} + X4_{14:00} + X4_{14:30} + X4_{15:00} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} >= S_{11}$

Horário 15:30h a 16:00h

$X2_{14:00} + X2_{14:30} + X2_{15:00} + X2_{15:30} + X3_{13:00} + X3_{13:30} + X3_{14:00} + X3_{14:30} + X3_{15:00} + X3_{15:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30} + X4_{13:00} + X4_{13:30} + X4_{14:00} + X4_{14:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} >= S_{12}$

Horário 16:00h a 16:30h

$X2_{14:30} + X2_{15:00} + X2_{15:30} + X2_{16:00} + X3_{13:30} + X3_{14:00} + X3_{14:30} + X3_{15:00} + X3_{15:30} + X3_{16:00} + X4_{12:30} + X4_{13:00} + X4_{13:30} + X4_{14:00} + X4_{14:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} + X4_{16:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{13}$

Horário 16:30h a 17:00h

$X2_{15:00} + X2_{15:30} + X2_{16:00} + X2_{16:30} + X3_{14:00} + X3_{14:30} + X3_{15:00} + X3_{15:30} + X3_{16:00} + X3_{16:30} + X4_{13:00} + X4_{13:30} + X4_{14:00} + X4_{14:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} +$

$X4_{16:00} + X4_{16:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{14}$

Horário 17:00h a 17:30h

$X2_{15:30} + X2_{16:00} + X2_{16:30} + X2_{17:00} + X3_{14:30} + X3_{15:00} + X3_{15:30} + X3_{16:00} + X3_{16:30} + X3_{17:00} + X4_{13:30} + X4_{14:00} + X4_{14:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} + X4_{16:00} + X4_{16:30} + X4_{17:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{15}$

Horário 17:30h a 18:00h

$X2_{16:00} + X2_{16:30} + X2_{17:00} + X2_{17:30} + X3_{15:00} + X3_{15:30} + X3_{16:00} + X3_{16:30} + X3_{17:00} + X3_{17:30} + X4_{14:00} + X4_{14:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} + X4_{16:00} + X4_{16:30} + X4_{17:00} + X4_{17:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{16}$

Horário 18:00h a 18:30h

$X2_{16:30} + X2_{17:00} + X2_{17:30} + X2_{18:00} + X3_{15:30} + X3_{16:00} + X3_{16:30} + X3_{17:00} + X3_{17:30} + X3_{18:00} + X4_{14:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} + X4_{16:00} + X4_{16:30} + X4_{17:00} + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{17}$

Horário 18:30h a 19:00h

$X2_{17:00} + X2_{17:30} + X2_{18:00} + X2_{18:30} + X3_{16:00} + X3_{16:30} + X3_{17:00} + X3_{17:30} + X3_{18:00} + X3_{18:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} + X4_{16:00} + X4_{16:30} + X4_{17:00} + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{18}$

Horário 19:00h a 19:30h

$X2_{17:30} + X2_{18:00} + X2_{18:30} + X2_{19:00} + X3_{16:30} + X3_{17:00} + X3_{17:30} + X3_{18:00} + X3_{18:30} + X3_{19:00} + X4_{15:30} + X4_{16:00} + X4_{16:30} + X4_{17:00} + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{19}$

Horário 19:30h a 20:00h

$X2_{18:00} + X2_{18:30} + X2_{19:00} + X2_{19:30} + X3_{17:00} + X3_{17:30} + X3_{18:00} + X3_{18:30} + X3_{19:00} + X4_{16:00} + X4_{16:30} + X4_{17:00} + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{20}$

Horário 20:00h a 20:30h

$X2_{18:30} + X2_{19:00} + X2_{19:30} + X2_{20:00} + X3_{17:30} + X3_{18:00} + X3_{18:30} + X3_{19:00} + X4_{16:30} + X4_{17:00} + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{21}$

Horário 20:30h a 21:00h

$X2_{19:00} + X2_{19:30} + X2_{20:00} + X3_{18:00} + X3_{18:30} + X3_{19:00} + X4_{17:00} + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{22}$

Horário 21:00h a 21:30h

$X2_{19:30} + X2_{20:00} + X3_{18:30} + X3_{19:00} + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} >= S_{23}$

Horário 21:30h a 22:00h

$X2_{20:00} + X3_{19:00} + X4_{18:00} + X6_{16:00} >= S_{24}$

4.3.4 Restrições de Capacidade e de Integralidade do Sistema

As Lojas Americanas S/A possui um número determinado de PDV's que podem encontrar-se em operação durante a abertura da loja para o atendimento ao público. Portanto, a soma de todas as variáveis que representam o número e o tipo de caixas não poderá ultrapassar o total disponível, representado por PDV_i. A restrição será:

$$X2_{10:00}+ X2_{10:30}+ X2_{11:00}+ X2_{11:30}+ X2_{12:00}+ X2_{12:30}+ X2_{13:00}+ X2_{13:30}+ X2_{14:00}+ X2_{14:30}+ X2_{15:00}+ X2_{15:30}+ X2_{16:00}+ X2_{16:30}+ X2_{17:00}+ X2_{17:30}+ X2_{18:00}+ X2_{18:30}+ X2_{19:00}+ X2_{19:30}+ X2_{20:00}+ X3_{10:00} + X3_{10:30} + X3_{11:00}+ X3_{11:30}+ X3_{12:00} + X3_{12:30}+ X3_{13:00}+ X3_{13:30}+ X3_{14:00}+ X3_{14:30}+ X3_{15:00}+ X3_{15:30}+ X3_{16:00} + X3_{16:30} + X3_{17:00} + X3_{17:30}+ X3_{18:00}+ X3_{18:30}+ X3_{19:00}+ X4_{10:00}+ X4_{10:30}+ X4_{11:00} + X4_{11:30} + X4_{12:00} + X4_{12:30}+ X4_{13:00}+ X4_{13:30}+ X4_{14:00}+X4_{14:30} + X4_{15:00} + X4_{15:30} + X4_{16:00}+ X4_{16:30} + X4_{17:00}+ X4_{17:30}+ X4_{18:00}+ X6_{10:00}+ X6_{10:30} + X6_{11:00} + X6_{11:30} + X6_{12:00} + X6_{12:30} + X6_{13:00} + X6_{13:30} + X6_{14:00} + X6_{14:30} + X6_{15:00} + X6_{15:30} + X6_{16:00} <= PDV_i$$

As restrições de integralidade do sistema, são $X_{i\,j}>= 0$

4.3.5 Modelo Matemático Final

Considerando-se a função objetivo, as restrições de demanda, de capacidade e de integralidade do sistema, obtém-se como modelo final:

Minimizar $z = \sum X_{ij}$

(4.2)

Sujeito à:

$$X2_{10:00}+ X3_{10:00} + X4_{10:00} + X6_{10:00}>=S_1$$

$X2_{10:00} + X2_{10:30} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X6_{10:00} + X6_{10:30} >= S_2$

$X2_{10:00} + X2_{10:30} + X2_{11:00} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + X3_{11:00} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + X4_{11:00} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + X6_{11:00} >= S_3$

$X2_{10:00} + ... + X2_{11:30} + X3_{10:00} + ... + X3_{11:30} + X4_{10:00} + ... + X4_{11:30} + X6_{10:00} + ... + X6_{11:30} >= S_4$

$X2_{10:30} + ... + X2_{12:00} + X3_{10:00} + ... + X3_{12:00} + X4_{10:00} + ... + X4_{12:00} + X6_{10:00} + ... + X6_{12:00} >= S_5$

....

$X2_{20:00} + X3_{19:00} + X4_{18:00} + X6_{16:00} >= S_{24}$

$X2_{10:00} + X2_{10:30} + ... + X2_{19:30} + X2_{20:00} + X3_{10:00} + X3_{10:30} + ... + X3_{18:30} + X3_{19:00} + X4_{10:00} + X4_{10:30} + ... + X4_{17:30} + X4_{18:00} + X6_{10:00} + X6_{10:30} + ... + X6_{15:30} + X6_{16:00} <= PDV_i$

$X_{ij} >= 0$ e X_{ij} inteiras

Os resultados da metodologia aplicada nesta fase para a primeira semana de estudos é representada em uma matriz tecnológica no Capítulo V.

CAPÍTULO V

5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO TRABALHO

A implementação computacional do trabalho foi desenvolvido para a resolução da primeira fase do problema.

O programa FilaMMc, versão 1.0, baseia-se no modelo de fila M/Mc e fornece o número otimizado de caixas operantes para o atendimento de forma que o cliente fique esperando na fila um tempo igual ou inferior ao estipulado como meta, exibindo ainda a probabilidade de erro. Foi desenvolvido na linguagem computacional Basic usando o programa Microsoft Visual Basic da Microsoft Corp. Versão 5.0.

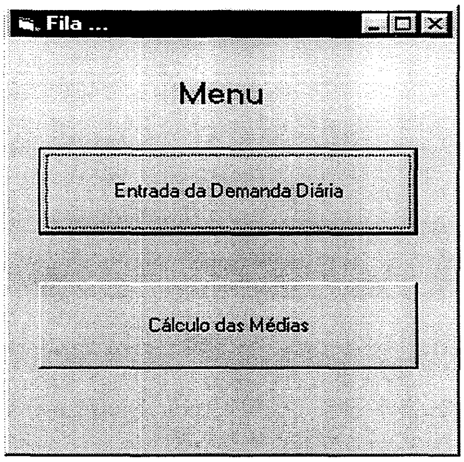
Este programa executa as seguintes tarefas:

a) Armazena num banco de dados, do aplicativo *Access da Microsoft Corp.*, as demandas diárias;
b) Calcula, para a previsão da demanda, a média aritmética das três últimas semanas;
c) Calcula o número otimizado de caixas tendo como restrição o tempo máximo de espera na fila.

A seguir será feito o detalhamento do funcionamento do programa FilaMMc 1.0. O código de programação encontra-se no Anexo 4.

O menu principal é mostrado na Figura 5.1.

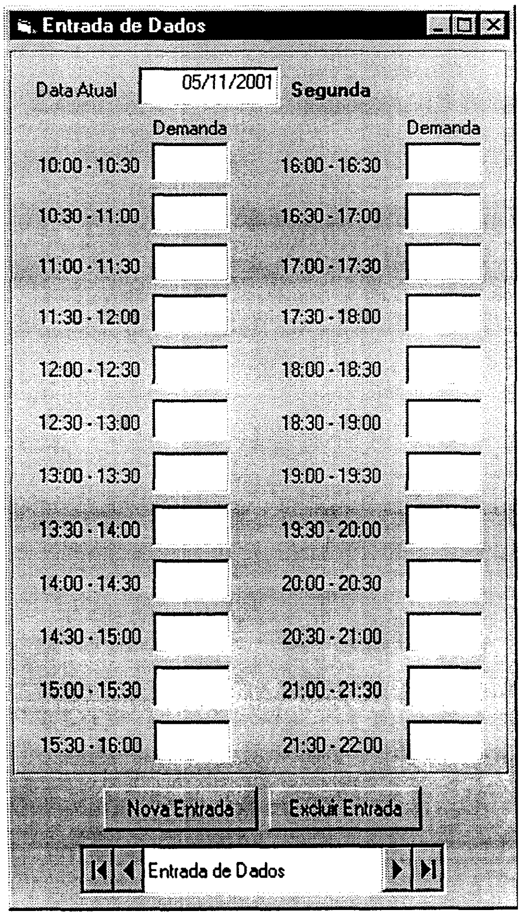
FIGURA 5.1- FILAMMC- MENU PRINCIPAL



5.1.1 Armazenamento de dados

Pressionando-se o botão "Entrada da Demanda Diária", aparece a janela mostrada na Figura 5.2.

FIGURA 5.2 - JANELA ENTRADA DE DADOS



Os campos que aparecem podem ser descritos a seguir:

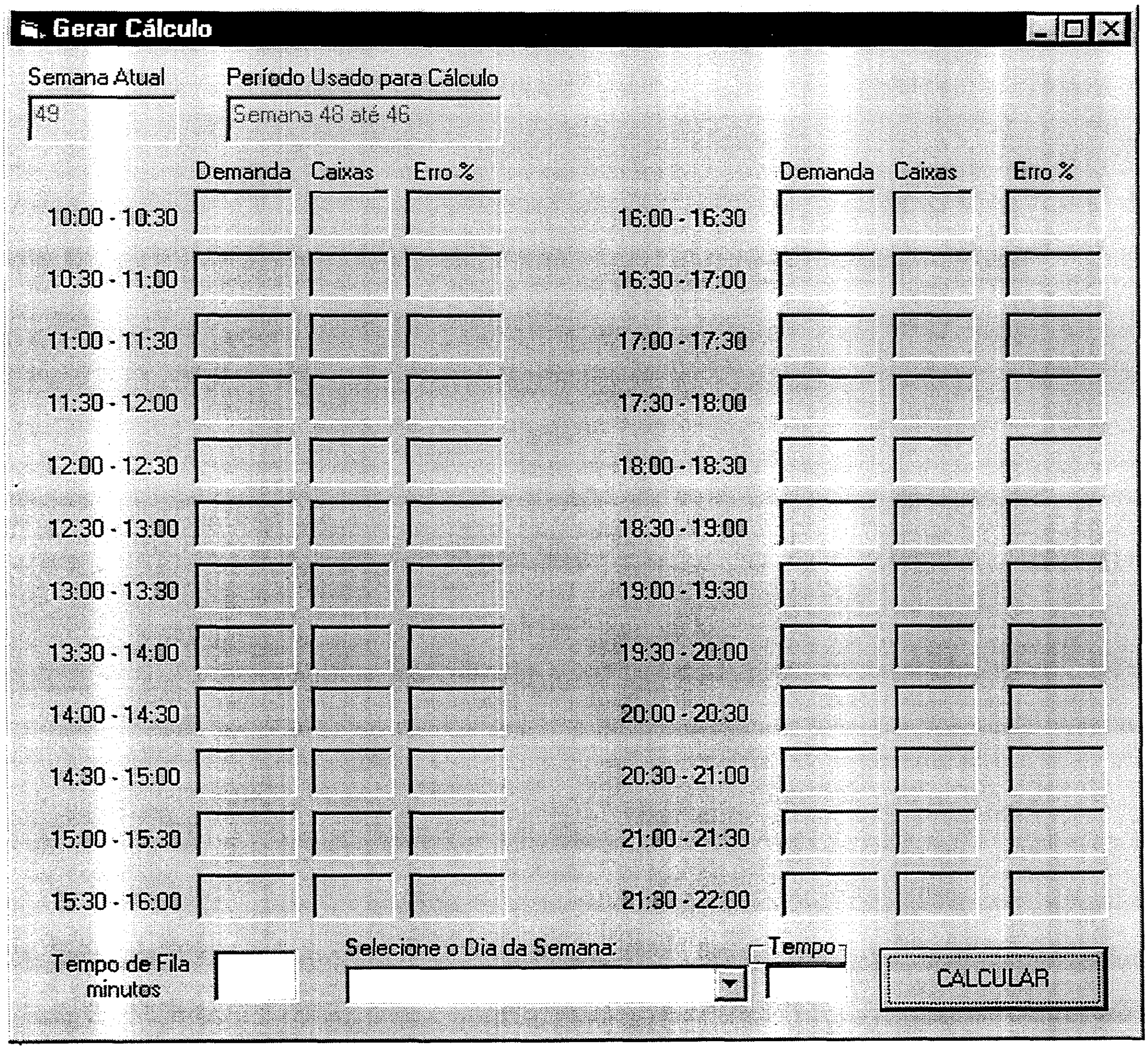
- Data atual: deve-se inserir a data da demanda e ao lado o programa confirma o dia semanal referente a data que está sendo inserida;
- Demanda: campo para inserir a demanda ocorrida a cada trinta minutos do período de atendimento;
- Nova entrada: permite inserir nova entrada da demanda de um dia que não esteja no banco de dados;
- Excluir entrada: permite excluir a demanda de qualquer dia armazenado;
- Entrada de dados: comando que permite selecionar e visualizar demandas já armazenadas.

