

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Plataforma para análise do efeito da variabilidade em processos operacionais

Rodrigo Fernandes Abreu

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Américo Azevedo

8 de Agosto de 2019

Resumo

Variabilidade é a medida dos dados ou conjunto de dados, numa distribuição estatística, que diverge do valor médio, bem como a extensão em que esses dados diferem uns dos outros. Essa definição, aplicada aos processos, é refletida em variações que afetam a operação esperada do processo, isto é qualquer coisa que traga irregularidade ao fluxo. No contexto deste trabalho, o conceito de variabilidade será analisado de duas maneiras: variabilidade externa relacionada com a variabilidade na procura (ex. diferentes ritmos de chegada das ordens de trabalho e sazonalidade) e variabilidade interna relacionada com as operações inerentes aos processos (ex. tempos de processamento, tempos de setup e número de máquinas ativas) e que predizem que o desempenho operacional das empresas será significativamente condicionado por esta característica dos processos. Neste nível, a grande maioria da procura, seja por produtos acabados ou serviços, varia no tempo, bem como as taxas de fornecimento de matéria-prima e o tempo de espera nas diferentes etapas do processo.

Nem sempre é fácil entender as implicações que a variabilidade, seja qual for a sua dimensão, pode assumir nos processos operacionais. Neste contexto, a melhor maneira de mudar as perspectivas é demonstrando e é nesse seguimento que este trabalho de investigação é desenvolvido. O trabalho envolve a criação de uma plataforma que permita demonstrar os efeitos que a variabilidade tem nesses processos e também os impactos que cada variação associada a determinada alteração nos tempos ou quantidades, tem na produção do número de unidades final. Vários conceitos serão abordados tais como: capacidade; taxa de transferência; trabalho em processo; tempo de espera; entre outros, onde menor variabilidade pode ter consequências.

No âmbito da dissertação apresenta-se o desenvolvimento desde o estudo teórico dos conceitos até às conclusões finais dos resultados obtidos. O trabalho passou por diversas fases que estarão também bem identificadas. A obtenção dos resultados esperados foi sempre com o objetivo de fornecer aos potenciais interessados uma ferramenta capaz de analisar os efeitos da variabilidade que está presente nos processos operacionais de diversas maneiras, de uma forma diferente do que era o habitual, de alguma forma preditiva. Esta análise é realizada num ambiente virtual onde os processos serão simulados e será possível interagir com as diferentes estações de trabalho. Esta simulação visa fornecer informações sobre o processo a partir da aplicação da variabilidade nessas estações de trabalho. Essas informações fornecidas podem servir posteriormente para melhorar o processo.

Abstract

Variability is the measure of the data or set of data, in a statistical distribution, that diverges from the mean value, as well as the extent to which these data differ from one another. This definition, applied to processes, is reflected in variations that affect the expected operation of the process, ie anything that brings irregularity to the flow. In the context of this work, the concept of variability will be analyzed in two ways: external variability related to variability in demand (eg different work order arrival rhythms and seasonality) and internal variability related to the operations inherent in the processes (eg processing times, setup times and number of active machines) and that predict that the operational performance of the companies will be significantly conditioned by this characteristic of the processes. At this level, the vast majority of demand, whether for finished products or services, varies in time, as well as raw material delivery rates and waiting time at different stages of the process.

It is not always easy to understand the implications that variability, whatever its dimension, can take on operational processes. In this context, the best way to change perspectives is to demonstrate and it is in this follow-up that this research work is developed. The work involves the creation of a platform that allows to demonstrate the effects that the variability has in these processes and also the impacts that each variation associated with a certain change in the times or quantities, has in the production of the number of final units. Several concepts will be addressed such as: capacity; transfer rate; work in process; waiting time; among others, where less variability can have consequences.

In the scope of the dissertation it is presented the development of the project from the theoretical study of the concepts to the final conclusions of the obtained results. The work went through several phases that will also be well identified. Obtaining the expected results has always been aimed at providing potential stakeholders with a tool capable of analyzing the effects of variability that is present in operational processes in a variety of ways, in a different way than usual, in some predictive way. This analysis is performed in a virtual environment where the processes will be simulated and it will be possible to interact with the different workstations. This simulation aims to provide information about the process from the application of variability in these workstations. This information provided may serve to further improve the process.

Agradecimentos

Na realização da presente Dissertação foi possível contar com o apoio e a ajuda, direta ou indireta de múltiplas pessoas e instituições a quem devo o mais sincero obrigado. Não querendo com isto, correr o risco de não mencionar alguns dos contributos, quero deixar expressos os meus agradecimentos:

Em primeiro lugar, ao orientador desta dissertação, o Doutor Professor Américo Azevedo, por todo o apoio, atenção e tempo disponibilizados, toda a ajuda de carácter técnico que forneceu durante todo o desenvolvimento da dissertação. Aqui deixo o meu mais sincero agradecimento.

Ao Engenheiro Paulo Sá Marques, pelo apoio, ajuda, tempo e atenção disponibilizados na resolução de dúvidas relacionadas com toda a simulação e software utilizado.

A todos os amigos, colegas, companheiros de equipa, por todo apoio, paciência, ajuda que deram durante não só esta fase, mas também durante todo o ciclo de estudos. Com risco de esquecimento, não vou enumerar nomes, mas deixa aqui a minha gratidão a todos vós, pela ajuda mais ou menos direta que proporcionaram.

Por fim, mas não menos importante, de alguma forma será mesmo o mais importante agradecimento, quero deixar o mais sentido obrigado à minha família, por garantirem tudo o que fosse preciso para o meu bem estar e sucesso durante todos estes anos, não só da faculdade, mas também de toda a minha vida. Desde o mais simples transporte e da refeição feita de propósito até à constante disponibilidade de garantir que nada faltasse, fazendo inúmeros esforços, muitos deles de carácter económico. O meu mais sincero obrigado por tudo isso e muito mais.

Em relação às instituições, também gostava de deixar aqui uma palavra de agradecimento:

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto por estes 5 longos anos de conhecimentos, experiências e vivências que proporcionou.

Ao Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência pela oportunidade de trabalhar nas suas instalações, com todo o apoio necessário, disponibilizando todas as ferramentas necessárias ao meu trabalho. De realçar mais uma vez o agradecimento ao Professor Doutor Américo Azevedo, pois foi graças a ele que esta oportunidade foi possível.

A todos os mencionados e outros que apesar de não o terem sido, farão sempre parte da minha memória, o meu muito obrigado por tudo!

Rodrigo Abreu

“The only source of knowledge is the experience.”

Albert Einstein

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto e motivação	1
1.2	Objetivo e Metodologia	3
1.3	Estrutura da Dissertação	4
2	Enquadramento Teórico	7
2.1	Conceito de Variabilidade	7
2.2	Variabilidade Interna	9
2.3	Variabilidade Externa	9
2.4	Processos operacionais	10
3	Plataforma de simulação para análise de variabilidade	11
3.1	Configurações tipo	11
3.1.1	Configuração simples - fonte, máquina, local de descarga	12
3.1.2	Configuração das estações de trabalho - Série	24
3.1.3	Configuração das estações de trabalho - Paralelo	33
3.1.4	<i>Pooling</i> de recursos VS múltiplos servidores e linhas	43
3.2	Conclusão	55
4	Caso de estudo	57
4.1	Simulação e software a ser utilizado	57
4.2	Desenvolvimento do modelo do caso de estudo	58
4.3	Modelo Operacional	61
4.4	Modelo Simulado	64
5	Análise dos Resultados	67
5.1	Configurações de teste de variabilidade	67
5.1.1	Análise da variabilidade no tempo de processamento e taxa de chegada	67
5.1.2	Configuração das estações de trabalho - Série	92
5.1.3	Configuração das estações de trabalho - Paralelo	116
6	Conclusões e Trabalho Futuro	141
6.1	Principais conclusões	141
6.2	Trabalho Futuro	142
	Referências	145

Lista de Figuras

1.1	Diagrama de desenvolvimento.	4
3.1	Configuração tipo 1 - Esquema de operações a ser simulado.	12
3.2	Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.	13
3.3	Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.	13
3.4	Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.	13
3.5	Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação dos três casos com a existência de stock intermédio.	14
3.6	Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema com a existência de stock intermédio.	15
3.7	Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação dos três casos sem a existência de stock intermédio.	15
3.8	Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema sem a existência de stock intermédio.	16
3.9	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.	16
3.10	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.	17
3.11	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.	17
3.12	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 4 - Condições de simulação.	17
3.13	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação dos quatro casos com a existência de stock intermédio.	18
3.14	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema com a existência de stock intermédio.	18
3.15	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação dos quatro casos sem a existência de stock intermédio.	19
3.16	Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema sem a existência de stock intermédio.	20
3.17	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.	20
3.18	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.	20
3.19	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.	21
3.20	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.	21
3.21	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 5 - Condições de simulação.	21
3.22	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 6 - Condições de simulação.	22
3.23	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação quando existe stock intermédio ilimitado.	22
3.24	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera das unidades no sistema em função da taxa de utilização quando existe stock intermédio ilimitado.	23
3.25	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função da taxa de utilização quando existe stock intermédio ilimitado.	23

3.26	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação quando não existe stock intermédio.	23
3.27	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera das unidades no sistema em função da taxa de utilização quando não existe stock intermédio.	24
3.28	Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função da taxa de utilização quando não existe stock intermédio.	24
3.29	Configuração tipo 2 - Esquema de operações a ser simulado - Configuração em série.	25
3.30	Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.	25
3.31	Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.	26
3.32	Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.	26
3.33	Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.	26
3.34	Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.	27
3.35	Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.	27
3.36	Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.	27
3.37	Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.	28
3.38	Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação.	28
3.39	Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	29
3.40	Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.	29
3.41	Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação.	30
3.42	Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	31
3.43	Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.	31
3.44	Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação.	32
3.45	Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	32
3.46	Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.	32
3.47	Configuração tipo 3 - Esquema de operações a ser simulado - Configuração em paralelo.	33
3.48	Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.	34
3.49	Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.	34
3.50	Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.	35
3.51	Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.	35
3.52	Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.	36
3.53	Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.	36
3.54	Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.	37
3.55	Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.	37
3.56	Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação.	38
3.57	Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	38
3.58	Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.	38
3.59	Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação.	40
3.60	Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	40

3.61	Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.	40
3.62	Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação.	42
3.63	Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	42
3.64	Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.	42
3.65	Configuração tipo 4 - Esquema de operações a ser simulado - Pooling de recursos VS múltiplos servidores e linhas.	43
3.66	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.	44
3.67	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.	44
3.68	Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.	45
3.69	Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.	45
3.70	Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.	46
3.71	Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.	46
3.72	Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.	47
3.73	Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.	47
3.74	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Pooling de recursos.	49
3.75	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Múltiplos servidores e linhas.	49
3.76	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação A - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	49
3.77	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação B - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	49
3.78	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação A - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.	50
3.79	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação B - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.	50
3.80	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Pooling de recursos.	51
3.81	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Múltiplos servidores e linhas.	51
3.82	Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação A - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	52
3.83	Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação B - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.	52
3.84	Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação A - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.	52
3.85	Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação B - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.	52
3.86	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Pooling de recursos.	54
3.87	Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Múltiplos servidores e linhas.	54
4.1	Software orientado a objetos - SIMIO.	58
4.2	Componentes do software e descrição.	60
4.3	Esquema da zona de produção dos cilindros de armazenamento.	61
4.4	Simulação da zona de produção dos cilindros de armazenamento.	61
4.5	Esquema da zona de produção das bombas de calor.	62
4.6	Simulação da zona de produção das bombas de calor.	62

4.7	Esquema da zona de acoplamento dos cilindros com as bombas de calor.	62
4.8	Simulação da zona de acoplamento dos cilindros com as bombas de calor.	63
4.9	Modelo operacional da linha de produção.	63
4.10	Esquema da linha de produção.	64
4.11	Modelo simulado da linha de produção.	65
5.1	Modelo 1 - Esquema de operações a ser simulado - Tempo de processamento e taxa de chegada.	68
5.2	Modelo 1 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.	70
5.3	Modelo 1 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.	70
5.4	Modelo 1 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.	71
5.5	Modelo 1 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.	71
5.6	Modelo 1 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.	72
5.7	Modelo 1 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.	72
5.8	Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.	73
5.9	Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.	73
5.10	Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.	74
5.11	Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.	74
5.12	Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.	76
5.13	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	76
5.14	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	76
5.15	Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	77
5.16	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	77
5.17	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	77
5.18	Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	79
5.19	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	79
5.20	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	79
5.21	Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	80
5.22	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	80

5.23	Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	80
5.24	Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.	81
5.25	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	81
5.26	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	81
5.27	Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	82
5.28	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	82
5.29	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	82
5.30	Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	83
5.31	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	84
5.32	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	84
5.33	Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	84
5.34	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	85
5.35	Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	85
5.36	Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.	86
5.37	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	86
5.38	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	86
5.39	Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	87
5.40	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	87

5.41	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	87
5.42	Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	89
5.43	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	89
5.44	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	89
5.45	Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	90
5.46	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	90
5.47	Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	90
5.48	Modelo 2 - Esquema de operações a ser simulado - configuração série.	92
5.49	Modelo 2 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.	93
5.50	Modelo 2 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.	94
5.51	Modelo 2 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.	94
5.52	Modelo 2 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.	95
5.53	Modelo 2 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.	95
5.54	Modelo 2 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.	96
5.55	Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.	96
5.56	Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.	97
5.57	Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.	97
5.58	Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.	98
5.59	Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A - configuração série.	98
5.60	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	99
5.61	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	99
5.62	Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	99
5.63	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	100
5.64	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	100
5.65	Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	101

5.66	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	101
5.67	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servido.	101
5.68	Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	102
5.69	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	102
5.70	Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	102
5.71	Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A - configuração série.	104
5.72	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	104
5.73	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	104
5.74	Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	105
5.75	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	105
5.76	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	105
5.77	Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	107
5.78	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	107
5.79	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	107
5.80	Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	108
5.81	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	108
5.82	Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	108
5.83	Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.	110

5.84	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	110
5.85	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	110
5.86	Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	111
5.87	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	111
5.88	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	111
5.89	Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	113
5.90	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	114
5.91	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	114
5.92	Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	114
5.93	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	115
5.94	Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	115
5.95	Modelo 3 - Esquema de operações a ser simulado - configuração série.	117
5.96	Modelo 3 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.	117
5.97	Modelo 3 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.	118
5.98	Modelo 3 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.	118
5.99	Modelo 3 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.	119
5.100	Modelo 3 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.	119
5.101	Modelo 3 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.	120
5.102	Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.	120
5.103	Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.	121
5.104	Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.	121
5.105	Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.	122
5.106	Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A - configuração paralelo.	122
5.107	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	123

5.108	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	123
5.109	Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	123
5.110	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores.	124
5.111	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.	124
5.112	Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	125
5.113	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	126
5.114	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material. . .	126
5.115	Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	126
5.116	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	127
5.117	Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material. . .	127
5.118	Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.	128
5.119	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	128
5.120	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	128
5.121	Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	129
5.122	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	129
5.123	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	129
5.124	Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	131
5.125	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	131

5.126	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material. . .	131
5.127	Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	132
5.128	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	132
5.129	Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material. . .	132
5.130	Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.	133
5.131	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	134
5.132	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	134
5.133	Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.	134
5.134	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	135
5.135	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.	135
5.136	Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.	136
5.137	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	137
5.138	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material. . .	137
5.139	Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.	137
5.140	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.	138
5.141	Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material. . .	138

Lista de Tabelas

4.1	Constituintes do produto e respetiva descrição	59
-----	--	----

Abreviaturas e Símbolos

CEO	Chief executive officer
SIMIO	Simulation Modeling framework based on Intelligent Objects
WIP	Work in Process

Capítulo 1

Introdução

O presente documento foi elaborado no domínio da unidade curricular Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, tendo como objetivo principal o estudo e desenvolvimento da temática "Plataforma para análise do efeito da variabilidade em processos operacionais" e surge associado à especialização de Gestão Industrial. Neste documento é apresentado todo o desenvolvimento do trabalho realizado, primeiramente com foco a nível teórico, do tema atribuído para dissertação, que conta com o levantamento do estado de arte, revisão bibliográfica e estudo e análise do conceito de variabilidade e das suas dimensões e de seguida, a elaboração dos modelos e protótipos de simulação a serem testados, bem como os testes e resultados das simulações e finalizando com conclusões a esses estudos realizados.

Posto isto, o trabalho apresentado neste capítulo relaciona-se com a contextualização e motivação do projeto a desenvolver, bem como definição dos objetivos a alcançar e a metodologia com que se vai abordar o problema. No fim apresenta-se a estrutura seguinte da dissertação.

1.1 Contexto e motivação

Neste capítulo será realizado o levantamento do estado de arte no que diz respeito a temática a ser trabalhada. Inicialmente, será apresentado o contexto e a motivação que estão por detrás do desenvolvimento deste trabalho e, de seguida, apresenta-se a atualidade mais uma vez relacionada com a temática da variabilidade e das simulações.

A gestão de operações passou por várias mudanças desde que ficou conhecido, por exemplo, o caso da Toyota, várias mudanças foram introduzidas no Sistema de Produção da Toyota. Este caso ficou conhecido pelas mudanças impostas na forma de trabalhar e pensar em relação à gestão de operações. Após essa conquista na alteração da forma de pensar, vários seguidores tentaram replicar o que a Toyota havia feito na sua empresa [1].

A gestão de operações é comparada como a "sala de máquinas" da empresa, visto que é a partir daqui que se planeia e impulsiona a criação de produto ou o desenvolvimento de serviço. É de conhecimento geral a contínua mudança do mercado, e face a este facto de enorme relevância é difícil mas também é imperativo ser competitivo. Para tal, os gestores de operações têm como

foco a melhoria e se possível maximização da eficiência, da produtividade e do lucro, isto é, das componentes fundamentais à existência da empresa. Na grande maioria das empresas existe um grande número de trabalhadores com funções dedicadas à gestão das operações e com orçamentos disponíveis, elevados. Em 2011, a revista Forbes realizou um estudo que informa que mais de três quartos dos *CEO's* surgem dentro da empresa e conta com um histórico ligado às operações, facto este que demonstra a importância de entender como uma empresa funciona [2, 3]. Somando-se a isso, está a constante evolução tecnológica que tem permitido a melhoria da qualidade do produto, tempos de resposta e setup, já que existem mais células robóticas realizando várias operações.

Devido ao desenvolvimento do mercado, a necessidade de resposta rápida de produtos acabados e processos bem definidos é cada vez mais uma realidade e atualmente a pressão é extrema. O ressurgimento desta questão requer uma tomada de decisão rápida e mais urgente do que nunca. Portanto, as simulações que constituem no momento uma das três principais ferramentas de apoio à gestão aparecem como uma solução pertinente para este problema. As primeiras simulações foram realizadas nos anos sessenta e até hoje tem vindo a amadurecer. No entanto, as empresas ainda não estão a aproveitar todo o seu potencial [4].

Hoje em dia os problemas de programação vêm atraindo a atenção e interesse de muitas empresas devido ao constante aumento da competitividade, sendo o objetivo destes problemas a redução dos tempos de produção e aumento da produção, sem diminuir a qualidade do produto. Mais uma vez, a simulação aparece como uma resposta à questão levantada [5].

Cada vez está mais presente a necessidade da tomada de decisões nos sistemas do mundo real e são estas que vão definir o sucesso de uma empresa. Boas decisões otimizam certos indicadores, seja de custo, lucro ou *leadtime*. Podem também estar relacionadas com a escolha de rotas ou alternativas nos caminhos, visto que estes acontecimentos podem influenciar a produção. Esta tomada de decisão cada vez mais tem de ser realizada em tempo real e num curto espaço de tempo, o que pode ter impacto na qualidade da decisão. Num sistema complexo torna-se difícil determinar as consequências que uma determinada decisão tem nos indicadores de desempenho da produção. Este facto acontece devido à incerteza associada ao processo, seja no ambiente externo, isto é, procura ou pelas dependências, tempos probabilísticos e variações associadas às estações de trabalho [4].

No caso específico dos modelos simulados, estes trazem um enorme conjunto de hipóteses a serem testadas e que permitem aproveitar as melhores ideias e mudanças a serem introduzidas na fábrica. A grande vantagem é a possibilidade de realizar inúmeros testes no ambiente simulado, que é uma réplica da realidade, sem ter qualquer impacto sobre o que está acontecendo no momento na produção.

Tendo em conta o contínuo desenvolvimento dos sistemas, a necessidade de estes serem capazes de se adaptar às mudanças de condições e interagir com o mundo real, aumenta drasticamente. Uma combinação entre conhecimento e monitorização proporciona a capacidade do sistema interagir com o mundo real com a possibilidade de determinação do grau de adaptação necessária ao ambiente. Existe uma variedade de possíveis eventos e condições que podem provocar diferentes respostas do sistema, sendo que, graças aos mecanismos adequados de adaptação em tempo

real e à tomada de decisão inteligente é possível que os sistemas lidem com a procura e com a complexidade da variabilidade dinâmica e da adaptação, com sucesso. Posto isto, os modelos de variabilidade estática e dinâmica emergem. Por um lado, nos modelos de variabilidade estática, as variações são introduzidas durante o ciclo de desenvolvimento. Por outro lado, os modelos de variabilidade aplicada em tempo real, cada vez mais utilizados, oferecem uma possibilidade dinâmica de seleccionar e alterar variantes a qualquer momento [6].

1.2 Objetivo e Metodologia

Ao nível do objetivo primordial do trabalho, este prendia-se com a criação de uma plataforma que permitisse analisar a variabilidade e os seus impactos em processos operacionais. De forma mais explicativa o pretendido passava por utilizar um software de simulação que permitisse criar ambientes que simulassem a existência de processos operacionais. Nestes seriam impostas alterações relacionadas com as dimensões de variabilidade para ser possível verificar e analisar os seus efeitos.

Este projeto tinha como intuito ser amplo e aberto à generalidade de processos operacionais, sendo que em primeiro lugar deveria ser aplicado a pequenos exemplos e após formalizadas as bases, aplicaria-se a modelos mais complexos que representassem o contexto real. Assim sendo, o trabalho desenvolvido pode chegar a ser visto como uma ferramenta que permita analisar os processos com objetivo de os aprimorar, visto que as simulações iriam permitir testar as mais diversas alterações e verificar onde seria mais importante corrigir ou, neste caso, diminuir as alterações impostas pela existência de variabilidade.

No que diz respeito à metodologia usada para o desenvolvimento do projeto, esta é composta por diversas fases de carácter diferente, inicialmente de análise teórica e por fim mais experimental com respetivas análises. Para iniciar o estudo começou-se por realizar uma análise do conceito de variabilidade, que é um tema com várias dimensões associadas. Em seguida, concluiu-se que duas dessas dimensões poderiam ser aplicadas no presente caso, como a variabilidade interna e externa, como será abordado com mais detalhe, cada uma dessas dimensões e com quais aspectos elas estão relacionadas, num dos seguintes capítulos. Após o estudo do conceito, foi necessário conhecer o software onde a plataforma seria desenvolvida, neste caso o software orientado a objetos, SIMIO [7]. A seguir ao estudo dedicado à familiarização com a plataforma de simulação, foram simulados pequenos casos exemplificativos do impacto da variabilidade, quer interna, quer externa e por fim com introdução das duas no sistema. Posto isto, foi fundamental aplicar os conceitos estudados a um processo existente, onde foi possível analisar os impactos da variabilidade, mais especificamente sobre a procura e processamento de produtos. Desta forma, alcança-se o caso de estudo realizado e que será especificado num próximo capítulo.

Já relativo ao caso de estudo, em primeiro lugar elaborou-se o modelo operacional do processo de produção, que surge do estudo da linha de produção, que corresponde a uma representação de como o trabalho é feito na empresa. De seguida, analisou-se este modelo em detalhe e representaram-se os constituintes através dos componentes do software. Posto isto, a simulação

foi criada, onde pequenos ajustes foram feitos em relação ao modelo real para que fosse possível realizar a simulação desse modelo num ambiente virtual de forma mais simplificada. A simulação consiste em recriar o modelo operacional com componentes do software capazes de representar o trabalho que a estação realiza na linha de produção. O software utilizado para produzir este modelo foi o software orientado a objetos SIMIO, como já havia sido referido. Após a análise do conceito, foi necessário interligá-lo ao tema proposto. Após o desenvolvimento da simulação, foram introduzidas alterações que representassem as pequenas configurações que já haviam sido estudadas. Estas mudanças foram introduzidas, alterando o modelo base, como será possível verificar mais à frente, resultando numa disparidade de resultados, o que permitiu analisar o efeito da variabilidade no processo.

De seguida é apresentado na Figura 1.1, o diagrama descritivo da metodologia utilizada no caso de estudo.

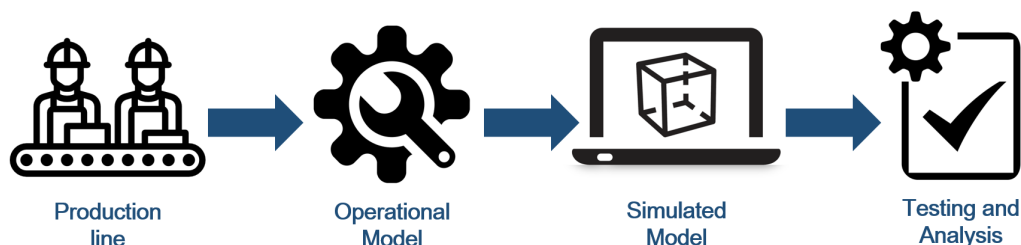


Figura 1.1: Diagrama de desenvolvimento.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente Dissertação conta com 6 capítulos, iniciando-se na introdução como é possível verificar e finalizando com o capítulo dedicado às conclusões finais do trabalho. Entre estes encontra-se capítulos dedicados ao estudo e análise teórico e desenvolvimento prático. De seguida, apresenta-se uma breve planificação dos seguintes capítulos.

No capítulo 2, relacionado com o estudo teórico, do *background* da temática, são apresentadas as referências bibliográficas relacionadas com o conceito a ser estudado e as suas dimensões, neste caso variabilidade interna e externa. Apresenta-se informações relacionadas com o conceito principal do trabalho, é enunciado o estudo da variabilidade realizado, bem como das dimensões que serão analisadas.

No capítulo 3, relacionado com a plataforma de análise da variabilidade onde se apresentam exemplos práticos, representativos de processos operacionais, onde foram introduzidas alterações representativas de ambas as dimensões de variabilidade, neste caso, variabilidade interna e externa. Neste capítulo apresentam-se pequenas configurações tipo que foram simuladas e serão utilizadas, posteriormente, no caso de estudo.

No capítulo 4, apresenta-se uma breve introdução com informação relativa às simulações e à ferramenta utilizada. De seguida, aborda-se o caso de estudo que serviu de base para a aplicação dos conceitos estudados, em ambiente simulado. Neste capítulo é demonstrada a elaboração dos modelos, operacional e simulado, e a sequência destes. É também apresentada a lista de componentes utilizada no software onde foi criada a simulação, bem como as funcionalidades desses componentes.

No capítulo 5, relacionado com os testes efetuados e resultados obtidos, são apresentados e discutidos os resultados conseguidos nas simulações. Nestes será sempre feito o enquadramento da temática principal e a maneira como a variabilidade afetou esses mesmos resultados. Os resultados serão apresentados de diversas formas para facilitar a compreensão e análise.

No capítulo 6 realiza-se uma conclusão a todo o trabalho desenvolvido, isto é, a interligação de todo o trabalho realizado com a confirmação dos conceitos estudados e aplicados, assim como dos seus impactos.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

Neste capítulo serão apresentadas algumas das referências consultadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Será também indicado o momento em que essa referência teve influencia, sendo que neste caso, podia ser na fase de investigação e aprofundamento do conceito de variabilidade, as suas dimensões e os seus impactos ou na fase de estudo do software de simulação, dos seus componentes e funcionalidades. Este capítulo também se revelou frutífero no aprofundamento do estudo do conceito e da sua aplicabilidade em processos operacionais. A partir daqui, tornou-se mais fácil o desenvolvimento do trabalho e entendimento da aplicação prática das dimensões da variabilidade estudadas.

2.1 Conceito de Variabilidade

O início do estudo deste conceito corresponde à fase de preparação, com o intuito de aprofundar o conceito de variabilidade bem como de delinear as dimensões a serem estudadas e analisadas. Posto isto, segundo John Nicholas (2010), variabilidade corresponde à quantidade pela qual algo se afasta do valor nominal (padrão, alvo ou esperado). Ao nível deste conceito, entende-se que, por vezes, em algumas situações adiciona surpresa e novidade à vida, mas em qualquer processo de fabricação ou de repetição, é uma problema manifestado por desperdício e má qualidade nos produtos fabricados. Não obstante, a variabilidade atravessa todos os aspectos da operação, como motivação e habilidades dos trabalhadores; capacidades de operação de equipamentos e processos, tempos de ciclo, tempos de configuração e confiabilidade; qualidade e entrega programada de matérias-primas e componentes [7].

