

Bibliografia

Aslidis Anastasios Haralampos – Combinatorial Algorithms for Stacking Problems, **Thesis, Massachussets Institute of Technology**, Jan 1989.

Altiook Tayfur, Melamed Benjamin – Simulation Modeling And Analysis With ARENA, **Academic Press**, 2007

Castilho Bernardo de, Daganzo Carlos F. – Handling strategies for import containers at marine terminals, **Transp. Research B** vol. 27B, Nº 2, 151-166 (1993)

Jelen Bill – VBA and Macros for Microsoft Excel, **Sams Publishing**, 2004.

Law Averill M., Kelton W. David – Simulation Modeling & Analysis, **McGraw-Hill International Editions**, 2ª ed., 1991

Montgomery, Douglas C., Runger, George C., Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros, **Editores LTC**, 1999

Murty Katta G.; Jiyin Liu; Yat-wah Wan; Richard Linn – A decision support system for operations in a container terminal, **Decision Support Systems** 39, 309-332 (2005)

Novaes, A.G.N. Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos, **Editores McGraw-Hill do Brasil Ltda**, 1975

Seppanen, Marvin S. Developing Industrial Strength Simulation Models Using Visual Basic For Applications (VBA), **Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference**, 77-82, 2000

Stahlbock Robert, VoB Stefan – Operations research at container terminals: a literature update, **OR Spectrum** 30, 1-52 (2008)

Steenken Dirk, VoB Stefan Stahlbock Robert – Container terminal operation and operations research – a classification and literature review, **OR Spectrum** 26, 3-49 (2004)

Sgouridis Sgouris P., Angelides Demos C. – Simulation-based analysis of handling inbound containers in a terminal, **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**, 1716-1724 (2002)

Vis Iris F.A., Koster René B.M., Savelsbergh Martin W. P.,– Minimum vehicle fleet size under time-window constraints at a container terminal, **Transportation Science** 39, N° 2, May 2005, 249-260 (2005)

Glossário

Contêiner – caixa de aço (medida em pés) de 20x8x8.5 e 20x8x9.5 – conhecidos como contêineres de 20 pés; ou de 40x8x8.5 e 40x8x9.5 – conhecidos como contêineres de 40 pés. Há ainda outros com medidas levemente diferentes, tais como os refrigerados.

TEU (*twenty-foot equivalent unit*) – medida de capacidade equivalente a um contêiner de 20 pés. Assim sendo, um contêiner de 20 pés possui um TEU e um de 40 pés, dois TEU's.

Pátio de estocagem – ou simplesmente pátio, é a área descoberta, dividida em quadras (normalmente retangulares) separadas por distâncias especificadas para a estocagem de contêineres.

RTGC (*rubber tyred gantry crane*) – guindaste de pátio utilizado para a movimentação de contêineres, que se move sobre pneus de borracha.

RMGC (*rail mounted gantry crane*) – guindaste de pátio utilizado para a movimentação de contêineres, que se move sobre trilhos.

QC (*quay crane*) – guindaste de cais, utilizado para a carga e descarga de navios. Também conhecido como portêiner.

Reach Stacker – também chamado de *stacker*, trata-se de veículo de quatro rodas (pneus), com braços mecânicos, utilizado para a movimentação de contêineres no pátio. Possui acesso bastante mais restrito a pilhas de contêineres que os RTGC e os RMGC, embora possa se deslocar ao longo de toda a extensão do pátio com velocidade.

Apêndice 1 – Modelo VBA Excel + ARENA (Regime PEPS)

O modelo do primeiro cenário (PEPS) foi desenvolvido como um híbrido entre o VBA-Excel e o software de simulação ARENA.

Inicialmente, o modelo VBA era processado, cumprindo as seguintes tarefas:

- (a) o processo de embaralhamento (*shuffling*) das carretas, de forma a produzir a aleatoriedade necessária ao processo de chegadas;
- (b) os processos de (b1) embaralhamento (*shuffling*) dos contêineres e (b2) empilhamento lógico (seis pilhas, cada qual com altura de cinco contêineres), necessários para representar a aleatoriedade na montagem das pilhas;
- (c) a movimentação lógica da estrutura de pilhas, simulando a operação do *reach stacker*, e a geração da informação dos conseqüentes acessos mínimos a cada um dos contêineres, fruto desta movimentação.

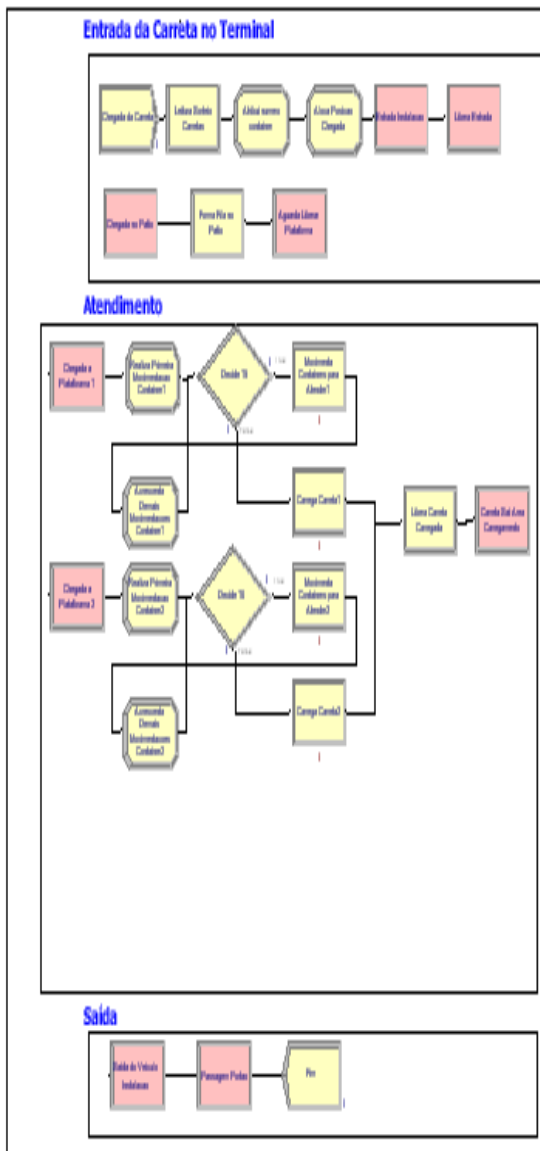
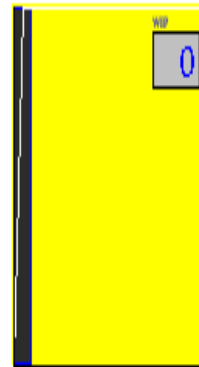
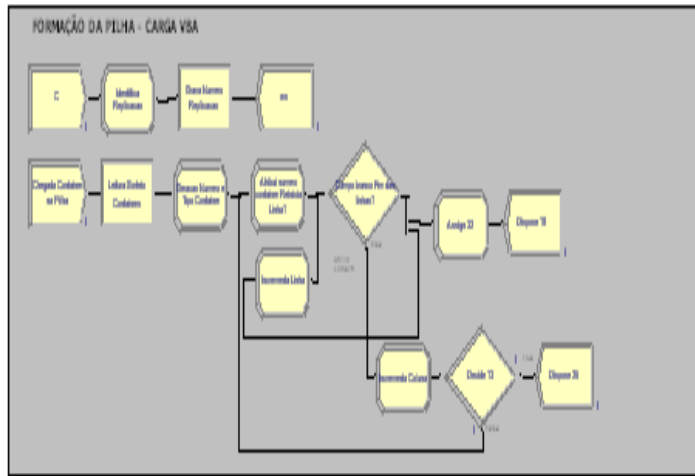
Por ser regime de atendimento PEPS, este modelo não requer controle de relógio de simulação, vez que os acessos mínimos calculados respeitam a ordem de chegada. Este controle passa a ser realizado então pelo modelo ARENA, que lê sequencialmente os dados gerados pelo modelo VBA.