Ao fechar a janela "Entrada de dados" o programa retorna para o menu principal exibido na figura 5.1.

5.1.2 Cálculo das médias (previsão) e do número otimizado de caixas

No menu principal, pressionando-se o comando "Cálculo das Médias", aparece a janela mostrada na Figura 5.3.

FIGURA 5.3- CÁLCULO DAS MÉDIAS



Os campos que aparecem podem ser descritos a seguir:

- Semana atual: indica para qual semana está sendo realizado os cálculos;
- Período usado para cálculo: indica as semanas utilizadas no cálculo da aritmética usada para a previsão da demanda;
- Demanda: mostra o resultado da média aritmética realizada com as três semanas anteriores à semana atual;
- Caixas: mostra o resultado do número otimizado de caixas necessários a cada trinta minutos;

- Erro %: estimativa percentual de que o tempo do cliente na fila de espera seja maior que o tempo estipulado pela loja;
- Tempo de fila (minutos): tempo máximo de espera do cliente na fila, estipulado pela loja;
- Selecione o dia da semana: permite selecionar o dia da semana atual a ser calculado;
- Tempo: após o término dos cálculos, este campo mostrará o tempo dispendido pelo programa.

O botão calcular inicia o programa.

Os passos no decorrer do programa são os seguintes:

a) Leitura dos dados no banco de dados do Access:

   Os dados para a demanda são fornecidos pelo banco de dados e carregados pelo programa.

b) Geração da previsão da demanda:

   Após o usuário selecionar o dia da semana para a otimização, o programa agrupa os dados fornecidos das três semanas anteriores à atual, da demanda do dia semanal selecionado, e realiza a média aritmética deste dados agrupados para cada meia hora. O resultado da média aritmética é utilizado para a previsão da demanda e é mostrado nos campos da demanda na janela exibida na Figura 5.3.

c) Cálculo do número de caixas:

   Como a média das durações dos atendimentos coletados foi de 51 segundos (ver 2.3.2), define-se μ, a taxa média do tempo de atendimento igual à 0,85 minutos.

   O parâmetro λ, média entre tempos de chegadas, é uma variável que assume um valor numérico a cada meia hora de acordo com a demanda. O objetivo é calcular c, o número de caixas operantes. Após μ e λ estarem definidos o programa inicialmente fornece um valor inteiro à variável c, tomando-se como restrição a condição de estabilidade do sistema (ver 3.4.4). Tendo-se o valor c, o objetivo passa a ser o cálculo do TF, tempo médio de espera na fila. O programa realiza estes cálculos na seguinte ordem:

- Probabilidade de haver 0 cliente no sistema, Po (ver equação 3.20);
- Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados, $P_{(ocupação\ total)}$ (ver equação 3.23);
- Número médio de clientes na fila, NF (ver equação 3.25);
- Tempo médio de espera na fila, TF (ver equação 3.26).

Após o término destes cálculos, o programa impõe a condição: se TF calculado for maior que o tempo médio de espera na fila estipulado pelo operador então refaça os cálculos tomando o c como sendo o valor inteiro anterior mais uma unidade. Quando obtém-se TF menor que o tempo médio de espera fila estipulado , o programa exibe o valor de c utilizado para o último cálculo. Em alguns casos ocorre do número de caixas calculado ser menor que três, então o programa exibe como resposta o valor c igual a três pois a loja pede que o número mínimo de caixas operantes seja este.

d) Cálculo do erro:

A probabilidade de que o tempo de espera na fila (W(t)) seja maior ou igual ao tempo médio de espera na fila apontado pelo programa é calculado e exibido de acordo com a equação 3.29.

5.1.3 Distribuição ótima do horário dos atendentes

A distribuição ótima do horário dos atendentes refere-se a resolução da segunda fase do problema.

Definido o número otimizado de caixas operantes para cada meia hora do tempo de atendimento da loja, pode-se otimizar um horário de acordo com o tempo de trabalho de cada funcionário.

Definiu-se com a empresa os tempos de serviço dos funcionários envolvidos e a partir destes dados calcula-se o horário otimizado. Estabeleceu-se o tempo de serviço de maneira a se ter funcionários que possam operar 3 horas, 4horas ou 6 horas sem descanso.

Esta fase do problema é resolvida através de um modelo de programação inteira . O modelo possui uma função objetivo (ver 4.4.1) e restrições (ver 4.3.2, 4.3.3 e 4.3.4).

Este modelo pode ser resolvido com pacotes computacionais, como por exemplo LINDO, QSB e outros.

A resolução do modelo indica um número de caixas maior ou igual ao número otimizado de caixas calculado na primeira fase do problema de maneira a utilizar-se do mínimo possível do efetivo disponível, vindo a minimizar os custos.

5.2 OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta parte do trabalho serão apresentados os resultados obtidos nas fases do problema.

5.2.1 Número otimizado de caixas para cada meia hora do período em estudo.

Para fazer o cálculo do número de atendentes necessários para cada meia hora do dia foram extraídos dentre as 7 (sete) semanas, o número de clientes atendidos a cada meia hora no período de abertura da loja. A cada 3 (três) semanas calculou-se a média aritmética para se obter a previsão para a próxima semana. Por exemplo: a média aritmética é calculada entre a primeira, segunda e terceira semana e obtém-se a previsão para a quarta semana. Obtivemos então 4 (quatro) semanas de previsão dentro do conjunto das 7 (sete) semanas em estudo.

A Tabela 5.1 mostra as previsões obtidas, através das médias de cada 3 (três) semanas, para as 4 (quatro) semanas.

TABELA 5.1 – PREVISÃO DO NÚMERO DE CLIENTES ATENDIDOS

continua

1ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 25/jun	TERÇA 26/jun	QUARTA 27/jun	QUINTA 28/jun	SEXTA 29/jun	SÁBADO 30/jun	DOMINGO 01/jul
10:00 10:30	103	99	92	104	106	99	—
10:30 11:00	113	99	116	130	146	140	—
11:00 11:30	113	162	156	148	190	148	—
11:30 12:00	121	152	129	164	176	140	—
12:00 12:30	99	120	126	130	156	152	—
12:30 13:00	87	112	126	117	140	172	—
13:00 13:30	215	100	112	111	132	178	116
13:30 14:00	97	108	126	126	131	210	123
14:00 14:30	77	125	147	134	153	193	139
14:30 15:00	104	152	157	147	166	202	148
15:00 15:30	96	149	135	139	169	222	151
15:30 16:00	85	128	132	129	168	211	160
16:00 16:30	108	126	132	140	168	208	145
16:30 17:00	165	142	146	141	165	210	151
17:00 17:30	94	126	135	131	156	183	131
17:30 18:00	106	114	119	123	132	165	104
18:00 18:30	106	104	114	126	122	150	74
18:30 19:00	116	93	96	110	125	136	49
19:00 19:30	156	75	94	100	122	126	33
19:30 20:00	88	83	87	100	118	104	31
20:00 20:30	167	56	51	69	89	92	—
20:30 21:00	91	41	36	42	55	42	—
21:00 21:30	87	31	31	39	41	34	—
21:30 22:00	45	24	26	25	32	25	—

2ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 02/jul	TERÇA 03/jul	QUARTA 04/jul	QUINTA 05/jul	SEXTA 06/jul	SÁBADO 07/jul	DOMINGO 08/jul
10:00 10:30	108	100	94	118	111	100	—
10:30 11:00	115	101	142	152	166	147	—
11:00 11:30	114	164	170	166	205	145	—
11:30 12:00	130	166	148	181	185	154	—
12:00 12:30	111	137	132	137	156	165	—
12:30 13:00	83	116	126	137	151	165	—
13:00 13:30	210	108	120	119	144	169	124
13:30 14:00	99	110	129	132	146	199	134
14:00 14:30	82	128	151	157	165	191	151
14:30 15:00	108	163	166	166	179	195	171
15:00 15:30	93	152	144	157	168	218	172
15:30 16:00	91	138	138	160	178	222	172
16:00 16:30	113	130	134	167	179	203	154
16:30 17:00	152	156	148	161	179	211	147

continua

2ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 02/jul	TERÇA 03/jul	QUARTA 04/jul	QUINTA 05/jul	SEXTA 06/jul	SÁBADO 07/jul	DOMINGO 08/jul
17:00 17:30	96	126	140	138	157	176	139
17:30 18:00	112	114	121	133	142	178	112
18:00 18:30	104	112	111	128	121	148	74
18:30 19:00	123	88	99	120	126	143	48
19:00 19:30	160	86	90	106	128	135	33
19:30 20:00	92	97	84	101	123	126	30
20:00 20:30	158	66	55	67	90	90	—
20:30 21:00	107	46	40	36	51	44	—
21:00 21:30	97	38	34	34	40	35	—
21:30 22:00	78	26	26	25	34	24	—

3ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 09/jul	TERÇA 10/jul	QUARTA 11/jul	QUINTA 12/jul	SEXTA 13/jul	SÁBADO 14/jul	DOMINGO 15/jul
10:00 10:30	112	102	111	116	118	112	—
10:30 11:00	118	130	168	187	180	175	—
11:00 11:30	113	179	178	191	208	183	—
11:30 12:00	137	173	154	178	188	184	—
12:00 12:30	108	141	135	153	158	184	—
12:30 13:00	75	116	130	143	159	164	—
13:00 13:30	217	121	122	138	155	179	118
13:30 14:00	98	114	139	151	153	180	134
14:00 14:30	76	134	152	179	162	200	162
14:30 15:00	99	173	157	181	172	195	172
15:00 15:30	86	162	159	171	174	216	183
15:30 16:00	97	147	149	171	189	213	170
16:00 16:30	118	142	142	180	185	200	158
16:30 17:00	132	160	145	176	183	210	146
17:00 17:30	96	129	146	156	163	192	128
17:30 18:00	112	121	126	151	136	186	107
18:00 18:30	101	114	127	133	134	161	68
18:30 19:00	128	88	102	114	130	148	50
19:00 19:30	170	89	93	98	125	145	36
19:30 20:00	97	93	89	99	125	134	32
20:00 20:30	159	67	54	64	89	90	—
20:30 21:00	119	47	43	33	52	47	—
21:00 21:30	110	36	38	31	38	37	—
21:30 22:00	101	28	27	23	33	24	—

4ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 16/jul	TERÇA 17/jul	QUARTA 18/jul	QUINTA 19/jul	SEXTA 20/jul	SÁBADO 21/jul	DOMINGO 22/jul
10:00 10:30	123	103	125	117	114	112	—
10:30 11:00	127	148	171	175	185	175	—
11:00 11:30	113	173	188	190	203	183	—

conclusão

4ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 16/jul	TERÇA 17/jul	QUARTA 18/jul	QUINTA 19/jul	SEXTA 20/jul	SÁBADO 21/jul	DOMINGO 22/jul
11:30 12:00	137	178	170	174	199	184	—
12:00 12:30	114	142	134	147	156	184	—
12:30 13:00	70	115	138	143	160	164	—
13:00 13:30	210	125	127	140	151	179	129
13:30 14:00	83	116	145	148	155	180	148
14:00 14:30	79	135	150	167	151	200	177
14:30 15:00	96	163	162	171	164	195	179
15:00 15:30	95	160	157	169	171	216	182
15:30 16:00	95	147	144	176	176	213	172
16:00 16:30	117	144	147	175	175	200	172
16:30 17:00	143	167	149	170	180	210	158
17:00 17:30	94	133	139	155	152	192	133
17:30 18:00	121	119	126	145	137	186	114
18:00 18:30	94	118	137	131	133	161	73
18:30 19:00	142	90	104	114	117	148	52
19:00 19:30	171	91	101	100	105	145	38
19:30 20:00	93	98	90	104	111	134	34
20:00 20:30	160	68	57	63	87	90	—
20:30 21:00	135	47	41	37	55	47	—
21:00 21:30	125	37	37	35	35	37	—
21:30 22:00	126	31	26	26	36	24	—

De posse das previsões, calculou-se o número otimizado de caixas abertos para o atendimento ao público a cada meia hora de maneira que o cliente não fique mais que o tempo estipulado na fila.

Como esse resultado precisa ser um número natural, quando o cálculo apontou um valor não natural mas real, então aceitou-se o próximo valor numérico natural.

A Tabela 5.2 mostra o resultado final com o número de caixas necessários de acordo com a previsão realizada.

TABELA 5.2 – NÚMERO DE CAIXAS OTIMIZADOS DE ACORDO COM A PREVISÃO

continua

1ª. SEMANA Horário	SEGUNDA 25/jun	TERÇA 26/jun	QUARTA 27/jun	QUINTA 28/jun	SEXTA 29/jun	SÁBADO 30/jun	DOMINGO 01/jul
10:00 10:30	5	4	4	5	5	4	—
10:30 11:00	5	4	5	6	6	6	—
11:00 11:30	5	7	7	6	8	6	—
11:30 12:00	5	7	6	7	7	6	—
12:00 12:30	4	5	6	6	7	7	—
12:30 13:00	4	5	6	5	6	7	—
13:00 13:30	9	5	5	5	6	8	5
13:30 14:00	4	5	6	6	6	9	5
14;00 14:30	4	5	6	6	7	8	6
14:30 15:00	5	7	7	6	7	8	6
15:00 15:30	4	6	6	6	7	9	6
15:30 16:00	4	6	6	6	7	9	7
16:00 16:30	5	6	6	6	7	9	6
16:30 17:00	7	6	6	6	7	9	6
17:00 17:30	4	6	6	6	7	8	6
17:30 18:00	5	5	5	5	6	7	5
18:00 18:30	5	5	5	6	5	6	3
18:30 19:00	5	4	4	5	5	6	3
19:00 19:30	7	4	4	5	5	6	3
19:30 20:00	4	4	4	5	5	5	3
20:00 20:30	7	3	3	3	3	4	—
20:30 21:00	4	3	3	3	3	3	—
21:00 21:30	4	3	3	3	3	3	—
21:30 22:00	3	3	3	3	3	3	—

2ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 02/jul	TERÇA 03/jul	QUARTA 04/jul	QUINTA 05/jul	SEXTA 06/jul	SÁBADO 07/jul	DOMINGO 08/jul
10:00 10:30	5	5	4	5	5	5	—
10:30 11:00	5	5	6	7	7	6	—
11:00 11:30	5	7	7	7	9	6	—
11:30 12:00	6	7	6	8	8	7	—
12:00 12:30	5	6	6	6	7	7	—
12:30 13:00	4	5	6	6	6	7	—
13:00 13:30	9	5	5	5	6	7	5
13:30 14:00	4	5	6	6	6	8	6
14:00 14:30	4	6	6	7	7	8	6
14:30 15:00	5	7	7	7	8	8	7
15:00 15:30	4	7	6	7	7	9	7
15:30 16:00	4	6	6	7	8	9	7
16:00 16:30	5	6	6	7	8	9	7
16:30 17:00	7	7	6	7	8	9	6
17:00 17:30	4	6	6	6	7	7	6

continua

2ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 02/jul	TERÇA 03/jul	QUARTA 04/jul	QUINTA 05/jul	SEXTA 06/jul	SÁBADO 07/jul	DOMINGO 08/jul
17:30 18:00	5	5	5	6	6	8	5
18:00 18:30	5	5	5	6	5	6	3
18:30 19:00	5	4	4	5	6	6	3
19:00 19:30	7	4	4	5	6	6	3
19:30 20:00	4	4	4	5	5	6	3
20:00 20:30	7	3	3	3	4	4	—
20:30 21:00	5	3	3	3	3	3	—
21:00 21:30	4	3	3	3	3	3	—
21:30 22:00	4	3	3	3	3	3	—

3ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 09/jul	TERÇA 10/jul	QUARTA 11/jul	QUINTA 12/jul	SEXTA 13/jul	SÁBADO 14/jul	DOMINGO 15/jul
10:00 10:30	5	5	5	5	5	5	—
10:30 11:00	5	6	7	8	8	7	—
11:00 11:30	5	8	8	8	9	8	—
11:30 12:00	6	7	7	8	8	8	—
12:00 12:30	5	6	6	7	7	8	—
12:30 13:00	4	5	6	6	7	7	—
13:00 13:30	9	5	5	6	7	8	5
13:30 14:00	4	5	6	6	7	8	6
14:00 14:30	4	6	7	8	7	8	7
14:30 15:00	4	7	7	8	7	8	7
15:00 15:30	4	7	7	7	7	9	8
15:30 16:00	4	6	6	7	8	9	7
16:00 16:30	5	6	6	8	8	8	7
16:30 17:00	6	7	6	7	8	9	6
17:00 17:30	4	6	6	7	7	8	6
17:30 18:00	5	5	6	6	6	8	5
18:00 18:30	5	5	6	6	6	7	3
18:30 19:00	6	4	5	5	6	6	3
19:00 19:30	7	4	4	4	5	6	3
19:30 20:00	4	4	4	4	5	6	3
20:00 20:30	7	3	3	3	4	4	—
20:30 21:00	5	3	3	3	3	3	—
21:00 21:30	5	3	3	3	3	3	—
21:30 22:00	5	3	3	3	3	3	—

4ª.SEMANA Horário	SEGUNDA 16/jul	TERÇA 17/jul	QUARTA 18/jul	QUINTA 19/jul	SEXTA 20/jul	SÁBADO 21/jul	DOMINGO 22/jul
10:00 10:30	5	5	5	5	5	5	—
10:30 11:00	6	6	7	7	8	7	—
11:00 11:30	5	7	8	8	9	8	—
11:30 12:00	6	8	7	7	8	8	—

conclusão

4ª.SEMANA	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO	DOMINGO
Horário	16/jul	17/jul	18/jul	19/jul	20/jul	21/jul	22/jul
12:00 12:30	5	6	6	6	7	8	—
12:30 13:00	3	5	6	6	7	7	—
13:00 13:30	9	5	6	6	6	8	6
13:30 14:00	4	5	6	6	7	8	6
14:00 14:30	4	6	6	7	6	8	7
14:30 15:00	4	7	7	7	7	8	8
15:00 15:30	4	7	7	7	7	9	8
15:30 16:00	4	6	6	7	7	9	7
16:00 16:30	5	6	6	7	7	8	7
16:30 17:00	6	7	6	7	8	9	7
17:00 17:30	4	6	6	7	7	8	6
17:30 18:00	5	5	6	6	6	8	5
18:00 18:30	4	5	6	6	6	7	3
18:30 19:00	6	4	5	5	5	6	3
19:00 19:30	7	4	5	5	5	6	3
19:30 20:00	4	4	4	5	5	6	3
20:00 20:30	7	3	3	3	4	4	—
20:30 21:00	6	3	3	3	3	3	—
21:00 21:30	5	3	3	3	3	3	—
21:30 22:00	6	3	3	3	3	3	—

5.2.2 Obtenção dos horários

As Lojas Americanas S/A possui 17 (dezessete) guichês que podem encontrar-se em operação durante a abertura da loja para o atendimento ao público. Portanto, a soma de todas as variáveis que representam o número e o tipo de caixas não poderá ultrapassar o total disponível.

A matriz tecnológica do modelo apresentado no Capítulo IV (ver 4.3.5) está representada na Figura 5.4. A determinação dos horários foi realizada para a primeira semana de estudos.

FIGURA 5.4 – MATRIZ TECNOLÓGICA DO MODELO PARA DETERMINAÇÃO DE HORÁRIOS

continua

SEGUNDA	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
X2					2	2	2	2				
X2						2	2	2	2			
X4	3	3	3	3	3	3	3	3				
X6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
X6										3	3	3
X6												1
X6												
Otimizado	5	5	5	5	7	9	9	9	4	5	5	6
Demanda	5	5	5	5	4	4	9	4	4	5	4	4

SEGUNDA	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30
X2												
X2												
X4												
X6												
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
X6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Otimizado	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	4	3
Demanda	5	7	4	5	5	5	7	4	7	4	4	3

TERÇA	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
X2			2	2	2	2						
X2												
X4			1	1	1	1	1	1	1	1		
X4										1	1	1
X6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
X6									1	1	1	1
X6												
Otimizado	4	4	7	7	7	7	5	5	6	7	6	6
Demanda	4	4	7	7	5	5	5	5	5	7	6	6

TERÇA	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30
X2												
X2	1	1	1	1								
X4												
X4	1	1	1	1	1							
X6												
X6	1	1	1	1	1	1	1	1				
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Otimizado	6	6	6	6	5	4	4	4	3	3	3	3
Demanda	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3

continua

QUARTA	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
X2	1	1	1	1								
X2			1	1	1	1						
X3			1	1	1	1	1	1				
X3										1	1	1
X6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
X6							1	1	1	1	1	1
X6									1	1	1	1
X6												
Otimizado	5	5	7	7	6	6	6	6	6	7	7	7
Demanda	4	5	7	6	6	6	5	6	6	7	6	6

QUARTA	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30
X2												
X2												
X3												
X3	1	1	1									
X6												
X6	1	1	1	1	1	1						
X6	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Otimizado	6	6	6	5	5	5	4	4	4	3	3	3
Demanda	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3

QUINTA	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
X2	1	1	1	1								
X2				1	1	1	1					
X4	1	1	1	1	1	1	1	1				
X4		1	1	1	1	1	1	1	1			
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
X6						1	1	1	1	1	1	1
X6									2	2	2	2
X6												
Otimizado	5	6	6	7	6	7	7	6	7	6	6	6
Demanda	5	6	6	7	6	5	5	6	6	6	6	6

QUINTA	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30
X2												
X2												
X4												
X4												
X6												
X6	1	1	1	1	1							
X6	2	2	2	2	2	2	2	2				
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Otimizado	6	6	6	6	6	5	5	5	3	3	3	3
Demanda	6	6	6	5	6	5	5	5	3	3	3	3

continua

SEXTA	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
X2	1	1	1	1								
X2			1	1	1	1						
X2												
X3										1	1	1
X4		1	1	1	1	1	1	1	1			
X4												
X6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
X6			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X6									1	1	1	1
X6												
Otimizado	5	6	8	8	7	7	6	6	7	7	7	7
Demanda	5	6	8	7	7	6	6	6	7	7	7	7

SEXTA	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30
X2												
X2												
X2			1	1	1	1						
X3	1	1	1									
X4												
X4	1	1	1	1	1	1	1	1				
X6												
X6	1	1										
X6	1	1	1	1	1	1	1	1				
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Otimizado	7	7	7	6	6	6	5	5	3	3	3	3
Demanda	7	7	7	6	5	5	5	5	3	3	3	3

SÁBADO	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
X2	1	1	1	1								
X4		2	2	2	2	2	2	2	2			
X4							1	1	1	1	1	1
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
X6				1	1	1	1	1	1	1	1	1
X6					1	1	1	1	1	1	1	1
X6								1	1	1	1	1
X6									1	1	1	1
X6										1	1	1
X6												
Otimizado	4	6	6	7	7	7	8	9	10	9	9	9
Demanda	4	6	6	6	7	7	8	9	8	8	9	9

SÁBADO	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30
X2												
X4												
X4	1	1										
X6												
X6	1	1	1									
X6	1	1	1	1								
X6	1	1	1	1	1	1	1					
X6	1	1	1	1	1	1	1	1				

conclusão

SÁBADO	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30
X6	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
X6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Otimizado	9	9	8	7	6	6	6	5	4	3	3	3
Demanda	9	9	8	7	6	6	6	5	4	3	3	3

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÃO

Este capítulo tem por objetivo fornecer a análise dos resultados apresentados pelo capítulo anterior, comparando as soluções encontradas para as duas fases do problema.

6.1 ÁNALISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

Entende-se como resultado o número otimizado de caixas, necessários para o atendimento dos clientes, seguindo a condição de um tempo de espera menor ou igual a um valor pré determinado.

Inicialmente compara-se os resultados obtidos com a previsão da demanda com os resultados reais. Os resultados, das duas situações, são computados através do modelo teórico que se utiliza da Teoria das Filas.

O estudo refere-se ao período de 4 (quatro) semanas. A Tabela 6.1 mostra os primeiros resultados obtidos.

TABELA 6.1 – NÚMERO PREVISTO DE CLIENTES X NÚMERO REAL DE CLIENTES

continua

1ªSEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	103	115	99	85	92	94	104	121
10:30 11:00	113	120	99	91	116	165	130	160
11:00 11:30	113	102	162	155	156	189	148	192
11:30 12:00	121	136	152	199	129	168	164	171
12:00 12:30	99	136	120	158	126	133	130	130
12:30 13:00	87	68	112	117	126	128	117	166
13:00 13:30	215	200	100	119	112	124	111	125
13:30 14:00	97	91	108	107	126	130	126	139
14:00 14:30	77	83	125	127	147	142	134	189
14:30 15:00	104	97	152	165	157	161	147	190
15:00 15:30	96	76	149	151	135	150	139	176

continua

1ªSEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
15:30 16:00	85	103	128	150	132	134	129	199
16:00 16:30	108	120	126	136	132	138	140	195
16:30 17:00	165	136	142	177	146	139	141	185
17:00 17:30	94	104	126	129	135	129	131	153
17:30 18:00	106	122	114	118	119	125	123	146
18:00 18:30	106	109	104	130	114	110	126	126
18:30 19:00	116	134	93	93	96	88	110	122
19:00 19:30	156	177	75	93	94	84	100	110
19:30 20:00	88	98	83	114	87	76	100	101
20:00 20:30	167	146	56	89	51	56	69	53
20:30 21:00	91	132	41	60	36	43	42	31
21:00 21:30	87	128	31	53	31	39	39	30
21:30 22:00	45	138	24	29	26	24	25	23

1ªSEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	106	109	99	97	—	—
10:30 11:00	146	175	140	153	—	—
11:00 11:30	190	191	148	143	—	—
11:30 12:00	176	192	140	139	—	—
12:00 12:30	156	141	152	181	—	—
12:30 13:00	140	173	172	144	—	—
13:00 13:30	132	148	178	181	116	153
13:30 14:00	131	148	210	187	123	169
14:00 14:30	153	163	193	193	139	199
14:30 15:00	166	181	202	201	148	224
15:00 15:30	169	160	222	214	151	224
15:30 16:00	168	181	211	237	160	194
16:00 16:30	168	180	208	189	145	202
16:30 17:00	165	194	210	212	151	167
17:00 17:30	156	139	183	166	131	146
17:30 18:00	132	133	165	172	104	106
18:00 18:30	122	131	150	143	74	59
18:30 19:00	125	113	136	133	49	46
19:00 19:30	122	116	126	130	33	33
19:30 20:00	118	105	104	117	31	29
20:00 20:30	89	78	92	72	—	—
20:30 21:00	55	50	42	51	—	—
21:00 21:30	41	38	34	36	—	—
21:30 22:00	32	36	25	22	—	—

continua

2ªSEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	108	130	100	109	94	147	118	112
10:30 11:00	115	124	101	184	142	185	152	217
11:00 11:30	114	120	164	187	170	177	166	224
11:30 12:00	130	145	166	142	148	151	181	166
12:00 12:30	111	89	137	137	132	141	137	171
12:30 13:00	83	75	116	120	126	141	137	131
13:00 13:30	210	250	108	135	120	118	119	168
13:30 14:00	99	76	110	113	129	143	132	178
14:00 14:30	82	77	128	144	151	153	157	172
14:30 15:00	108	81	163	171	166	145	166	169
15:00 15:30	93	93	152	176	144	186	157	179
15:30 16:00	91	99	138	142	138	155	160	169
16:00 16:30	113	117	130	150	134	151	167	177
16:30 17:00	152	107	156	155	148	158	161	177
17:00 17:30	96	82	126	134	140	147	138	181
17:30 18:00	112	117	114	129	121	127	133	162
18:00 18:30	104	81	112	100	111	154	128	137
18:30 19:00	123	131	88	86	99	99	120	102
19:00 19:30	160	162	86	97	90	98	106	86
19:30 20:00	92	98	97	84	84	98	101	110
20:00 20:30	158	166	66	67	55	56	67	61
20:30 21:00	107	137	46	47	40	42	36	31
21:00 21:30	97	128	38	30	34	39	34	28
21:30 22:00	78	127	26	31	26	29	25	19

2ªSEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	111	125	100	134	—	—
10:30 11:00	166	177	147	204	—	—
11:00 11:30	205	212	145	245	—	—
11:30 12:00	185	197	154	213	—	—
12:00 12:30	156	160	165	183	—	—
12:30 13:00	151	150	165	153	—	—
13:00 13:30	144	150	169	166	124	125
13:30 14:00	146	149	199	149	134	137
14:00 14:30	165	122	191	184	151	188
14:30 15:00	179	159	195	185	171	161
15:00 15:30	168	175	218	180	172	195
15:30 16:00	178	178	222	174	172	172
16:00 16:30	179	165	203	182	154	151
16:30 17:00	179	164	211	201	147	145
17:00 17:30	157	165	176	187	139	107
17:30 18:00	142	132	178	166	112	82

continua

2ªSEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
18:00 18:30	121	144	148	155	74	51
18:30 19:00	126	120	143	133	48	50
19:00 19:30	128	99	135	128	33	40
19:30 20:00	123	111	126	139	30	36
20:00 20:30	90	89	90	85	—	—
20:30 21:00	51	57	44	45	—	—
21:00 21:30	40	35	35	35	—	—
21:30 22:00	34	33	24	24	—	—

3ªSEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	112	125	102	116	111	133	116	117
10:30 11:00	118	138	130	170	168	164	187	149
11:00 11:30	113	116	179	178	178	199	191	154
11:30 12:00	137	130	173	192	154	190	178	186
12:00 12:30	108	116	141	130	135	127	153	140
12:30 13:00	75	66	116	108	130	144	143	133
13:00 13:30	217	180	121	121	122	140	138	127
13:30 14:00	98	83	114	128	139	161	151	128
14:00 14:30	76	78	134	134	152	154	179	141
14:30 15:00	99	109	173	152	157	181	181	155
15:00 15:30	86	115	162	152	159	134	171	152
15:30 16:00	97	84	147	150	149	142	171	160
16:00 16:30	118	115	142	146	142	151	180	153
16:30 17:00	132	185	160	168	145	150	176	149
17:00 17:30	96	96	129	135	146	141	156	131
17:30 18:00	112	124	121	109	126	126	151	126
18:00 18:30	101	93	114	124	127	148	133	129
18:30 19:00	128	160	88	92	102	124	114	119
19:00 19:30	170	174	89	84	93	122	98	104
19:30 20:00	97	82	93	95	89	97	99	101
20:00 20:30	159	167	67	48	54	60	64	74
20:30 21:00	119	135	47	35	43	37	33	49
21:00 21:30	110	119	36	28	38	33	31	46
21:30 22:00	101	113	28	33	27	25	23	36

3ªSEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	118	109	112	112	—	—
10:30 11:00	180	204	175	147	—	—
11:00 11:30	208	205	183	161	—	—
11:30 12:00	188	209	184	151	—	—
12:00 12:30	158	168	184	170	—	—

continua

3ªSEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
12:30 13:00	159	156	164	175	—	—
13:00 13:30	155	156	179	180	118	109
13:30 14:00	153	168	180	213	134	139
14:00 14:30	162	168	200	182	162	145
14:30 15:00	172	152	195	192	172	153
15:00 15:30	174	177	216	208	183	126
15:30 16:00	189	170	213	199	170	150
16:00 16:30	185	180	200	229	158	163
16:30 17:00	183	183	210	161	146	161
17:00 17:30	163	152	192	148	128	146
17:30 18:00	136	147	186	162	107	154
18:00 18:30	134	125	161	130	68	110
18:30 19:00	130	118	148	126	50	60
19:00 19:30	125	100	145	93	36	42
19:30 20:00	125	116	134	77	32	38
20:00 20:30	89	95	90	75	—	—
20:30 21:00	52	57	47	37	—	—
21:00 21:30	38	33	37	30	—	—
21:30 22:00	33	39	24	24	—	—

4ªSEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	123	100	103	107	125	125	117	116
10:30 11:00	127	118	148	181	171	162	175	177
11:00 11:30	113	103	173	228	188	200	190	191
11:30 12:00	137	130	178	180	170	156	174	178
12:00 12:30	114	100	142	116	134	127	147	150
12:30 13:00	70	84	115	130	138	127	143	143
13:00 13:30	210	200	125	136	127	129	140	138
13:30 14:00	83	87	116	147	145	128	148	151
14:00 14:30	79	86	135	139	150	150	167	177
14:30 15:00	96	103	163	176	162	167	171	175
15:00 15:30	95	97	160	155	157	154	169	171
15:30 16:00	95	89	147	166	144	140	176	171
16:00 16:30	117	103	144	162	147	128	175	175
16:30 17:00	143	203	167	153	149	149	170	176
17:00 17:30	94	84	133	133	139	145	155	156
17:30 18:00	121	112	119	136	126	129	145	151
18:00 18:30	94	104	118	107	137	126	131	133
18:30 19:00	142	125	90	98	104	102	114	114
19:00 19:30	171	163	91	78	101	77	100	98
19:30 20:00	93	96	98	96	90	74	104	99

conclusão

4ªSEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
20:00 20:30	160	163	68	39	57	39	63	64
20:30 21:00	135	111	47	37	41	30	37	43
21:00 21:30	125	100	37	35	37	29	35	41
21:30 22:00	126	81	31	34	26	25	26	33

4ªSEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	114	158	112	111	—	—
10:30 11:00	185	189	175	174	—	—
11:00 11:30	203	202	183	179	—	—
11:30 12:00	199	200	184	178	—	—
12:00 12:30	156	176	184	183	—	—
12:30 13:00	160	155	164	181	—	—
13:00 13:30	151	159	179	174	129	158
13:30 14:00	155	174	180	208	148	166
14:00 14:30	151	177	200	231	177	148
14:30 15:00	164	177	195	213	179	180
15:00 15:30	171	181	216	229	182	152
15:30 16:00	176	202	213	194	172	148
16:00 16:30	175	181	200	202	172	139
16:30 17:00	180	151	210	190	158	119
17:00 17:30	152	146	192	148	133	95
17:30 18:00	137	150	186	141	114	40
18:00 18:30	133	140	161	127	73	53
18:30 19:00	117	121	148	119	52	40
19:00 19:30	105	120	145	120	38	46
19:30 20:00	111	106	134	103	34	36
20:00 20:30	87	89	90	57	—	—
20:30 21:00	55	59	47	45	—	—
21:00 21:30	35	36	37	29	—	—
21:30 22:00	36	30	24	20	—	—

FONTE: Lojas Americanas S/A
NOTA: Sinal convencional utilizado:
— Demanda igual a zero, pois a loja está fechada neste horário.

A partir da demanda, estabelece-se o número ótimo de caixas, através da teoria das filas. A Tabela 6.2 compara os resultados obtidos com a demanda prevista e com a demanda real.

TABELA 6.2 – COMPARAÇÃO DO NÚMERO DE CAIXAS PREVISTO COM O NÚMERO DE CAIXAS REAL

1° SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00	10:30	5	5	4	4	4	4	5	5
10:30	11:00	5	5	4	4	5	7	6	7
11:00	11:30	5	5	7	7	7	8	6	8
11:30	12:00	5	6	7	8	6	7	7	7
12:00	12:30	4	6	5	7	6	6	6	6
12:30	13:00	4	3	5	5	6	6	5	7
13:00	13:30	9	8	5	5	5	5	5	5
13:30	14:00	4	4	5	5	6	6	6	6
14:00	14:30	4	4	5	6	6	6	6	8
14:30	15:00	5	4	7	7	7	7	6	8
15:00	15:30	4	4	6	6	6	6	6	7
15:30	16:00	4	5	6	6	6	6	6	8
16:00	16:30	5	5	6	6	6	6	6	8
16:30	17:00	7	6	6	7	6	6	6	8
17:00	17:30	4	5	6	6	6	6	6	7
17:30	18:00	5	5	5	5	5	5	5	6
18:00	18:30	5	5	5	6	5	5	6	6
18:30	19:00	5	6	4	4	4	4	5	5
19:00	19:30	7	7	4	4	4	4	5	5
19:30	20:00	4	4	4	5	4	4	5	5
20:00	20:30	7	6	3	4	3	3	3	3
20:30	21:00	4	6	3	3	3	3	3	3
21:00	21:30	4	6	3	3	3	3	3	3
21:30	22:00	3	6	3	3	3	3	3	3

1° SEMANA		SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário		Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00	10:30	5	5	4	4	—	—
10:30	11:00	6	7	6	7	—	—
11:00	11:30	8	8	6	6	—	—
11:30	12:00	7	8	6	6	—	—
12:00	12:30	7	6	7	8	—	—
12:30	13:00	6	7	7	6	—	—
13:00	13:30	6	6	8	8	5	7
13:30	14:00	6	6	9	8	5	7
14:00	14:30	7	7	8	8	6	8
14:30	15:00	7	8	8	8	6	9
15:00	15:30	7	7	9	9	6	9
15:30	16:00	7	8	9	10	7	8
16:00	16:30	7	8	9	8	6	8
16:30	17:00	7	8	9	9	6	7
17:00	17:30	7	6	8	7	6	6

continua

1º SEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
17:30 18:00	6	6	7	7	5	5
18:00 18:30	5	6	6	6	3	3
18:30 19:00	5	5	6	6	3	3
19:00 19:30	5	5	6	6	3	3
19:30 20:00	5	5	5	5	3	3
20:00 20:30	4	4	4	3	—	—
20:30 21:00	3	3	3	3	—	—
21:00 21:30	3	3	3	3	—	—
21:30 22:00	3	3	3	3	—	—

2º SEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	5	6	5	5	4	6	5	5
10:30 11:00	5	5	5	8	6	8	7	9
11:00 11:30	5	5	7	8	7	7	7	9
11:30 12:00	6	6	7	6	6	6	8	7
12:00 12:30	5	4	6	6	6	6	6	7
12:30 13:00	4	4	5	5	6	6	6	6
13:00 13:30	9	10	5	6	5	5	5	7
13:30 14:00	4	4	5	5	6	6	6	8
14:00 14:30	4	4	6	6	6	7	7	7
14:30 15:00	5	4	7	7	7	6	7	7
15:00 15:30	4	4	7	7	6	8	7	8
15:30 16:00	4	4	6	6	6	7	7	7
16:00 16:30	5	5	6	6	6	6	7	7
16:30 17:00	7	5	7	7	6	7	7	7
17:00 17:30	4	4	6	6	6	6	6	8
17:30 18:00	5	5	5	6	5	6	6	7
18:00 18:30	5	4	5	5	5	7	6	6
18:30 19:00	5	6	4	4	4	4	5	5
19:00 19:30	7	7	4	4	4	4	5	4
19:30 20:00	4	4	4	4	4	4	5	5
20:00 20:30	7	7	3	3	3	3	3	3
20:30 21:00	5	6	3	3	3	3	3	3
21:00 21:30	4	6	3	3	3	3	3	3
21:30 22:00	4	6	3	3	3	3	3	3

2º SEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	5	5	5	6	—	—
10:30 11:00	7	7	6	9	—	—
11:00 11:30	9	9	6	10	—	—
11:30 12:00	8	8	7	9	—	—

continua

2º SEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
12:00 12:30	7	7	7	8	—	—
12:30 13:00	6	6	7	7	—	—
13:00 13:30	6	6	7	7	5	5
13:30 14:00	6	6	8	6	6	6
14:00 14:30	7	5	8	8	6	8
14:30 15:00	8	7	8	8	7	7
15:00 15:30	7	7	9	8	7	8
15:30 16:00	8	8	9	7	7	7
16:00 16:30	8	7	9	8	7	6
16:30 17:00	8	7	9	8	6	6
17:00 17:30	7	7	7	8	6	5
17:30 18:00	6	6	8	7	5	4
18:00 18:30	5	6	6	7	3	3
18:30 19:00	6	5	6	6	3	3
19:00 19:30	6	4	6	6	3	3
19:30 20:00	5	5	6	6	3	3
20:00 20:30	4	4	4	4	—	—
20:30 21:00	3	3	3	3	—	—
21:00 21:30	3	3	3	3	—	—
21:30 22:00	3	3	3	3	—	—

3º SEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	5	5	5	5	5	6	5	5
10:30 11:00	5	6	6	7	7	7	8	6
11:00 11:30	5	5	8	8	8	8	8	7
11:30 12:00	6	6	7	8	7	8	8	8
12:00 12:30	5	5	6	6	6	6	7	6
12:30 13:00	4	3	5	5	6	6	6	6
13:00 13:30	9	8	5	5	5	6	6	6
13:30 14:00	4	4	5	6	6	7	6	6
14:00 14:30	4	4	6	6	7	7	8	6
14:30 15:00	4	5	7	7	7	8	8	7
15:00 15:30	4	5	7	7	7	6	7	7
15:30 16:00	4	4	6	6	6	6	7	7
16:00 16:30	5	5	6	6	6	6	8	7
16:30 17:00	6	8	7	7	6	6	7	6
17:00 17:30	4	4	6	6	6	6	7	6
17:30 18:00	5	5	5	5	6	6	6	6
18:00 18:30	5	4	5	5	6	6	6	6
18:30 19:00	6	7	4	4	5	5	5	5
19:00 19:30	7	7	4	4	4	5	4	5

continua

3° SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
19:30	20:00	4	4	4	4	4	4	4	5
20:00	20:30	7	7	3	3	3	3	3	3
20:30	21:00	5	6	3	3	3	3	3	3
21:00	21:30	5	5	3	3	3	3	3	3
21:30	22:00	5	5	3	3	3	3	3	3

3° SEMANA		SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário		Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00	10:30	5	5	5	5	—	—
10:30	11:00	8	9	7	6	—	—
11:00	11:30	9	9	8	7	—	—
11:30	12:00	8	9	8	6	—	—
12:00	12:30	7	7	8	7	—	—
12:30	13:00	7	7	7	7	—	—
13:00	13:30	7	7	8	8	5	5
13:30	14:00	7	7	8	9	6	6
14:00	14:30	7	7	8	8	7	6
14:30	15:00	7	7	8	8	7	7
15:00	15:30	7	7	9	9	8	6
15:30	16:00	8	7	9	8	7	6
16:00	16:30	8	8	8	10	7	7
16:30	17:00	8	8	9	7	6	7
17:00	17:30	7	7	8	6	6	6
17:30	18:00	6	6	8	7	5	7
18:00	18:30	6	5	7	6	3	5
18:30	19:00	6	5	6	6	3	3
19:00	19:30	5	5	6	4	3	3
19:30	20:00	5	5	6	4	3	3
20:00	20:30	4	4	4	4	—	—
20:30	21:00	3	3	3	3	—	—
21:00	21:30	3	3	3	3	—	—
21:30	22:00	3	3	3	3	—	—

4° SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00	10:30	5	5	5	5	5	5	5	5
10:30	11:00	6	5	6	8	7	7	7	7
11:00	11:30	5	5	7	9	8	8	8	8
11:30	12:00	6	6	8	8	7	7	7	8
12:00	12:30	5	5	6	5	6	6	6	6
12:30	13:00	3	4	5	6	6	6	6	6
13:00	13:30	9	8	5	6	6	6	6	6
13:30	14:00	4	4	5	6	6	6	6	6

conclusão

4º SEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
14:00 14:30	4	4	6	6	6	6	7	7
14:30 15:00	4	5	7	7	7	7	7	7
15:00 15:30	4	4	7	7	7	7	7	7
15:30 16:00	4	4	6	7	6	6	7	7
16:00 16:30	5	5	6	7	6	6	7	7
16:30 17:00	6	9	7	7	6	6	7	7
17:00 17:30	4	4	6	6	6	6	7	7
17:30 18:00	5	5	5	6	6	6	6	6
18:00 18:30	4	5	5	5	6	6	6	6
18:30 19:00	6	5	4	4	5	5	5	5
19:00 19:30	7	7	4	4	5	4	5	4
19:30 20:00	4	4	4	4	4	3	5	4
20:00 20:30	7	7	3	3	3	3	3	3
20:30 21:00	6	5	3	3	3	3	3	3
21:00 21:30	5	5	3	3	3	3	3	3
21:30 22:00	6	4	3	3	3	3	3	3

4º SEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Previsão	Real	Previsão	Real	Previsão	Real
10:00 10:30	5	7	5	5	—	—
10:30 11:00	8	8	7	7	—	—
11:00 11:30	9	8	8	8	—	—
11:30 12:00	8	8	8	8	—	—
12:00 12:30	7	7	8	8	—	—
12:30 13:00	7	7	7	8	—	—
13:00 13:30	6	7	8	7	6	7
13:30 14:00	7	7	8	9	6	7
14:00 14:30	6	7	8	9	7	6
14:30 15:00	7	7	8	9	8	8
15:00 15:30	7	8	9	10	8	7
15:30 16:00	7	8	9	8	7	6
16:00 16:30	7	8	8	8	7	6
16:30 17:00	8	6	9	8	7	5
17:00 17:30	7	6	8	6	6	4
17:30 18:00	6	6	8	6	5	3
18:00 18:30	6	6	7	6	3	3
18:30 19:00	5	5	6	5	3	3
19:00 19:30	5	5	6	5	3	3
19:30 20:00	5	5	6	5	3	3
20:00 20:30	4	4	4	3	—	—
20:30 21:00	3	3	3	3	—	—
21:00 21:30	3	3	3	3	—	—
21:30 22:00	3	3	3	3	—	—

Pode-se observar os resultados de duas formas: quanto à otimização dos caixas e quanto o cumprimento do compromisso em atender o cliente em um tempo pré determinado.