A variabilidade percorre todos os aspectos da operação de tal modo a mais pequena variação em cada um dos componentes terá impactos brutais nos valores finais produzidos [8]. A variabilidade está presente em todos os sistemas de produção e pode ter um enorme impacto no desempenho, posto isto, é fundamental ter capacidade de medir, perceber e realizar uma boa gestão deste conceito para ser possível ter uma gestão eficaz da produção [9].

Como referiram Wallace J. Hopp e Mark L. Spearman (2011), variabilidade também influencia os custos de produção e os prazos de entrega, a que chamam de "influência corruptora" da

variabilidade no desempenho do sistema [9]. A variabilidade também está ligada a leis das operações, como por exemplo a lei de *Little*, que é uma equação que mostra que o número médio de clientes num sistema de filas é igual à taxa média de chegada multiplicada pela quantidade média de tempo que passam no sistema. Posto isto, e como referia Karen Donohue (1999), a variabilidade na chegada de trabalho e nos tempos de processamento causa congestionamento e atraso. À medida que a variabilidade dos tempos de chegada ou de processamento aumenta, o tempo de espera e os níveis de inventário também aumentam [1]. O estudo, neste caso, vai-se focar nos conceitos de variabilidade na procura e nos processos.

Como referiam Richard Germain, Cindy Claycomb e Cornelia Dröge (2007), a variabilidade ao nível da procura é o nível de inconsistência, ou volatilidade, no fluxo de mercadorias de uma empresa [10]. Ao nível do processamento, a variabilidade aparece relacionado com as variações existentes nos vários tempos existentes no processos, como *setup*, processamento, espera, entre outros. Também se verifica existência de variabilidade, neste caso interna, na variação das capacidades das máquinas/servidores, no nível de stock intermédio, nas falhas possíveis de existir nos servidores/máquinas, entre outros. Estas variáveis revelam-se importantes, visto que a mínima variabilidade presente nestas, tem grandes consequências para a empresa.

É comum associar-se variabilidade com aleatoriedade, que apesar de não significar o mesmo, apresenta algumas semelhanças. Posto isto, é então necessário, entender o conceito de aleatoriedade e a sua conexão ao conceito de probabilidade. Desta maneira surgem dois tipos de variações, que são variações controladas e variações aleatórias. As variações controladas advêm de decisões tomadas. Por exemplo, nas configurações que serão apresentadas, o nível de stock intermédio e o número de servidores com falhas periódicas serão variações controladas pelo utilizador, este define se existem ou não e no caso de existirem qual o seu valor. A juntar a isto, no caso do material ser movido em lotes de um processo para o seguinte, o primeiro produto a terminar terá que esperar até que último seja produzido para o lote ser transportado, desta maneira os tempos de espera serão mais variáveis do que se fossem transportados um de cada vez. Por outro lado, as variações aleatórias são aquelas que estão fora do controlo imediato da própria empresa. Neste caso, destaca-se como exemplo os diferentes tempos na procura de produtos por parte dos clientes, visto ser algo que a empresa não tem hipótese de controlar, assim como uma falha ocorrida numa máquina. Mais uma vez, nas configurações definidas serão utilizadas distribuições de probabilidade que vão definir os valores quer do tempo entre chegadas de itens ao sistema, quer do tempo de processamento destes em cada máquina/servidor, sendo impossível determinar que valor será definido. Visto que não há forma de controlar estes acontecimentos, pelo menos de maneira imediata, estes vão aumentar os efeitos da variabilidade na produção [9].

Neste trabalho, serão discutidos dois aspectos associados ao conceito de variabilidade, mais concretamente duas das suas dimensões. As duas dimensões que serão apresentadas estão diretamente relacionadas aos processos operacionais. Primeiro, aborda-se a variabilidade interna, assim chamada porque se refere às variações inerentes aos processos, sejam elas nos tempos de processamento, capacidades, tempos de preparação e outros aspectos "internos" do processo, ou seja dedicados ao processamento do produto. Em seguida, é apresentada outra dimensão, a vari-

abilidade externa, assim chamada porque se refere às variações inerentes à procura por produtos, como o nome indica são aspectos "externos" à produção, isto é, que não têm ligação direta com o processamento de produtos, mas que afetam esta produção à priori, por exemplo na definição do que se quer produzir [9].

2.2 Variabilidade Interna

Em termos de variabilidade interna realça-se a relação desta com o processamento de produtos ou serviços, mais concretamente nos tempos associados a realização destes. É fácil o entendimento desta conclusão, visto que a variabilidade se manifesta em coisas simples, como variações nos procedimentos de trabalho e impactos mais complexos, como configurações, interrupções aleatórias e problemas de qualidade. Ao nível da variabilidade associada ao fluxo é manifestada pela forma como o trabalho é colocado no sistema ou movido entre as estações. Em termos de resultados, é possível verificar que a variabilidade presente num sistema é a consequência de uma série de decisões sobre seleção de processos, projeto de sistemas e controlo e gestão de qualidade. Além disso, o tempo de espera, presente em qualquer processo operacional, é geralmente o maior componente do tempo de ciclo, tempo necessário para a criação de um produto. Os dois factos que contribuem para os longos períodos de espera são altos níveis de utilização e altos níveis de variabilidade.

No caso de estudo que foi analisado e será apresentado em pormenor num dos seguintes capítulos, é possível destacar os tempos de processamento de cada máquina/servidor de cada família de tanques e o tempo associado ao teste de bombas de calor, como sendo os principais influenciadores do processo, já que com a introdução de variabilidade, podem surgir longos períodos de espera, acumulações em stock, diminuição da taxa de utilização e do número de unidades produzidas [11, 12]. Cada cenário será simulado diversas vezes, variando o nível do stock intermédio antes de cada máquina ou impondo falhas em servidores. Estes dois factores também contribuem para a variabilidade interna do processo, contudo aplicou-se mais os termos de variabilidade interna e externa aos tempos e à variação destes, sendo que são imprevisíveis, ao contrário das falhas e do nível de stock que são impostas pelo utilizador.

2.3 Variabilidade Externa

A variabilidade externa, como já mencionado, corresponde à variabilidade que pode ocorrer na procura por produtos ou serviços, que é refletida pela disposição dos clientes em comprar determinados produtos e pela sua sazonalidade. Por outras palavras, é a diferença entre o que se espera que aconteça e o que realmente acontece. É possível destacar vários fatores que contribuem para a variabilidade na procura, tais como: tempo de chegada, sazonalidade dos produtos e necessidades dos clientes. A procura por produtos varia de diferentes maneiras de acordo com a utilidade do produto em determinadas épocas do ano. Esta dimensão de variabilidade não afeta diretamente a produção, no que diz respeito ao processamento dos produtos, mas sim naquilo que se irá produzir, quantidades, tipos de produtos, que têm diferentes tempos e operações associados [11].

No caso de estudo analisado, este conceito estará relacionado com a variação do intervalo de tempo entre chegada de itens ao sistema. Cada fonte de material segue uma distribuição exponencial onde é definido, pelo utilizador, o valor médio dessa distribuição, sendo o desvio padrão de valor igual ao valor médio definido. Do conhecimento desta distribuição sabe-se que quanto maior o valor médio maior é o intervalo de valores possíveis de serem utilizados, indicando deste modo que haverá maior variabilidade externa [13]. Neste caso, a utilização da distribuição exponencial tem por objetivo representar a procura dos clientes por determinados produtos. Como se verá mais à frente, apenas se estudou a variabilidade externa através destas alterações, por outro lado o modelo permitiria que se testasse diferentes valores de procura no que diz respeito a cada tipo de produto. Por outras palavras era possível variar a percentagem de produção relativa a cada produto e verificar as suas consequências, caso que não foi apresentado nos casos práticos.

2.4 Processos operacionais

Por processos operacionais entende-se transformação de uma entrada numa saída, de forma mais específica, é um conjunto de tarefas organizadas cujo o intuito é produzir um determinado produto ou criar um determinado serviço. As entradas podem ser de vários tipos, como por exemplo, materiais, equipamentos, dinheiro, entre outros, que após passarem por um conjunto de operações vão originar um produto ou serviço finalizado.

Hoje em dia é fulcral a integração entre processos operacionais e processos de negócio devido à necessidade de resposta aos requisitos, cada vez mais elevados, do mercado. Esta integração conta com a particularidade de permitir uma tomada de decisões mais rápida, a possibilidade de personalizar a produção e de diminuir o prazo de lançamento dos produtos no mercado [14].

No estudo da aplicação das dimensões de variabilidade aos processos operacionais conclui-se que a cada dimensão correspondia um tipo de distribuição de probabilidade diferente. A variabilidade interna seria representada por distribuições normais, isto é, as máquinas ou servidores seguiriam uma distribuição normal, com determinado valor médio e determinado desvio padrão. Esta distribuição determina que existe grande probabilidade de que os tempos de processamento tenham valores perto do valor médio, podendo também assumir valores superiores ou inferiores para cada item em que atuem. No caso da variabilidade externa, esta será representada através de uma distribuição de probabilidade exponencial, com determinado valor médio, indicando que cada fonte de itens seguirá uma distribuição exponencial em que será definido o valor médio pelo utilizador. Este tipo de distribuição representa o intervalo de tempo entre chegadas de itens ao sistema, mas também que valores de taxa de chegada mais altos, isto é, com valor médio entre chegadas inferior, terão uma amplitude de resultados inferior [13].

Capítulo 3

Plataforma de simulação para análise de variabilidade

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento da plataforma de análise do efeito da variabilidade. Após toda a análise e estudo teórico apresentado nos capítulos anteriores, chegou o momento de realizar a passagem para a aplicabilidade destes conceitos. Inicialmente, elaboraram-se configurações tipo, isto é, pequenos exemplos representativos de processos operacionais, onde seria possível introduzir variabilidade, tanto interna como externa, com o intuito de analisar os resultados obtidos. Estas configurações tinham como objetivo servir de base, de ponte de ligação para o desenvolvimento do caso de estudo do capítulo seguinte. O caso de estudo representativo de uma situação real seria alterado com a introdução destes tipos de configuração com o intuito de verificar as implicações em todo o processo de fabricação.

3.1 Configurações tipo

As configurações tipo são pequenas representações de certos componentes dos processos operacionais, que têm o intuito de demonstrar o efeito que a introdução de variabilidade no sistema pode ter. Estas configurações serão demonstradas no software de simulação com o intuito de realizar a ponte para os modelos mais complexos que serão mais tarde abordados. De seguida, serão apresentados alguns dos casos simples relacionados com o conceito de variabilidade, bem como de ambas as dimensões a serem estudadas. Os cenários tipos que serão apresentados partem todos das mesmas condições, isto é, simulação de 24 horas de trabalho, as alterações vão sendo impostas nos diferentes cenários para demonstrar o impacto da variabilidade.

Cada configuração apresentará diversos cenários correspondendo a existência de variabilidade interna, externa e por fim de ambas as dimensões de variabilidade. Dentro de cada caso há possibilidade de se realizar diversos testes com alterações no nível de stock intermédio ou no número de servidores com falhas periódicas, sendo estas alterações ponderadas e não aleatórias.

3.1.1 Configuração simples - fonte, máquina, local de descarga

Nesta secção serão apresentados diversos casos simples, com o intuito de demonstrar os impactos que pequenas alterações impostas no sistema podem causar. Inicialmente, realizou-se um cenário afeto à variabilidade interna, de seguida, no segundo cenário, os casos dizem respeito à variabilidade externa e por fim, o último cenário, que conjuga as duas dimensões de variabilidade.

Cada caso que será apresentado, conta com configurações próprias e apresentadas nas figuras seguintes. As condições que foram alvo de variabilidade foram a taxa de chegada de itens ao sistema e o tempo de processamento individual de cada item na máquina ou servidor.

As variações serão dadas aleatoriamente, definindo quer a taxa de chegada, quer o tempo de processamento, através de distribuições, exponencial e normal, respetivamente. De seguida, apresenta-se o esquema que serviu de base à elaboração dos modelos simples simulados. O valores estão preenchidos por um '?', visto que serão diferentes para cada caso.

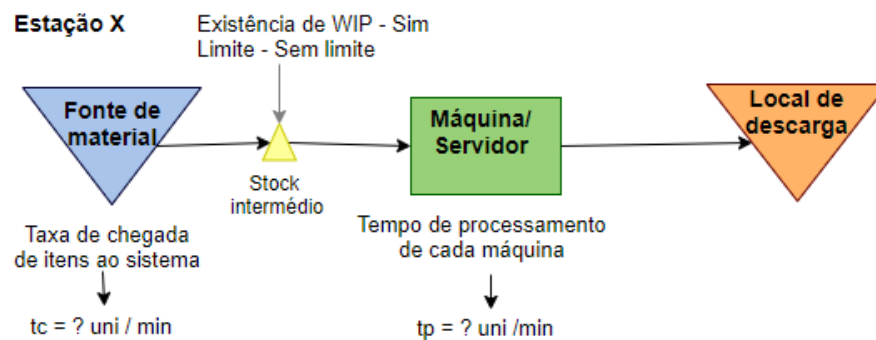


Figura 3.1: Configuração tipo 1 - Esquema de operações a ser simulado.

Neste esquema, pode-se identificar, tal como está expresso na figura, uma fonte de itens, uma máquina/servidor que processará os itens e um local onde estes itens serão descarregados após a operação ser realizada. De seguida, são apresentados os casos estudados para este cenário. Este casos contam com diferentes configurações ao nível do tempo de processamento, de modo a ser possível visualizar os impactos causados pela variabilidade interna. Neste cenário o valor da taxa de chegada permanece inalterado para todos os casos.

3.1.1.1 Cenário 1 - Variabilidade interna - com e sem existência de stock intermédio

- **Caso 1 - Tempo de processamento sem variabilidade**

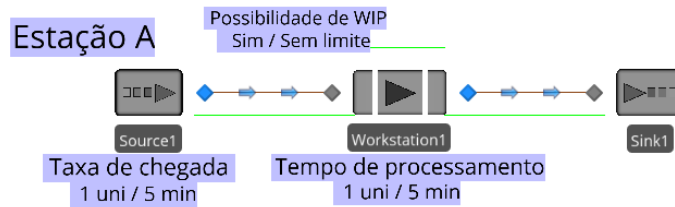


Figura 3.2: Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 0.5 minuto**

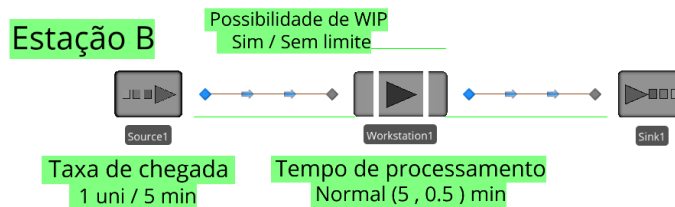


Figura 3.3: Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 1 minuto**

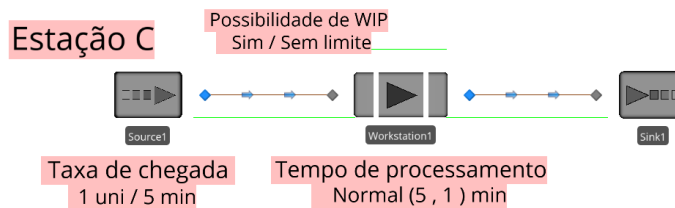


Figura 3.4: Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Resultados e Análises do cenário**

Neste ponto focam-se os resultados obtidos nas simulações dos casos apresentados. Para cada um dos casos realizaram-se duas simulações, uma com a existência de stock intermédio e uma segunda sem a existência deste. De seguida, apresentam-se os valores recolhidos, tempo de espera, tempo de processamento, tempo das unidades no sistema, taxa de utilização das máquinas e o número de unidades produzidas. É também apresentado um gráfico que relaciona o número de unidades produzidas, com a taxa de utilização da máquina/servidor.

- Teste com existência de *WIP*

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização	Número de unidades produzidas
Caso 1	0	5	5	100,00%	288
Caso 2	4,34	5,01	9,35	99,79%	287
Caso 3	5,34	5,03	10,37	99,58%	284

Figura 3.5: Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação dos três casos com a existência de stock intermédio.

Após uma análise da figura 3.5 é possível inferir algumas conclusões relacionadas com a presença de variabilidade:

Foram estudados três casos, com variações impostas ao nível do tempo de processamento da máquina/servidor. Do caso 1 até ao caso 3 aumenta-se o valor do desvio padrão, tendo em conta que o tempo de processamento segue uma distribuição normal, de valor médio 5 minutos;

De realçar que a presença de variabilidade introduz tempo de espera, isto é, de forma geral, cada item terá de esperar até ser processado, já depois de ser colocado no sistema. Neste caso, a existência de stock intermédio permite ter unidades no sistema mesmo antes de serem processados, o que aumenta o valor do tempo de espera;

Este facto, também aumenta o tempo que as unidades passam no sistema, visto que esta variável está relacionada com o tempo de processamento e com o tempo de espera, tendo em conta as configurações destes exemplos;

Ao nível da taxa de utilização, ocorre uma descida com a imposição de variabilidade nos tempos de processamento. Derivado deste decaimento da taxa de utilização da máquina, está associado o correspondente decréscimo do número de unidades produzidas. De destacar, também, que como existe stock intermédio, tanto a taxa de utilização como o número de unidades produzidas, sofrem um decréscimo pouco acentuado, em comparação com, como será mostrado mais a frente, a estação sem existência do stock intermédio.

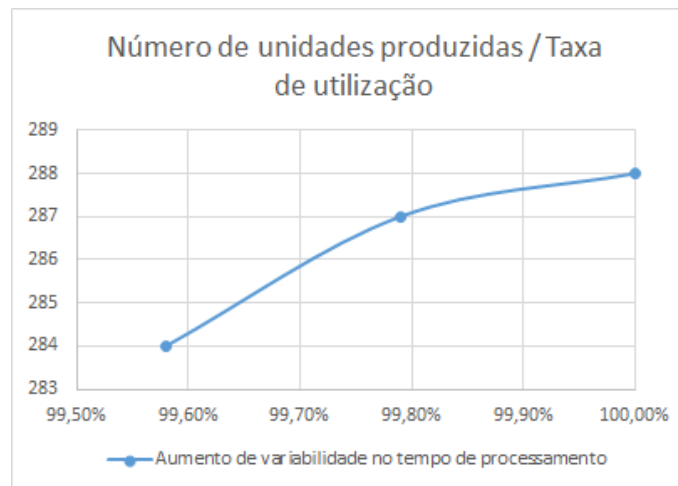


Figura 3.6: Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema com a existência de stock intermédio.

- **Teste sem existência de *WIP***

Após uma análise da figura 3.7 e comparando com a 3.5 é possível inferir o seguinte:

Foram estudados três casos, com variações impostas ao nível do tempo de processamento da máquina/servidor. Do caso 1 até ao caso 3 aumenta-se o valor do desvio padrão, tendo em conta que o tempo de processamento segue uma distribuição normal, de valor médio 5 minutos;

Ao nível do tempo de espera é possível identificar uma subida no seu valor quando se aumenta a variabilidade interna do processo. O tempo de processamento reflete o tempo médio de cada unidade que passe na máquina/ servidor, tendo um valor próximo dos 5 minutos;

O tempo que as unidades passam no sistema depende do tempo de processamento e também do tempo de espera, o que explica o aumento visível à medida que se aumenta o valor de variabilidade interna, tal como no tempo de espera;

A taxa de utilização da máquina/servidor também varia, diminuindo com a existência de variabilidade interna. De realçar a relação entre este parâmetro e o número de unidades produzidas, visto que a diminuição da taxa de utilização é acompanhada com diminuição do número de unidades produzidas.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização	Número de unidades produzidas
Caso 1	0	5	5	100,00%	288
Caso 2	1,49	5,01	6,49	99,37%	285
Caso 3	1,59	4,99	6,58	97,09%	280

Figura 3.7: Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação dos três casos sem a existência de stock intermédio.

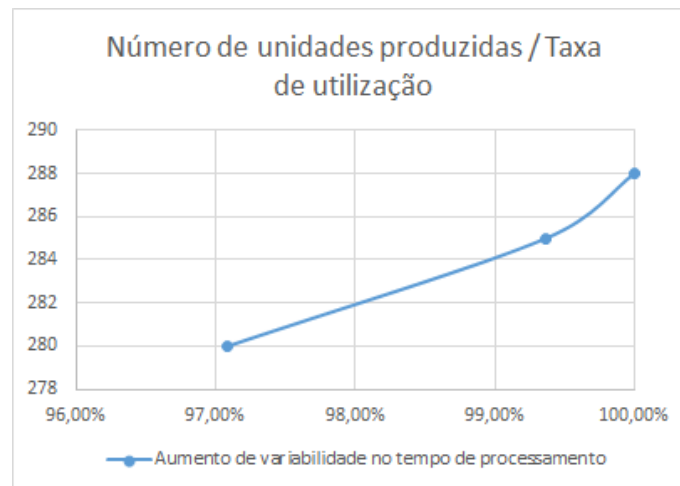


Figura 3.8: Configuração tipo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema sem a existência de stock intermédio.

Da comparação das figuras 3.6 e 3.8 é possível verificar que o cenário com a existência do stock intermédio tem um decréscimo inferior no que diz respeito à taxa de utilização e do número de unidades produzidas, com o aumento da variabilidade, do que o cenário sem a existência de stock intermédio.

3.1.1.2 Cenário 2 - Variabilidade externa - com e sem a existência de stock intermédio

O segundo cenário tinha como objetivo o estudo dos efeitos da variabilidade externa do processo. Desta forma, fixou-se o valor do tempo de processamento e impuseram-se alterações ao nível do intervalo de tempo entre chegadas dos materiais. Cada cenário foi testado com e sem a existência de stock intermédio. Este facto, existência de stock intermédio, sem limite, iria demonstrar que para certos valores de taxa de chegada, o desempenho do sistema ficaria apenas dependente do outro parâmetro do processo, neste caso, o tempo de processamento.

- **Caso 1 - Taxa de chegada que segue uma distribuição exponencial de valor médio 5**

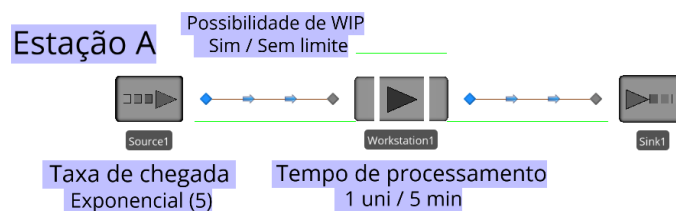


Figura 3.9: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada que segue uma distribuição exponencial de valor médio 4,5**

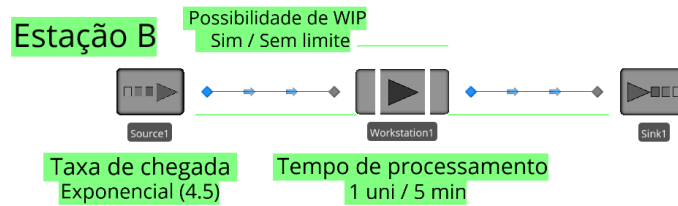


Figura 3.10: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada que segue uma distribuição exponencial de valor médio 4**

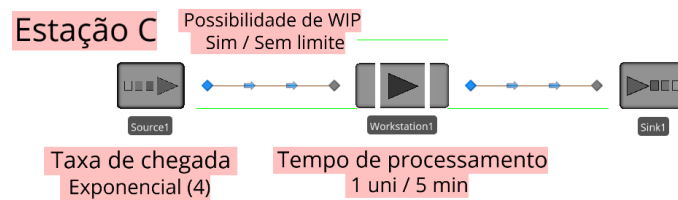


Figura 3.11: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Taxa de chegada que segue uma distribuição exponencial de valor médio 3**

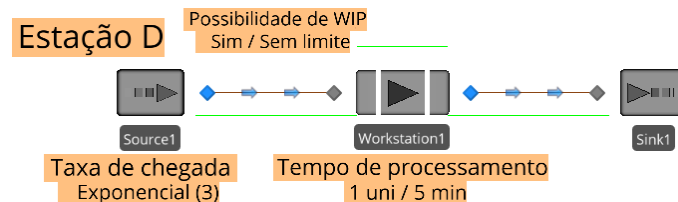


Figura 3.12: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Caso 4 - Condições de simulação.

- **Resultados e Análises do cenário**

- **Teste com existência de WIP**

Após a análise da figura 3.13 é possível inferir algumas conclusões:

O número de casos estudados foi 4, sendo que do primeiro para o último o valor da taxa de chegada foi sendo aumentado. Sabendo de antemão que a introdução de itens no sistema segue uma distribuição exponencial, onde se define apenas o valor médio, é de simples entendimento que quando os valores médios da distribuição são mais baixos, os desvios serão inferiores, indicando menor variabilidade na procura;

Ao nível de tempo de espera ocorre um aumento com o aumento da taxa de chegada, tendo em conta que taxas altas, introduzem itens mais rápido no sistema, itens estes que ficarão à espera

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização	Número de unidades produzidas
Caso 1	102,42	5	107,42	99,96%	287
Caso 2	163,57	5	168,57	100,00%	288
Caso 3	225,12	5	230,12	100,00%	288
Caso 4	348,22	5	353,22	100,00%	288

Figura 3.13: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação dos quatro casos com a existência de stock intermédio.

de ser trabalhados. De realçar, que o tempo de espera dispara para valores bastante superiores, à medida que se aproxima da taxa de utilização ideal. Este fenómeno é mais perceptível quando existe no sistema, stock intermédio;

O tempo de processamento, como já havia sido mencionado, é fixo e apresenta uma influência superior quando a taxa de chegada é mais elevada, visto que o número de unidades produzidas fica apenas dependente deste parâmetro;

Ao nível do tempo que as unidades passam no sistema, visto a sua relação direta com o tempo de processamento e de espera, entende-se que terá um comportamento idêntico ao tempo de espera, dado o comportamento constante do tempo de processamento;

A taxa de utilização da máquina/servidor varia com a introdução de variabilidade externa no processo. Neste caso quanto maior a variabilidade externa, menor o valor de taxa de chegada, indicando que existirá um intervalo maior na chegada de itens ao sistema, que terá como resultado um valor inferior da taxa de utilização;

Da relação já mencionada de número de unidades produzidas e taxa de utilização entende-se que o comportamento destes será idêntico, sendo que o aumento de variabilidade externa faz decrescer o valor do número de unidades produzidas.

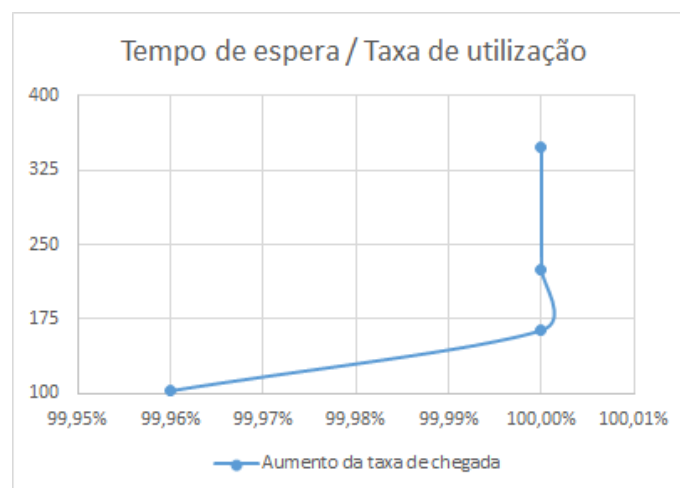


Figura 3.14: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema com a existência de stock intermédio.

– Teste sem existência de *WIP*

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização	Número de unidades produzidas
Caso 1	2,12	5	7,12	81,60%	235
Caso 2	2,21	5	7,21	82,43%	237
Caso 3	2,24	5	7,24	85,76%	247
Caso 4	2,48	5	7,48	89,08%	256

Figura 3.15: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação dos quatro casos sem a existência de stock intermédio.