O modelo VBA-Excel gera arquivo de saída com apenas dois campos:

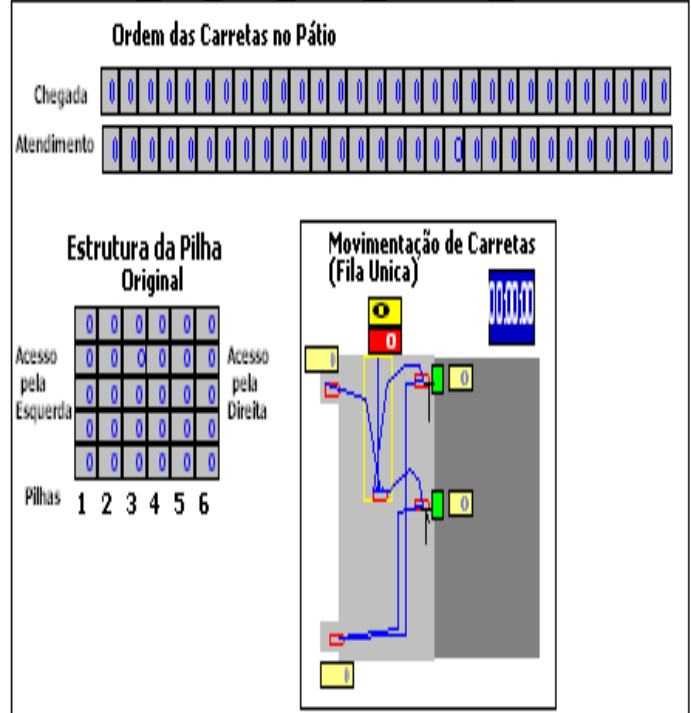
- (1) Identificação da carreta (contêiner) e
- (2) quantidade de movimentações mínimas para acesso ao contêiner (acesso pelo lado direito ou esquerdo).

O quadro A.1.a apresenta o modelo ARENA da simulação PEPS.

Quadro A.1.a



Container Linha Coluna Carreta Nº Carreta



O modelo ARENA é composto dos seguintes módulos:

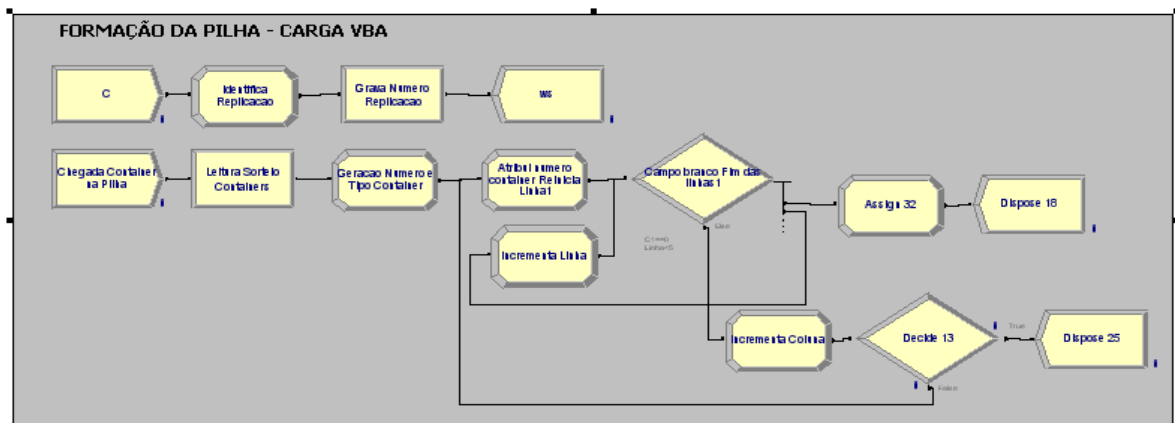
I – FORMAÇÃO DE PILHA – CARGA VBA:

Este módulo realiza a montagem da estrutura **ORIGINAL** de pilhas de contêineres, tal como produzido pelo modelo VBA-Excel. Tem objetivo de:

- visualização da estrutura **ORIGINAL** com a qual o modelo ARENA irá lidar na operação.
- apresentação do esforço de modelagem, em termos de quantidade de objetos ARENA envolvidos apenas na montagem da estrutura de pilhas **ORIGINAL**.

O relógio de simulação está desligado enquanto a montagem de pilhas é realizada (simulando a pré-segregação de contêineres realizada à noite anterior à retirada). O Quadro A.1.b abaixo apresenta a lógica referente a esta estrutura aqui descrita.

Quadro A.1.b



II – ENTRADA DA CARRETA NO TERMINAL:

O relógio de simulação é ativado e as carretas passam a chegar, segundo uma distribuição exponencial ($\lambda = 4$).

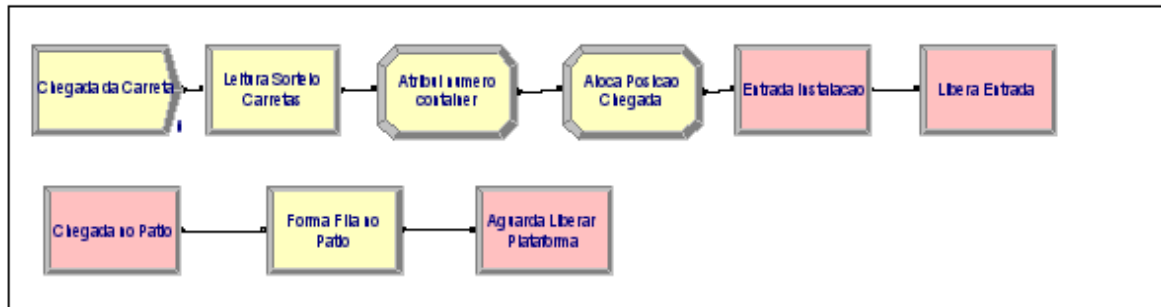
O modelo lê, para cada chegada, seqüencialmente, um registro de arquivo EXCEL, constando basicamente dos campos: (a) identificação numérica da carreta (contêiner) e (b) quantidade de movimentações necessárias para extraí-lo da estrutura de pilhas ao qual pertence (**ORIGINAL** ou **BUFFER**).