Na primeira semana de estudos, utilizando-se a previsão e realizando os cálculos através da teoria das filas, obteve-se 67% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 72% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Na segunda semana de estudos, obteve-se 68% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 80% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Na terceira semana de estudos, obteve-se 67% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 87% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Na quarta semana de estudos, obteve-se 67% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 84% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

No conjunto, obteve-se uma média de 67% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 81% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Na Tabela 6.3 observa-se uma comparação entre os resultados do AGIFILA, atual sistema adotado pela loja, com a demanda real.

TABELA 6.3 – AGIFILA x REAL

1° SEMANA	SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00 10:30	4	5	9	4	4	4	6	5
10:30 11:00	4	5	4	4	6	7	6	7
11:00 11:30	6	5	6	7	5	8	5	8
11:30 12:00	7	6	7	8	7	7	6	7
12:00 12:30	5	6	7	7	6	6	5	6
12:30 13:00	8	3	5	5	6	6	6	7
13:00 13:30	5	8	5	5	6	5	5	5
13:30 14:00	7	4	5	5	6	6	6	6
14:00 14:30	6	4	5	6	6	6	7	8
14:30 15:00	6	4	7	7	6	7	8	8
15:00 15:30	6	4	6	6	7	6	8	7
15:30 16:00	7	5	6	6	7	6	8	8
16:00 16:30	6	5	5	6	9	6	8	8
16:30 17:00	6	6	6	7	7	6	8	8
17:00 17:30	7	5	6	6	7	6	8	7
17:30 18:00	5	5	6	5	6	5	6	6
18:00 18:30	5	5	6	6	6	5	6	6
18:30 19:00	5	6	6	4	5	4	6	5
19:00 19:30	5	7	5	4	5	4	7	5
19:30 20:00	4	4	5	5	4	4	7	5

continua

1º SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
20:00	20:30	5	6	5	4	4	3	5	3
20:30	21:00	4	6	4	3	4	3	4	3
21:00	21:30	4	6	5	3	4	3	4	3
21:30	22:00	3	6	4	3	4	3	3	3

1º SEMANA		SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00	10:30	5	5	6	4	—	—
10:30	11:00	6	7	6	7	—	—
11:00	11:30	7	8	6	6	—	—
11:30	12:00	7	8	6	6	—	—
12:00	12:30	7	6	7	8	—	—
12:30	13:00	7	7	6	6	—	—
13:00	13:30	6	6	8	8	7	7
13:30	14:00	6	6	8	8	7	7
14:00	14:30	6	7	8	8	8	8
14:30	15:00	7	8	8	8	8	9
15:00	15:30	7	7	8	9	9	9
15:30	16:00	8	8	9	10	9	8
16:00	16:30	8	8	9	8	9	8
16:30	17:00	8	8	9	9	10	7
17:00	17:30	7	6	8	7	8	6
17:30	18:00	7	6	8	7	6	5
18:00	18:30	7	6	6	6	4	3
18:30	19:00	6	5	6	6	4	3
19:00	19:30	6	5	6	6	3	3
19:30	20:00	5	5	6	5	3	3
20:00	20:30	5	4	4	3	—	—
20:30	21:00	4	3	4	3	—	—
21:00	21:30	4	3	3	3	—	—
21:30	22:00	3	3	3	3	—	—

2º SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00	10:30	4	6	6	5	7	6	7	5
10:30	11:00	5	5	7	8	7	8	8	9
11:00	11:30	7	5	7	8	7	7	9	9
11:30	12:00	7	6	7	6	6	6	8	7
12:00	12:30	6	4	7	6	6	6	8	7
12:30	13:00	7	4	7	5	6	6	7	6
13:00	13:30	5	10	7	6	6	5	7	7
13:30	14:00	7	4	7	5	6	6	7	8
14:00	14:30	7	4	7	6	6	7	7	7

continua

2º SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
14:30	15:00	7	4	7	7	6	6	7	7
15:00	15:30	7	4	7	7	7	8	7	8
15:30	16:00	7	4	6	6	7	7	7	7
16:00	16:30	6	5	6	6	7	6	7	7
16:30	17:00	6	5	6	7	7	7	7	7
17:00	17:30	6	4	6	6	7	6	7	8
17:30	18:00	5	5	6	6	7	6	7	7
18:00	18:30	5	4	6	5	7	7	7	6
18:30	19:00	6	6	5	4	5	4	6	5
19:00	19:30	5	7	4	4	5	4	6	4
19:30	20:00	4	4	4	4	4	4	5	5
20:00	20:30	4	7	4	3	4	3	5	3
20:30	21:00	4	6	3	3	4	3	4	3
21:00	21:30	3	6	3	3	4	3	4	3
21:30	22:00	3	6	3	3	3	3	3	3

2º SEMANA		SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00	10:30	5	5	6	6	—	—
10:30	11:00	5	7	6	9	—	—
11:00	11:30	8	9	9	10	—	—
11:30	12:00	8	8	9	9	—	—
12:00	12:30	8	7	8	8	—	—
12:30	13:00	6	6	8	7	—	—
13:00	13:30	6	6	7	7	5	5
13:30	14:00	6	6	7	6	5	6
14:00	14:30	6	5	8	8	7	8
14:30	15:00	7	7	8	8	7	7
15:00	15:30	7	7	8	8	7	8
15:30	16:00	7	8	8	7	7	7
16:00	16:30	7	7	8	8	7	6
16:30	17:00	7	7	8	8	6	6
17:00	17:30	7	7	8	8	5	5
17:30	18:00	7	6	8	7	5	4
18:00	18:30	7	6	8	7	4	3
18:30	19:00	7	5	7	6	4	3
19:00	19:30	5	4	7	6	4	3
19:30	20:00	4	5	6	6	4	3
20:00	20:30	4	4	6	4	—	—
20:30	21:00	4	3	5	3	—	—
21:00	21:30	3	3	5	3	—	—
21:30	22:00	3	3	3	3	—	—

continua

3º SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00	10:30	4	5	5	5	6	6	5	5
10:30	11:00	5	6	6	7	6	7	5	6
11:00	11:30	6	5	8	8	7	8	7	7
11:30	12:00	7	6	8	8	7	8	7	8
12:00	12:30	7	5	7	6	8	6	6	6
12:30	13:00	7	3	5	5	7	6	6	6
13:00	13:30	6	8	5	5	7	6	6	6
13:30	14:00	5	4	6	6	7	7	6	6
14:00	14:30	5	4	6	6	7	7	6	6
14:30	15:00	6	5	6	7	8	8	6	7
15:00	15:30	6	5	7	7	8	6	7	7
15:30	16:00	6	4	7	6	6	6	7	7
16:00	16:30	6	5	7	6	6	6	7	7
16:30	17:00	6	8	7	7	6	6	7	6
17:00	17:30	7	4	7	6	6	6	7	6
17:30	18:00	7	5	5	5	6	6	7	6
18:00	18:30	6	4	5	5	6	6	8	6
18:30	19:00	5	7	5	4	6	5	8	5
19:00	19:30	5	7	5	4	5	5	5	5
19:30	20:00	5	4	4	4	5	4	5	5
20:00	20:30	4	7	4	3	5	3	5	3
20:30	21:00	4	6	4	3	4	3	4	3
21:00	21:30	4	5	4	3	3	3	4	3
21:30	22:00	3	5	3	3	3	3	4	3

3º SEMANA		SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00	10:30	5	5	5	5	—	—
10:30	11:00	6	9	5	6	—	—
11:00	11:30	6	9	7	7	—	—
11:30	12:00	7	9	7	6	—	—
12:00	12:30	6	7	7	7	—	—
12:30	13:00	6	7	7	7	—	—
13:00	13:30	6	7	7	8	6	5
13:30	14:00	6	7	8	9	7	6
14:00	14:30	6	7	8	8	7	6
14:30	15:00	6	7	8	8	8	7
15:00	15:30	7	7	8	9	7	6
15:30	16:00	7	7	8	8	6	6
16:00	16:30	7	8	10	10	6	7
16:30	17:00	7	8	8	7	6	7
17:00	17:30	6	7	6	6	6	6
17:30	18:00	6	6	6	7	7	7

continua

3º SEMANA		SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
18:00	18:30	6	5	6	6	7	5
18:30	19:00	6	5	6	6	5	3
19:00	19:30	5	5	6	4	5	3
19:30	20:00	5	5	5	4	4	3
20:00	20:30	5	4	5	4	—	—
20:30	21:00	5	3	5	3	—	—
21:00	21:30	4	3	4	3	—	—
21:30	22:00	3	3	3	3	—	—

4º SEMANA		SEGUNDA		TERÇA		QUARTA		QUINTA	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00	10:30	5	5	5	5	5	5	5	5
10:30	11:00	6	5	7	8	7	7	8	7
11:00	11:30	7	5	8	9	7	8	8	8
11:30	12:00	7	6	8	8	7	7	8	8
12:00	12:30	5	5	8	5	7	6	7	6
12:30	13:00	6	4	7	6	6	6	7	6
13:00	13:30	6	8	7	6	6	6	7	6
13:30	14:00	6	4	7	6	6	6	7	6
14:00	14:30	6	4	7	6	6	6	7	7
14:30	15:00	6	5	7	7	7	7	7	7
15:00	15:30	6	4	7	7	7	7	7	7
15:30	16:00	6	4	7	7	7	6	7	7
16:00	16:30	6	5	7	7	7	6	7	7
16:30	17:00	7	9	7	7	7	6	7	7
17:00	17:30	7	4	7	6	6	6	7	7
17:30	18:00	7	5	7	6	6	6	7	6
18:00	18:30	5	5	6	5	6	6	7	6
18:30	19:00	5	5	6	4	6	5	6	5
19:00	19:30	5	7	5	4	5	4	5	4
19:30	20:00	4	4	5	4	5	3	5	4
20:00	20:30	4	7	4	3	4	3	4	3
20:30	21:00	4	5	3	3	4	3	3	3
21:00	21:30	3	5	3	3	3	3	3	3
21:30	22:00	3	4	3	3	3	3	3	3

4º SEMANA		SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário		Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
10:00	10:30	9	7	8	5	—	—
10:30	11:00	8	8	8	7	—	—
11:00	11:30	8	8	8	8	—	—
11:30	12:00	8	8	8	8	—	—
12:00	12:30	8	7	8	8	—	—

conclusão

4° SEMANA	SEXTA		SÁBADO		DOMINGO	
Horário	Agifila	Real	Agifila	Real	Agifila	Real
12:30 13:00	7	7	8	8	—	—
13:00 13:30	7	7	8	7	7	7
13:30 14:00	7	7	8	9	7	7
14:00 14:30	7	7	10	9	7	6
14:30 15:00	7	7	10	9	7	8
15:00 15:30	7	8	10	10	7	7
15:30 16:00	7	8	9	8	7	6
16:00 16:30	8	8	8	8	6	6
16:30 17:00	8	6	9	8	6	5
17:00 17:30	8	6	9	6	5	4
17:30 18:00	8	6	7	6	5	3
18:00 18:30	6	6	6	6	4	3
18:30 19:00	6	5	6	5	7	3
19:00 19:30	6	5	6	5	4	3
19:30 20:00	8	5	5	5	4	3
20:00 20:30	5	4	5	3	—	—
20:30 21:00	5	3	4	3	—	—
21:00 21:30	3	3	4	3	—	—
21:30 22:00	3	3	4	3	—	—

Observa-se os resultados quanto à otimização dos caixas e quanto o cumprimento do compromisso em atender o cliente em um tempo pré determinado.

Na primeira semana , utilizando-se a previsão e realizando os cálculos através da teoria das filas, obteve-se 44% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 72% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Na segunda semana , obteve-se 48% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 89% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Na terceira semana , obteve-se 46% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 88% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Na quarta semana , obteve-se 48% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 85% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

Obteve-se uma média de 46,5% de acerto no que se refere à otimização de caixas e 89% dos períodos os clientes ficaram na fila de espera um tempo menor ou igual ao tempo estipulado.

A Tabela 6.4 mostra os resultados obtidos utilizando-se a previsão da demanda e o AGIFILA.

TABELA 6.4 – PREVISÃO X AGIFILA

PERÍODO	OTIMIZAÇÃO		ATENDIMENTO	
	Previsão	Agifila	Previsão	Agifila
1°.Semana	67%	44%	72%	89%
2°.Semana	68%	48%	80%	88%
3°.Semana	67%	46%	87%	85%
4°.Semana	67%	48%	84%	89%

Em todas as semanas os resultados obtidos através da previsão da demanda foram melhores que os fornecidos pelo sistema AGIFILA. Quanto ao compromisso de atender os clientes em tempo menor que o estipulado, observa-se pequenas diferenças entre os modelos que não fornecem margens para a decisão do mais eficiente.

Após a resolução das fases do problema conclui-se que as técnicas de Pesquisa Operacional utilizadas podem também contribuir para a melhoria com relação ao planejamento e designação dos horários e das atividades dos funcionários.

A solução encontrada com o uso da Teoria de Filas poderá dar à empresa uma economia de aproximadamente 9,89% com relação a quantidade de funcionários caixas utilizados.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

Com o propósito de aprimorar os resultados obtidos por este trabalho, são propostas a seguir, algumas sugestões para novos trabalhos:

a) utilizar técnicas de simulação, com pacotes de programação, para resolver o problema;
b) aperfeiçoar o programa FilaMMc, programando a otimização de horários;
c) testar outras formas de previsão para a demanda;
d) fazer uma análise de correlação entre a duração do atendimento e o horário da prestação do serviço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R.B.; FRICKER, S.J., **The flow of scheduled air traffic**, Technical Reports nº. 198 e nº. 199, Massachusetts, 1975.

BARBOZA, A.O., **Aplicação de algumas técnicas da pesquisa operacional na otimização de horários de atendentes em central telefônica**. Curitiba, 2000. 130 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná.

BRONSON.R, **Pesquisa operacional**, São Paulo ,SP. Ed. McGraw-Hill ,1985

COOPER, L. C., **An investigation into the number of spaces needed for a hotel taxi stand**. ITE Digital Library: 1997 edition.ITE Journal, PP. 53- 54, Jan. 1987.

DANTAS C.A.B.; RODRIGUES F. W.,**Tópicos de processos estocásticos**, IMPA Rio de Janeiro RJ,1977.

DANTZIG,G.B., **Linear programming and extensions**, Princenton University Press, Princenton, New Jersey, 1963.

GASKINS, W. (1989) **Campus traffic and parking**. (CD ROM),ITE Digital Library: 1997 edition. ITE Journal , pp. 33 – 36 , Jul. 1989.

GROSS, D.;HARRIS,C.M., **Fundamentals of queueing theory**, John Wiley & Sons, New York,1974.

HOWARD, R.A., **Dynamic probabilistic systems.** Vol. 1 Markov Model, John Wiley & Sons, INC., 1971

KARLIN S.; McGREGOR J., Many server queueing processes with Poisson input and exponential service times, Pacific J. Math.,*8*:87-118,1958

KEMENY , J.G.; SNELL, J.L., **Finite Markov Chains**, Van Nostrand Reinhold Company, 1960

LUNA,M.S., **Aplicação da teoria das filas no cálculo do número de vagas para carga e descarga de mercadorias: um estudo de caso**, São Carlos SP, 1999, Dissertação de Mestrado.