Neste caso, em que não existe stock intermédio, as conclusões são parcialmente iguais, no que diz respeito à relação entre a taxa de chegada e a taxa de utilização, havendo, ainda assim, alterações a destacar:

O número de casos mantém-se, assim como, as condições, salvo a não existência de stock intermédio, representando a única alteração imposta;

O tempo de espera é bastante inferior para todos os casos, sendo que a diferença aumenta à medida que o valor de taxa de chegada é superior, isto é, quando se vai reduzindo a variabilidade externa. Apesar deste facto, é visível o aumento progressivo do valor do tempo de espera quando se dá essa diminuição entre a chegada de itens ao sistema;

O tempo de processamento mantém-se inalterável;

O tempo que as unidades passam no sistema aumenta de forma progressiva, sendo que este aumento é muito menos significativo quando comparado com o teste que contém a existência de stock intermédio;

A taxa de utilização aumenta com o aumento da taxa de chegada, mas atinge valores inferiores quando comparado com os mesmo casos do teste com existência de stock intermédio;

Como seria de esperar, o número de unidade produzidas aumenta com a taxa de chegada, mas tal como a taxa de utilização atinge valores inferiores, quando comparada com o teste anterior.

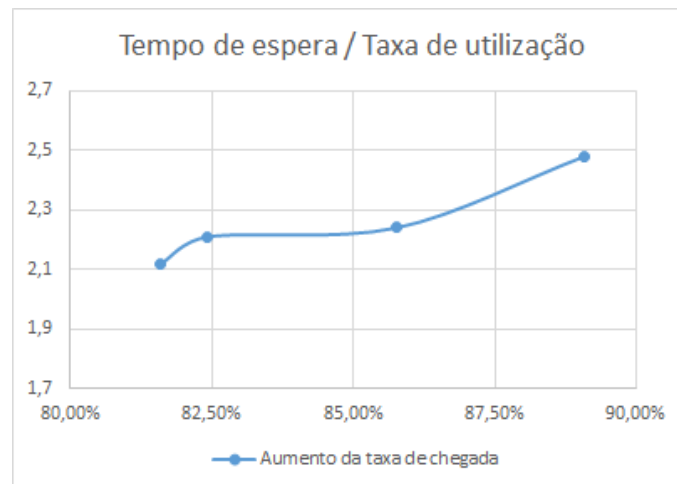


Figura 3.16: Configuração tipo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do tempo das unidades no sistema sem a existência de stock intermédio.

3.1.1.3 Cenário 3 - Variabilidade interna e externa - com e sem a existência de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada - distribuição exponencial de valor médio 5 e tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 0.5 minuto**

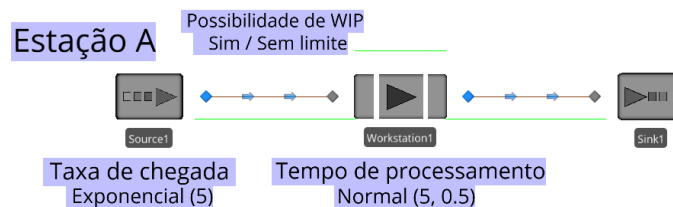


Figura 3.17: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - distribuição exponencial de valor médio 4 e tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 0.5 minuto**

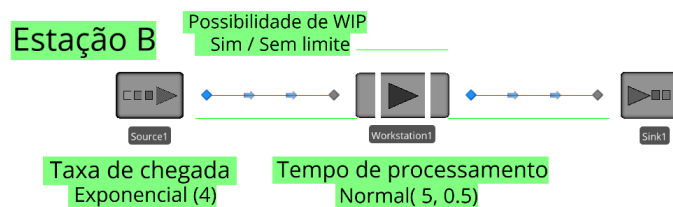


Figura 3.18: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada - distribuição exponencial de valor médio 3 e tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 0.5 minuto**

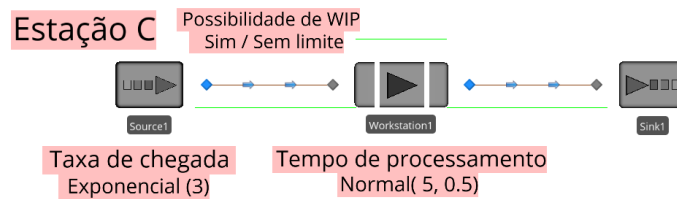


Figura 3.19: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Taxa de chegada - distribuição exponencial de valor médio 5 e tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 1.5 minuto**

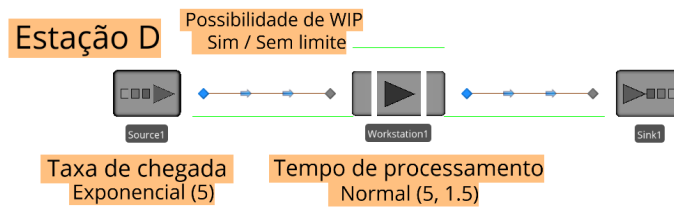


Figura 3.20: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.

- **Caso 5 - Taxa de chegada - distribuição exponencial de valor médio 4 e tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 1.5 minuto**

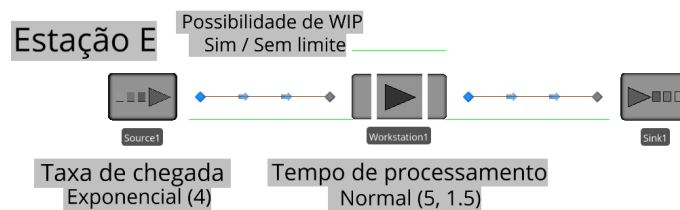


Figura 3.21: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 5 - Condições de simulação.

- **Caso 6 - Taxa de chegada - distribuição exponencial de valor médio 3 e tempo de processamento - distribuição normal de valor médio 5 e desvio padrão 1.5 minuto**

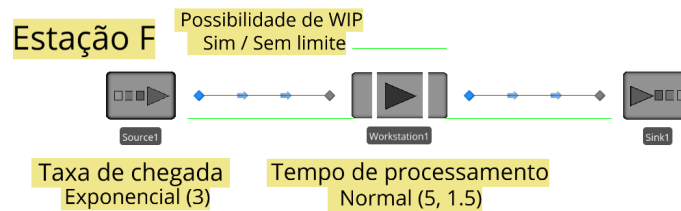


Figura 3.22: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Caso 6 - Condições de simulação.

- **Resultados e Análises do cenário**

– **Teste com existência de *WIP***

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização	Número de unidades produzidas
Caso 1	101,41	5,04	106,45	100,00%	285
Caso 2	197,14	5	202,14	100,00%	287
Caso 3	322,71	4,99	327,7	100,00%	288
Caso 4	104,93	5,21	110,14	100,00%	275
Caso 5	221,47	5,02	226,49	100,00%	286
Caso 6	312,93	5,01	317,94	100,00%	286

Figura 3.23: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação quando existe stock intermédio ilimitado.

Tendo em conta a figura 3.24 e resultados, bem como do gráficos seguintes conclui-se o seguinte:

O número de casos é superior, tendo como objetivo representar a conjugação das duas dimensões a serem estudadas, de forma mais pormenorizada;

O tempo de espera aumenta com o aumento da taxa de chegada, sendo que ao nível dos casos em que se difere a variabilidade interna é difícil descrever o comportamento, ou concluir a influência desta dimensão. Este facto relaciona-se com um valor de tempo de espera superior nos dois primeiros casos, quando a variabilidade interna é inferior, facto que não se verifica no último caso. Mais uma vez é possível verificar que este tempo de espera aumenta de forma mais acentuada à medida que se atingem valores superiores de taxa de utilização;

O tempo de processamento segue uma distribuição normal, sendo que é a própria simulação que controla esses tempos, daí serem valores diferentes sempre próximos do valor médio de 5 minutos. A diferença nestes valores também traz repercussões no sistema e dificulta certas análises e conclusões;

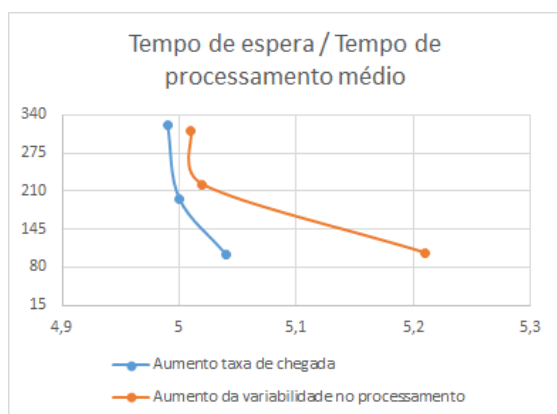


Figura 3.24: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera das unidades no sistema em função da taxa de utilização quando existe stock intermédio ilimitado.

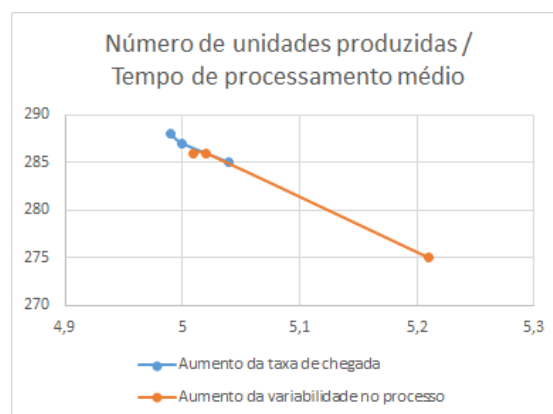


Figura 3.25: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função da taxa de utilização quando existe stock intermédio ilimitado.

Mais uma vez o tempo que as unidades passam no sistema tem um comportamento idêntico ao tempo de espera, visto que ao nível do tempo de processamento as variações são inferiores às variações ocorridas no tempo de espera;

No que diz respeito à taxa de utilização é possível verificar que aumenta com o aumento da taxa de chegada. De realçar que o aumento de variabilidade interna fez alargar o intervalo de valores desta taxa, isto é, apesar de atingir a taxa de 100%, é possível verificar que no primeiro caso apresenta um valor inferior quando comparado com o caso que apenas diferia no valor da variabilidade interna;

O número de unidades produzidas varia, aumentando com a taxa de chegada e tendo ligeiras alterações quando comparados os casos com a mesma taxa de chegada e diferentes tempos de processamento.

- Teste sem existência de *WIP*

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização	Número de unidades produzidas
Caso 1	1,94	4,96	6,9	77,50%	224
Caso 2	2,18	4,97	7,15	85,48%	247
Caso 3	2,74	5	7,74	90,37%	260
Caso 4	2,05	5,01	7,06	73,44%	211
Caso 5	2,42	4,99	7,41	84,22%	242
Caso 6	2,81	5,1	7,91	88,50%	249

Figura 3.26: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação quando não existe stock intermédio.

Após a análise da figura 3.26 é possível verificar algumas diferenças em relação ao teste anterior, tais como:

O tempo de espera aumenta com o aumento da taxa de chegada, mas numa amplitude muito inferior;

O tempo de processamento mantém-se próximo do seu valor médio, sendo que a variabilidade interna, apresenta poucas alterações no cômputo geral;

O tempo que as unidades passam no sistema aumenta de forma semelhante ao tempo de espera, sem grandes amplitudes de valores, ao contrário do teste anterior;

A taxa de utilização aumenta a partir de valores inferiores, sem atingir valores próximos à idealidade. A não existência de stock intermédio limita os valores atingidos por esta variável.

O número de unidades produzidas, tal como esperado, dada a interligação com a taxa de utilização, aumenta com o valor de taxa de chegada, mas encontra-se também limitado pela não existência de stock intermédio. No gráfico do número de unidades em função da taxa de utilização é possível verificar um comportamento quase de proporcionalidade direta entre estas variáveis.

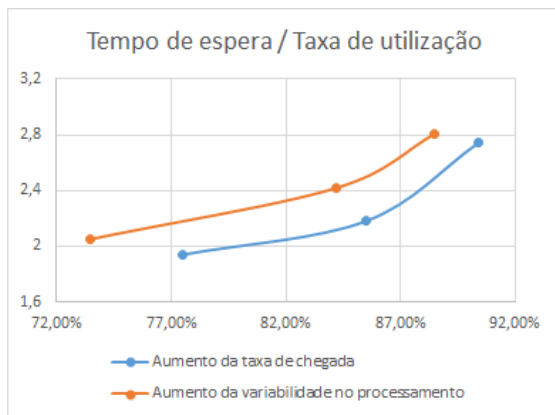


Figura 3.27: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera das unidades no sistema em função da taxa de utilização quando não existe stock intermédio.

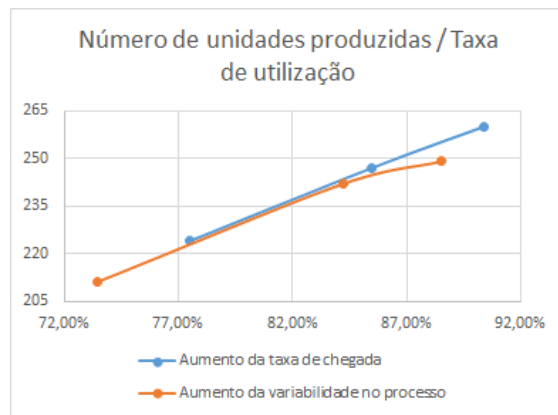


Figura 3.28: Configuração tipo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função da taxa de utilização quando não existe stock intermédio.

3.1.2 Configuração das estações de trabalho - Série

Neste exemplo aborda-se a configuração das estações de trabalho. É comum nas empresas existirem diferentes *layouts* no que diz respeito às estações de trabalho. Neste pequeno exemplo estudou-se uma das configurações possíveis.

A estação representa um fisnomia em série, em que cada máquina realiza trabalho e só após, o material a ser trabalhado, segue para a seguinte máquina. Cada máquina conta com um tempo de processamento e uma taxa de chegada que serão variados nos vários casos, com intuito de estudar os impactos que estas condições terão. Para cada caso, foram simulados quatro situações, onde era variado o valor de stock intermédio de cada máquina, desde 0, isto é, sem existência de stock intermédio, 1, 2 e 5. A existência ou não de stock intermédio tem especial importância nesta fisnomia, visto que tal situação podem representar bloqueio das máquinas.

O bloqueio das máquinas é um fenómeno que ocorre quando, numa sequência de operações em diferentes máquinas, a máquina seguinte não está disponível para receber o material que já terminou o seu processamento na máquina anterior, logo, a máquina que contém o material já processado, entra em bloqueio, tendo então que esperar que a máquina seguinte fique livre para poder voltar a realizar operações nos materiais seguintes. Este bloqueio acontece devido à variabilidade existente nos tempos de processamento de cada máquina, visto que, deste modo, os tempos das máquinas dificilmente serão os mesmos.

As variações serão dadas aleatoriamente, definindo quer a taxa de chegada, quer o tempo de processamento, através de distribuições, exponencial e normal, respetivamente. De seguida, apresenta-se o esquema que serviu de base à elaboração dos modelos simples simulados. O valores estão preenchidos por um '?', visto que serão diferentes para cada caso.

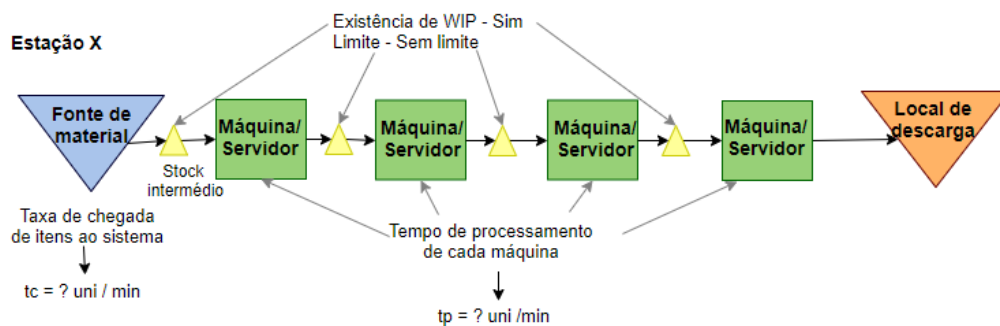


Figura 3.29: Configuração tipo 2 - Esquema de operações a ser simulado - Configuração em série.

3.1.2.1 Cenário 1 - Variabilidade interna - com variação no número de unidades do stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento - Normal (5, 0.5)**

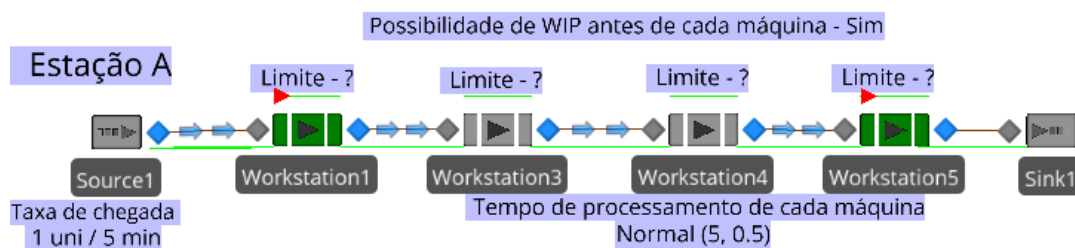


Figura 3.30: Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento - Normal (5, 1.5)**

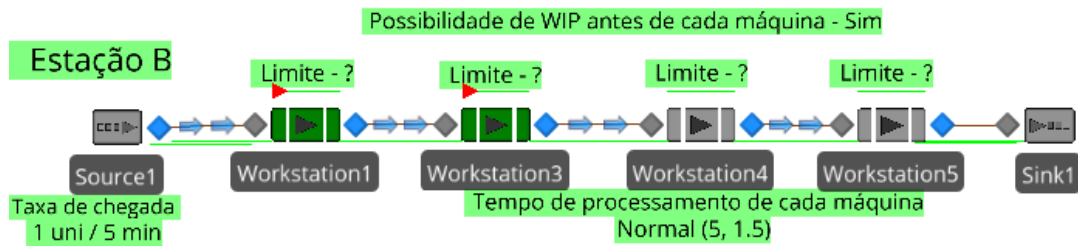


Figura 3.31: Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.

3.1.2.2 Cenário 2 - Variabilidade externa - com variação no número de unidades do stock intermédio.

- **Caso 1 - Tempo de processamento fixo e taxa de chegada - Exponencial (5)**

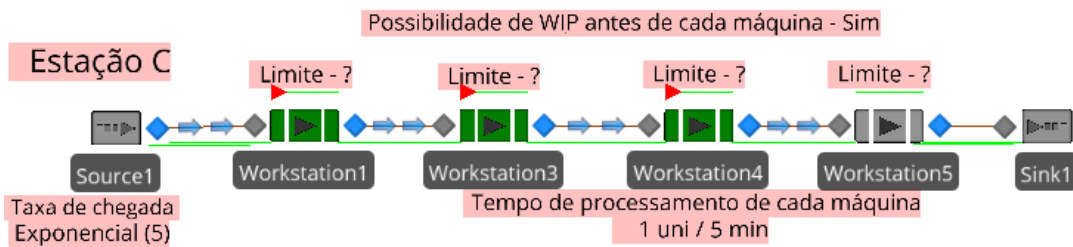


Figura 3.32: Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Tempo de processamento fixo e taxa de chegada - Exponencial (3)**

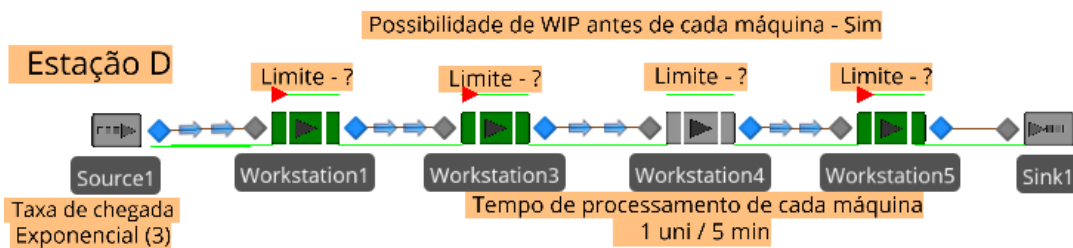


Figura 3.33: Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.

3.1.2.3 Cenário 3 - Variabilidade externa e interna - com variação no número de unidades do stock intermédio

- **Caso 1 - Tempo de processamento - Normal(5,0,5) e taxa de chegada - Exponencial (5)**

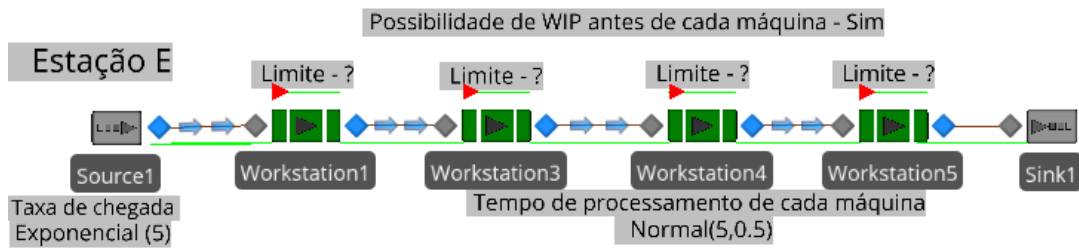


Figura 3.34: Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Tempo de processamento - Normal (5,0,5) e taxa de chegada - Exponencial (3)**

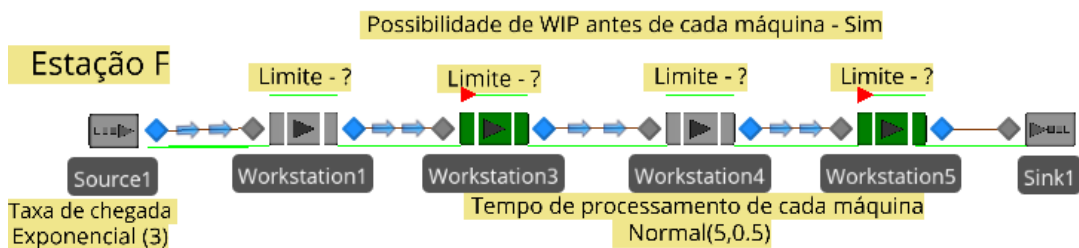


Figura 3.35: Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Tempo de processamento - Normal(5,1,5) e taxa de chegada - Exponencial (5)**

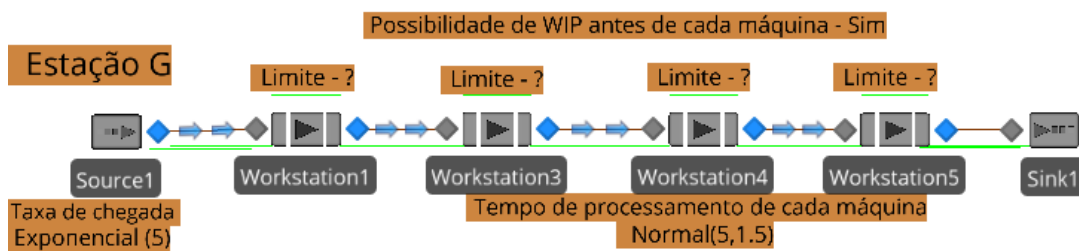


Figura 3.36: Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Tempo de processamento - Normal (5,1.5) e taxa de chegada - Exponencial (3)**

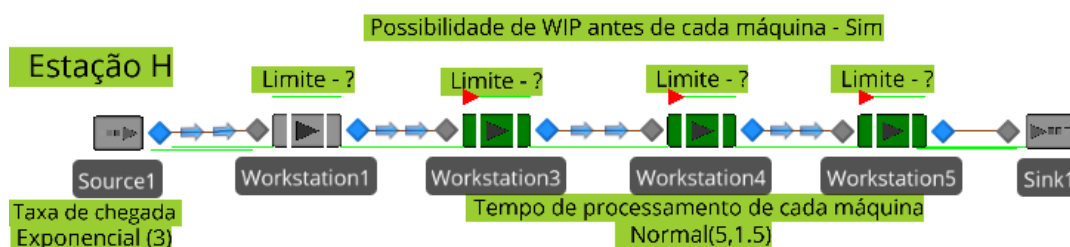


Figura 3.37: Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.

- **Resultados e Análises dos cenário**

- **Variabilidade interna**

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	15,23	5,08	20,31	0,47	64,30%	184	0
Caso 2	15,8	5,27	21,07	1,42	63,31%	180	0
Caso 1	24,01	5,01	29,02	0,47	98,50%	281	1
Caso 2	26,02	5,19	31,21	1,34	91,46%	261	1
Caso 1	26,86	5,01	31,87	0	98,75%	281	2
Caso 2	37,64	5,13	42,77	1,53	94,15%	268	2
Caso 1	26,01	5	31,01	0	98,69%	282	5
Caso 2	53,21	5	58,21	1,2	96,75%	274	5

Figura 3.38: Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação.

A partir da análise dos valores e das figuras a seguir apresentadas é possível inferir algumas conclusões relativas ao impacto da variabilidade interna neste tipo de configuração:

O número de casos estudados e comparados foi 2, sendo que entre eles variava-se o desvio padrão da distribuição normal que ditava o comportamento do parâmetro, tempo de processamento. Quanto maior esse valor de desvio padrão, maior o valor de variabilidade interna, tendo em conta que esse tempo de processamento poderia assumir valores mais afastados do valor médio com uma probabilidade maior.

Em relação ao tempo de espera, verifica-se poucas diferenças entre casos, sendo que quando o valor do nível de stock intermédio aumenta, é possível evidenciar um aumento mais significativo quando a variabilidade interna também é superior.

O tempo de processamento médio apresenta valor próximo do valor médio da distribuição. De realçar que, neste caso, quando a variabilidade aumenta o valor médio do tempo de processamento também apresenta valores ligeiramente superiores.

O tempo que as unidades passam no sistema, mais uma vez com um comportamento idêntico ao tempo de espera, sendo as diferenças mais visíveis quando existe stock intermédio mais elevado.

As diferenças de valores do tempo de processamento não chegam para criar diferenças notáveis no tempo que as unidades passam no sistema.

Nesta configuração surge uma variável nova, o tempo de bloqueio, explicado anteriormente. Este tempo diminui com o aumento do nível de stock intermédio e chega a deixar de existir. De realçar que este tempo aumenta com o aumento da variabilidade interna.

A taxa de utilização aumenta consideravelmente com o aumento do nível do stock intermédio, sendo que, atinge valores superiores quando o desvio padrão é inferior. De realçar, novamente, que à medida que se atingem os valores mais altos de taxa de utilização, o tempo de espera aumenta de forma brusca.

O número de unidades produzidas aumenta com o aumento do nível de stock intermédio, sendo que, quando a variabilidade é inferior atinge-se uma produção mais alta, assim como a taxa de utilização. De realçar que, em ambos os casos, a partir de um certo nível de stock intermédio, neste caso 5 unidades, o número de unidades produzidas mantém-se constante. Este facto é explicado da seguinte forma, a partir desse nível a taxa de chegada deixa de ter influência no número de unidades, isto é, torna-se independente desta, e o número de unidades produzidas passa a depender apenas do tempo de processamento e do tempo de simulação/operação utilizado.

Como já tinha sido referido anteriormente, o aumento da taxa de utilização faz disparar o tempo de espera, principalmente se a taxa de chegada dos itens ao sistema for elevada. Também o facto de existir stock intermédio permite retirar maior proveito das máquinas, isto é, aumenta-se a taxa de utilização e por consequente o número de unidades produzidas.

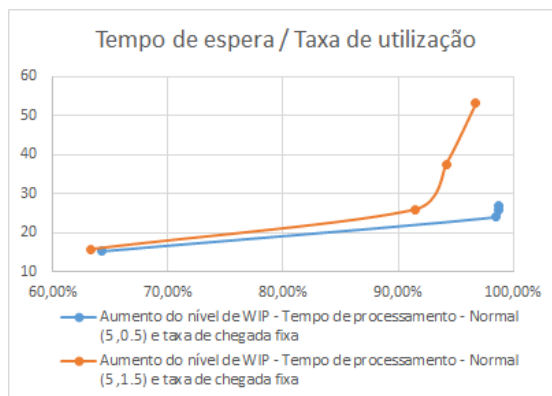


Figura 3.39: Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

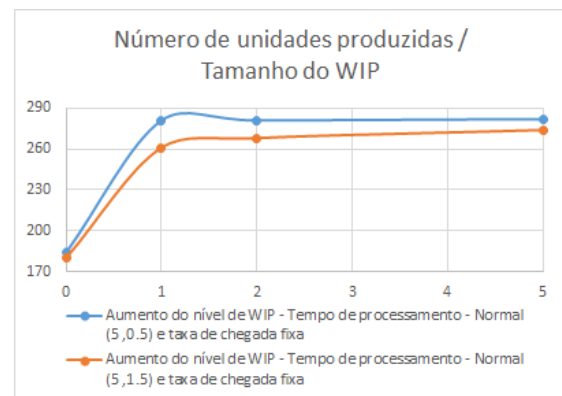


Figura 3.40: Configuração tipo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.