Atribui, então, para cada chegada, a identificação da carreta e a quantidade de movimentações para acessar o contêiner correspondente na estrutura de pilhas.

Cria módulo de espera no pátio, onde eventual fila se formará aguardando atendimento. Vide Quadro A.1.c.

Quadro A.1.c

Entrada da Carreta no Terminal

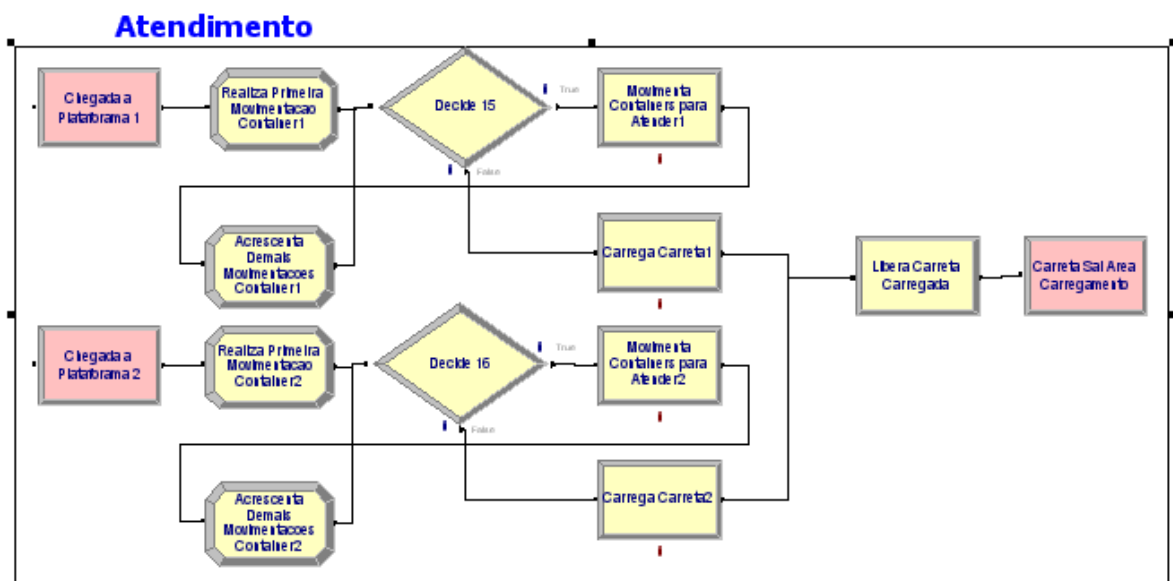


III – ATENDIMENTO:

O processo **MOVIMENTA CONTÊINERES PARA ATENDER** apresentado no Quadro A.1.d processa as movimentações de contêineres uma a uma, a taxa de serviço segundo distribuição $N(2,5 ; 0,1667)$, tantas vezes quantas tiverem sido previamente determinadas pelo modelo VBA.

Duas plataformas são previstas no modelo, embora apenas um recurso de atendimento. O objetivo é que sempre haja uma carreta em espera para carga, evitando que se deva prever um tempo de deslocamento pátio-plataforma, o que oneraria o processo.

Quadro A.1.d

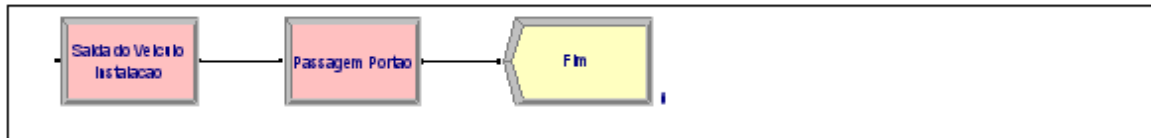


IV – SAÍDA:

Os processos que poderiam representar alguma restrição relacionada a fluxo de veículos ou controles administrativos outros relacionados à saída do terminal não foram considerados relevantes pela instalação e, assim sendo, considerados inócuos na modelagem, embora aqui representados como não consumindo tempo, nem recursos humanos/materiais. Vide Quadro A.1.e.

Quadro A.1.e

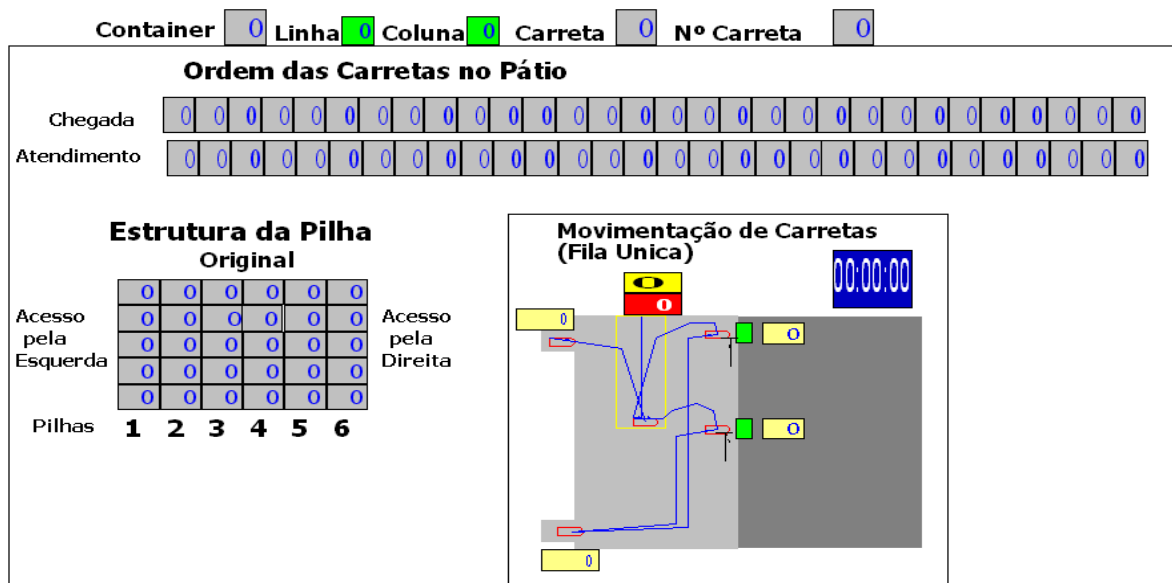
Saída



V – ANIMAÇÃO DO PROCESSO:

O Quadro A.1.f apresenta a animação das variáveis consideradas relevantes no processo: (a) a montagem das pilhas originais antes do início de seu desmonte com a chegada das carretas; (b) o ordenamento da chegada das carretas e de atendimento (no caso a ordem é a mesma de chegada e atendimento, pois o regime de atendimento é o PEPS) com sua numeração especificada e finalmente (c) a animação das movimentações nas operações de pátio, com as diversas movimentações de carretas sendo geradas, à medida que a simulação se desdobra no tempo.