MACHADO, A.L.S.; MENDES, JR. R. , **Simulação em tráfego em um retorno com influência de semáforos**, Santos SP, XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, SOBRAPO , Anais 2000.

PEGDEN, C.D.; SHANNON,R.E.; SADOWSKI,R.P.,**Introduction to simulation using SIMAN**, 2nd ed., Blacklick , McGraw-Hill, 1995.

ROSS, Sheldon M.,**Introduction to probability models**, 6th ed, San Diego, Academic Ress, 1997.

RUGGERO, A.F.; GORYS J.M.L. (1989) **Hotel parking demand analysis: city of North York, Ontario, Canada**. (CD ROM),ITE Digital Library: 1997 edition. ITE Journal , pp. 31 – 36 , Set. 1989.

SHAMBLIN, G. T.; STEVENS, Jr., **Pesquisa operacional**, Editora Atlas, 1989.

SIEMENS,C.R.,**Teoria do tráfego telefônico.Tabelas e gráficos**, São Paulo, Editora E. Blucher Ltda, 1975.

TAYLOR; HOWARD M., and KARLIN, SAMUEL, **An Introduction to stochastic modeling**, Academic PRESS, California, 1994.

ZIONTS, S., **Linear and interger programming**, Ed. Prentice-Hall International series in management, 1974, p. 50-73.

ANEXO 1–NÚMERO DE CLIENTES ATENDIDOS A CADA 30 MINUTOS-MAI/JUL – 2001

continua

SEGUNDA		28/5	4/6	18/6	25/6	2/7	9/7	16/7
10:00	10:30	100	118	90	115	130	125	100
10:30	11:00	112	116	110	120	124	138	118
11:00	11:30	99	124	117	102	120	116	103
11:30	12:00	107	126	129	136	145	130	130
12:00	12:30	99	97	100	136	89	116	100
12:30	13:00	81	97	83	68	75	66	84
13:00	13:30	215	230	201	200	250	180	200
13:30	14:00	83	80	127	91	76	83	87
14:00	14:30	66	95	69	83	77	78	86
14:30	15:00	86	107	119	97	81	109	103
15:00	15:30	84	115	88	76	93	115	97
15:30	16:00	87	79	90	103	99	84	89
16:00	16:30	106	102	117	120	117	115	103
16:30	17:00	175	167	154	136	107	185	203
17:00	17:30	96	84	101	104	82	96	84
17:30	18:00	102	117	98	122	117	124	112
18:00	18:30	115	90	114	109	81	93	104
18:30	19:00	115	114	120	134	131	160	125
19:00	19:30	166	132	170	177	162	174	163
19:30	20:00	85	83	96	98	98	82	96
20:00	20:30	174	164	164	146	166	167	163
20:30	21:00	85	101	87	132	137	135	111
21:00	21:30	96	90	74	128	128	119	100
21:30	22:00	39	57	39	138	127	113	81

TERÇA		29/5	5/6	19/6	26/6	3/7	10/7	17/7
10:00	10:30	84	103	111	85	109	116	107
10:30	11:00	85	98	115	91	184	170	181
11:00	11:30	150	143	194	155	187	178	228
11:30	12:00	159	120	178	199	142	192	180
12:00	12:30	106	126	127	158	137	130	116
12:30	13:00	105	120	112	117	120	108	130
13:00	13:30	94	97	108	119	135	121	136
13:30	14:00	99	103	121	107	113	128	147
14:00	14:30	118	124	132	127	144	134	139
14:30	15:00	130	141	184	165	171	152	176
15:00	15:30	142	145	159	151	176	152	155
15:30	16:00	120	115	150	150	142	150	166
16:00	16:30	125	112	141	136	150	146	162
16:30	17:00	137	142	148	177	155	168	153
17:00	17:30	130	126	123	129	134	135	133
17:30	18:00	117	109	116	118	129	109	136

continua

TERÇA		29/5	5/6	19/6	26/06	3/07	10/7	17/7
18:00	18:30	106	93	113	130	100	124	107
18:30	19:00	107	85	86	93	86	92	98
19:00	19:30	61	89	76	93	97	84	78
19:30	20:00	72	96	80	114	84	95	96
20:00	20:30	59	64	44	89	67	48	39
20:30	21:00	43	45	34	60	47	35	37
21:00	21:30	33	35	26	53	30	28	35
21:30	22:00	23	25	24	29	31	33	34

QUARTA		30/5	6/6	20/6	27/6	4/7	11/7	18/7
10:00	10:30	89	95	93	94	147	133	125
10:30	11:00	87	106	154	165	185	164	162
11:00	11:30	147	155	167	189	177	199	200
11:30	12:00	111	132	144	168	151	190	156
12:00	12:30	115	130	132	133	141	127	127
12:30	13:00	128	129	120	128	141	144	127
13:00	13:30	102	112	123	124	118	140	129
13:30	14:00	121	115	143	130	143	161	128
14:00	14:30	131	150	160	142	153	154	150
14:30	15:00	134	174	164	161	145	181	167
15:00	15:30	121	141	142	150	186	134	154
15:30	16:00	118	121	158	134	155	142	140
16:00	16:30	132	128	137	138	151	151	128
16:30	17:00	132	168	137	139	158	150	149
17:00	17:30	115	128	163	129	147	141	145
17:30	18:00	119	112	126	125	127	126	129
18:00	18:30	119	104	118	110	154	148	126
18:30	19:00	81	89	119	88	99	124	102
19:00	19:30	95	91	96	84	98	122	77
19:30	20:00	86	82	93	76	98	97	74
20:00	20:30	45	59	50	56	56	60	39
20:30	21:00	31	35	43	43	42	37	30
21:00	21:30	30	27	35	39	39	33	29
21:30	22:00	25	25	29	24	29	25	25

QUINTA		31/5	7/6	21/6	28/6	5/7	12/7	19/7
10:00	10:30	79	118	115	121	112	117	116
10:30	11:00	93	113	184	160	217	149	177
11:00	11:30	136	150	157	192	224	154	191
11:30	12:00	119	176	196	171	166	186	178
12:00	12:30	110	121	159	130	171	140	150
12:30	13:00	106	114	132	166	131	133	143
13:00	13:30	101	111	121	125	168	127	138

continua

QUINTA		31/5	7/6	21/6	28/6	5/7	12/7	19/7
13:30	14:00	121	119	137	139	178	128	151
14:00	14:30	122	105	176	189	172	141	177
14:30	15:00	132	126	183	190	169	155	175
15:00	15:30	122	137	159	176	179	152	171
15:30	16:00	107	137	144	199	169	160	171
16:00	16:30	114	138	167	195	177	153	175
16:30	17:00	126	132	165	185	177	149	176
17:00	17:30	132	128	134	153	181	131	156
17:30	18:00	118	108	144	146	162	126	151
18:00	18:30	120	122	135	126	137	129	133
18:30	19:00	93	121	117	122	102	119	114
19:00	19:30	93	110	98	110	86	104	98
19:30	20:00	98	115	86	101	110	101	99
20:00	20:30	60	71	77	53	61	74	64
20:30	21:00	49	40	37	31	31	49	43
21:00	21:30	45	36	36	30	28	46	41
21:30	22:00	23	25	27	23	19	36	33

SEXTA		1/6	8/6	22/6	29/6	6/7	13/7	20/7
10:00	10:30	94	104	120	109	125	109	158
10:30	11:00	117	135	187	175	177	204	189
11:00	11:30	147	201	222	191	212	205	202
11:30	12:00	163	188	176	192	197	209	200
12:00	12:30	143	153	173	141	160	168	176
12:30	13:00	140	127	154	173	150	156	155
13:00	13:30	113	117	167	148	150	156	159
13:30	14:00	104	127	162	148	149	168	174
14:00	14:30	127	130	201	163	122	168	177
14:30	15:00	142	180	177	181	159	152	177
15:00	15:30	162	156	188	160	175	177	181
15:30	16:00	150	145	209	181	178	170	202
16:00	16:30	148	145	211	180	165	180	181
16:30	17:00	154	152	190	194	164	183	151
17:00	17:30	134	147	186	139	165	152	146
17:30	18:00	103	152	142	133	132	147	150
18:00	18:30	134	106	127	131	144	125	140
18:30	19:00	110	108	157	113	120	118	121
19:00	19:30	97	107	161	116	99	100	120
19:30	20:00	90	105	160	105	111	116	106
20:00	20:30	77	90	101	78	89	95	89
20:30	21:00	64	52	50	50	57	57	59
21:00	21:30	42	41	40	38	35	33	36
21:30	22:00	30	35	31	36	33	39	30

conclusão

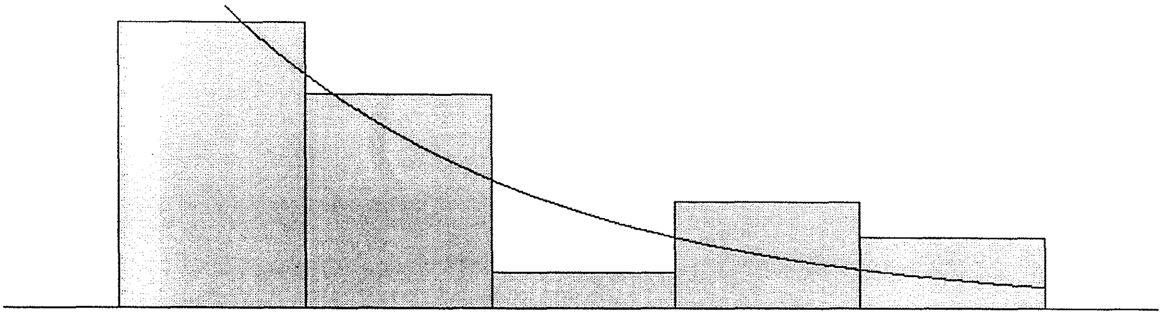
SÁBADO		2/6	9/6	23/6	30/6	7/7	14/7	21/7
10:00	10:30	94	99	105	97	134	112	111
10:30	11:00	130	121	168	153	204	147	174
11:00	11:30	153	131	160	143	245	161	179
11:30	12:00	97	123	200	139	213	151	178
12:00	12:30	143	127	187	181	183	170	183
12:30	13:00	164	155	196	144	153	175	181
13:00	13:30	207	138	189	181	166	180	174
13:30	14:00	218	207	204	187	149	213	208
14:00	14:30	199	158	222	193	184	182	231
14:30	15:00	221	184	200	201	185	192	213
15:00	15:30	225	186	255	214	180	208	229
15:30	16:00	205	202	227	237	174	199	194
16:00	16:30	204	190	230	189	182	229	202
16:30	17:00	207	205	217	212	201	161	190
17:00	17:30	187	139	222	166	187	148	148
17:30	18:00	135	142	219	172	166	162	141
18:00	18:30	149	115	185	143	155	130	127
18:30	19:00	111	119	178	133	133	126	119
19:00	19:30	101	99	177	130	128	93	120
19:30	20:00	52	116	145	117	139	77	103
20:00	20:30	80	83	114	72	85	75	57
20:30	21:00	45	35	46	51	45	37	45
21:00	21:30	31	30	40	36	35	30	29
21:30	22:00	26	25	25	22	24	24	20

DOMINGO		3/6	10/6	24/6	1/7	8/7	15/7	22/7
13:00	13:30	129	141	77	153	125	109	158
13:30	14:00	134	137	97	169	137	139	166
14:00	14:30	163	153	100	199	188	145	148
14:30	15:00	156	158	131	224	161	153	180
15:00	15:30	162	162	129	224	195	126	152
15:30	16:00	159	177	144	194	172	150	148
16:00	16:30	174	141	120	202	151	163	139
16:30	17:00	177	149	126	167	145	161	119
17:00	17:30	121	140	132	146	107	146	95
17:30	18:00	83	97	133	106	82	154	40
18:00	18:30	60	70	93	59	51	110	53
18:30	19:00	47	44	55	46	50	60	40
19:00	19:30	35	31	34	33	40	42	46
19:30	20:00	32	30	30	29	36	38	36

FONTE: Lojas Americanas S/A.

ANEXO 2 – RESULTADOS DO *INPUT ANALYSER* PARA A DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DO TEMPO DE ATENDIMENTO

- Caixa 1



Distribution Summary

Distribution: Exponential
Expression: 9 + EXPO(36.8)
Square Error:0.021486

Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = 0
Test Statistic = 0.551
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.146
Corresponding p-value > 0.15

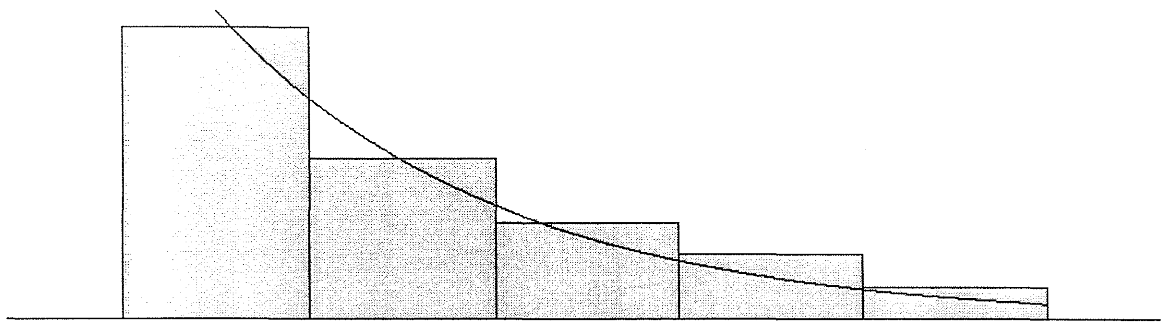
Data Summary

Number of Data Points = 20
Min Data Value = 9
Max Data Value = 118
Sample Mean = 45.8
Sample Std Dev = 31.4

Histogram Summary

Histogram Range = 9 to 118
Number of Intervals= 5

- Caixa 2



Distribution Summary

Distribution: Exponential
Expression: 9 + EXPO(42.5)
Square Error: 0.003111

Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = 0
Test Statistic = 0.29
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.098
Corresponding p-value > 0.15

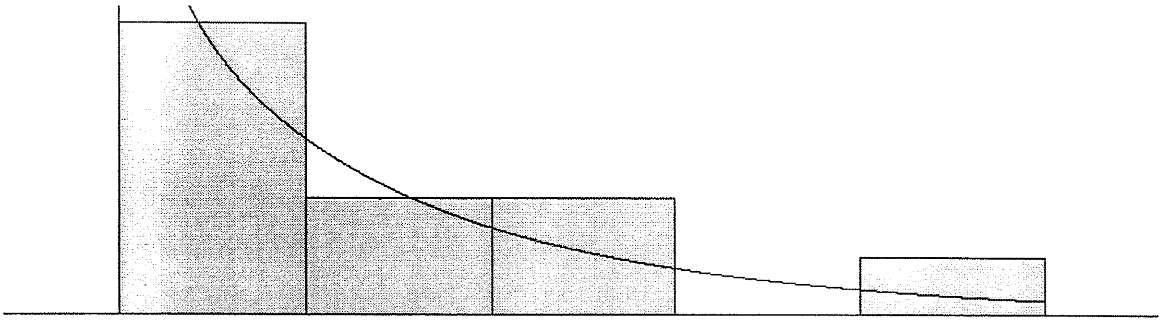
Data Summary

Number of Data Points = 20
Min Data Value = 9
Max Data Value = 150
Sample Mean = 51.5
Sample Std Dev = 39.8