– Variabilidade externa

A partir da análise dos valores e das figuras a seguir apresentadas é possível inferir algumas conclusões relativas ao impacto da variabilidade externa:

O número de casos estudados é o mesmo que o cenário anterior, sendo que estes diferem na taxa de chegada de itens ao sistema. A fonte de itens segue uma distribuição exponencial, em

que para cada caso apresenta um valor médio diferente e desse modo, um valor de variabilidade externa diferente;

O tempo de espera é semelhante nos dois casos, sendo ligeiramente superior quando o valor de taxa de chegada é mais elevado. Este valor aumenta com o aumento do nível de stock intermédio, tendo em conta que os itens são lançados no sistema e esperam pela sua vez de serem processados;

O tempo de processamento mantém-se fixo e inalterável para todos os casos;

O tempo que as unidades passam no sistema fica, novamente dependente, do tempo de espera e das suas variações, sendo que o aumento do tempo de espera traz como consequência o aumento do tempo que as unidades passam no sistema;

Neste caso, como o tempo de processamento é fixo, as máquinas não necessitam de esperar pela desocupação das próximas, o que faz com que não exista tempo de bloqueio;

Ao nível da taxa de utilização, verifica-se uma grande amplitude de valores, cuja variação é explicada pelo nível de stock intermédio, sendo que quanto maior este for, mais facilmente se atingem as taxas próximas da idealidade. Neste caso, é visível um aumento do primeiro para o segundo caso do valor de taxa de utilização, explicado pelo maior valor de taxa de chegada de itens e menor valor de variabilidade externa;

O número de unidades produzidas varia em grande escala, desde a não existência de stock intermédio até ao nível máximo simulado, há uma diferença próxima dos 50%. O número de unidades aumenta com o aumento do nível do stock intermédio, sendo que também é possível evidenciar que a partir de uma certo nível o valor tenderá a estabilizar, como se verificar no gráfico da figura 3.43.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	15	5	20	0	56,71%	162	0
Caso 2	15	5	20	0	60,91%	174	0
Caso 1	17,1	5	22,1	0	81,19%	232	1
Caso 2	17,58	5	22,58	0	87,67%	251	1
Caso 1	19,79	5	24,79	0	89,87%	257	2
Caso 2	21,39	5	26,39	0	93,92%	269	2
Caso 1	30,83	5	32,7	0	97,79%	280	5
Caso 2	35,01	5	40,01	0	98,51%	282	5

Figura 3.41: Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação.

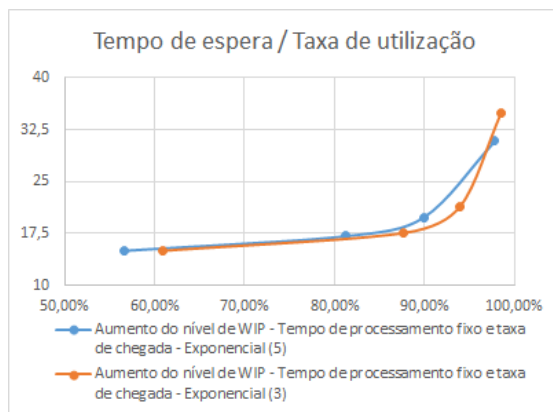


Figura 3.42: Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

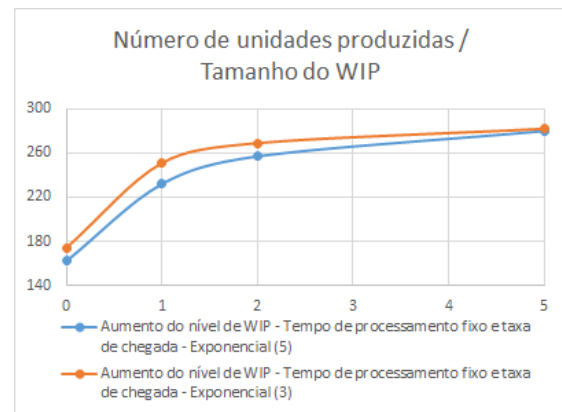


Figura 3.43: Configuração tipo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.

– Variabilidade interna e externa

Após a análise das figuras seguintes é possível tirar conclusões que resumem todos os conceitos abordados e introduzidos na simulação:

No cenário em causa foram estudados quatro casos com variações a nível do tempo de processamento e taxa de chegada, cada caso foi simulado com diferentes níveis de stock intermédio. Do primeiro para o segundo varia-se o valor da taxa de chegada, mantendo-se o tempo de processamento seguindo a mesma distribuição, o mesmo acontece de terceiro para o quarto caso. Do primeiro para o terceiro e do segundo para o quarto, varia-se a o desvio padrão da distribuição que rege o tempo de processamento;

Ao nível do tempo de espera verifica-se que, face a não existência de stock intermédio, as alterações provocadas pela variação da taxa de chegada e tempo de processamento são reduzidas. De realçar que o mesmo não acontece quando se aumenta o nível de stock intermédio, visto que o tempo de espera também aumenta. Sendo que o caso em que atinge um valor inferior de tempo de espera é quando o valor da taxa de chegada é mais baixo mas quando apresenta variabilidade interna também inferior. Este mesmo caso acaba por evidenciar uma taxa de utilização mais baixa;

O tempo de processamento médio continua próximo do valor médio imposto, com ligeiras alterações, que podem ajudar à explicação da existência de tempo de bloqueio;

O tempo que as unidades passam no sistema têm um comportamento, mais uma vez, semelhante ao tempo de espera, atingindo valores mais elevados para taxas de chegada mais elevadas;

O tempo de bloqueio surge em alguns casos, principalmente quando o valor do desvio padrão da distribuição que rege o tempo de processamento, é superior. Mais uma vez, quando se aumenta o nível de stock intermédio, este valor tende a diminuir e a desaparecer, com a exceção do último caso, que conjuga uma valor de taxa de chegada mais elevado e uma valor de variabilidade interna também mais alto;

A taxa de utilização varia numa grande amplitude de valores. Sendo que os valores mais baixos se dão quando não existe stock intermédio. O valor da taxa vai aumentando à medida que

se aumenta o nível de stock intermédio, mas também com o aumento da taxa de chegada de itens ao sistema. Sendo os valores mais baixos quase sempre referentes ao terceiro caso, com valor de taxa de chegada mais baixo e maior valor de variabilidade interna. De realçar que segundo caso apresenta as maiores taxas de utilização, para o mesmo nível de stock intermédio.

O número de unidades produzidas sofre diversas alterações dependendo dos casos. Revela um comportamento idêntico à taxa de utilização, sendo que do pior caso para o melhor, varia em cerca de 50%. Verifica-se novamente um tendência para a estabilização, como é visível no gráfico, sendo o segundo caso o que apresenta o melhor comportamento no que diz respeito à produção.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	15,02	5	20,02	0,48	43,79%	125	0
Caso 2	15,13	5,04	20,17	0,44	65,52%	187	
Caso 3	15,36	5,12	20,62	1,6	45,16%	132	
Caso 4	15,78	5,27	21,05	1,58	58,79%	167	
Caso 1	20,35	5,01	25,36	0	82,03%	233	1
Caso 2	23,99	5	28,99	0	92,37%	264	
Caso 3	24,21	5,05	29,26	1,35	81,19%	234	
Caso 4	29,75	5,16	34,91	1,48	88,57%	255	
Caso 1	24,43	5,02	29,45	0	87,34%	248	2
Caso 2	39,92	4,99	44,91	0	98,51%	280	
Caso 3	35,19	5,04	40,23	0	87,42%	248	
Caso 4	46,33	5,09	51,42	1,41	94,79%	271	
Caso 1	39,73	5	44,73	0	92,71%	264	5
Caso 2	69,21	4,97	74,18	0	98,68%	281	
Caso 3	48,11	4,99	53,1	0	90,45%	255	
Caso 4	86,66	4,89	91,55	0	96,71%	283	

Figura 3.44: Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação.

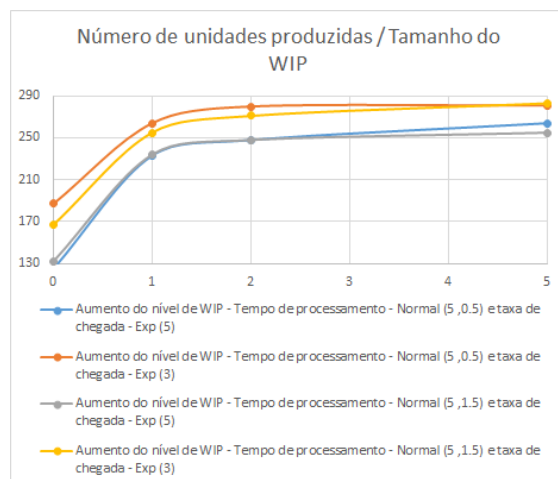
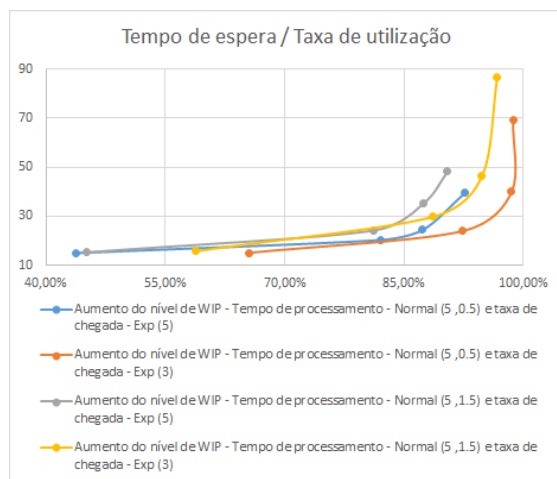


Figura 3.45: Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

Figura 3.46: Configuração tipo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.

3.1.3 Configuração das estações de trabalho - Paralelo

Neste exemplo aborda-se a configuração das estações de trabalho. É comum nas empresas existirem diferentes *layouts* no que diz respeito às estações de trabalho. Neste pequeno exemplo estudou-se uma das configurações possíveis.

A estação representa um fisionomia em paralelo, em que cada máquina recebe itens de uma mesma fonte e trabalha individualmente, no final encaminha para o local de descarga. Cada máquina conta com um tempo de processamento e uma taxa de chegada que serão variados nos vários casos, com intuito de estudar os impactos que estas condições terão. Para cada caso, foram simulados três situações, onde era variado o valor de stock intermédio de cada máquina, desde 1, 2 e 5. A existência ou não de stock intermédio tem especial importância nesta fisionomia, visto que a fonte de itens é apenas uma e que fornecerá com um certo intervalo de tempo os itens às máquinas. Sem a existência desse stock poderão ter de ficar à espera de material para iniciarem o processamento.

As variações serão dadas aleatoriamente, definindo quer a taxa de chegada, quer o tempo de processamento, através de distribuições, exponencial e normal, respetivamente. De seguida, apresenta-se o esquema que serviu de base à elaboração dos modelos simples simulados. Os valores estão preenchidos por um '?', visto que serão diferentes para cada caso.

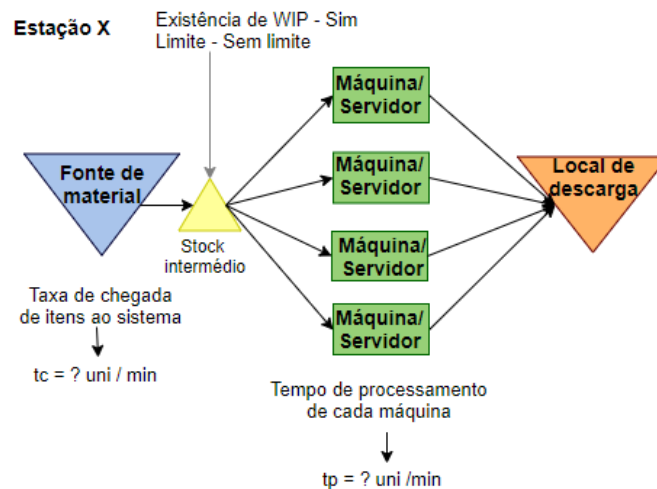


Figura 3.47: Configuração tipo 3 - Esquema de operações a ser simulado - Configuração em paralelo.

3.1.3.1 Cenário 1 - Variabilidade interna - com variação no número de unidades do stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento - Normal (20, 1)**

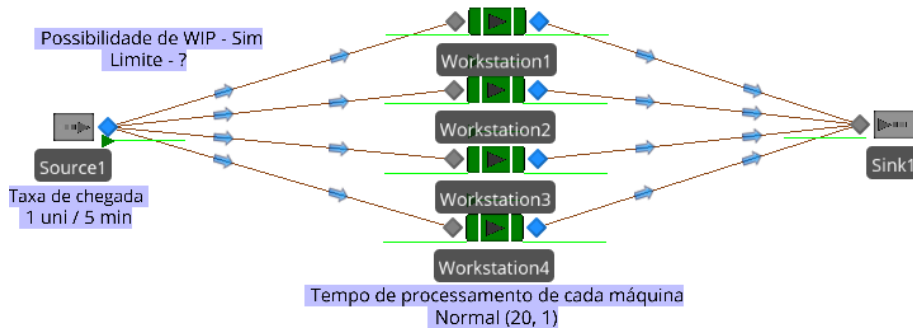


Figura 3.48: Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento - Normal (20, 5)**

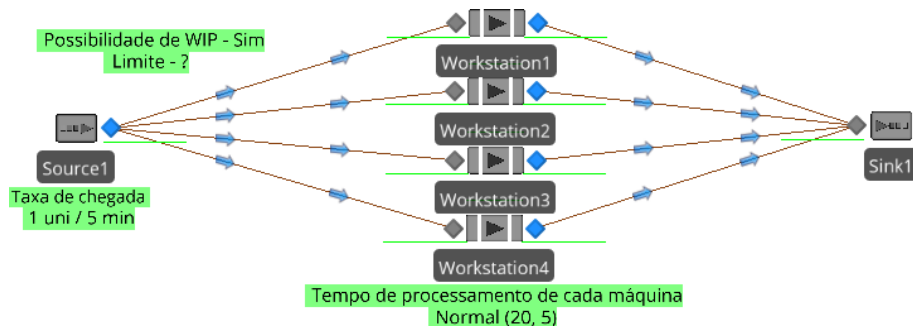


Figura 3.49: Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.

3.1.3.2 Cenário 2 - Variabilidade externa - com variação no número de unidades do stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada - Exponencial (5) e tempo de processamento fixo - 20 min**

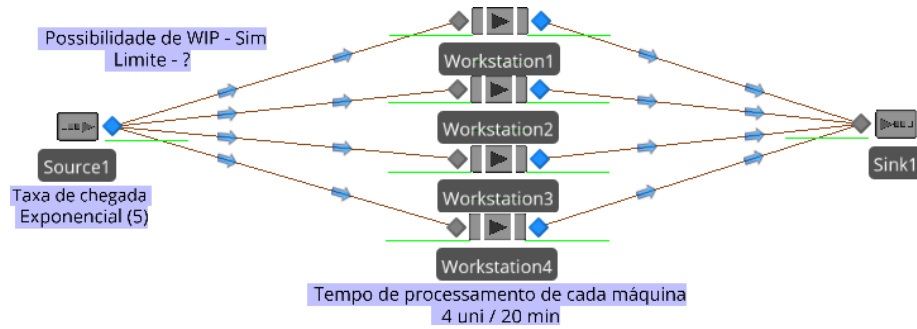


Figura 3.50: Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - Exponencial (3) e tempo de processamento - 20 min**

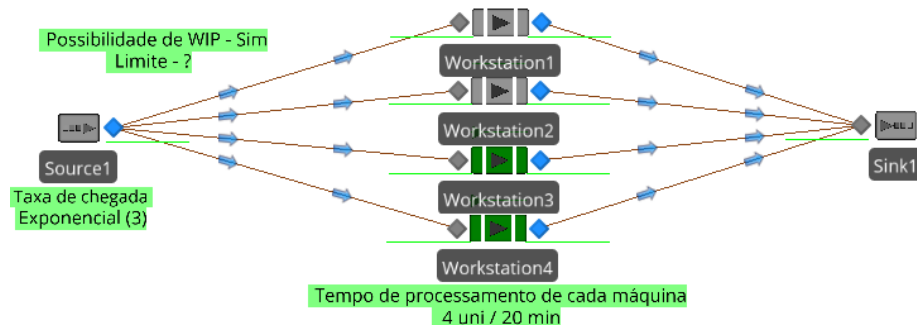


Figura 3.51: Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.

3.1.3.3 Cenário 3 - Variabilidade externa e interna - com variação no número de unidades do stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada - Exponencial (5) e tempo de processamento fixo - Normal (20, 1)**

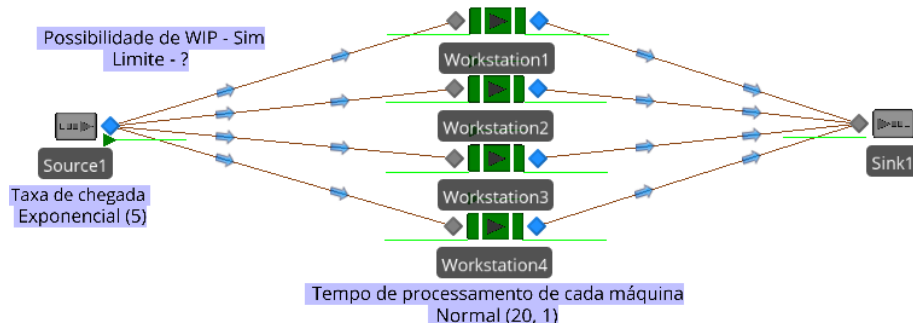


Figura 3.52: Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - Exponencial (3) e tempo de processamento - Normal (20, 1)**

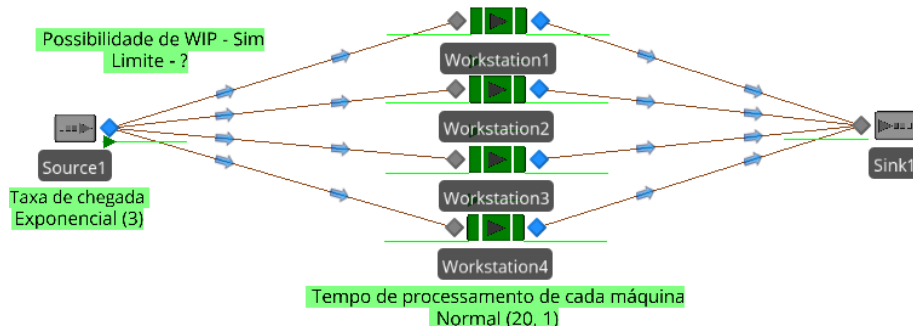


Figura 3.53: Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada - Exponencial (5) e tempo de processamento fixo - Normal (20, 5)**

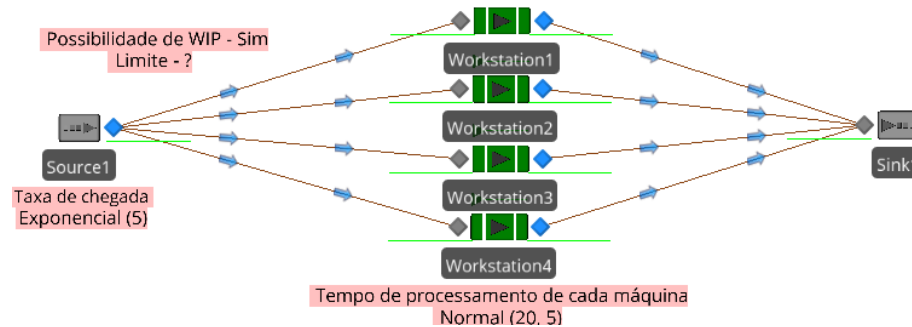


Figura 3.54: Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Taxa de chegada - Exponencial (3) e tempo de processamento - Normal (20, 5)**

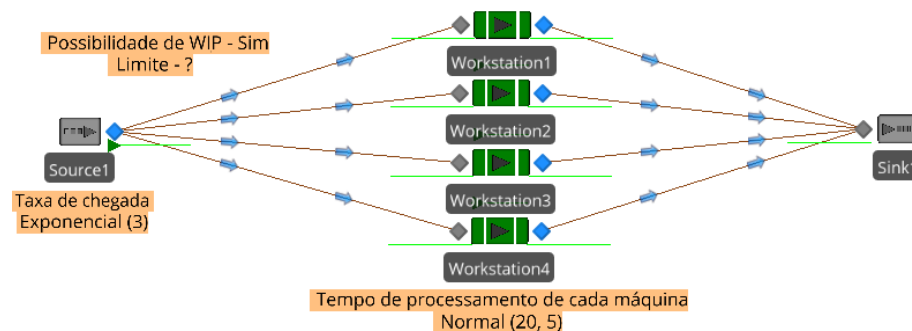


Figura 3.55: Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.

• Resultados e Análises dos cenários

– Variabilidade interna

Após a análise da tabela e gráficos seguintes pode-se inferir as próximas conclusões:

O número de casos estudados foi dois, sendo que entre eles diferenciava-se o valor do desvio padrão referente à distribuição normal que rege o tempo de processamento de cada máquina/servidor. Cada caso foi simulado com diferentes valores de stock intermédio, variando de 1 unidade, 2 ou 5;

Ao nível do tempo de espera pode-se concluir que esta configuração não permite que este tempo aumente em grande escala, como em alguns casos anteriores. Apesar disso é possível verificar um aumento progressivo à medida que se vai aumentando o nível de stock intermédio;

O tempo de processamento de cada máquina é superior aos casos anteriores devido à configuração estudada, sendo que este tempo é médio e mais uma vez se mantém próximo do valor médio estipulado;

O tempo que as unidades passam no sistema passa a ser mais dependente do tempo de processamento, visto que o tempo de espera revela valores inferiores aos vistos anteriormente.

A taxa de utilização para os casos estudados é relativamente elevada e aumenta com o aumento do nível de stock intermédio, sendo mais notório quando existe mais variabilidade interna no processo, caso 2.

Ao nível do número de unidades produzidas pode-se afirmar que existe, tal como na taxa de utilização, um aumento com o aumento do nível de stock intermédio, mais visível no segundo caso. De realçar que o valor tende a estabilizar a partir de um certo nível de stock intermédio, momento em que fica mais dependente do tempo de processamento da máquina/servidor e menos da taxa de chegada de itens ao sistema.

Um última nota para o facto de que quando a variabilidade interna é reduzida, o aumento do nível de stock intermédio tem pouco impacto em todas as variáveis, visto que a produção fica limitada pela taxa de chegada de itens ao sistema e pelo tempo de processamento dos itens. De modo geral, pode-se concluir que a configuração em paralelo apresenta valores de tempo de espera muito inferiores à configuração em série e taxas de utilização e consequente número de unidades produzidas, superiores.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	1,31	20,08	21,39	98,03%	279	1
Caso 2	1,31	20,34	21,65	92,85%	261	1
Caso 1	3,62	20,09	23,71	99,24%	282	2
Caso 2	3,74	20,4	24,14	97,64%	275	2
Caso 1	3,93	20,09	24,02	99,25%	282	5
Caso 2	10,69	20,39	31,08	98,93%	276	5

Figura 3.56: Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação.

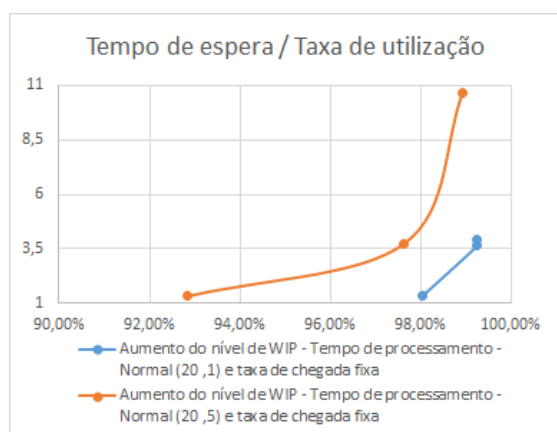


Figura 3.57: Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

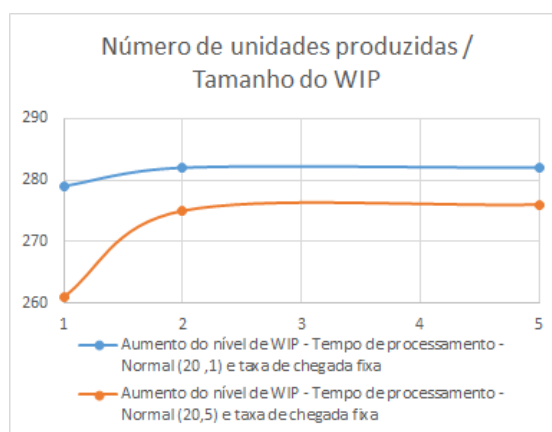


Figura 3.58: Configuração tipo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.

– Variabilidade externa

Após a análise das figuras seguintes é possível tirar conclusões no que diz respeito ao efeito da variabilidade externa nesta configuração:

O número de casos estudados manteve-se em relação ao cenário anterior. Estes casos diferenciavam-se pelo valor de taxa de chegada de itens ao sistema, sendo que cada caso foi simulado com diferentes valores de stock intermédio que variavam de 1, 2 ou 5 unidades;

No que diz respeito ao tempo de espera já é possível verificar o aumento mais acentuado deste valor à medida que se aumenta o nível de stock intermédio, mas também quando a taxa de chegada é superior, caso 2 em relação ao caso 1;

No que diz respeito ao tempo de processamento, este mantém-se fixo e constante para todas as simulações destes dois casos;

Ao nível do tempo que as unidades passam no sistema é possível verificar que quando o nível de stock intermédio é mais baixo, este tempo depende essencialmente do tempo de processamento da máquina/servidor, visto que o tempo de espera apresenta valores mais reduzidos. Por outro lado, à medida que se aumenta o stock intermédio, o tempo de espera já ganha maior relevo, principalmente para taxas de chegada mais elevadas.

A taxa de utilização apresenta uma amplitude de valores superiores em relação ao cenário anterior, sendo mais visível o aumento desta com o aumento do nível de stock intermédio. No caso 2 continua a ser visível a relação da taxa de utilização e do tempo de espera, isto é, à medida que se atingem taxa de utilização próximas dos 100%, o tempo de espera dispara para valores bastante superiores. De realçar que no caso 1, quando a taxa de chegada é superior, indicando um valor inferior de variabilidade externa, apresenta uma amplitude de valores superiores de taxa de utilização, mas que para todos os níveis de stock simulados, são sempre inferiores aos do caso 2.

Tal como a taxa de utilização, é visível que o número de unidades produzidas tem uma amplitude de valores superior quando comparado com o caso anterior. Este número aumenta com o aumento do nível de stock intermédio, sendo que a taxa de chegada também tem influência no número de unidades possíveis de atingir. Mais uma vez é visível, no gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio, que no que diz respeito ao caso 2, o número de unidades tende a estabilizar a partir de um certo nível de stock intermédio, indicando que este deixa de ter influência no valor das unidades. O mesmo seria de esperar do caso um, apesar de não ser evidente no gráfico, o que podia ser alterado testando o caso com mais níveis de stock intermédio superiores a 5. Um última nota para a diferença de valores alcançados entre o caso 1 e o caso 2, que revela efeitos da taxa de chegada dos itens ao sistema.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	1,44	20	21,87	81,60%	234	1
Caso 2	2,27	20	22,27	92,93%	266	
Caso 1	3,06	20	23,06	86,12%	247	2
Caso 2	5,92	20	25,92	97,68%	280	
Caso 1	8,26	20	32,7	92,37%	265	5
Caso 2	19,39	20	39,39	99,63%	285	

Figura 3.59: Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação.

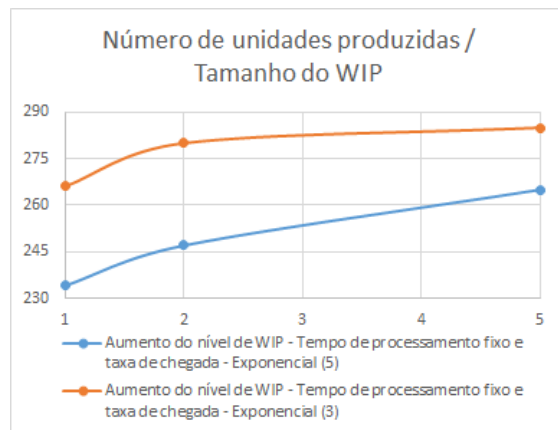
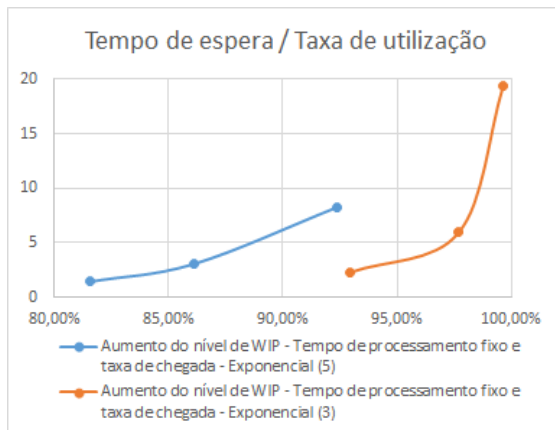


Figura 3.60: Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

Figura 3.61: Configuração tipo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.