Quadro A.1.f



O autor se omite de apresentar os resultados proporcionados por este modelo, por serem as variáveis de desempenho menos expressivas que as produzidas pelo modelo VBA-Excel correspondente.

Afirma, porém serem os resultados das variáveis básicas de desempenho geradas pelo ARENA, a exemplo do tempo de processamento total, totalmente compatíveis aos obtidos pelo correspondente modelo VBA-Excel. Os diversos motivos alegados no item 5.1 acima levaram à não-utilização deste modelo, o que não invalida sua apresentação, por ser correta sua formulação.

Apêndice 2 – Geração de Variáveis Aleatórias

GERAÇÃO DE TEMPOS ENTRE CHEGADAS ALEATÓRIOS, SEGUNDO UMA DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL (média = λ), Law e Kelton(1991)

Segundo esta formulação, parte-se da geração de número aleatório em uma distribuição uniforme $U(0,1)$ e, para gerar os tempos entre chegadas, resolve-se

$$T = -\lambda \ln U$$

A explicação para esta equação deve-se a :

$$P(-\lambda \ln U \leq x) = P(\ln U \geq -x/\lambda) = P(U \geq e^{-x/\lambda}) = P(e^{-x/\lambda} \leq U \leq 1) = 1 - e^{-x/\lambda} = F(x)$$

GERAÇÃO DE TEMPOS DE ATENDIMENTO (MOVIMENTAÇÕES DE CONTÊINERES) SEGUNDO UMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL $N(\mu, \sigma)$, Law e Kelton(1991)

O método polar consiste na geração de variáveis aleatórias normalmente distribuídas aos pares:

- (1) Inicia-se com a geração de duas variáveis aleatórias uniformemente distribuídas $U_1(0,1)$ e $U_2(0,1)$
- (2) Calcule $V_i = 2U_i - 1, i = 1,2$
- (3) Calcule $W = V_1^2 + V_2^2$
- (4) Se $W > 1$, retorne ao passo 1
- (5) Caso contrário faça $Y = \sqrt{(-2 \ln W)/W}$ e
 $X_1 = V_1 Y$ e $X_2 = V_2 Y$

X_1 e X_2 são as variáveis aleatórias desejadas.

Apêndice 3 – Quadros complementares de resultados

Quadro A3.a

REGIME DE ATENDIMENTO: MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA (SPT)

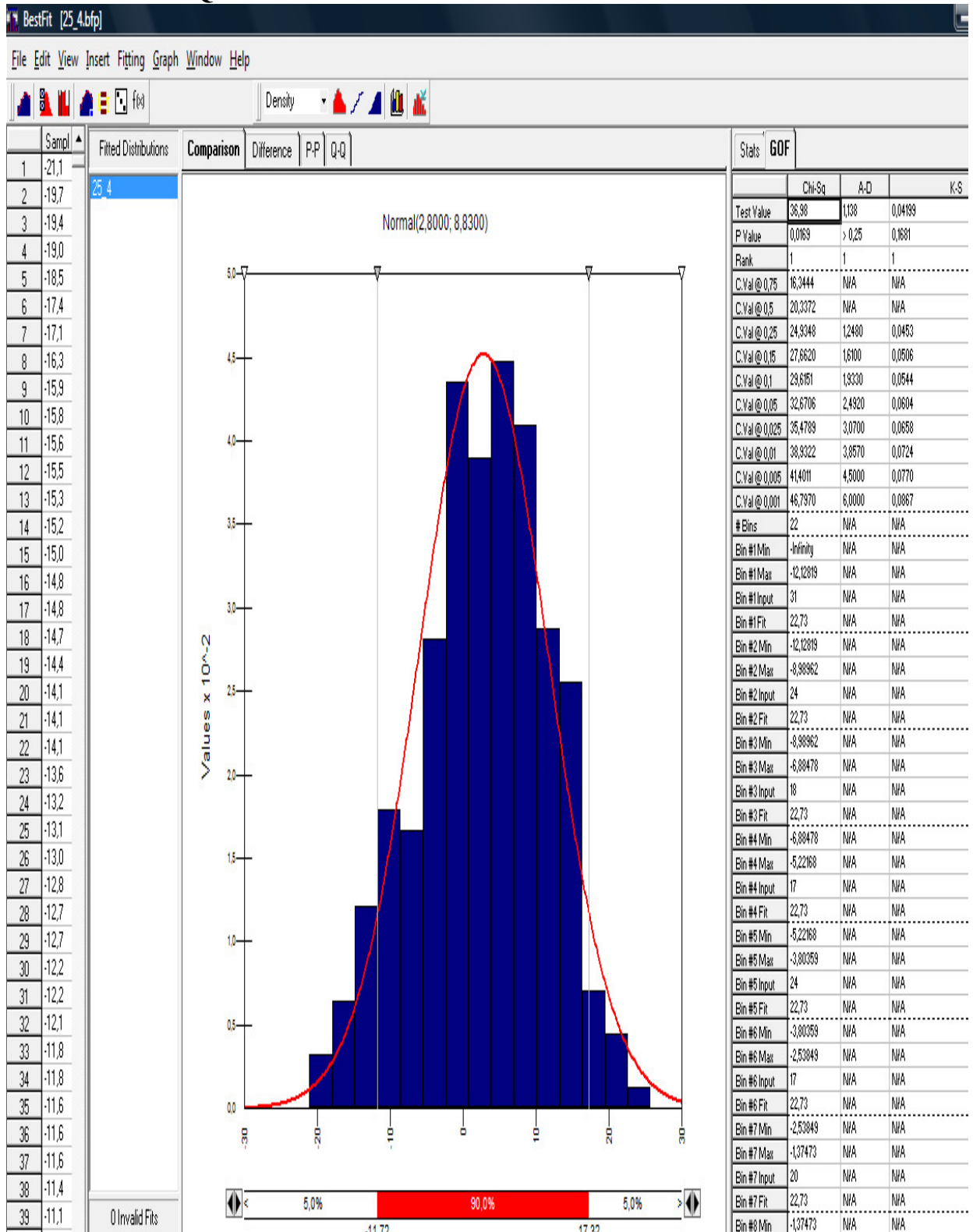
Nº de Replicações	Quantidade de Clientes														Tempos (em minutos)								Movimentações				
	Tamanho médio fila		Com Tempo de espera em fila < 30 min		30 min < Com Tempo de Espera em Fila < 60 min		60 min < Com Tempo de Espera em Fila < 90 min		90 min < Com Tempo de Espera em Fila < 120 min		Com Tempo de espera em fila > 120 min		Que ultrapassam a Janela de Tempo		Tempo médio espera em fila		Tempo médio de atendimento		Tempo chegada total		Tempo ociosidade total		Tempo excedente a 120 minutos		Qtidade Movimentações média/container		
	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média
100	6,5	1,4	22,1	2,8	5,9	2,4	1,7	1,3	0,3	0,5	0,0	0,0	2,2	2,5	21,9	4,7	3,9	0,3	102,7	11,1	0,0	0,0	1,6	9,5	1,6	0,1	
200	6,6	1,5	21,7	3,1	6,1	2,6	2,0	1,4	0,3	0,5	0,0	0,0	2,2	2,5	22,5	5,1	3,9	0,3	102,2	11,6	0,0	0,0	1,7	9,3	1,6	0,1	
300	6,7	1,5	21,5	3,1	6,2	2,6	2,0	1,4	0,3	0,6	0,0	0,0	2,4	2,5	22,9	5,2	4,0	0,3	102,9	11,7	0,0	0,0	2,5	9,1	1,6	0,1	
400	6,7	1,5	21,4	3,0	6,2	2,5	2,0	1,4	0,3	0,6	0,0	0,1	2,4	2,5	22,9	5,2	4,0	0,3	103,3	11,6	0,0	0,0	2,7	8,9	1,6	0,1	
500	6,7	1,5	21,5	3,0	6,1	2,5	2,0	1,4	0,4	0,7	0,0	0,1	2,4	2,5	22,8	5,1	4,0	0,3	103,4	11,7	0,0	0,0	2,8	8,8	1,6	0,1	