Histogram Summary

Histogram Range = 9 to 150
Number of Intervals= 5

- Caixa 3



Distribution Summary

Distribution: Gamma
Expression: 10 + GAMM(74.1, 0.751)
Square Error:0.016338

Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = -1
Test Statistic = 0.674
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.265
Corresponding p-value = 0.0996

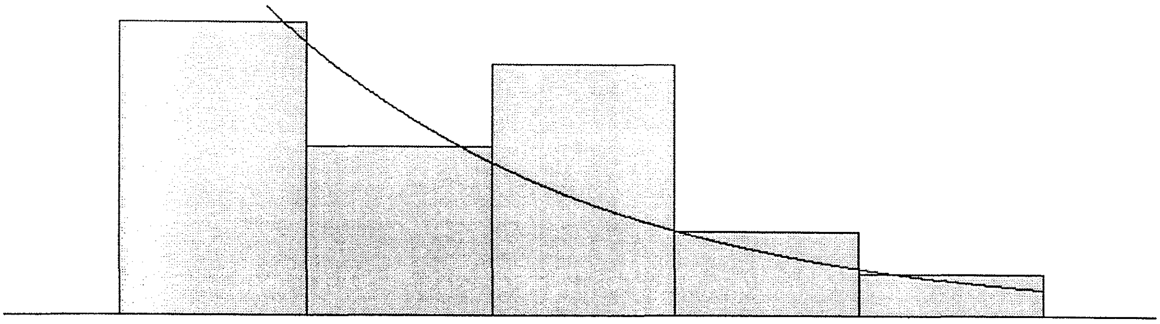
Data Summary

Number of Data Points = 20
Min Data Value = 10
Max Data Value = 204
Sample Mean = 65.7
Sample Std Dev = 50.7

Histogram Summary

Histogram Range = 10 to 204
Number of Intervals= 5

- Caixa 4



Distribution Summary

Distribution: Exponential
Expression: 9.5 + EXPO(34.3)
Square Error: 0.037549

Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = 0
Test Statistic = 1.92
Corresponding p-value < 0.005

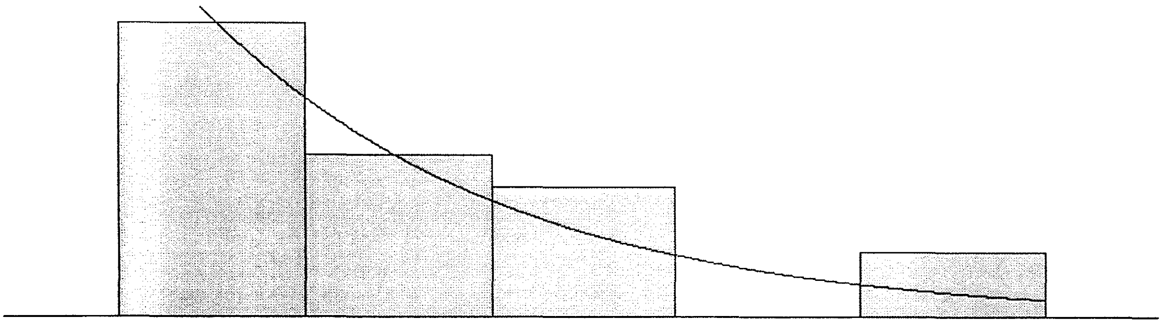
Data Summary

Number of Data Points = 20
Min Data Value = 10
Max Data Value = 109
Sample Mean = 43.8
Sample Std Dev = 27.9

Histogram Summary

Histogram Range = 9.5 to 110
Number of Intervals= 5

- Caixa 5



Distribution Summary

Distribution: Exponential
Expression: 10 + EXPO(36.7)
Square Error: 0.013637

Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = 0
Test Statistic = 0.397
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.217
Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

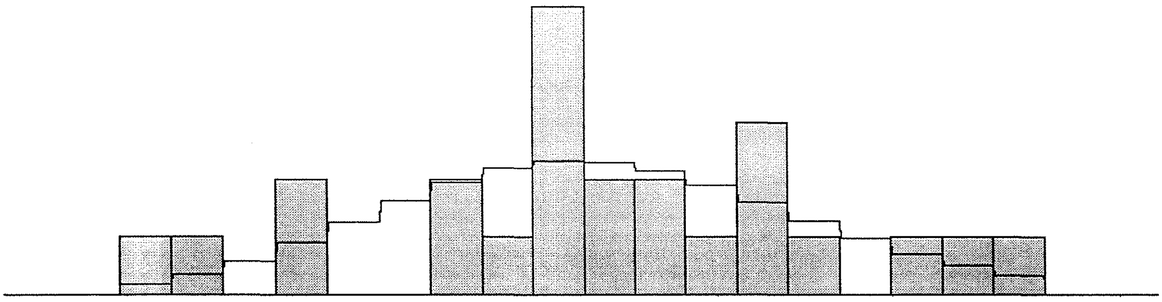
Number of Data Points = 20
Min Data Value = 10
Max Data Value = 125
Sample Mean = 46.7
Sample Std Dev = 31.6

Histogram Summary

Histogram Range = 10 to 125
Number of Intervals = 5

ANEXO 3 – RESULTADOS DO *INPUT ANALYSER* PARA A DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DO TEMPO ENTRE CHEGADAS

- Segunda-feira



Distribution Summary

Distribution: Poisson
Expression: POIS(16.8)
Square Error: 0.034427

Chi Square Test
Number of intervals = 3
Degrees of freedom = 0
Test Statistic = 0.0451
Corresponding p-value < 0.005

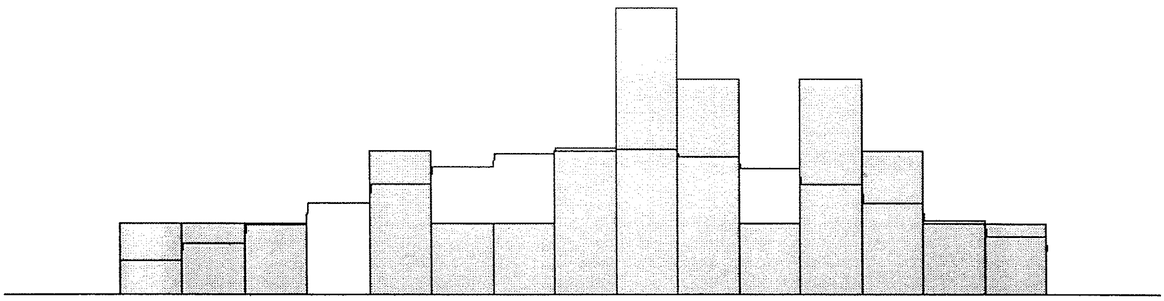
Data Summary

Number of Data Points = 24
Min Data Value = 8
Max Data Value = 25
Sample Mean = 16.8
Sample Std Dev = 4.38

Histogram Summary

Histogram Range = 7.5 to 25.5
Number of Intervals = 18

- Terça-feira



Distribution Summary

Distribution: Poisson
Expression: POIS(21.9)
Square Error: 0.020413

Chi Square Test
Number of intervals = 3
Degrees of freedom = 0
Test Statistic = 0.029
Corresponding p-value < 0.005

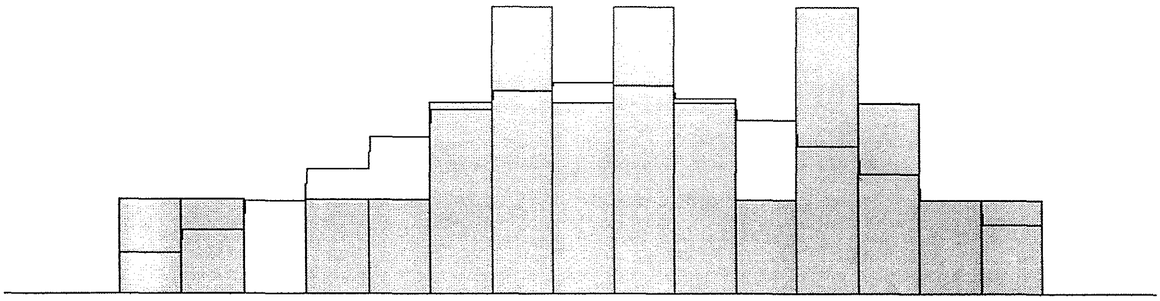
Data Summary

Number of Data Points = 24
Min Data Value = 10
Max Data Value = 31
Sample Mean = 21.9
Sample Std Dev = 3.75

Histogram Summary

Histogram Range = 13.5 to 28.5
Number of Intervals = 15

- Quarta-feira



Distribution Summary

Distribution: Poisson
Expression: POIS(18.8)
Square Error: 0.011170

Chi Square Test
Number of intervals = 3
Degrees of freedom = 1
Test Statistic = 0.06
Corresponding p-value < 0.005

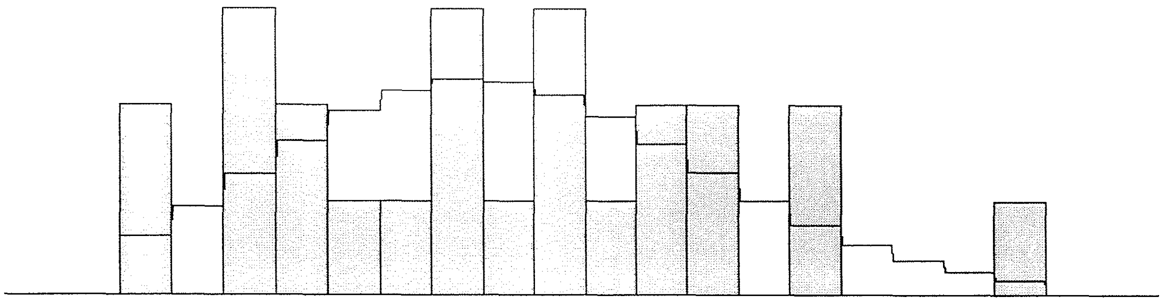
Data Summary

Number of Data Points = 24
Min Data Value = 11
Max Data Value = 27
Sample Mean = 18.8
Sample Std Dev = 3.67

Histogram Summary

Histogram Range = 10.5 to 25.5
Number of Intervals = 15

- Quinta-feira



Distribution Summary

Distribution: Poisson
Expression: POIS(17.8)
Square Error: 0.025384

Chi Square Test
Number of intervals = 4
Degrees of freedom = 2
Test Statistic = 0.044
Corresponding p-value < 0.005

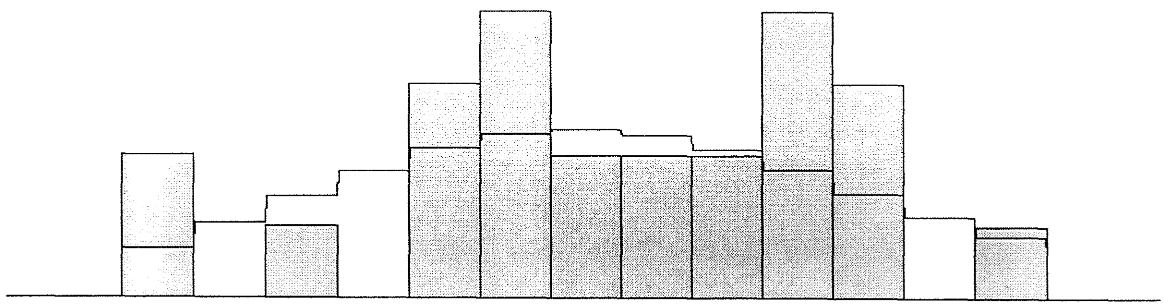
Data Summary

Number of Data Points = 24
Min Data Value = 8
Max Data Value = 24
Sample Mean = 17.8
Sample Std Dev = 4.42

Histogram Summary

Histogram Range = 10.5 to 28.5
Number of Intervals = 18

- Sexta-feira



Distribution Summary

Distribution: Poisson
Expression: POIS(16.4)
Square Error: 0.029666

Chi Square Test
Number of intervals = 3
Degrees of freedom = 1
Test Statistic = 0.018
Corresponding p-value < 0.005

Data Summary

Number of Data Points = 24
Min Data Value = 10
Max Data Value = 22
Sample Mean = 16.4
Sample Std Dev = 3.16

Histogram Summary

Histogram Range = 9.5 to 22.5
Number of Intervals = 13

- Sábado

Distribution Summary

Distribution: Poisson
Expression: POIS(19.8)
Square Error: 0.039235

Chi Square Test
Number of intervals = 4
Degrees of freedom = 2
Test Statistic = 2.42
Corresponding p-value = 0.314

Data Summary

Number of Data Points = 24
Min Data Value = 13
Max Data Value = 29
Sample Mean = 19.8
Sample Std Dev = 4.55

Histogram Summary

Histogram Range = 12.5 to 29.5
Number of Intervals = 17

Number of Data Points = 24
Min Data Value = 11
Max Data Value = 27
Sample Mean = 18.7
Sample Std Dev = 4.07

ANEXO 4 - PROGRAMA

MENU PRINCIPAL

```
Private Sub Command1_Click()
  F_EntradaDados.Show 1
End Sub

Private Sub Command2_Click()
  F_Calculo.Show 1
End Sub
```