– Variabilidade externa e interna

Neste cenário foram estudados os impactos causados pela presença de variabilidade interna e externa. Após a análise das figuras é possível verificar o seguinte:

O número de casos estudados passou para o dobro, com o intuito de aglomerar os casos anteriormente estudados individualmente. Dos casos 1 para 2 e 3 para 4 altera-se o valor da taxa de chegada para o mesmo valor de variabilidade interna: dos casos 1 para 3 e 2 para 4 altera-se o valor da variabilidade interna para a mesma taxa de chegada. Todos os casos foram estudados com diferentes níveis de stock intermédio;

Ao nível do tempo de espera é de fácil percepção o aumento deste com aumento do nível de stock intermédio. De realçar que este tempo atinge os valores mais altos nos casos 2 e 4, que contam com maior valor de variabilidade interna. Para baixos valores de variabilidade interna o valor do tempo de espera não assume valores elevados, por outro lado o mesmo não acontece no caso das taxas de utilização;

O tempo de processamento mantém o valor médio próximo dos 20 minutos, sendo que em todas simulações, para os diferentes níveis de stock intermédio, o caso 3 apresenta o menor valor médio de tempo de processamento;

No que diz respeito ao tempo que as unidades passam no sistema é visível um aumento progressivo devido ao aumento do tempo de espera, com a variação do nível de stock intermédio. Inicialmente, o valor do tempo que as unidades passam no sistema deve-se praticamente só ao tempo de processamento, mas o aumento deste valor já é devido à variação do valor do tempo de espera;

Os valores da taxa de utilização diferem em algumas unidades de caso para caso. Casos em que a taxa de chegada é mais elevada conseguem sempre atingir valores mais elevados de taxa de utilização, ao contrário de casos com taxas de chegada mais baixa. Em todos os casos é possível verificar o aumento da taxa de utilização com o aumento do nível de stock intermédio. De realçar que as maiores taxas de utilização estão relacionadas com tempos de espera mais elevados;

O número de unidades produzidas, tal com a taxa de utilização, varia entre casos, em algumas unidades. Sendo que as maiores diferenças também são para casos que diferem no valor da taxa de chegada, apesar de que, mesmo sendo ligeiro, é possível verificar que quando a variabilidade interna é inferior, também se atingem resultados ligeiramente superiores.

Pela análise do gráfico tempo de espera em função da taxa de utilização verificam-se dois comportamento distintos, que diferem no valor da taxa de chegada de itens ao sistema. O mesmo facto é verificável no gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio. Neste gráfico também é visível a tendência do número de unidades estabilizar a partir de um certo nível de stock intermédio, sendo que não é tão visível nos casos em que a taxa de chegada é inferior. Por fim, é visível a diferença do número de unidades para as diferentes taxas de chegada e, apesar de não ser tão visível, também é possível visualizar diferenças impostas pela variabilidade interna.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	1,45	20,03	21,48	77,98%	223	1
Caso 2	2,43	20,08	22,51	95,25%	271	
Caso 3	1,35	19,93	21,28	76,37%	219	
Caso 4	2,25	19,93	22,18	91,58%	263	
Caso 1	3,27	19,95	23,22	85,21%	244	2
Caso 2	5,43	19,95	25,38	96,20%	275	
Caso 3	3,87	19,8	23,67	89,53%	260	
Caso 4	6,01	19,75	25,76	95,48%	277	
Caso 1	10,68	20,09	30,77	95,22%	271	5
Caso 2	19,1	19,94	39,04	99,61%	286	
Caso 3	10,21	20,04	30,25	92,86%	264	
Caso 4	18,98	19,87	38,85	99,57%	287	

Figura 3.62: Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação.

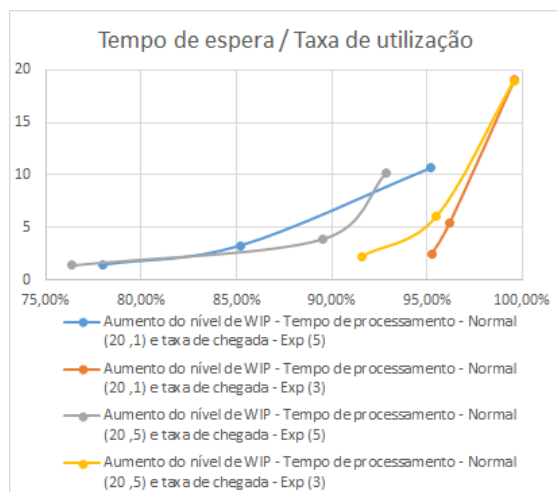


Figura 3.63: Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

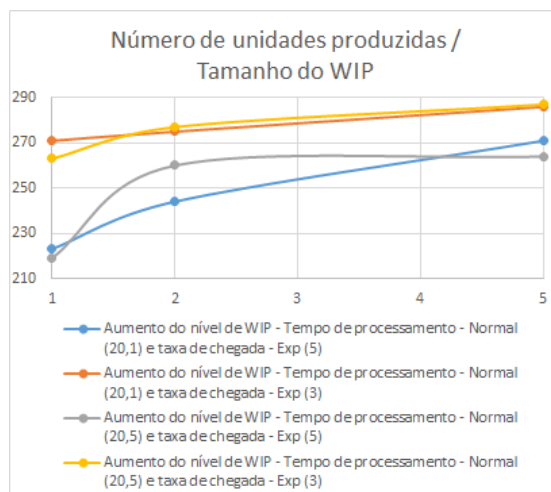


Figura 3.64: Configuração tipo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio.

3.1.4 Pooling de recursos VS múltiplos servidores e linhas

Neste caso, será abordado o conceito de *resource pooling*, que em breves palavras significa o agrupamento de recursos. Este agrupamento surge do facto dos clientes nem sempre necessitarem de todos os recursos disponíveis e desta maneira poderem ser aproveitados por outro utilizador. No exemplo, que será a seguir apresentado, estão representadas duas estações, uma com um funcionamento normal, em que cada máquina possui uma fonte de material antes e um local de descarga depois. Por outro lado, a segunda estação conta com quatro máquinas ligadas à mesma fonte de material e ao mesmo local de descarga. De realçar que esta fonte de material ligada às quatro máquinas conta com uma taxa de chegada sempre quatro vezes superior às taxas das fontes de material que alimentam apenas uma máquina.

Estas estações serão simuladas com variações nas taxa de chegada e no tempo de processamento, onde será possível efectuar comparação do comportamento das duas. Para cada caso irão ser introduzidas falhas em uma, duas ou nenhuma máquina, de carácter periódico, hora em hora e com duração de 10 minutos, até se restabelecer a normalidade. Este teste terá o intuito de verificar com reage o sistema às variações introduzidas e à ocorrência destas falhas.

De seguida, serão apresentados os esquemas das estações a serem simulados e testados.

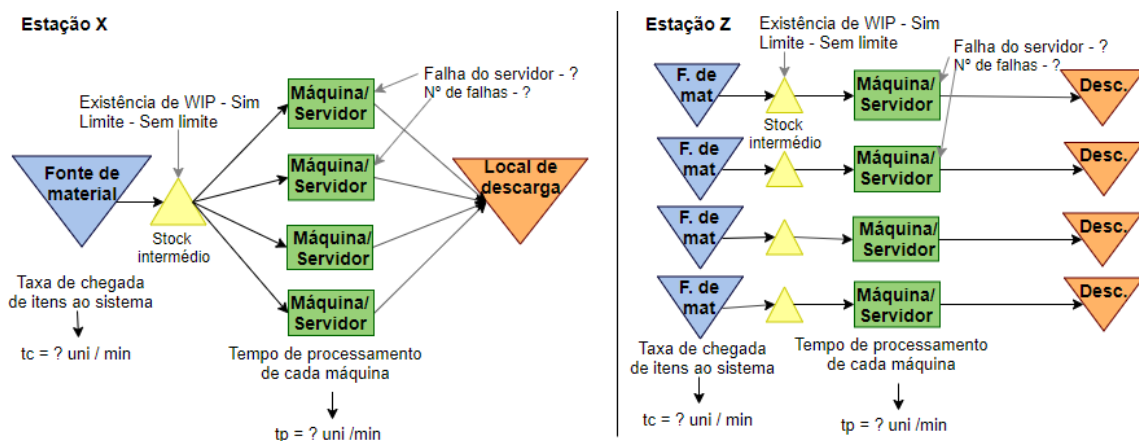


Figura 3.65: Configuração tipo 4 - Esquema de operações a ser simulado - Pooling de recursos VS múltiplos servidores e linhas.

3.1.4.1 Cenário 1 - Variabilidade interna - com variação no número de servidores com falhas periódicas

- Caso 1 - Taxa de chegada fixa - A -> 20 min, B -> 5 min e tempo de processamento - Normal (20, 1)

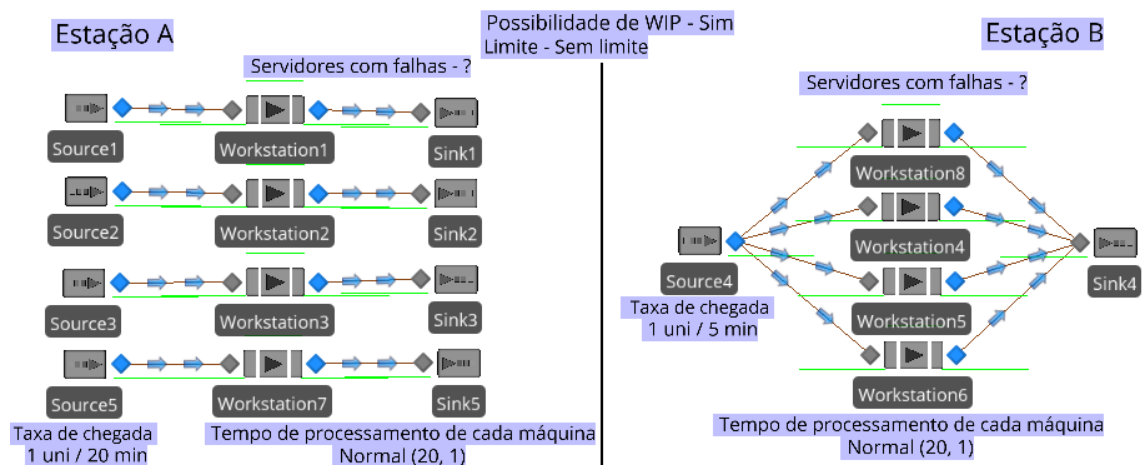


Figura 3.66: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.

- Caso 2 - Taxa de chegada fixa - A -> 20 min, B -> 5 min e tempo de processamento - Normal (20, 5)

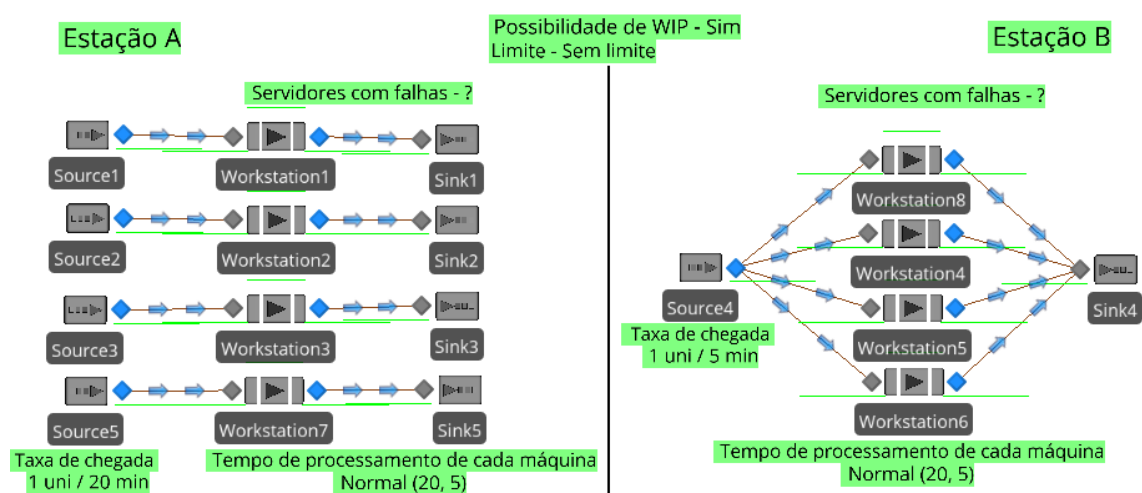


Figura 3.67: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.

3.1.4.2 Cenário 2 - Variabilidade externa - com variação no número de servidores com falhas periódicas

- Caso 1 - Taxa de chegada - A -> Exponencial (20) min, B -> Exponencial (5) min e tempo de processamento fixo - 20 min

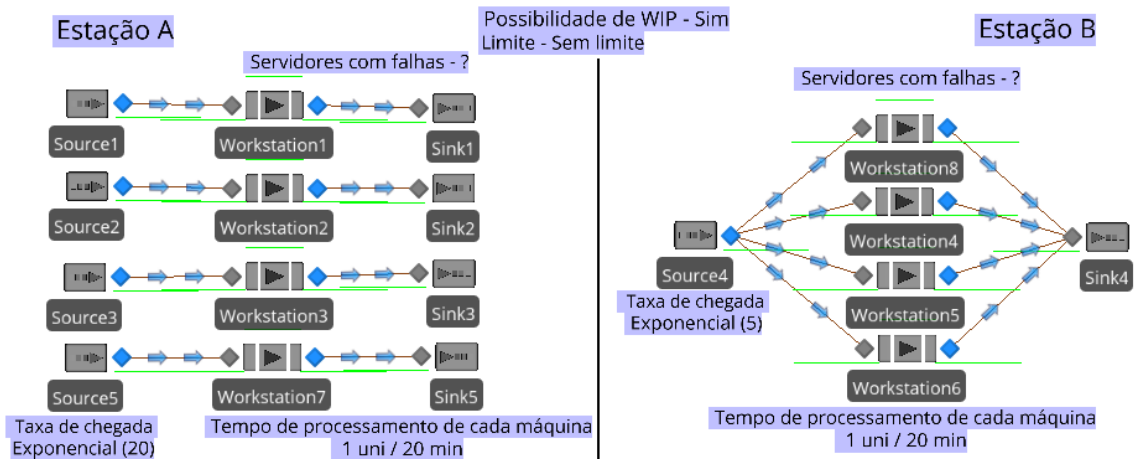


Figura 3.68: Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.

- Caso 2 - Taxa de chegada - A -> Exponencial (15) min, B -> Exponencial (3.75) min e tempo de processamento - 20 min

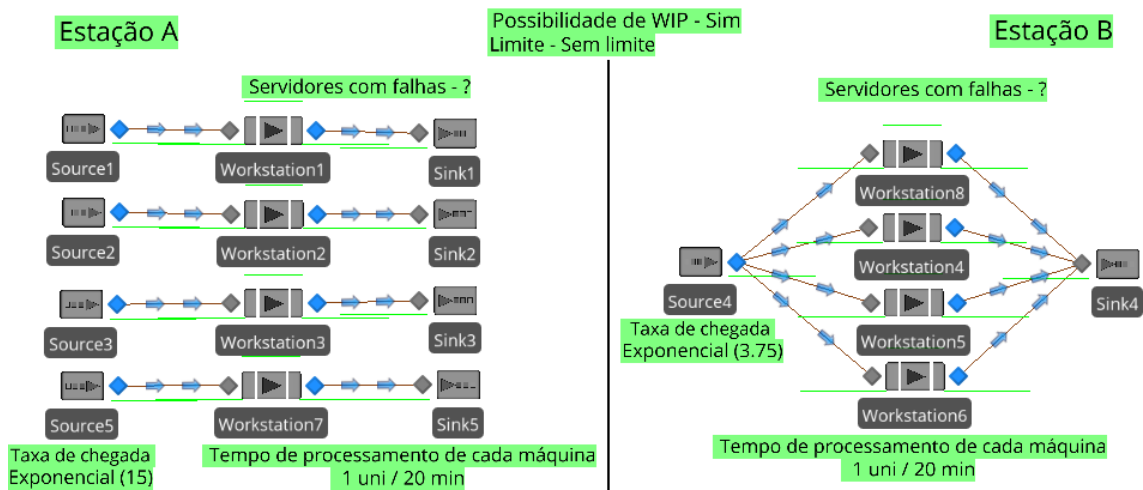


Figura 3.69: Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.

3.1.4.3 Cenário 3 - Variabilidade externa e interna - com variação no número de servidores com falhas periódicas

- **Caso 1 - Taxa de chegada - A -> Exponencial (20) min, B -> Exponencial (5) min e tempo de processamento - Normal (20, 1)**

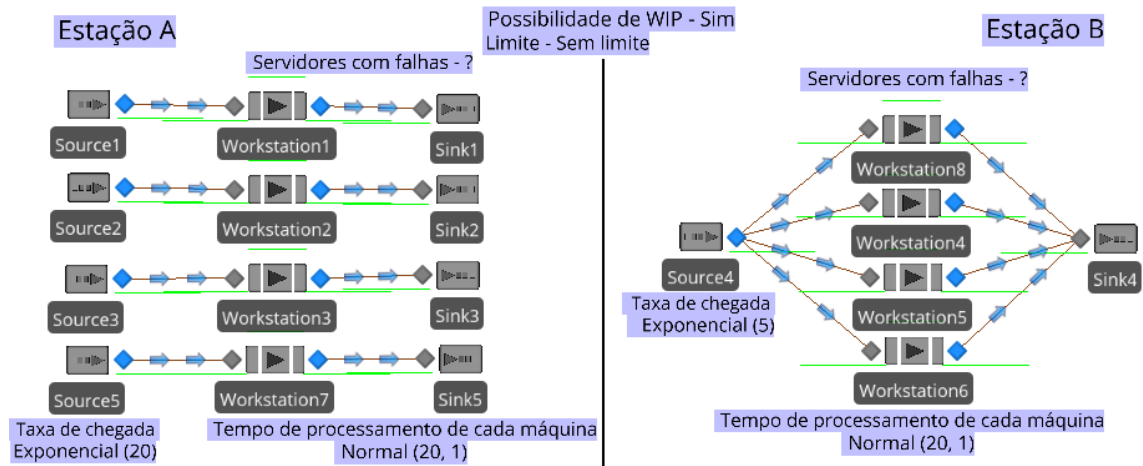


Figura 3.70: Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - A -> Exponencial (20) min, B -> Exponencial (5) min e tempo de processamento - Normal (20, 5)**

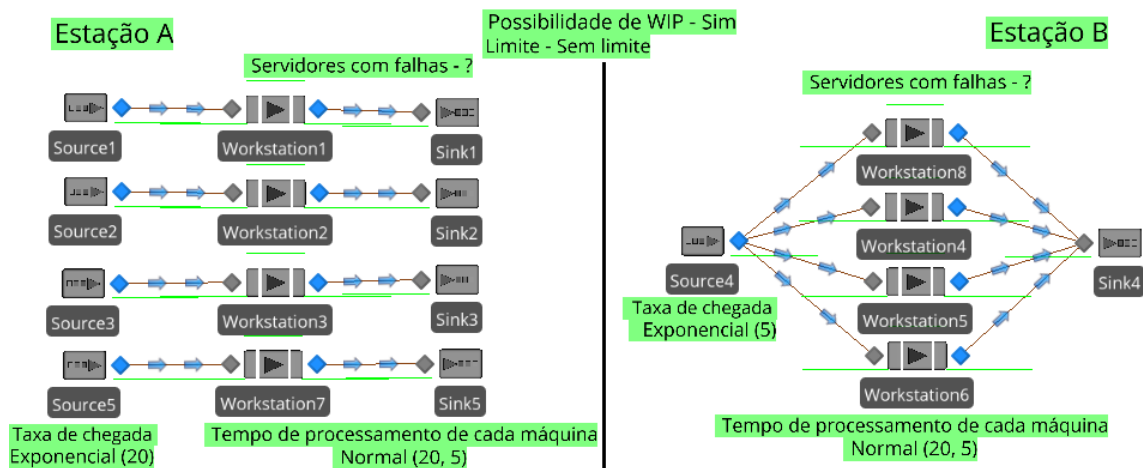


Figura 3.71: Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada - A -> Exponencial (15) min, B -> Exponencial (3.75) min e tempo de processamento fixo - Normal (20, 1)**

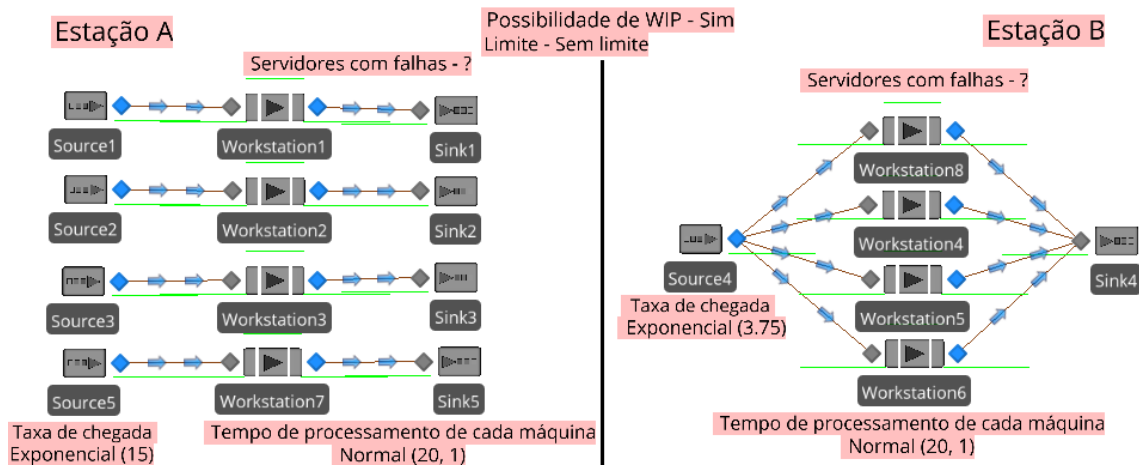


Figura 3.72: Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Taxa de chegada - A -> Exponencial (15) min, B -> Exponencial (3.75) e tempo de processamento - Normal (20, 5)**

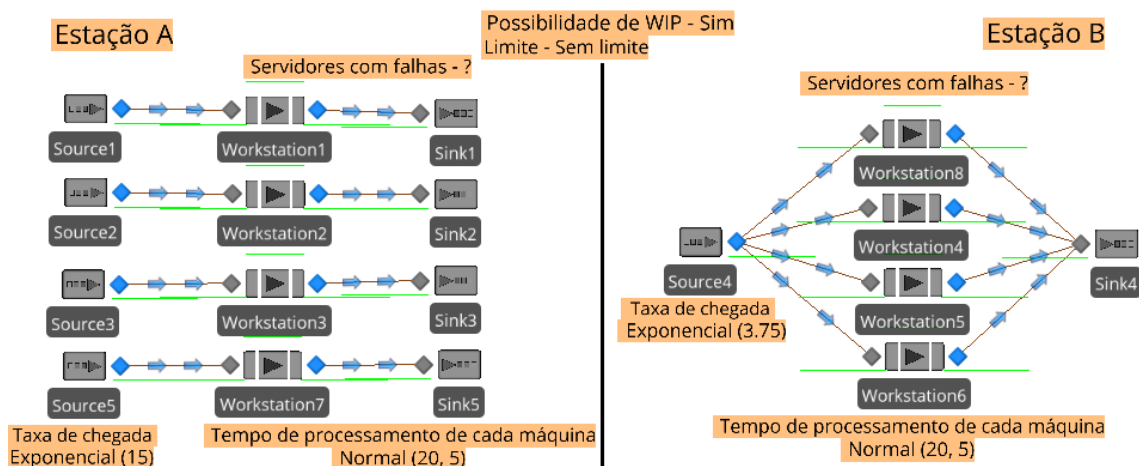


Figura 3.73: Configuração tipo 4 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.

• Resultados e Análises dos cenário

– Variabilidade interna

Após a análise dos valores das figuras seguintes, é possível inferir algumas conclusões sobre o impacto da variabilidade nos processos, bem como sobre a resposta das diferentes estações:

O número de casos estudados foi dois sendo que diferiam no tempo de processamento que poderiam ter, isto é, este tempo seguia uma distribuição normal, com valor médio 20 minutos

e desvio padrão diferente para cada caso. Cada caso foi simulado com a introdução de falhas periódicas nos servidores, sendo que essas falhas poderiam afetar 1, 2 ou nenhum servidor;

Ao nível do tempo de espera o comportamento é idêntico nas duas estações, salvo exceções. Apesar disto, é possível verificar que a estação que conta com o agrupamento de recursos apresenta valores inferiores à outra estação, principalmente quando o valor de variabilidade interna é superior. Como seria de esperar, o tempo de espera aumenta com o aumento do número de servidores com falhas periódicas;

No que diz respeito ao tempo de processamento as alterações são pouco significativas, visto que são de valor reduzido e acontece praticamente o mesmo nas duas estações. De realçar o facto deste tempo se manter próximo do valor médio;

O tempo que as unidades passam no sistema varia, principalmente, devido às variações causadas no tempo de espera. Inicialmente, o tempo de processamento tem um peso superior no tempo que as unidades passam no sistema, mas com o aumento do número de servidores com falhas, dá-se uma subida significativa no tempo de espera, passando a ter uma influência superior no valor do tempo das unidades. Tendo em conta isto, é de fácil entendimento que a estação que conta com o agrupamento de recursos também conta com tempos ligeiramente inferiores, mais visíveis no caso 2;

Neste estudo, a taxa de utilização varia de forma diferente com o tempo de espera, visto que agora passa a ser afetada pela presença de falhas nos servidores. Deste modo, com o aumento do número de falhas ocorre um abaixamento desta taxa, ainda que não muito elevado. De realçar que, ainda que ligeiro, é possível evidenciar que a estação que conta com o agrupamento de recursos apresenta melhores resultados de taxa de utilização, no caso 2, com maior variabilidade interna, do que a estação com múltiplos servidores e linhas. Este facto seria mais facilmente comprovado se fosse aumentado o número de servidores, isto é, haveriam diferenças de maior escala. Uma nota final em relação à taxa de utilização, que com a existência das falhas faz diminuir a taxa no servidor onde ocorre a falha de uma forma acentuada. Este facto é acompanhado pelo aumento das taxas de utilização dos outros servidores, mas não chega para colmatar o abaixamento provocado pelo(s) servidor(es) em falha;

Da relação do número de unidades esperadas e taxa de utilização, surgem as semelhanças ao nível do comportamento destas variáveis. O aumento dos servidores com falhas faz diminuir o número de unidades produzidas. É também possível verificar, com base nos gráficos, que o número de unidades produzidas decresce de forma aproximadamente linear em quase todos os casos, sendo que o intervalo entre as linhas, que corresponde à diferença do número de unidades produzidas entre os dois casos, que está relacionada com a existência de variabilidade interna, em maior ou menor grau;

Da análise dos gráficos conclui-se que o caso com menor variabilidade interna, apresenta um aproveitamento mais vantajoso em ambos os casos, visto apresentar uma taxa de utilização superior, assim como um número de unidades produzidas. Em relação ao caso 2 é possível verificar a vantagem do uso da estação com agrupamento de recursos, pois apresenta melhores taxas de

utilização, para valores de tempo de espera inferiores, quando as condições de ambas as estações são as mesmas.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	Nº Servidores com falhas
Caso 1	5,14	20,07	25,21	99,29%	283	0
Caso 2	9,38	19,96	29,34	98,79%	283	0
Caso 1	26,69	20,21	46,9	95,99%	275	1
Caso 2	42,92	20,46	63,38	95,83%	269	1
Caso 1	48,87	20,38	69,25	92,51%	264	2
Caso 2	60,62	20,84	81,46	92,39%	259	2

Figura 3.74: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Pooling de recursos.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	Nº Servidores com falhas
Caso 1	5,74	20,07	25,81	99,73%	284	0
Caso 2	38,67	20,83	59,5	98,92%	272	0
Caso 1	30,97	20,33	51,3	96,29%	273	1
Caso 2	44,61	20,75	65,36	95,71%	267	1
Caso 1	56,49	20,52	77,01	92,95%	265	2
Caso 2	70,58	20,83	91,41	92,54%	259	2

Figura 3.75: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Múltiplos servidores e linhas.