REGIME DE ATENDIMENTO: PRIMEIRO A ENTRAR, PRIMEIRO A SAIR (PEPS)

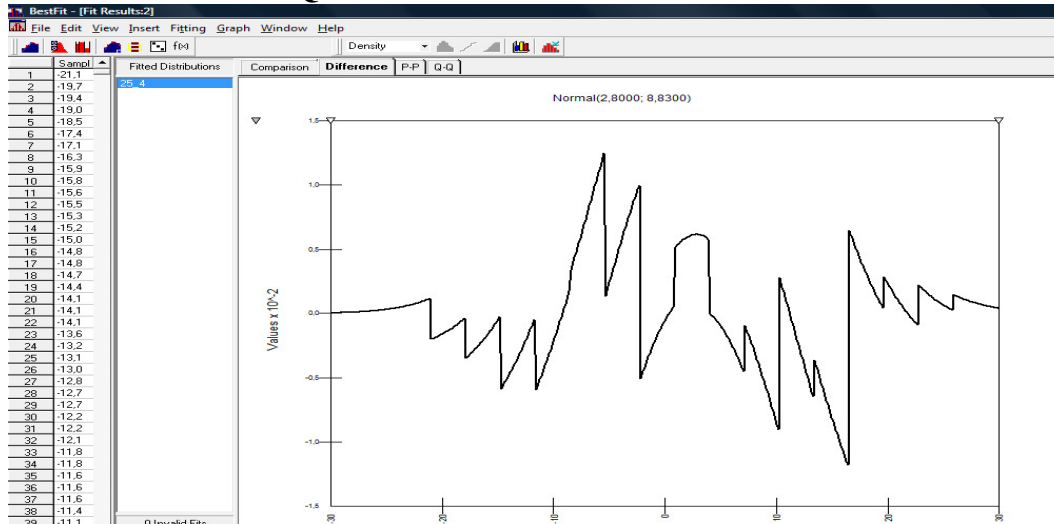
Nº de Replicações	Quantidade de Clientes														Tempos (em minutos)								Movimentações				
	Tamanho médio fila		Com Tempo de espera em fila < 30 min		30 min < Com Tempo de Espera em Fila < 60 min		60 min < Com Tempo de Espera em Fila < 90 min		90 min < Com Tempo de Espera em Fila < 120 min		Com Tempo de espera em fila > 120 min		Que ultrapassam a Janela de Tempo		Tempo médio espera em fila		Tempo médio de atendimento		Tempo chegada total		Tempo ociosidade total		Tempo excedente a 120 minutos		Qtidade Movimentações média/container		
	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média
100	11,3	1,3	3,2	1,8	4,2	2,8	5,9	3,9	6,6	4,4	10,1	7,7	20,6	2,7	96,5	24,9	8,1	1,1	104,1	10,8	0,1	1,1	125,5	33,3	3,2	0,4	
200	11,3	1,3	3,1	1,8	4,4	2,7	5,6	3,7	6,8	4,2	10,1	7,2	20,5	2,5	95,4	22,5	8,0	1,0	104,0	11,0	0,2	1,3	124,2	29,9	3,2	0,4	
300	11,2	1,3	3,2	1,9	4,3	2,6	5,6	3,7	7,0	4,4	9,9	7,2	20,5	2,5	95,0	22,1	8,0	1,0	103,8	11,1	0,3	1,6	123,5	28,8	3,2	0,4	
400	11,2	1,3	3,2	2,0	4,3	2,5	5,5	3,7	7,2	4,4	9,8	7,2	20,5	2,4	94,9	21,5	8,0	0,9	103,8	11,2	0,2	1,4	123,4	27,9	3,2	0,4	
500	11,3	1,2	3,1	1,9	4,3	2,6	5,4	3,6	7,1	4,5	10,0	7,3	20,5	2,4	95,5	21,7	8,0	0,9	103,8	11,1	0,3	1,4	123,9	28,6	3,2	0,4	

Apêndice 4 – Resultados de Testes de Aderência (software BestFit 4.5)

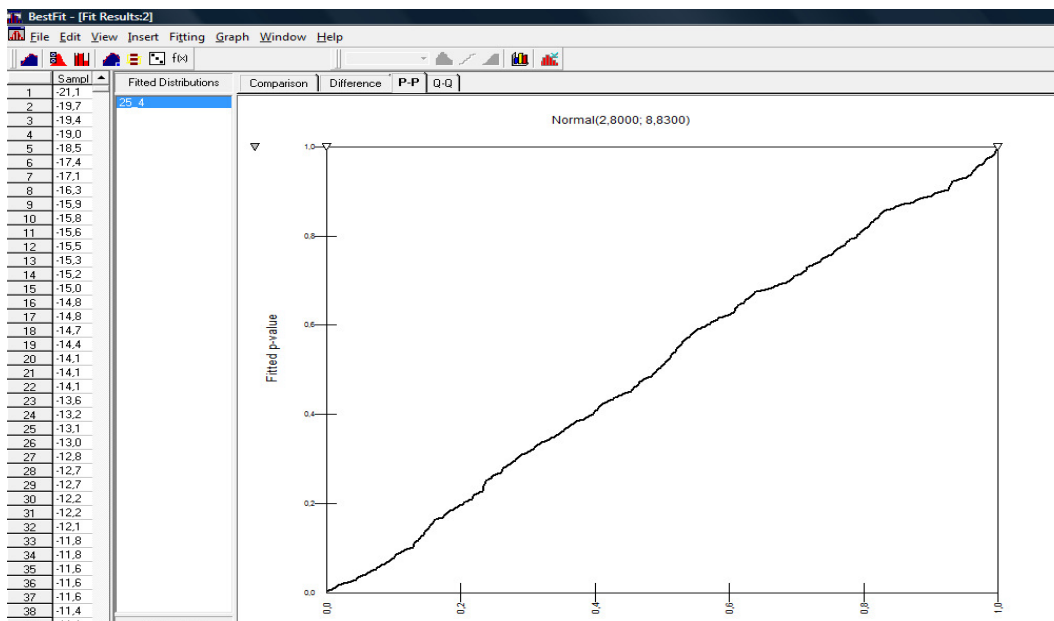
Quadro A4.a – Cenário 1A – Testes de Aderência