ENTRADA DE DADOS

```
Private Sub MaskEdBox1_Change()

End Sub

Private Sub MaskEdBox1_LostFocus()
End Sub

Private Sub Bot_Excluir_Click()
  'NOVA ENTRADA DE DADOS ...
  If Me.Entrada.Recordset.EditMode = vbAddNew Then
    Me.Entrada.Recordset.Update
  End If
  PnEntrada.BackColor = &H808080
  PnEntrada.Enabled = False

  Me.Entrada.Recordset.Delete
  EdDataAtua.PromptInclude = False
  Me.Entrada.Refresh
  Exit Sub
End Sub

Private Sub Bot_Novo_Click()
  'NOVA ENTRADA DE DADOS ...
  If Me.Entrada.Recordset.EditMode = vbAddNew Then
    Me.Entrada.Recordset.Update
  End If
  Me.Entrada.Recordset.AddNew
  If Not EdDataAtua.PromptInclude Then
    EdDataAtua.PromptInclude = True
  End If
  PnEntrada.BackColor = &HC0C0C0
  PnEntrada.Enabled = True
  EdDataAtua.SetFocus
End Sub
```

```
Private Sub EdDataAtua_LostFocus()

If IsDate(EdDataAtua.Text) Then
   EdDia_Semana.Text = WeekDay(EdDataAtua.Text)
   EdSemana.Text = Format(EdDataAtua.Text, "ww")
   Select Case WeekDay(EdDataAtua.Text)
   Case 1
   lbSemana.Caption = "Domingo"
   Case 2
   lbSemana.Caption = "Segunda"
   Case 3
   lbSemana.Caption = "Terça"
   Case 4
   lbSemana.Caption = "Quarta"
   Case 5
   lbSemana.Caption = "Quinta"
   Case 6
   lbSemana.Caption = "Sexta"
   Case 7
   lbSemana.Caption = "Sábado"
   End Select
End If
End Sub

Private Sub Entrada_Reposition()
   EdDataAtua.PromptInclude = False
   PnEntrada.BackColor = &H808080
   PnEntrada.Enabled = False
End Sub

Private Sub Form_Load()
   Me.Entrada.DatabaseName = App.Path & "\Banco.mdb"
End Sub

'CALCULO DAS MÉDIAS E DO NR OTIMIZADO DE CAIXAS

Function Fatorial(y)

If y > 1 Then
n = y
For i = 2 To y
n = n * (i - 1)
Fatorial = n
Next
Else
Fatorial = 1
End If
End Function
```

```
Function Pc(x, y)
'Probabilidade de haver 0 cliente no sistema
e = (x / 30) / 0.85
a = (e ^ y) / ((Fatorial(y)) * (1 - (e / y)))

For j = 0 To (y - 1)
b = b + (e ^ j) / Fatorial(j) + a
Next
Po = 1 / b

End Function
Function Ptotal(x, y)
'Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados
e = (x / 30) / 0.85
h = (e ^ y) * (Po(x, y))
v = (Fatorial(y)) * (1 - e / y)

Ptotal = h / v
End Function
Function NF(x, y)
'Número médio de clientes na fila
e = (x / 30) / 0.85

NF = e * (Ptotal(x, y)) / (y - e)
End Function
Function Wq(x, y, k)
'Probabilidade do tempo de espera ser <= tempo estipulado
u = 0.85
t = Val(Text25)
o = Po(x, y)
Wqo = 1 - ((((y * (k / u) ^ y)) / ((Fatorial(y)) * (y - k / u))) * o)
Wq = ((((k / u) ^ y) * o * (1 - (Exp(k * t - u * y * t)))) / ((Fatorial(y - 1)) * (y - k / u))) + Wqo
End Function
Private Sub Command1_Click()
Dim proc As Double


'BUSCA E CÁLCULO DAS MÉDIAS DA BASE DE DADOS ...


proc = Now

Me.Entrada.RecordSource = "SELECT Entrada.Semana, Entrada.Dia_Semana, " & _
    "Avg(Entrada.[10]) AS 10, Avg(Entrada.[1030]) AS 1030, " & _
    "Avg(Entrada.[11]) AS 11, Avg(Entrada.[1130]) AS 1130, " & _
    "Avg(Entrada.[12]) AS 12, Avg(Entrada.[1230]) AS 1230, " & _
    "Avg(Entrada.[13]) AS 13, Avg(Entrada.[1330]) AS 1330, " & _
    "Avg(Entrada.[14]) AS 14, Avg(Entrada.[1430]) AS 1430, Avg(Entrada.[15]) AS 15, " & _
    "Avg(Entrada.[1530]) AS 1530, Avg(Entrada.[16]) AS 16, Avg(Entrada.[1630]) AS 1630," & _
    "Avg(Entrada.[17]) AS 17, Avg(Entrada.[1730]) AS 1730, Avg(Entrada.[18]) AS 18, " & _
    "Avg(Entrada.[1830]) AS 1830, Avg(Entrada.[19]) AS 19, Avg(Entrada.[1930]) AS 1930, " & _
    "Avg(Entrada.[20]) AS 20, Avg(Entrada.[2030]) AS 2030, Avg(Entrada.[21]) AS 21, " & _
```

```
"Avg(Entrada.[2130]) As 2130 " & _
  "From Entrada " & _
  "GROUP BY Entrada.Semana, Entrada.Dia_Semana " & _
  "HAVING (Entrada.Dia_Semana=" & CbDia_Semana.ListIndex & _
  ") And ((Entrada.Semana=" & Format(Date, "ww") - 1 & ") " & _
  "OR (Entrada.Semana=" & Format(Date, "ww") - 2 & ") OR (Entrada.Semana=" & Format(Date,
"ww") - 3 & "))"
Me.Entrada.Refresh
Me.Refresh

If Me.Entrada.Recordset.RecordCount = 0 Then
  MsgBox "Não existe informação no dia da semana selecionado para as 3 semanas anteriores!"
  Exit Sub
End If

'Demanda 10:00 - 10:30
D1 = Val(Text1.Text)
k = D1 / 30
e = k / 0.85
S1 = Int(e + 1)
TF = NF(D1, S1) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S1 = S1 + 1
TF = NF(D1, S1) / k
Loop
If S1 < 3 Then
S1 = 3
Label25.Caption = S1
Else
Label25.Caption = S1
End If
Label53.Caption = Int((1 - (Wq(D1, S1, k))) * 100)

'Demanda 10:30 - 11:00
D2 = Val(Text2.Text)
k = D2 / 30
e = k / 0.85
S2 = Int(e + 1)
TF = NF(D2, S2) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S2 = S2 + 1
TF = NF(D2, S2) / k
Loop
If S2 < 3 Then
S2 = 3
Label26.Caption = S2
Else
Label26.Caption = S2
End If
Label54.Caption = Int((1 - (Wq(D2, S2, k))) * 100)
```

```
'Demanda 11:00 - 11:30
D3 = Val(Text3.Text)
k = D3 / 30
e = k / 0.85
S3 = Int(e + 1)
TF = NF(D3, S3) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S3 = S3 + 1
TF = NF(D3, S3) / k
Loop
If S3 < 3 Then
S3 = 3
Label27.Caption = S3
Else
Label27.Caption = S3
End If
Label55.Caption = Int((1 - (Wq(D3, S3, k))) * 100)


'Demanda 11:30 - 12:00
D4 = Val(Text4.Text)
k = D4 / 30
e = k / 0.85
S4 = Int(e + 1)
TF = NF(D4, S4) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S4 = S4 + 1
TF = NF(D4, S4) / k
Loop
If S4 < 3 Then
S4 = 3
Label28.Caption = S4
Else
Label28.Caption = S4
End If
Label56.Caption = Int((1 - (Wq(D4, S4, k))) * 100)


'Demanda 12:00 - 12:30
D5 = Val(Text5.Text)
k = D5 / 30
e = k / 0.85
S5 = Int(e + 1)
TF = NF(D5, S5) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S5 = S5 + 1
TF = NF(D5, S5) / k
Loop
If S5 < 3 Then
S5 = 3
Label29.Caption = S5
Else
Label29.Caption = S5
```

```
End If
Label57.Caption = Int((1 - (Wq(D5, S5, k))) * 100)


'Demanda 12:30 - 13:00
D6 = Val(Text6.Text)
k = D6 / 30
e = k / 0.85
S6 = Int(e + 1)
TF = NF(D6, S6) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S6 = S6 + 1
TF = NF(D6, S6) / k
Loop
If S6 < 3 Then
S6 = 3
Label30.Caption = S6
Else
Label30.Caption = S6
End If
Label58.Caption = Int((1 - (Wq(D6, S6, k))) * 100)


'Demanda 13:00 - 13:30
D7 = Val(Text7.Text)
k = D7 / 30
e = k / 0.85
S7 = Int(e + 1)
TF = NF(D7, S7) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S7 = S7 + 1
TF = NF(D7, S7) / k
Loop
If S7 < 3 Then
S7 = 3
Label31.Caption = S7
Else
Label31.Caption = S7
End If
Label59.Caption = Int((1 - (Wq(D7, S7, k))) * 100)

'Demanda 13:30 - 14:00
D8 = Val(Text8.Text)
k = D8 / 30
e = k / 0.85
S8 = Int(e + 1)
TF = NF(D8, S8) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S8 = S8 + 1
TF = NF(D8, S8) / k
Loop
If S8 < 3 Then
S8 = 3
```

```
Label32.Caption = S8
Else
Label32.Caption = S8
End If
Label60.Caption = Int((1 - (Wq(D8, S8, k))) * 100)


'Demanda 14:00 - 14:30
D9 = Val(Text9.Text)
k = D9 / 30
e = k / 0.85
S9 = Int(e + 1)
TF = NF(D9, S9) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S9 = S9 + 1
TF = NF(D9, S9) / k
Loop
If S9 < 3 Then
S9 = 3
Label33.Caption = S9
Else
Label33.Caption = S9
End If
Label61.Caption = Int((1 - (Wq(D9, S9, k))) * 100)


'Demanda 14:30 - 15:00
D10 = Val(Text10.Text)
k = D10 / 30
e = k / 0.85
S10 = Int(e + 1)
TF = NF(D10, S10) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S10 = S10 + 1
TF = NF(D10, S10) / k
Loop
If S10 < 3 Then
S10 = 3
Label34.Caption = S10
Else
Label34.Caption = S10
End If
Label62.Caption = Int((1 - (Wq(D10, S10, k))) * 100)

'Demanda 15:00 - 15:30
D11 = Val(Text11.Text)
k = D11 / 30
e = k / 0.85
S11 = Int(e + 1)
TF = NF(D11, S11) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S11 = S11 + 1
TF = NF(D11, S11) / k
```

```
Loop
If S11 < 3 Then
S11 = 3
Label35.Caption = S11
Else
Label35.Caption = S11
End If
Label63.Caption = Int((1 - (Wq(D11, S11, k))) * 100)

'Demanda 15:30 - 16:00
D12 = Val(Text12.Text)
k = D12 / 30
e = k / 0.85
S12 = Int(e + 1)
TF = NF(D12, S12) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S12 = S12 + 1
TF = NF(D12, S12) / k
Loop
If S12 < 3 Then
S12 = 3
Label36.Caption = 3
Else
Label36.Caption = S12
End If
Label64.Caption = Int((1 - (Wq(D12, S12, k))) * 100)


'Demanda 16:00 - 16:30
D13 = Val(Text13.Text)
k = D13 / 30
e = k / 0.85
S13 = Int(e + 1)
TF = NF(D13, S13) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S13 = S13 + 1
TF = NF(D13, S13) / k
Loop
If S13 < 3 Then
S13 = 3
Label37.Caption = 3
Else
Label37.Caption = S13
End If
Label65.Caption = Int((1 - (Wq(D13, S13, k))) * 100)


'Demanda 16:30 - 17:00
D14 = Val(Text14.Text)
k = D14 / 30
e = k / 0.85
S14 = Int(e + 1)
TF = NF(D14, S14) / k 'Tempo médio do cliente na fila
```

```
Do While TF > Val(Text25.Text)
S14 = S14 + 1
TF = NF(D14, S14) / k
Loop
If S14 < 3 Then
S14 = 3
Label38.Caption = 3
Else
Label38.Caption = S14
End If
Label66.Caption = Int((1 - (Wq(D14, S14, k))) * 100)

'Demanda 17:00 - 17:30
D15 = Val(Text15.Text)
k = D15 / 30
e = k / 0.85
S15 = Int(e + 1)
TF = NF(D15, S15) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S15 = S15 + 1
TF = NF(D15, S15) / k
Loop
If S15 < 3 Then
S15 = 3
Label39.Caption = 3
Else
Label39.Caption = S15
End If
Label67.Caption = Int((1 - (Wq(D15, S15, k))) * 100)


'Demanda 17:30 - 18:00
D16 = Val(Text16.Text)
k = D16 / 30
e = k / 0.85
S16 = Int(e + 1)
TF = NF(D16, S16) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S16 = S16 + 1
TF = NF(D16, S16) / k
Loop
If S16 < 3 Then
S16 = 3
Label40.Caption = 3
Else
Label40.Caption = S16
End If
Label68.Caption = Int((1 - (Wq(D16, S16, k))) * 100)


'Demanda 18:00 - 18:30
D17 = Val(Text17.Text)
k = D17 / 30
```

```
e = k / 0.85
S17 = Int(e + 1)
TF = NF(D17, S17) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S17 = S17 + 1
TF = NF(D17, S17) / k
Loop
If S17 < 3 Then
S17 = 3
Label41.Caption = 3
Else
Label41.Caption = S17
End If
Label69.Caption = Int((1 - (Wq(D17, S17, k))) * 100)

'Demanda 18:30 - 19:00
D18 = Val(Text18.Text)
k = D18 / 30
e = k / 0.85
S18 = Int(e + 1)
TF = NF(D18, S18) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S18 = S18 + 1
TF = NF(D18, S18) / k
Loop
If S18 < 3 Then
S18 = 3
Label42.Caption = 3
Else
Label42.Caption = S18
End If
Label70.Caption = Int((1 - (Wq(D18, S18, k))) * 100)


'Demanda 19:00 - 19:30
D19 = Val(Text19.Text)
k = D19 / 30
e = k / 0.85
S19 = Int(e + 1)
TF = NF(D19, S19) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S19 = S19 + 1
TF = NF(D19, S19) / k
Loop
If S19 < 3 Then
S19 = 3
Label43.Caption = 3
Else
Label43.Caption = S19
End If
Label71.Caption = Int((1 - (Wq(D19, S19, k))) * 100)
```

```
'Demanda 19:30 - 20:00
D20 = Val(Text20.Text)
k = D20 / 30
e = k / 0.85
S20 = Int(e + 1)
TF = NF(D20, S20) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S20 = S20 + 1
TF = NF(D20, S20) / k
Loop
If S20 < 3 Then
S20 = 3
Label44.Caption = 3
Else
Label44.Caption = S20
End If
Label72.Caption = Int((1 - (Wq(D20, S20, k))) * 100)

'Demanda 20:00 - 20:30
D21 = Val(Text21.Text)
k = D21 / 30
e = k / 0.85
S21 = Int(e + 1)
TF = NF(D21, S21) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S21 = S21 + 1
TF = NF(D21, S21) / k
Loop
If S21 < 3 Then
S21 = 3
Label45.Caption = 3
Else
Label45.Caption = S21
End If
Label73.Caption = Int((1 - (Wq(D21, S21, k))) * 100)


'Demanda 20:30 - 21:00
D22 = Val(Text22.Text)
k = D22 / 30
e = k / 0.85
S22 = Int(e + 1)
TF = NF(D22, S22) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S22 = S22 + 1
TF = NF(D22, S22) / k
Loop
If S22 < 3 Then
S22 = 3
Label46.Caption = 3
Else
Label46.Caption = S22
End If
```

```
Label74.Caption = Int((1 - (Wq(D22, S22, k))) * 100)

'Demanda 21:00 - 21:30
D23 = Val(Text23.Text)
k = D23 / 30
e = k / 0.85
S23 = Int(e + 1)
TF = NF(D23, S23) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S23 = S23 + 1
TF = NF(D23, S23) / k
Loop
If S23 < 3 Then
S23 = 3
Label47.Caption = 3
Else
Label47.Caption = S23
End If
Label75.Caption = Int((1 - (Wq(D23, S23, k))) * 100)

'Demanda 21:30 - 22:00
D24 = Val(Text24.Text)
k = D24 / 30
e = k / 0.85
S24 = Int(e + 1)
TF = NF(D24, S24) / k 'Tempo médio do cliente na fila
Do While TF > Val(Text25.Text)
S24 = S24 + 1
TF = NF(D24, S24) / k
Loop
If S24 < 3 Then
S24 = 3
Label48.Caption = 3
Else
Label48.Caption = S24
End If
Label76.Caption = Int((1 - (Wq(D24, S24, k))) * 100)

proc = Now - proc
'Centésimos de minuto ...
Tempo = proc

End Sub

Private Sub Form_Load()
   Me.Entrada.DatabaseName = App.Path & "\Banco.mdb"

   EdSemana.Text = Format(Date, "ww")
   EdPeriodo.Text = "Semana " & (Format(Date, "ww") - 1) & " até " & (Format(Date, "ww") - 3)
End Sub
```