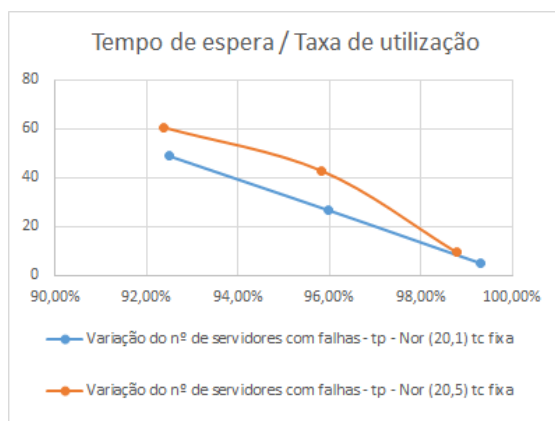


Figura 3.76: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação A - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

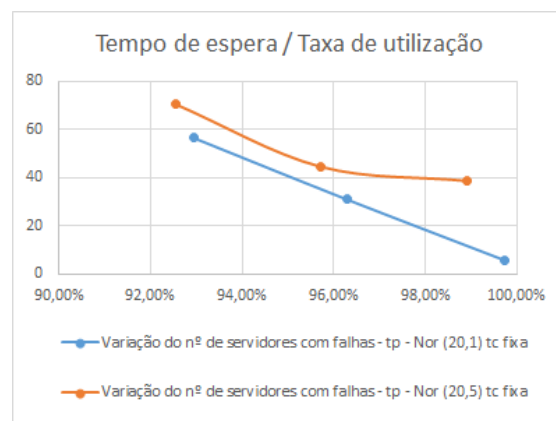


Figura 3.77: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação B - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

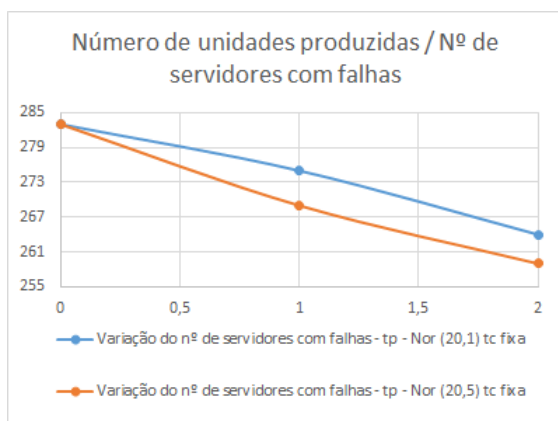


Figura 3.78: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação A - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.

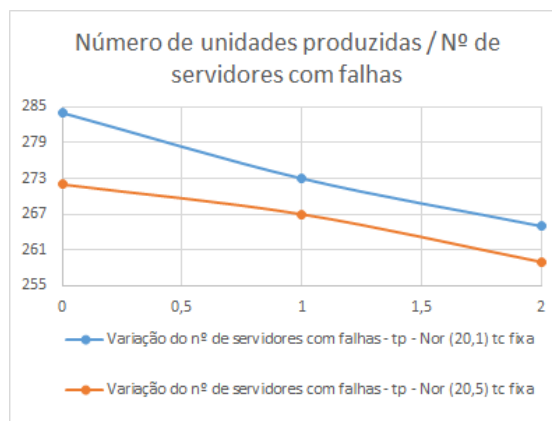


Figura 3.79: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Estação B - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.

– Variabilidade externa

Neste cenário foi analisado o impacto que a variabilidade externa podia ter no sistema simulado. Após a análise dos gráficos e das tabelas pode-se inferir o seguinte:

O número de casos, para ambas as estações, foi dois, com a diferença no valor da taxa de chegada de itens ao sistema. O tempo entre chegadas de itens no sistema seguia, mais uma vez, uma distribuição exponencial, de valor médio alterável;

O tempo de espera neste cenário ganha um relevo bastante superior porque apresenta valores superiores em relação ao cenário anterior. Mais uma vez este valor aumenta com o aumento do número de servidores com falhas. Neste caso, para uma taxa de chegada mais elevada a estação com agrupamento de recursos apresenta valores de tempo de espera bastante superiores, por outro lado apresenta taxas de utilização ligeiramente superiores. No caso de taxas de chegada mais baixas essa mesma estação tende a apresentar valores de tempo de espera inferiores em relação a estação com múltiplos servidores e linhas, bem como melhores taxas de utilização;

O tempo de processamento sofre algumas alterações, e neste caso pode-se sugerir a existência de um erro, visto que neste cenário o tempo deveria ser constante e de valor médio 20 minutos. Este erro de variável está possivelmente ligado à existência de falhas. De realçar que estas alterações acabam por não ser muito elevadas;

O tempo que as unidades passam no sistema, em praticamente todos os casos, reflete as alterações do tempo de espera, visto que na maioria dos casos é bastante superior ao tempo de processamento. Desta maneira, entende-se que com o aumento do número de servidores com falhas, tenha como consequência o aumento do tempo que as unidades passem no sistema;

A taxa de utilização sofre variações com algum relevo. De modo geral, o seu valor diminui com o aumento do número de servidores com falhas. Sendo que no caso 1 de ambas as estações apresenta valores inferiores, isto é, para taxas de chegada mais baixas que é o mesmo que tempo

entre chegadas mais altos, indicando maior variabilidade externa, as taxas de utilização são inferiores. De realçar que se torna notória a vantagem da utilização da estação com agrupamento de recursos no que diz respeito a esta variável, visto ser superior em todos os casos à estação com múltiplos servidores e linhas;

O número de unidades produzidas tem um comportamento idêntico à taxa de utilização, apresentando melhores resultados para taxas de chegadas mais elevadas, menor variabilidade externa. De realçar que a estação com agrupamento de recursos apresenta uma capacidade superior de lidar com o servidor em falha, dado que redistribui o trabalho a ser feito. Quando a taxa de chegada é mais elevada, as diferenças entre estações, em relação ao número de unidades produzidas, são muito reduzidas;

Da análise dos gráficos verificam-se dois comportamentos idênticos em termo de evolução, mas díspares entre si em termos quer do tempo de espera quer da taxa de utilização. Taxas de chegada mais elevadas apresentam uma maior amplitude de valores, sendo estes também superiores quando comparados aos obtidos com taxas de chegada inferiores. A diferença entre o número de unidades produzidas para taxas de chegada diferentes mostra-se bastante superior na estação com múltiplos servidores e linhas.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	Nº Servidores com falhas
Caso 1	65,57	20	85,57	98,35%	281	0
Caso 2	221,08	20	241,08	99,18%	284	
Caso 1	88,56	20,19	108,75	94,96%	271	1
Caso 2	238,91	20,19	259,1	95,71%	274	
Caso 1	112,65	20,39	133,04	91,49%	261	2
Caso 2	256,83	20,39	277,22	92,24%	264	

Figura 3.80: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Pooling de recursos.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	Nº Servidores com falhas
Caso 1	109,71	20	129,71	96,42%	277	0
Caso 2	238,68	20	258,68	99,35%	285	
Caso 1	116,45	20,15	136,6	94,64%	271	1
Caso 2	253,98	20,21	274,19	96,05%	275	
Caso 1	143,5	20,33	163,83	91,17%	261	2
Caso 2	274,19	20,39	294,58	92,58%	265	

Figura 3.81: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Múltiplos servidores e linhas.

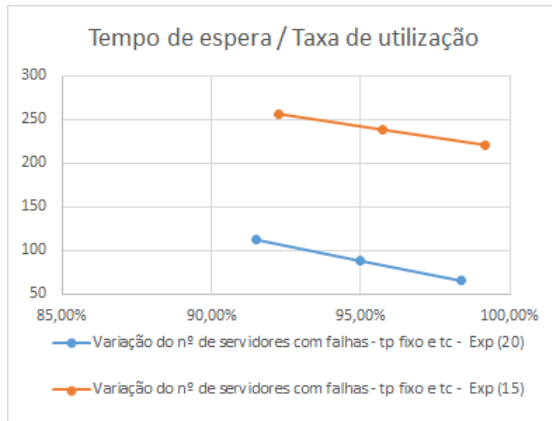


Figura 3.82: Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação A - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

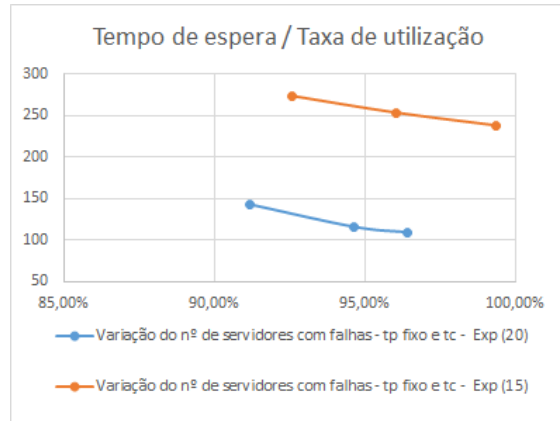


Figura 3.83: Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação B - Gráfico do tempo de espera em função da taxa de utilização.

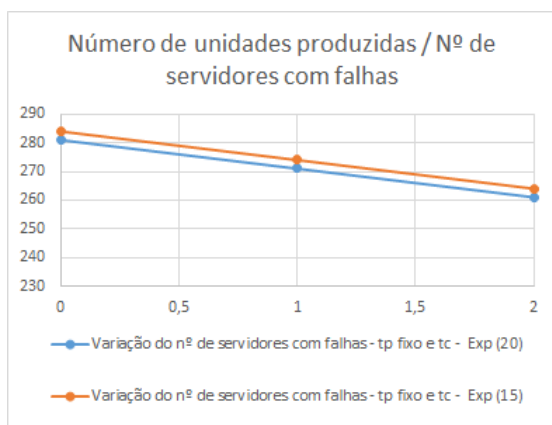


Figura 3.84: Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação A - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.

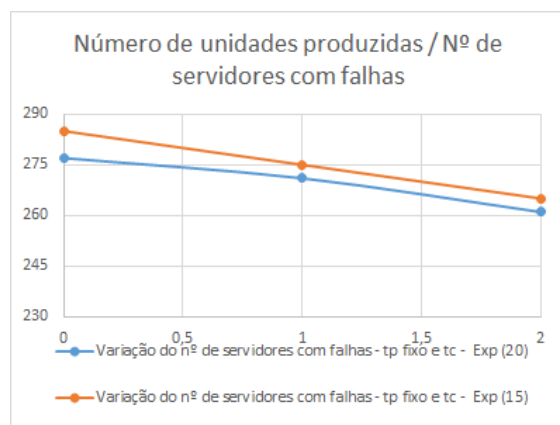


Figura 3.85: Configuração tipo 4 - Cenário 2 - Estação B - Gráfico do número de unidades produzidas em função do número de servidores com falhas.

– Variabilidade interna e externa

Neste cenário é possível verificar os efeitos de ambas as dimensões de variabilidade já abordadas. Após a análise das figuras é possível inferir o seguinte:

Para cada uma das estações foram estudados quatro casos, com diferentes configurações. Estes iriam variar no valor do desvio padrão da distribuição normal que regia o valor do tempo de processamento e também no valor da taxa de chegada de itens ao sistema, parâmetro que seguia uma distribuição exponencial. Do primeiro para o segundo caso e do terceiro para o quarto fez-se variar o tempo de processamento, sendo que do primeiro para o terceiro e do segundo para o quarto faz-se variar o valor da taxa de chegada;

Ao nível do tempo de espera é notório o aumento deste com o aumento do valor da taxa de chegada. Por outro lado, é difícil concluir sobre a variação deste com o aumento do número de servidores com falha em ambas as estações. No que diz respeito à comparação entre estações, a estação que conta com agrupamento de recursos revela valores mais baixos de tempo de espera em praticamente todos os casos. Deste modo, esta configuração revela-se vantajosa em relação à configuração com múltiplas linhas e servidores;

Ao nível do tempo de processamento as alterações são pouco significativas, tendo em conta que se está a falar de um tempo médio, com todos os valores apresentados, próximos dos 20 minutos;

Ao nível do tempo que as unidades passam no sistema é possível verificar diversos valores, que apresentam um comportamento idêntico ao tempo de espera, visto que o tempo de processamento apresenta uma amplitude de resultados muito reduzida. Com o aumento do número de servidores em falha é possível concluir que, de modo geral, o tempo que as unidades passam no sistema aumenta, em ambas as estações;

Ao nível da taxa de utilização é possível verificar algumas diferenças entre estações e entre casos. Como já havia sido dito anteriormente, o aumento da taxa de chegada continua a aumentar o valor da taxa de utilização da máquina/servidor. Por outro lado, o aumento de variabilidade interna causa diferentes efeitos. Quando não existem falhas e quando o valor de taxa de chegada é mais baixo, o aumento da variabilidade interna faz aumentar o valor da taxa de utilização. Já no caso de o número de falhas nos servidores for existente e principalmente para valores mais altos de taxa de chegada, pode-se concluir que o aumento de variabilidade interna traz sempre um decaimento, ainda que não muito acentuado no valor da taxa de utilização. Em termos de comparação das duas estações, conclui-se que de modo geral, a estação que conta com agrupamento de recursos apresenta valores de taxa de utilização ligeiramente superiores à estação que conta com múltiplos servidores e linhas;

Relativamente ao número de unidades produzidas verifica-se que a existência de variabilidade externa apresenta maior impacto que a existência de variabilidade interna, visto que a variação provocada pela variabilidade interna é ligeira e por vezes não existente, enquanto que a variação causada pela variabilidade externa apresenta alguma relevância. Este valor claramente diminui com o aumento do número de servidores com falhas periódicas. Mais uma vez, também é possível

inferir que a estação que conta com agrupamento de recursos apresenta um valor do número de unidades produzidas superior;

Neste caso particular verificou-se que seria difícil criar padrões de comportamentos a partir dos gráficos, de modo que optou-se por não apresentar os resultados graficamente. Este facto deve à aleatoriedade de certas variáveis que tornam incompatíveis comparações como as anteriormente apresentadas.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	Nº Servidores com falhas
Caso 1	58,96	20,06	79,02	96,00%	274	0
Caso 2	124,55	20,18	144,73	99,72%	283	
Caso 3	172,21	19,94	192,15	99,72%	286	
Caso 4	178,57	19,84	198,41	99,79%	288	
Caso 1	7,49	20,26	27,75	83,13%	237	1
Caso 2	35,6	20,49	56,09	92,80%	261	
Caso 3	220,13	20,17	240,3	96,25%	276	
Caso 4	213,56	20,09	233,65	96,32%	278	
Caso 1	36,99	20,35	57,34	92,29%	264	2
Caso 2	46,11	20,36	66,47	92,78%	265	
Caso 3	207,68	20,38	228,06	92,50%	264	
Caso 4	211,64	20,51	232,15	92,85%	265	

Figura 3.86: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Pooling de recursos.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	Nº Servidores com falhas
Caso 1	93,87	19,99	113,86	93,51%	267	0
Caso 2	63,06	19,78	82,84	91,84%	266	
Caso 3	195,13	19,89	215,02	99,01%	285	
Caso 4	195,84	19,91	215,75	99,40%	286	
Caso 1	111,41	20,17	131,58	93,03%	265	1
Caso 2	102,56	20,19	122,75	88,22%	253	
Caso 3	246,96	20,2	267,16	96,00%	275	
Caso 4	213,61	19,99	233,6	95,93%	277	
Caso 1	67,69	20,42	88,11	86,57%	248	2
Caso 2	109,84	20,05	129,89	88,34%	258	
Caso 3	296,68	20,41	317,09	92,53%	264	
Caso 4	214,66	20,5	235,16	92,46%	263	

Figura 3.87: Configuração tipo 4 - Cenário 1 - Resultados da simulação - Múltiplos servidores e linhas.

3.2 Conclusão

Este capítulo surge como base para o modelo complexo a ser desenvolvido. Inicialmente, apresenta-se um conjunto de configurações tipo que têm como intuito representar os conceitos antes apresentados. Estas configurações surgem como pequenos exemplos de base a serem aplicados ao modelo do caso de estudo. Estes exemplos foram estudados com algum pormenor com o intuito de compreender os comportamentos resultantes do impacto da variabilidade, quer interna quer externa, no processo operacional. Esta base revela-se de extrema importância para os capítulos que serão apresentados de seguida.

Em suma, conclui-se que este capítulo não só serve de base para toda a dissertação, pela aplicabilidade dos conceitos principais, mas também tem como objetivo realizar a ponte entre esses conceitos teóricos e os modelos ditos mais complexos que existem no dia a dia.

Um ponto a destacar nestes exemplos é o facto de os valores serem apenas representativos, usados para verificar essencialmente o impacto da variabilidade nesses campos, e não têm qualquer tipo de significado com o modelo a ser implementado. É tendo em conta este ponto, que não se faz grande referência a esses valores enquanto valores absolutos, mas sim uma referência às diferenças entre eles, que neste caso representam o que se quer estudar, a variabilidade e as suas dimensões.

Capítulo 4

Caso de estudo

4.1 Simulação e software a ser utilizado

Segundo Er. Mandlik A. D. e Prof. Borkar B. R. a simulação é uma ferramenta de trabalho que se revela muito poderosa e importante em diversos processos operacionais, sejam eles fabricação, processamento de alimentos entre outros. A sua importância advém das regalias que esta apresenta, tal como a possibilidade de realizar análises de custo reduzido, com segurança e céleres. A estas funcionalidades junta-se a capacidade de ser utilizada de forma estratégica na melhoria ou determinação de desempenho de sistemas [15].

A ferramenta que será utilizada, para a criação dos modelos simulados e onde serão testados, tem o nome de SIMIO que corresponde a *Simulation Modeling framework based on Intelligent Objects*. Esta ferramenta tem como principais características ser um software totalmente orientado a objetos, definir processos e objetos passo-a-passo, graficamente, sem necessidade de programação. A representação rápida e fácil dos componentes permite a análise e a remoção de riscos de sistemas complexos. Além disso, otimiza o uso de recursos críticos, prevê o impacto das mudanças propostas no processo, melhora o desempenho por meio do projeto otimizado de instalações.

A combinação perfeita de modelação e planeamento faz do Simio um dos produtos mais avançados no mercado de programas de simulação. O sistema Simio é um software com processos orientados a objetos, definidos de uma forma gráfica sem a necessidade de programação. O programa permite “construir rapidamente modelos 3D precisos e analisar objetivamente alternativas para reduzir riscos e melhorar o desempenho”. Torna possível não apenas melhorar a eficiência do negócio na perspectiva do projeto de objetos, mas também maximizar os resultados dos processos de negócios, otimizando o uso de recursos e a capacidade de avaliação de riscos, relacionados com as soluções de negócios. O Simio pode ser usado para modelar uma ampla gama de sistemas, incluindo manufatura, saúde, cadeia de fornecimento, transporte e defesa.



Figura 4.1: Software orientado a objetos - SIMIO.

4.2 Desenvolvimento do modelo do caso de estudo

No capítulo anterior foram estudados pequenos exemplos onde se abordaram as dimensões de variabilidade, bem como os impactos que tinham no sistema. Neste capítulo será analisado um caso de estudo real, de uma linha de produção de equipamentos domésticos. O intuito passa por aplicar neste processo operacional, os casos estudados no capítulo anterior, com intuito de analisar o impacto destes num todo, isto é, os efeitos que as pequenas variações terão nos resultados finais de toda a linha de produção.

A linha de produção a ser estudada, conta com uma variedade de operações, recursos e produtos, o que irá permitir analisar as diferentes dimensões de variabilidade estudadas. Esta linha conta com um modelo base que será apresentado de seguida. A este modelo serão introduzidas alterações, de forma a representar as configurações tipo do capítulo anterior e, dessa maneira, verificar os resultados produzidos.

O modelo será uma representação do contexto real, com ligeiras alterações e aproximações para ser possível ser simulado. De seguida, será apresentado, de forma resumida, os constituintes, os produtos e as operações que são realizadas na linha de produção.

Neste tópico, discute-se o caso de estudo de uma linha de produção de equipamento doméstico mais precisamente aquecedores de água. Esta linha é subdividida essencialmente em três partes, uma focada na produção de acumuladores de calor, outra focada na produção de bombas de calor e a última focada no acoplamento de ambas as partes. Existem duas grandes famílias de aquecedores, uma com a bomba de calor acoplada e outra em que a bomba é acoplada, posteriormente, na casa do cliente.

De seguida, apresenta-se de forma breve a constituição dos tipos de produtos, bem como a sua função.

Constituinte	Descrição	Família A	Família B
Cilindro (Tanque)	Elemento comprado que serve de base para a restante produção do termoacumulador.	X	X
Serpentina	Elemento que envolve cilindro - a água quente percorre a serpentina e aquece o recipiente através da transferência de calor.	X	X
Isolamento	Conjunto de placas com material isolador que é conformado ao conjunto tanque + serpentina.	X	X
Capô	Elemento que cobre todo o conjunto mencionado, tanque + serpentina + isolamento, com intuito de proteger do exterior.	X	X
Bomba de calor	Elemento que realiza o aquecimento da água que percorre a serpentina.	Separada	Acoplada
Painel Solar	Elemento que capta o calor necessário ao aquecimento da água.	X	

Tabela 4.1: Constituintes do produto e respetiva descrição

Após a introdução dos componentes principais dos produtos a serem fabricados, dá-se uma breve apresentação dos componentes do software que serão utilizados para representar a linha de produção e respetivas secções, bem como dos produtos intermédios e finais.

Após conhecidos os constituintes dos produtos e componentes da simulação é agora apresentada a metodologia que foi utilizada que explica a passagem entre o início, linha de produção, até a elaboração, testes e resultados obtidos do modelo simulado final. Inicialmente, apresenta-se o modelo operacional do processo de produção, o qual resulta do trabalho que é realizado na linha de produção, este modelo conta com uma legenda própria, representando as operações, os locais de stock, os pontos de decisão que existem na linha de produção. Este modelo tem por objetivo clarificar o funcionamento da linha de produção, identificando as máquinas ou servidores de trabalho, com terminologia que permita facilmente entender o que é feito nesse local, bem como os tempos de processamento e setup de cada uma dessas, as fontes de recursos e as taxas de chegada, os buffers de espera e os pontos de decisão, isto é, os locais onde é necessário definir o caminho que o material irá seguir, dependendo do material ou da quantidade de produção de cada tipo de produto.

Após a elaboração do modelo operacional, tratou-se da elaboração de um modelo simulado, no software já mencionado, que fosse representativo do modelo real. Partiu-se do estudo das funcionalidades dos componentes do software para que fosse possível associar cada elemento do modelo operacional a um componente, que permitisse ser configurado, de tal modo, que representasse fielmente o trabalho desse mesmo elemento, descrito no modelo operacional. No desenvolvimento da simulação foram realizados alguns ajustes e aproximações necessárias devido ao software utilizado. De seguida, irá ser apresentada a metodologia usada em todo o desenvolvimento do projeto, com mais atenção nos modelos criados.









Objeto SIMIO	Componente SIMIO	Descrição básica
	<i>Source</i>	Objeto que permite a criação de entidades numa taxa específica.
	<i>Server</i>	Representa um recurso capacitado com <i>buffers</i> de entrada e saída, restritos e opcionais. Um servidor é um objeto que contém três estações capacitadas com filas associadas.
	<i>Workstation</i>	Representa um recurso capacitado com <i>buffers</i> de entrada e saída, restritos e opcionais. Uma Estação de Trabalho é modelada como uma sequência de três atividades: configuração, processamento e <i>teardown</i> .
	<i>Combiner</i>	O objeto pode ser usado para modelar um processo que agrupa várias entidades e, em seguida, anexa os membros do lote a uma entidade pai.
	<i>Sink</i>	Destrói entidades.
	<i>Entity</i>	Parte de um modelo de objeto e pode ter seu próprio comportamento inteligente.
	<i>Basic Node</i>	Nó simples para suportar conexão entre links.
	<i>Transfer Node</i>	Nó que suporta conexão a caminhos, bem como a capacidade de selecionar o destino, o caminho e o dispositivo de transferência.

Figura 4.2: Componentes do software e descrição.

4.3 Modelo Operacional

Na figura a seguir está apresentado o modelo operacional da linha de produção. Neste caso, é possível dividir a linha de produção em três zonas principais, a primeira zona seria a produção dos cilindros de armazenamento, a segunda a produção de bombas de calor e finalmente a terceira seria a área onde estes dois elementos seriam acoplados, no caso de produtos da família B. Em termos gerais, tanto os tanques termoacumuladores como as bombas de calor são submetidos a várias operações com diferentes tempos de operação e configuração, que variam dependendo do tamanho e do termoacumulador a ser produzido.

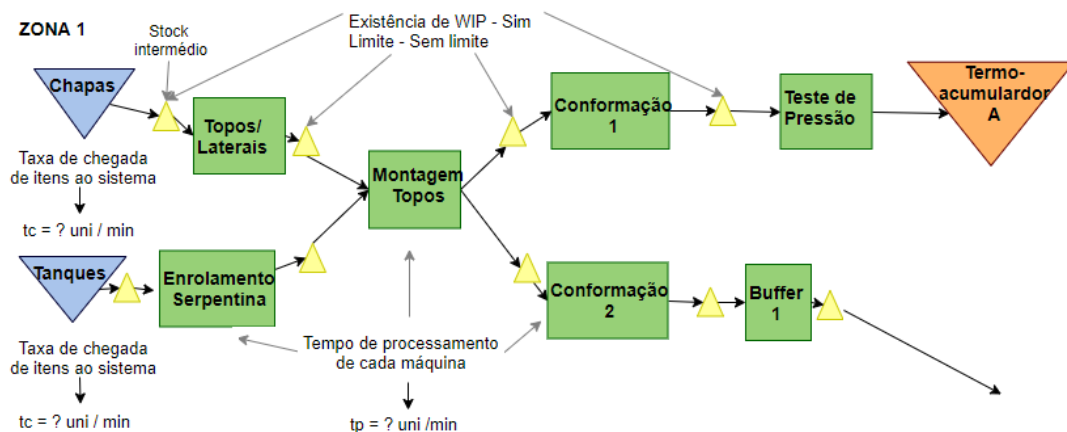


Figura 4.3: Esquema da zona de produção dos cilindros de armazenamento.

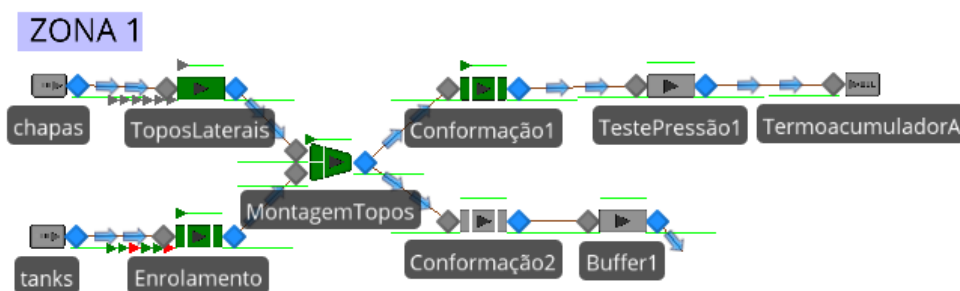


Figura 4.4: Simulação da zona de produção dos cilindros de armazenamento.

Nesta primeira zona é onde se produzem os cilindros de armazenamento. Os cilindros são comprados a entidades exteriores, passam pelo enrolamento da serpentina, de seguida são montados os topos e laterais que haviam sido cortados, a partir de chapas. Após esta montagem seguem para a estação de conformação, onde são preenchidos com material de enchimento que dá uma maior robustez e proteção. No final estes tanques, dependendo do tipo de produto, ou são testados ou aguardam, num *buffer*, pela produção das bombas de calor, para se realizar o acoplamento da bomba de calor.

Nesta zona dá-se a produção das bombas de calor. Estas bombas passam por conjunto de pré-montagens de número variável, que depois são montadas numa longa mesa em lotes de cinquenta de cada vez. No caso específico, estas montagens foram representadas por apenas uma estação no esquema da figura e no modelo simulado. Após estas operações, as bombas são testadas, durante 24 horas. De seguida, consoante o destino que devem ter, as bombas seguem para a montagem do capô ou seguem para a zona de acoplamento ao cilindro de armazenamento.

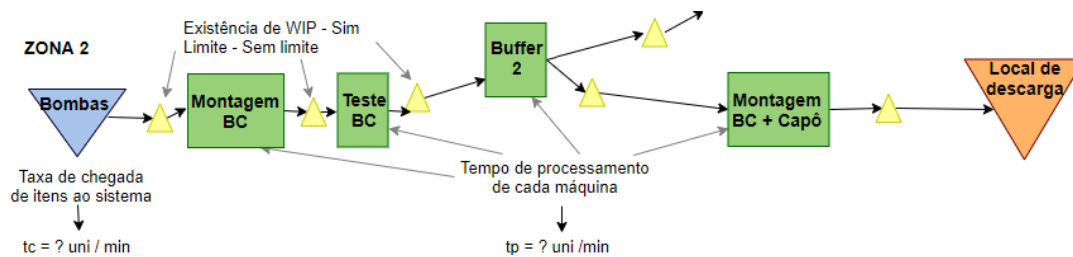


Figura 4.5: Esquema da zona de produção das bombas de calor.