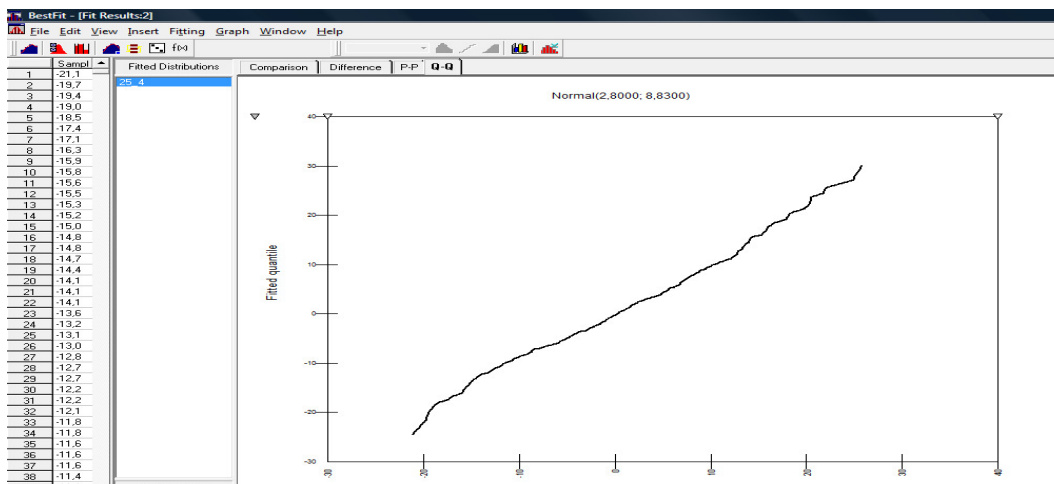
Quadro A4.b – Cenário 1A – Erro absoluto



Quadro A4.c – Cenário 1A – Gráfico P-P

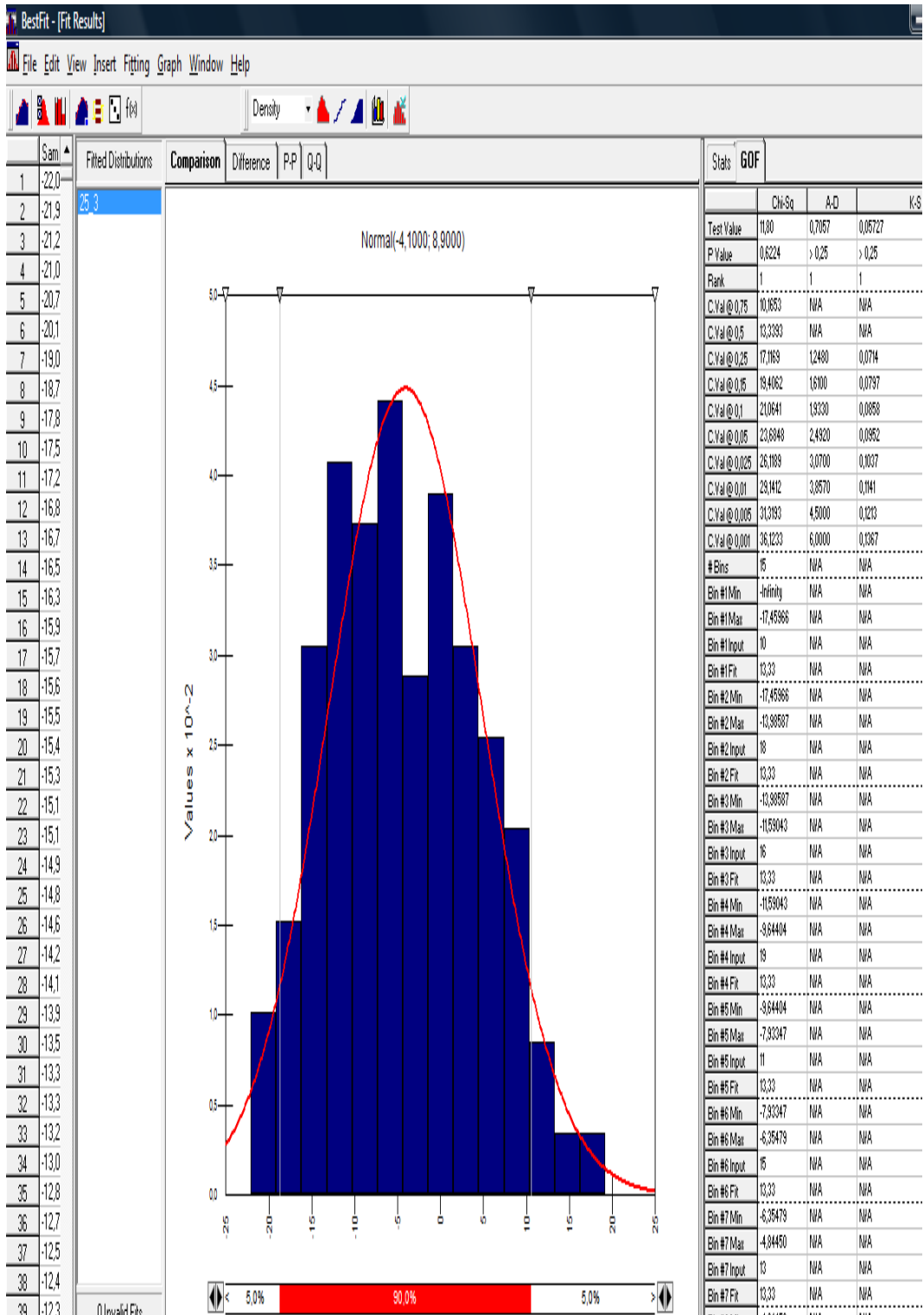


Quadro A4.d – Cenário 1A – Gráfico Q-Q

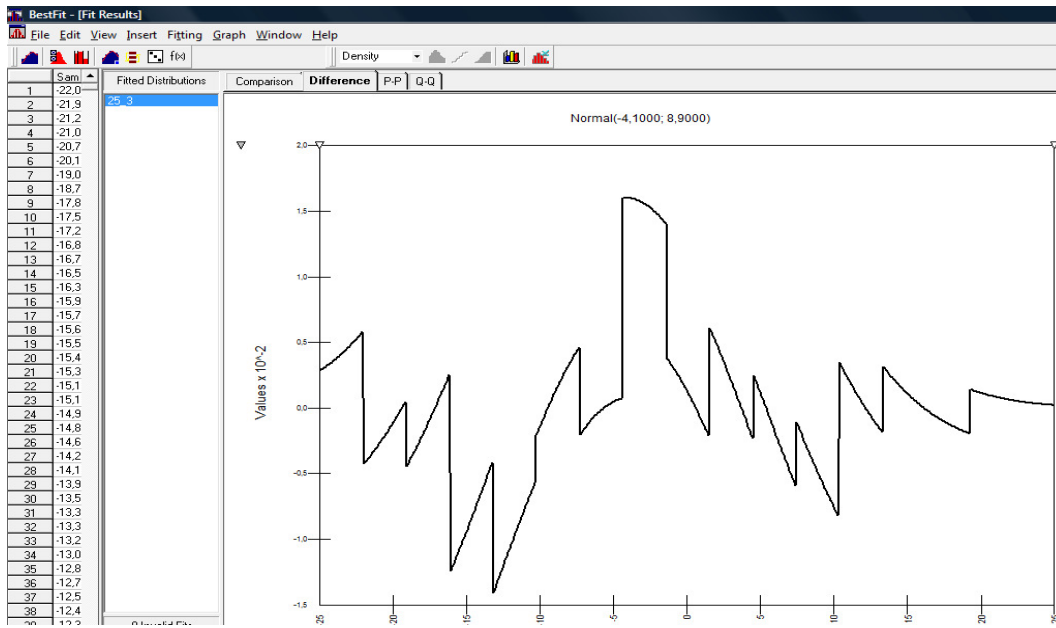


Quadro A4.e – Cenário 1B – Testes de Aderência

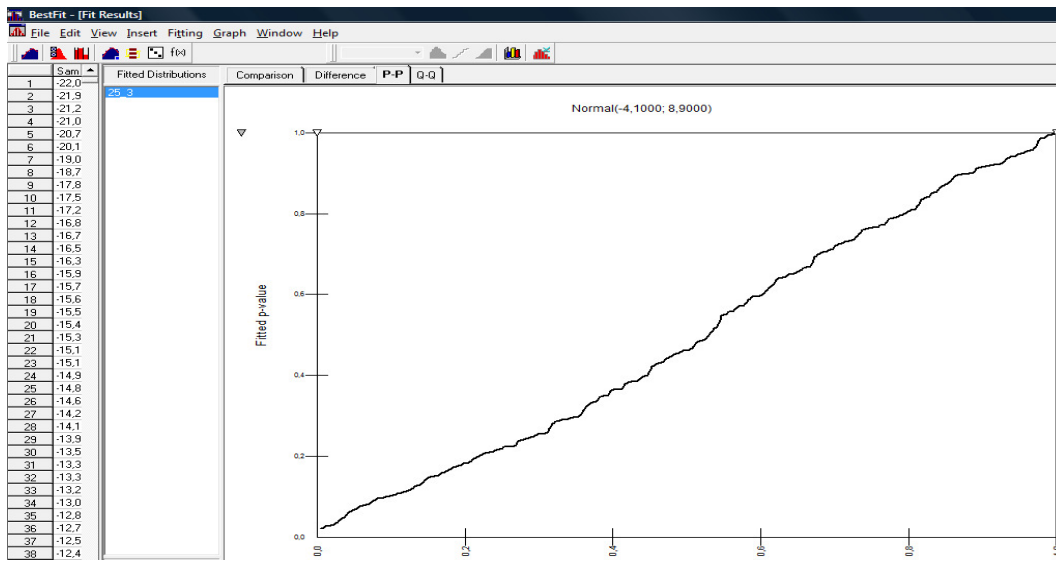
PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712505/CA



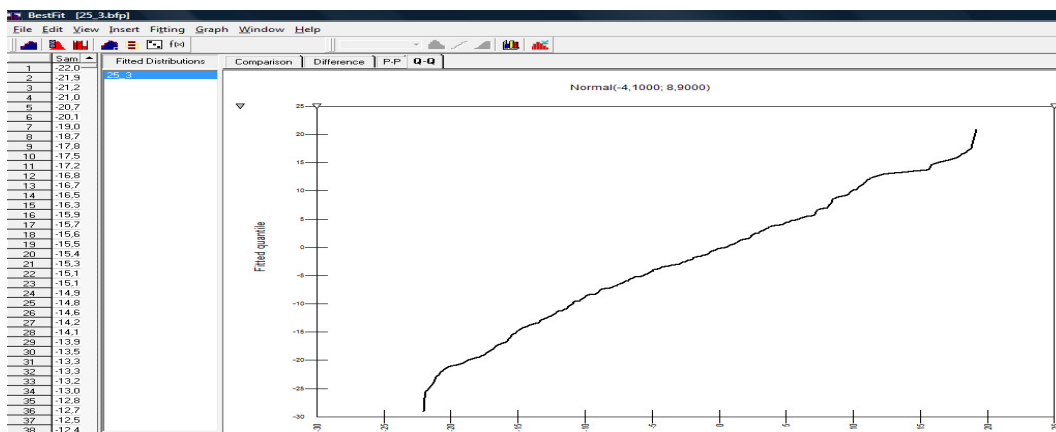
Quadro A4.f – Cenário 1B – Erro absoluto