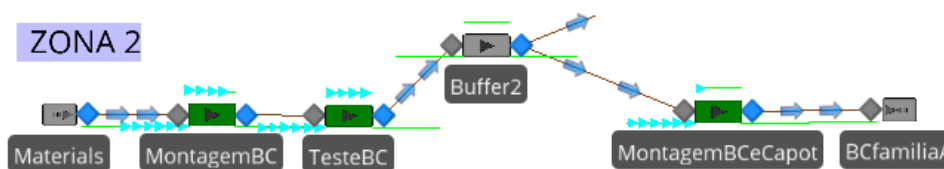


Figura 4.6: Simulação da zona de produção das bombas de calor.

A última zona corresponde ao acoplamento do cilindro e da bomba de calor. Primeiro, coloca-se a bomba, de seguida realiza-se a ligação entre os dois constituintes e por fim realiza-se o teste de pressão. Todos os cilindros/termoacumuladores são transportados por um tapete rolante ao longo das estações, já o transporte das bombas é realizado pelos operadores de forma manual.

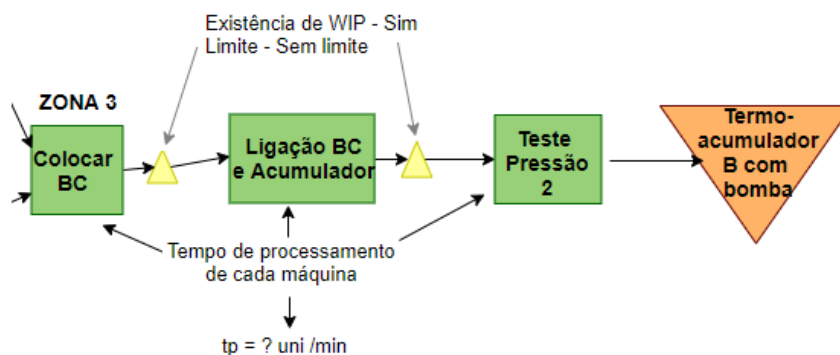


Figura 4.7: Esquema da zona de acoplamento dos cilindros com as bombas de calor.

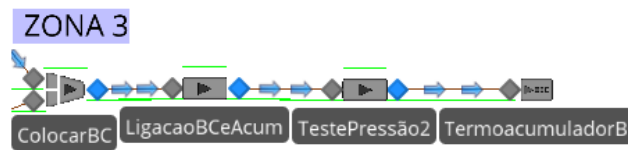


Figura 4.8: Simulação da zona de acoplamento dos cilindros com as bombas de calor.

De seguida é apresentado na Figura 4.9 o modelo operacional criado a partir da linha de produção dos aquecedores de água.

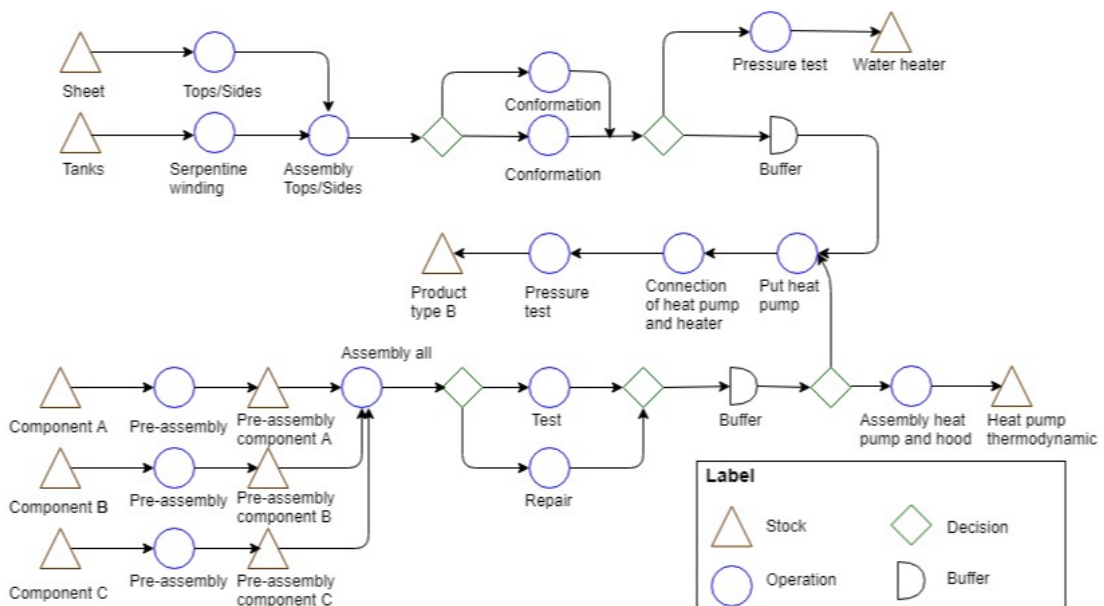


Figura 4.9: Modelo operacional da linha de produção.

Este modelo apresentado é o que corresponde mais fielmente ao trabalho realizado na linha de produção, contudo também conta com ligeiras aproximações. Com consulta da legenda, entende-se a simbologia de cada elemento do modelo. De realçar, que as mudanças mais significativas deram-se no número de pré-montagens e no local destas, pois foram representadas como uma máquina/servidor que realizaria um conjunto de tarefas, sendo estas representativas do número de pré-montagens e da montagem final. Para os cenários estudados também não foi representada a sequência de reparação.

4.4 Modelo Simulado

Após a elaboração do modelo anterior, foi realizado um estudo mais aprofundado para melhor compreender o processo de modo a permitir o desenvolvimento do modelo simulado. Este modelo foi feito usando o software SIMIO e seus componentes e recursos, com o intuito de manter a modelação o mais próxima possível da realidade. O modelo permite mudar o aspecto dos constituintes e criar um ambiente mais semelhante à realidade de uma fábrica [5].

As estações de trabalho foram representadas por *server* ou *workstations*, os recursos eram "produzidos", isto é fornecidos pelas *sources*. Foram utilizados *combiners* para fazer a montagem ou acoplamento de constituintes. O destino final dos produtos acabado eram os *sinks*. Os componentes citados eram portadores de nós de conexão onde era possível definir várias instruções.

O modelo simulado permitiu alterar valores representativos da variabilidade. No caso da variabilidade interna, variaram-se configurações, tempos de processamento, introduziram-se falhas em máquinas, já no caso da variabilidade externa, esta estava relacionada com os valores das taxas de chegada dos produtos.

De seguida é apresentado na Figura 4.11 o modelo simulado, com os diversos componentes interligados. Este modelo tem por base o modelo operacional já mencionado e os componentes utilizados estão descritos na tabela seguinte. De realçar que foram realizados alguns ajustes de modo a simplificar o modelo e ser possível introduzir as pequenas configurações tipo que haviam sido estudadas anteriormente. As figuras seguintes serão demonstrativas quer do esquema da linha de produção, bem como do modelo base simulado.

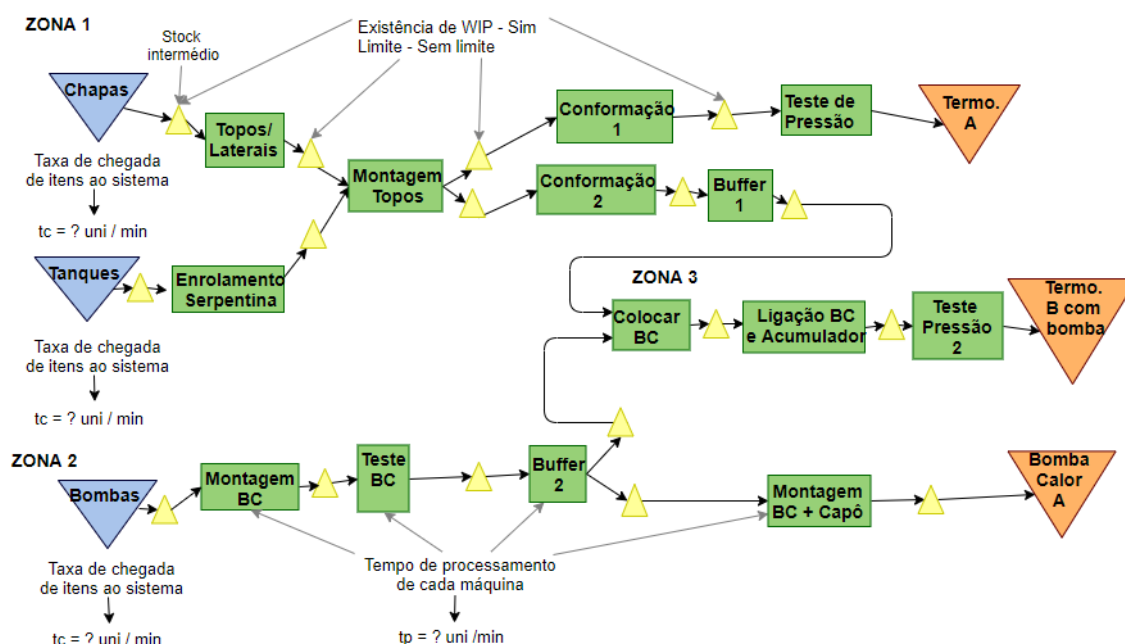


Figura 4.10: Esquema da linha de produção.

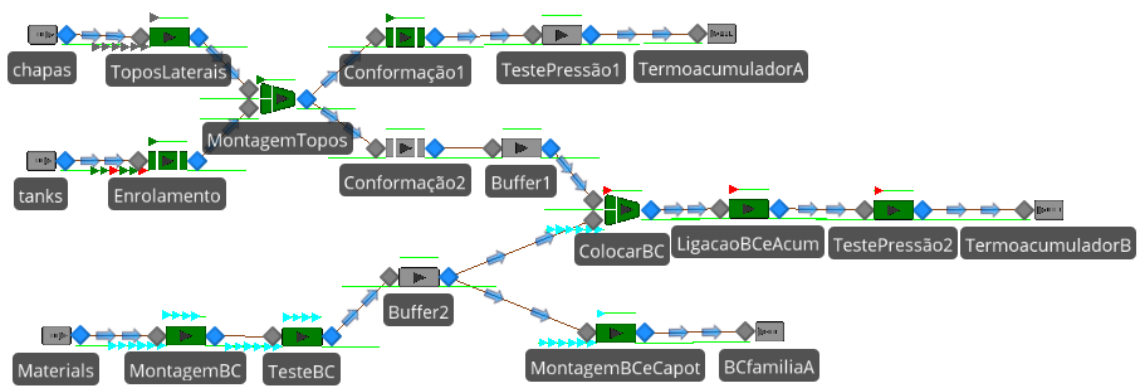


Figura 4.11: Modelo simulado da linha de produção.

Capítulo 5

Análise dos Resultados

Após a análise do conceito, definição das dimensões a serem estudadas e aplicação destas nas configurações tipo, era essencial juntar tudo isto e aplicar no caso de estudo abordado no capítulo anterior. Desta maneira, este capítulo representará a fase de testes e análises dos resultados que deles advêm, em que o intuito principal continua a ser verificar e entender os efeitos que a variabilidade tem ou pode ter no sistema. Esta fase serviu não só para verificar os possíveis impactos da variabilidade no processo, mas também como validação dos modelos criados. Para isto ser possível foi necessário alterar o modelo base, de modo a ser possível representar as configurações tipo anteriormente abordadas. Mais uma vez, para cada exemplo existirão cenários correspondentes à existência de variabilidade interna, externa e por fim das duas dimensões.

5.1 Configurações de teste de variabilidade

5.1.1 Análise da variabilidade no tempo de processamento e taxa de chegada

Neste primeiro exemplo aplicou-se ao modelo base, que havia sido elaborado, variabilidade ora no tempo de processamento ora nas taxas de chegadas. Para cada configuração destes parâmetros eram testados diferentes níveis de stock intermédio, reunindo no final todos os resultados. Dividiu-se a configuração em três cenários diferentes, a primeira onde se variou o tempo de processamento das máquinas, correspondendo à variabilidade interna do processo. De seguida, variou-se a taxa de chegada de itens ao sistema, correspondendo à variabilidade externa do processo. Por fim, aplicaram-se variações em ambos os parâmetros, com o intuito de analisar os seus impactos. Cada cenário conta com diferentes testes no que diz respeito ao número de unidades que possam existir em stock intermédio, tendo em conta que este facto vai produzir resultados diferentes. No caso limite colocará o sistema a depender apenas de um dos parâmetros, sendo potenciador de conclusões diferentes.

Uma nota, que diz respeito a todas as simulações realizadas, que está relacionada com o número de réplicas usadas para cada amostra. Por outras palavras, o simulador utiliza as configurações definidas pelo utilizador para realizar as simulações, mas por defeito utiliza apenas uma

réplica para cada amostra a ser testada. Nos casos testados deste trabalho foram utilizadas 100 réplicas para a mesma amostra, de maneira a contribuir para a validade dos resultados.

Na figura seguinte apresenta-se o esquema de operações a ser simulado, a partir do qual se originará o modelo simulado.

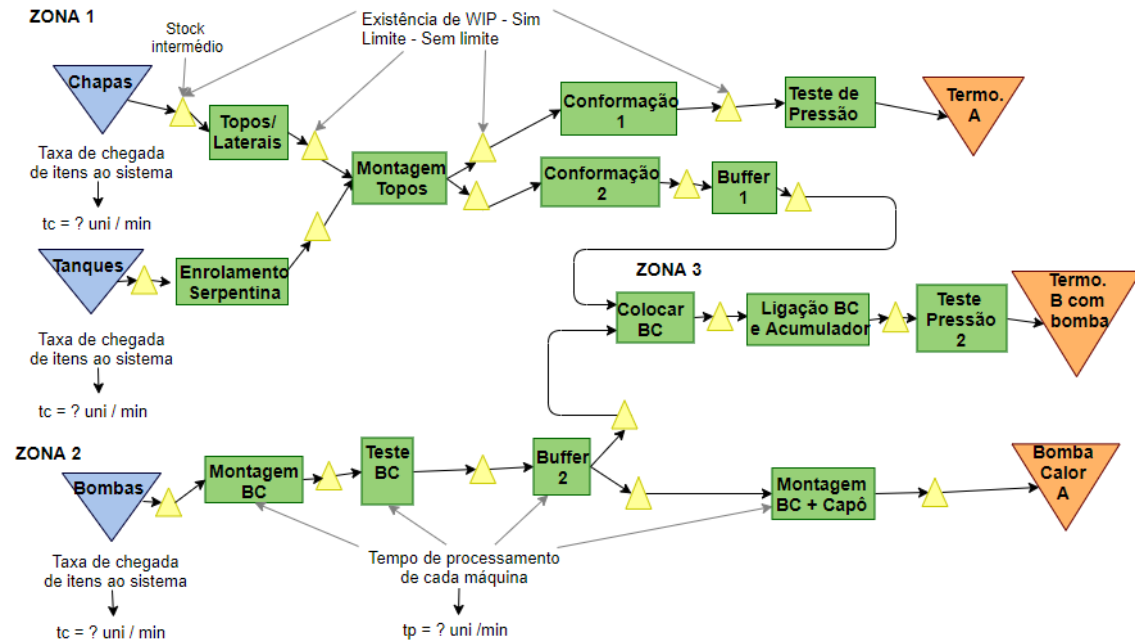


Figura 5.1: Modelo 1 - Esquema de operações a ser simulado - Tempo de processamento e taxa de chegada.

De realçar que os valores de cada stock intermédio, serão diferentes consoante as operações que realiza, no caso do processamento ser unitário, os valores vão variar entre 0, 1, 2, 400 e infinito, já no caso do processamento ser em lote, os valores vão variar entre 0, 50, 100, 400 e infinito, tendo em conta que o valor do lote é de 50 unidades. Por fim, os locais que representam a junção de dois materiais terão valores de stock intermédio que vão variar de 1, 2, 3, 400 e infinito, sendo que neste caso não é possível ter o valor de 0, visto que os materiais não chegam no mesmo instante, logo existe uma tempo de espera associado a um deles. Esse material estará no stock intermédio.

5.1.1.1 Cenário 1 - Variabilidade interna - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,0.5) e Normal (1440, 100)**

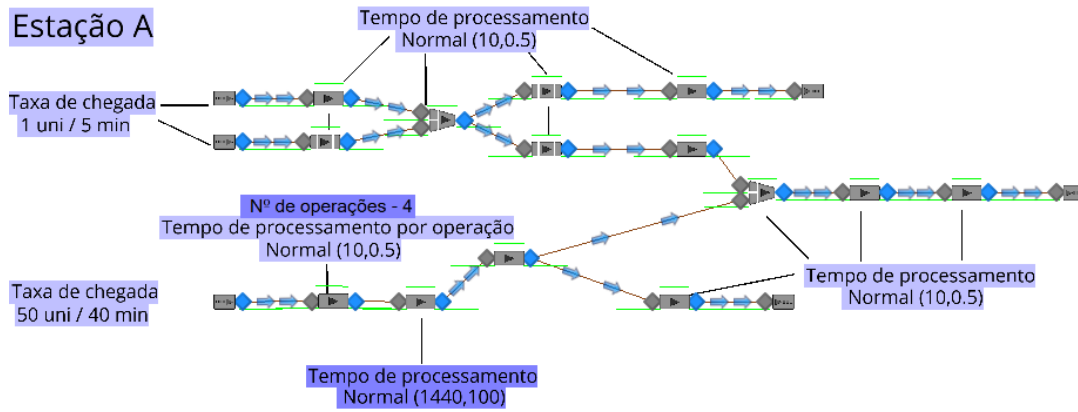


Figura 5.2: Modelo 1 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,1) e Normal (1440, 200)**

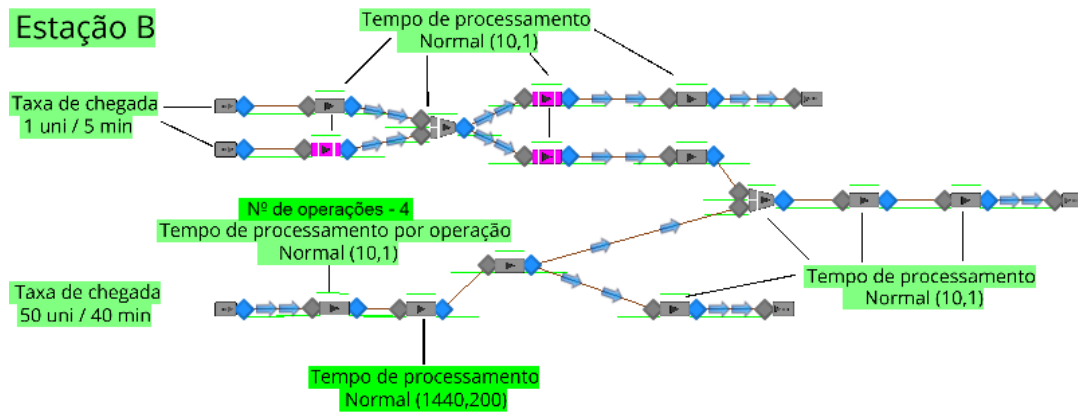


Figura 5.3: Modelo 1 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,2) e Normal (1440, 300)**

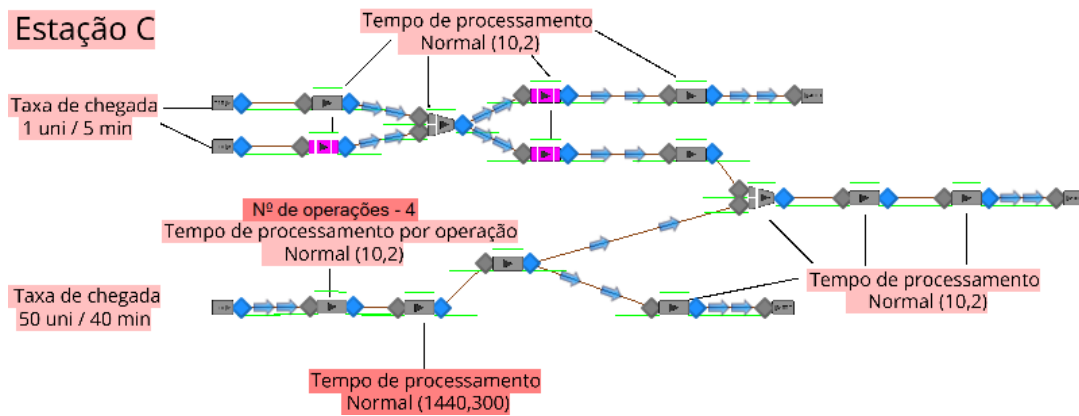


Figura 5.4: Modelo 1 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.

5.1.1.2 Cenário 2 - Variabilidade externa - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento fixo**

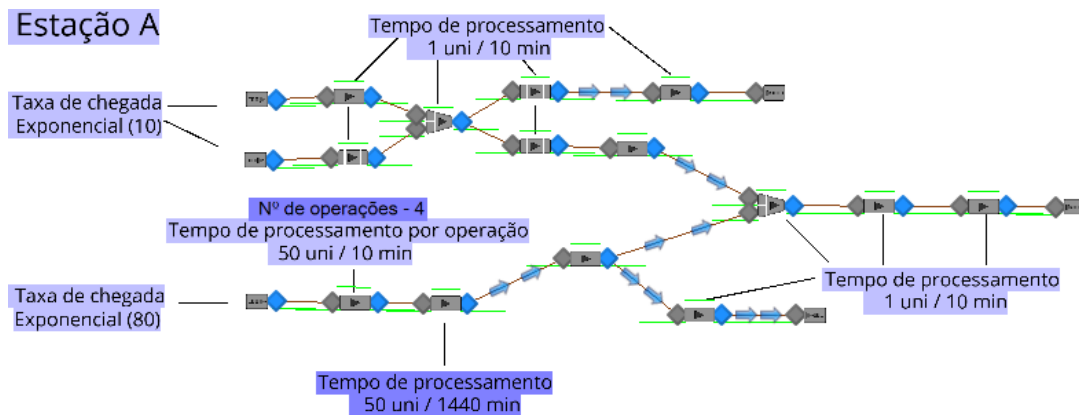


Figura 5.5: Modelo 1 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - Exponencial (5) e Exponencial (40) e tempo de processamento fixo**

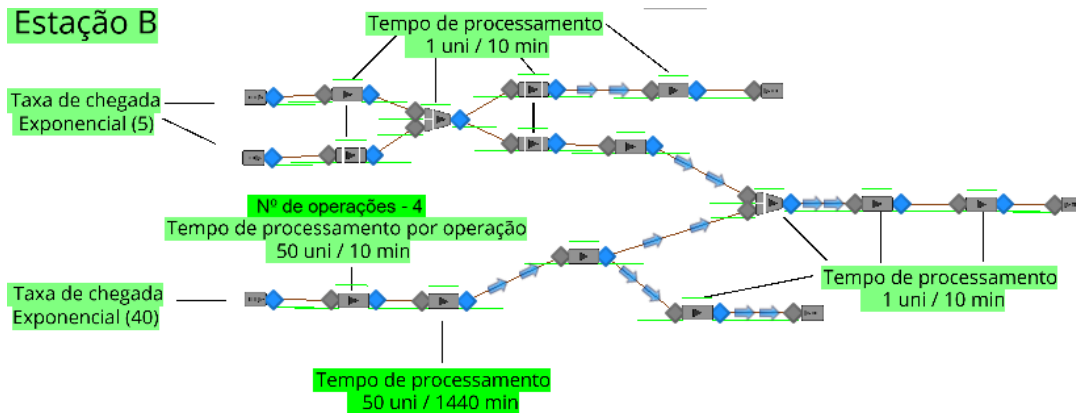


Figura 5.6: Modelo 1 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento fixo**

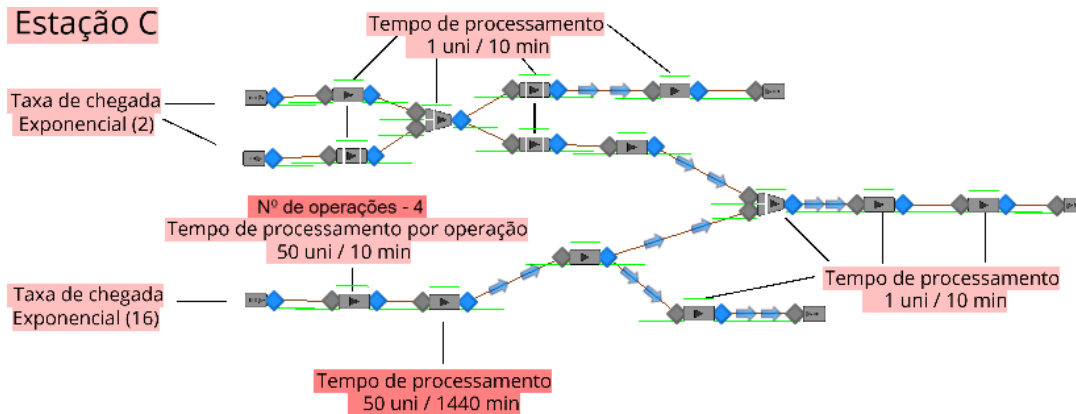


Figura 5.7: Modelo 1 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.