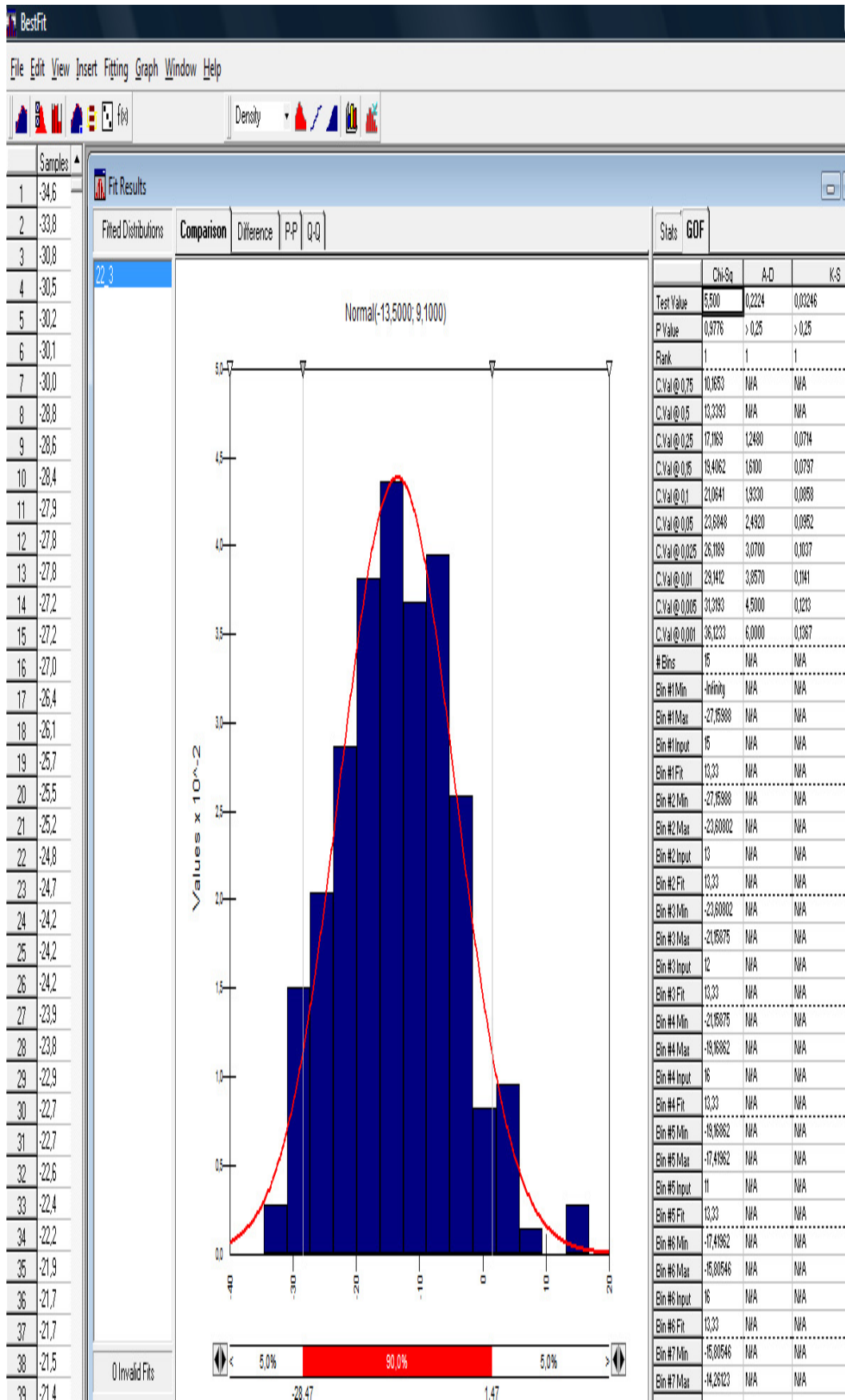
Quadro A4.g – Cenário 1B – Gráfico P-P



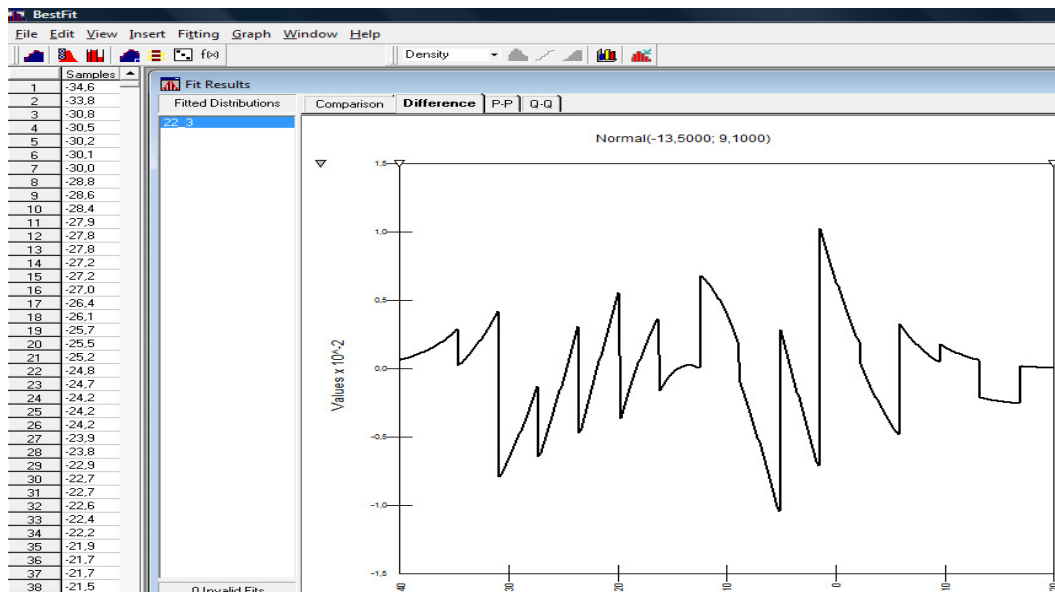
Quadro A4.h – Cenário 1B – Gráfico Q-Q



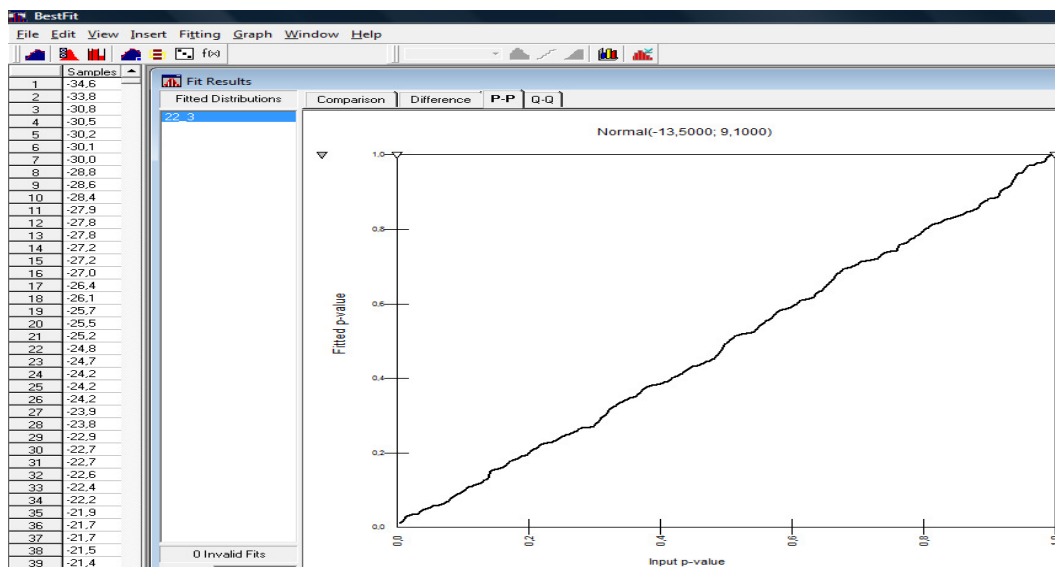
Quadro A4.i- Cenário 2.B – Testes de Aderência



Quadro A4.j- Cenário 2.B – Erro Absoluto



Quadro A4.k- Cenário 2.B – Gráfico P-P



Quadro A4.l- Cenário 2.B – Gráfico Q-Q