5.1.1.3 Cenário 3 - Variabilidade interna e externa - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento - Normal (10,0.5) e Normal (1440, 100)**

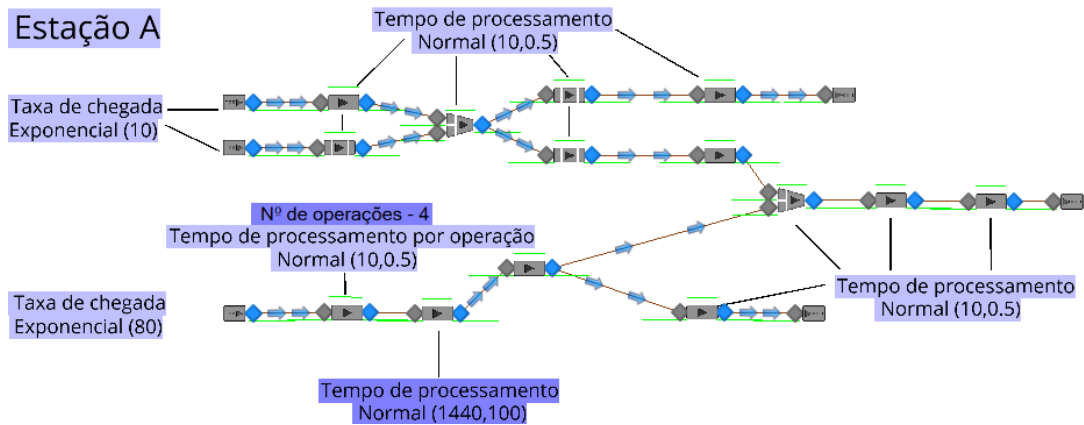


Figura 5.8: Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento - Normal (10,2) e Normal (1440, 300)**

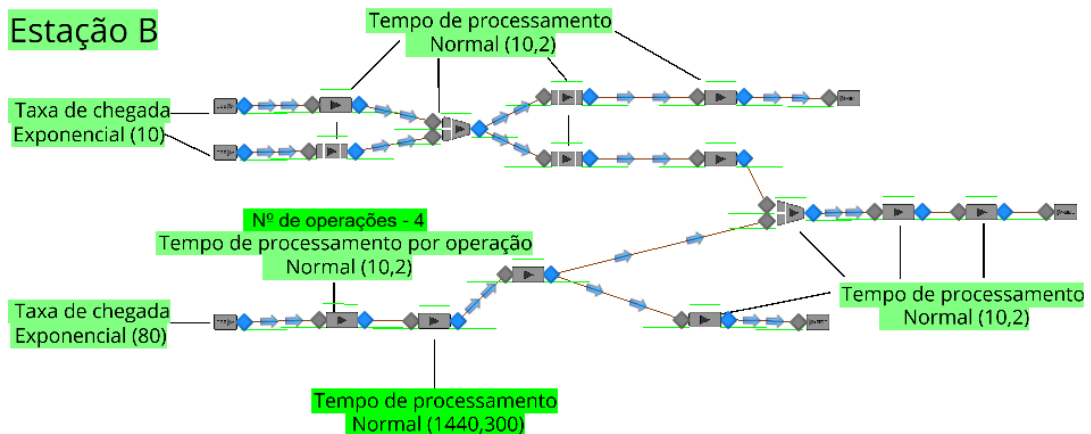


Figura 5.9: Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento - Normal (10,0.5) e Normal (1440, 100)**

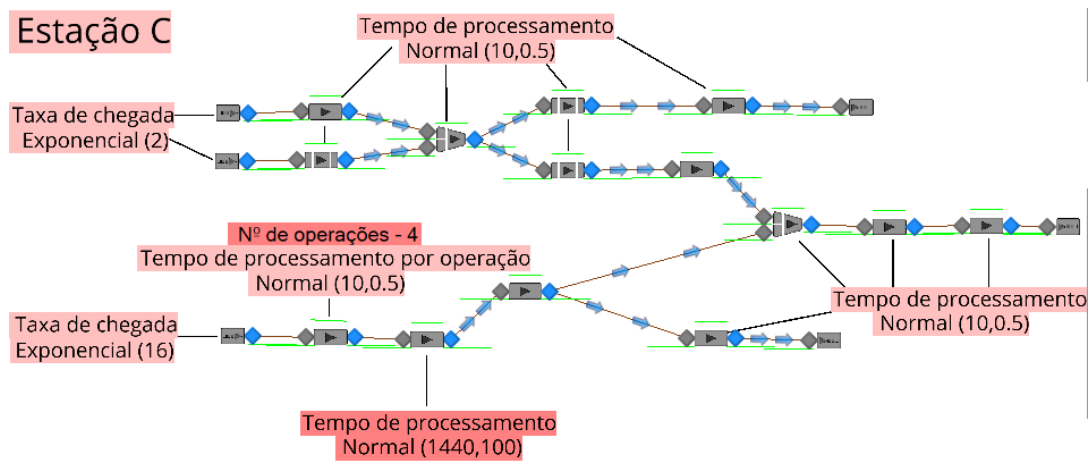


Figura 5.10: Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Taxa de chegada - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento - Normal (10,2) e Normal (1440, 300)**

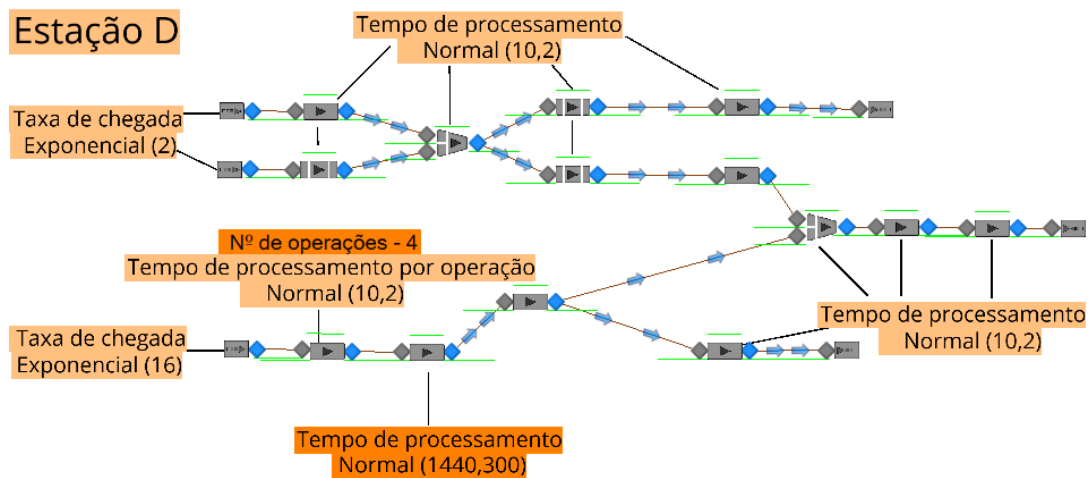


Figura 5.11: Modelo 1 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.

- **Resultados e Análises dos cenários**

- **Variabilidade interna**

- * **Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B**

Ao nível da produção de tanques do tipo A e do tipo B pode-se concluir:

O número de casos estudados foi três, com alterações nos valores do tempo de processamento de todos os componentes, fazendo-se variar o valor do desvio padrão, de todas as distribuições normais que regiam os tempos de processamento de todas as máquinas/servidores;

Ao nível do tempo de espera verifica-se um ligeiro aumento quando se aumenta a variabilidade interna, quando não existe stock intermédio. Quando passa a existir stock intermédio o aumento da variabilidade interna provocou ligeiros decaimentos nos valores do tempo de espera. Com o aumento do nível de stock intermédio o valor do tempo de espera aumenta, sendo que atinge o seu máximo quando o stock é infinito;

O tempo de processamento médio de uma unidade apresenta-se como um valor próximo do valor médio esperado para a produção de uma unidade, e para os casos apresentados são poucas as variações neste valor;

O tempo que as unidades passam no sistema depende em grande percentagem do tempo de espera, visto que este valor é superior ao tempo de processamento, sendo que as variações no tempo de espera também se verificam no tempo que as unidades passam no sistema;

Ao nível da taxa de utilização média das máquinas, que atuam na produção dos tanques, é possível verificar algumas variações provocadas pela existência de variabilidade interna, não sendo possível identificar um padrão nos resultados apresentados por esta variável. Com o aumento do stock intermédio mais uma vez é possível verificar o aumento da taxa de utilização. De realçar, mais uma vez, que este valor é um valor médio, que resulta de todas as taxas de utilização de todas as máquinas que realizam operações neste produto, sendo que algumas apresentam valores muito altos e outras valores mais baixos de utilização;

No que diz respeito ao número de unidades produzidas, o comportamento desta variável é idêntico ao da variável taxa de utilização, apesar não estarem tão relacionados como nas configurações tipo. Este número representa de forma geral o número de tanques produzidos, sendo que este valor varia com a existência de variabilidade interna. Destaca-se, de modo geral, o aumento deste número com o aumento do nível de stock intermédio, sendo que a produção tem sempre a tendência a estagnar, passando a estar mais dependente dos tempos de processamento das máquinas;

Da análise dos gráficos é possível verificar variações causadas pela existência de variabilidade interna, sendo que tende a apresentar maiores valores de taxa de utilização quanto menor a variabilidade interna. Em todos os casos se verifica um aumento brusco no tempo de espera à medida que se atingem os valores de taxa de utilização mais altos possíveis, para a configuração apresentada. Da análise do gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio é possível entender que apenas está representada a tendência para alguns valores de stock, tendo em

conta que não é possível quantificar o infinito, contudo o que se pretende mostrar é que o valor do número das unidades tende a estabilizar e a partir da tabela é possível verificar que as diferenças entre casos existem mas são pouco acentuadas.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Nº de uni produzidas	WIP
Caso 1	212,26	40	252,26	53,89%	338	0
Caso 2	166,58	39,99	206,57	51,28%	305	
Caso 3	172,22	39,95	212,17	50,80%	309	
Caso 1	276,42	39,97	316,39	68,53%	415	1
Caso 2	216,32	39,91	256,23	66,03%	403	
Caso 3	233,51	39,87	273,38	65,61%	404	
Caso 1	327,35	39,9	367,25	68,48%	423	2
Caso 2	376,01	39,97	415,98	69,65%	434	
Caso 3	317,23	39,98	357,21	65,34%	410	
Caso 1	18396,25	39,93	18436,18	75,19%	466	INF
Caso 2	18034,13	40	18074,13	75,22%	467	
Caso 3	16898,63	39,75	16938,38	75,38%	475	

Figura 5.12: Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.

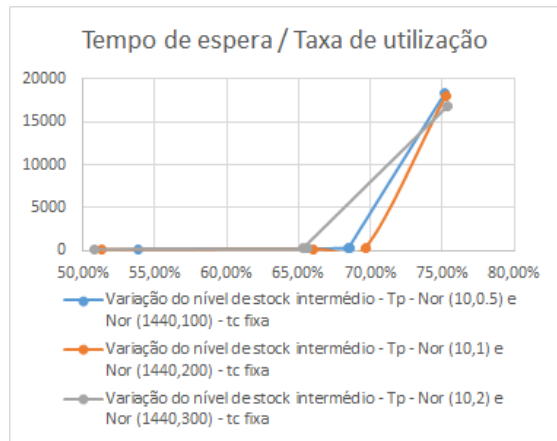


Figura 5.13: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

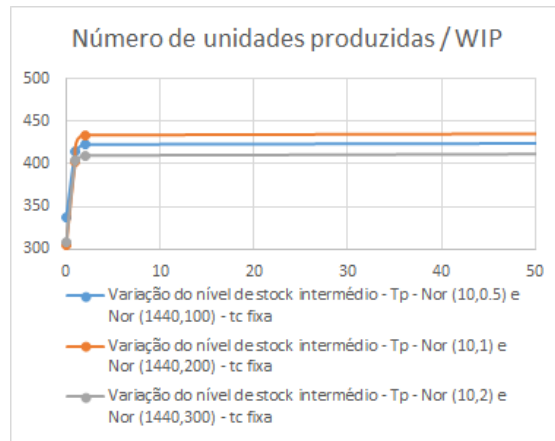


Figura 5.14: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	281,06	59,91	340,97	46,65%	318	0
Caso 2	356,84	60,12	416,96	47,33%	334	
Caso 3	395,82	59,91	455,73	45,51%	317	
Caso 1	372,23	60,06	432,29	60,10%	412	1
Caso 2	485,41	59,88	545,29	59,24%	413	
Caso 3	513,82	59,91	573,73	56,26%	381	
Caso 1	621,66	59,91	681,57	60,46%	417	2
Caso 2	564,98	59,76	624,74	60,66%	417	
Caso 3	697,86	59,86	757,72	58,50%	408	
Caso 1	18657,34	59,99	18717,33	65,97%	453	INF
Caso 2	18952,36	59,97	19012,33	65,80%	451	
Caso 3	19986,16	60,14	20046,3	65,39%	443	

Figura 5.15: Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

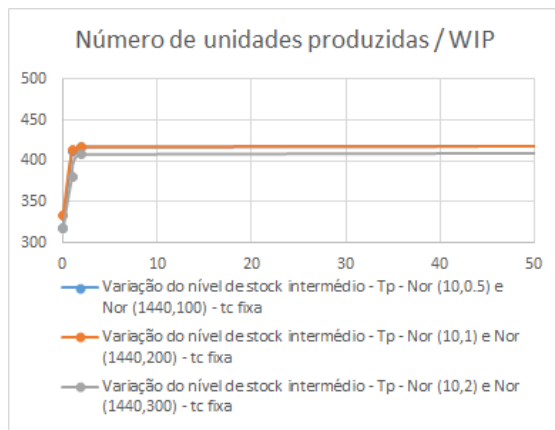


Figura 5.16: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

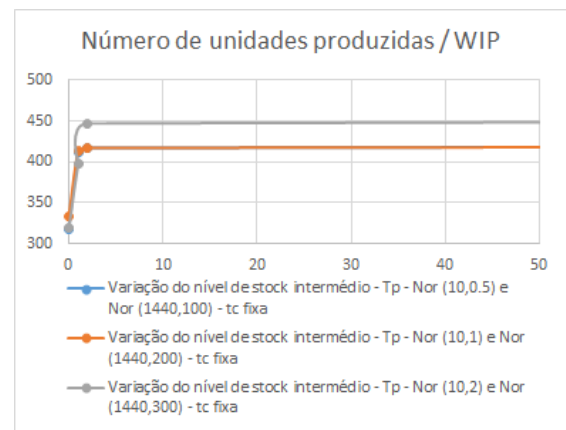


Figura 5.17: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

*** Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Ao nível da produção das bombas para tanques do tipo B e A, infere-se o seguinte:

O número de casos mantém-se em três, diferindo na configuração de cada um;

O tempo de espera aumenta com o aumento do nível de stock intermédio, atingindo elevados valores a partir das 400 unidades de stock, com poucas diferenças de quando deixa de haver limite de stock. Com a existência de variabilidade interna existem variações no tempo de espera das unidades;

O tempo de processamento apresenta variações superiores aos produtos anteriores, sendo este facto causado pela produção em lote e o tempo apresentado ser médio e referente a uma unidade produzida, desta forma o impacto da variabilidade interna revela-se muito superior;

Apesar do tempo de processamento variar em algumas unidades continua a ter pouca influência no valor do tempo que as unidades passam no sistema, visto que o tempo de espera apresenta valores muito altos. Desta forma, o tempo que as unidades passam no sistema varia de forma semelhante à variação apresentada pelo tempo de espera;

Ao nível da taxa de utilização a amplitude de resultado é alta, conseguindo atingir resultados muitos elevados para valores de stock intermédio também elevados. A variabilidade interna mostra novamente alguma influência devido às diferenças entre casos;

O número de unidades produzidas também sofre alterações com a existência de variabilidade interna, mas estas variações tornam-se mais significativas com o aumento do nível do stock intermédio, sendo que quando este valor deixa de ter limite, atinge-se o máximo de unidades produzidas;

Da análise dos gráficos verifica-se que já não existe um disparo no tempo de espera com o aumento da taxa de utilização, apesar de continuar a verificar-se que o aumento da taxa também faz aumentar o tempo de espera. No que diz respeito ao número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio é visível um aumento até certo nível de stock, sendo que a partir deste o valor tende a estabilizar.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	7043,14	74,23	7117,37	64,93%	319	0
Caso 2	6836,47	75,41	6911,88	67,43%	335	
Caso 3	7185,95	79,47	7265,42	68,03%	320	
Caso 1	11234,08	69,33	11303,41	70,02%	414	50
Caso 2	10744,94	69,56	10814,5	71,36%	415	
Caso 3	11315,17	70,95	11386,12	70,96%	399	
Caso 1	14131,96	67,97	14199,93	73,19%	424	100
Caso 2	15152,5	69,7	15222,2	73,02%	425	
Caso 3	14894,26	69,92	14964,18	74,84%	450	
Caso 1	20829,38	62,52	20891,9	94,20%	724	400
Caso 2	21351,82	62,11	21413,93	90,37%	731	
Caso 3	21297,71	61,64	21359,35	89,58%	750	
Caso 1	21893,04	59,08	21952,12	99,94%	734	INF
Caso 2	21983,2	58,88	22042,08	99,93%	722	
Caso 3	22210,59	59,13	22269,72	99,91%	754	

Figura 5.18: Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

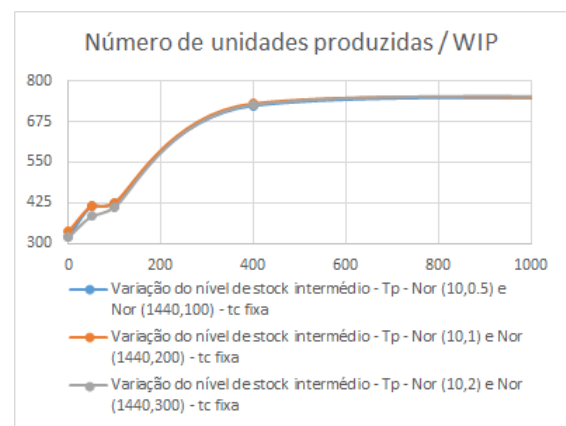
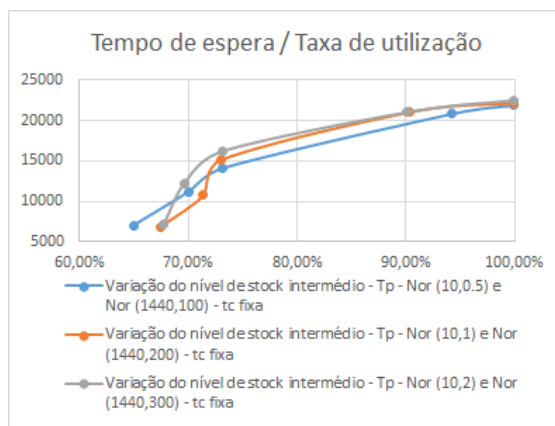


Figura 5.19: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.20: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	7063,13	54,24	7117,37	57,60%	398	0
Caso 2	6856,51	55,37	6911,88	59,34%	400	
Caso 3	7128,41	57,71	7186,12	59,15%	384	
Caso 1	11254,11	49,3	11303,41	63,37%	462	50
Caso 2	11064,89	49,61	11114,5	65,14%	480	
Caso 3	12215,04	51,85	12266,89	61,37%	407	
Caso 1	14151,95	47,98	14199,93	66,13%	481	100
Caso 2	14172,23	49,97	14222,2	66,07%	489	
Caso 3	16221,84	51,01	16272,85	63,26%	415	
Caso 1	20849,4	42,49	20891,89	86,72%	663	400
Caso 2	20371,79	42,14	20413,93	83,53%	649	
Caso 3	21079,74	41,65	21121,39	84,40%	684	
Caso 1	21913,04	39,09	21952,13	90,39%	656	INF
Caso 2	21503,17	38,92	21542,09	90,83%	670	
Caso 3	22554,31	39,33	22593,64	89,76%	640	

Figura 5.21: Modelo 1 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

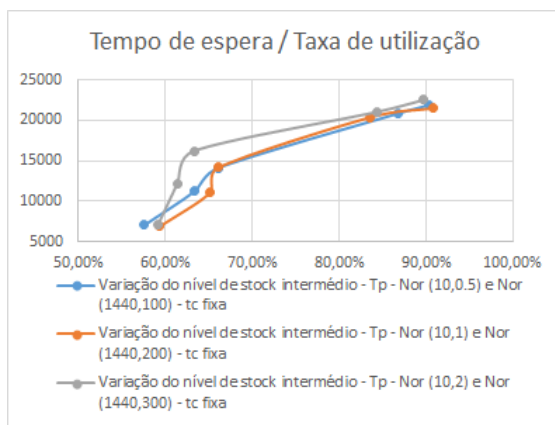


Figura 5.22: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

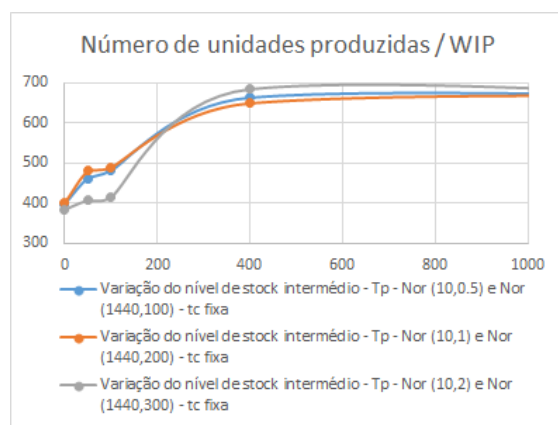


Figura 5.23: Modelo 1 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

– Variabilidade externa

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	179,4	39,99	219,39	33,52%	212	0
Caso 2	168,2	39,97	208,17	46,66%	291	
Caso 3	174,24	39,98	214,22	55,13%	334	
Caso 1	293,45	39,94	333,39	49,44%	293	1
Caso 2	256,01	39,97	295,98	63,00%	384	
Caso 3	289,48	39,95	329,43	66,89%	408	
Caso 1	314,33	39,99	354,32	60,95%	391	2
Caso 2	251,88	39,99	291,87	66,19%	392	
Caso 3	387,12	39,93	427,05	66,91%	401	
Caso 1	15913,23	39,97	15953,2	74,39%	452	INF
Caso 2	18269,92	39,96	18309,88	74,92%	461	
Caso 3	19372,69	39,93	19412,62	74,68%	456	

Figura 5.24: Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.

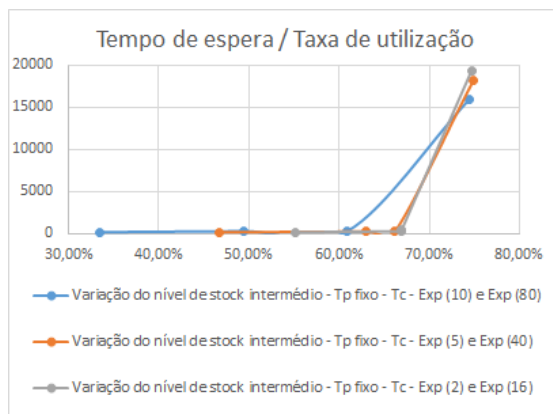


Figura 5.25: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

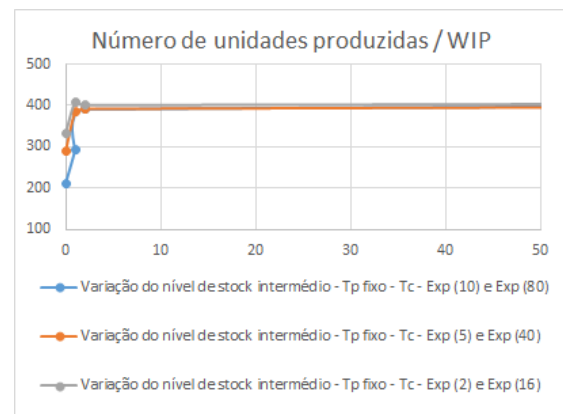


Figura 5.26: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Após a análise da produção dos dois tipos de tanques verifica-se que apresentam um comportamento semelhante, o que possibilita uma análise conjunta dos impactos causados pela existência de variabilidade externa:

O número de casos é três, variando o valor da taxa de chegada de itens ao sistema, isto é, o intervalo entre chegadas. Sabendo que estes seguem uma distribuição exponencial com valor médio variável de caso para caso.

À primeira vista é possível visualizar um aumento do tempo de espera com o aumento do nível do stock intermédio, sendo que com variações da taxa de chegada também se verificam

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	334,56	59,99	394,55	28,77%	195	0
Caso 2	309,13	59,96	369,09	40,73%	279	
Caso 3	328,45	59,95	388,4	49,85%	349	
Caso 1	360,37	59,97	420,34	45,91%	326	1
Caso 2	402,68	59,96	462,64	56,38%	392	
Caso 3	454,62	59,93	514,55	59,96%	418	
Caso 1	537,35	59,95	597,3	51,24%	343	2
Caso 2	591,96	59,99	651,95	61,37%	436	
Caso 3	627,47	59,93	687,4	61,09%	430	
Caso 1	16757,81	59,98	16817,79	67,00%	468	INF
Caso 2	18936,57	59,93	18996,5	66,50%	461	
Caso 3	20554,6	59,94	20614,54	66,81%	465	

Figura 5.27: Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

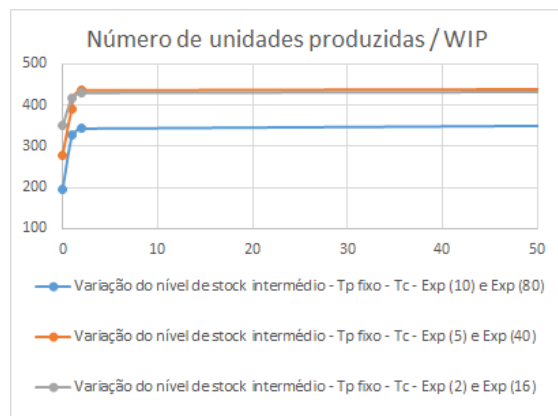
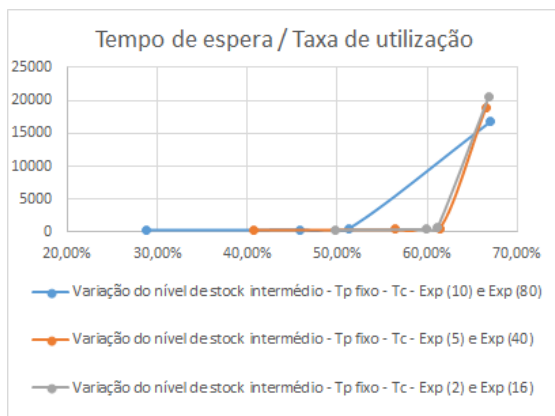


Figura 5.28: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.29: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

variações nesta variável. Também é evidente que a produção do tipo B apresenta valores superiores de tempo de espera dado contar com mais máquinas e operações a realizarem trabalho nos itens.

O tempo de processamento é praticamente inerte com valores próximos do valor médio de cada um.

O tempo que as unidades passam no sistema é mais uma vez dependente essencialmente do tempo de espera e das suas variações, dada a pouca influência do tempo de processamento em ambos os casos.

A taxa de utilização aumenta com o aumento do nível de stock intermédio e com aumento da taxa de chegada. Sendo que esta taxa varia em grande escala, em mais de 40% com o aumento destes dois parâmetros.

O número de unidades produzidas, tal como a taxa de utilização, aumenta com o aumento quer do stock intermédio, quer da taxa de chegada de itens ao sistema, sendo que este número acaba por estabilizar e ficar dependente apenas do tempo de processamento, quando a taxa de chegada é elevada e o nível do stock também.

Da visualização dos gráficos verifica-se novamente o disparo do tempo de espera com o aumento da taxa de utilização e a estabilização dos valores dos números de unidades produzidas para valores elevados de stock intermédio, sendo que com diferenças entre casos, apesar de ligeiras.

*** Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	11248,65	90,07	11338,72	57,00%	196	0
Caso 2	8527,29	76,84	8604,13	57,93%	280	
Caso 3	7440,18	70,83	7511,01	58,84%	350	
Caso 1	13408,95	70,09	13479,04	60,21%	328	50
Caso 2	11380,58	68,41	11448,99	62,85%	394	
Caso 3	10486,48	65,94	10552,42	62,68%	420	
Caso 1	16757,7	69,68	16827,38	62,13%	346	100
Caso 2	14601,52	66,92	14668,44	65,78%	439	
Caso 3	13849,9	66,74	13916,64	68,80%	433	
Caso 1	20416,86	59,56	20476,42	78,40%	690	400
Caso 2	20932,17	59,51	20991,68	78,40%	728	
Caso 3	20683,86	59,55	20743,41	78,40%	747	
Caso 1	21599,03	59,56	21658,59	98,88%	690	INF
Caso 2	22033,94	59,53	22093,47	99,53%	728	
Caso 3	22152,43	59,53	22211,96	99,91%	747	

Figura 5.30: Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

Da mesma forma que a produção dos tanques se assemelha, também a produção das bombas para os dois tipos de tanques o faz. De maneira que se conclui o seguinte:

O número de casos é o mesmo, diferenciando o valor da taxa de chegada dos itens ao sistema.

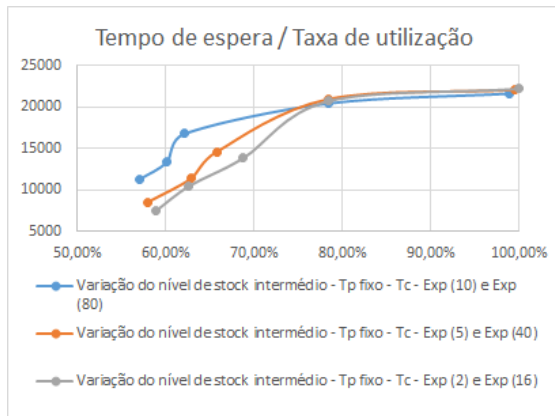


Figura 5.31: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

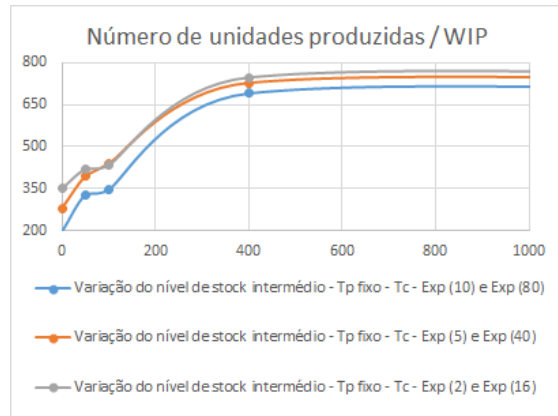


Figura 5.32: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	11268,65	70,07	11338,72	46,66%	240	0
Caso 2	8547,27	56,86	8604,13	50,56%	330	
Caso 3	7460,16	50,85	7511,01	52,79%	376	
Caso 1	13428,95	50,09	13479,04	53,70%	376	50
Caso 2	11400,57	48,43	11449	57,63%	436	
Caso 3	10506,45	45,97	10552,42	59,93%	503	
Caso 1	16777,67	49,71	16827,38	59,95%	424	100
Caso 2	14621,52	46,92	14668,44	60,87%	471	
Caso 3	13869,88	46,77	13916,65	65,31%	539	
Caso 1	20436,86	39,56	20476,42	73,89%	692	400
Caso 2	20952,12	39,56	20991,68	72,63%	657	
Caso 3	20703,85	39,56	20743,41	72,20%	645	
Caso 1	21619,03	39,56	21658,59	90,89%	692	INF
Caso 2	22053,91	39,55	22093,46	90,05%	657	
Caso 3	22172,41	39,56	22211,97	89,88%	645	

Figura 5.33: Modelo 1 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

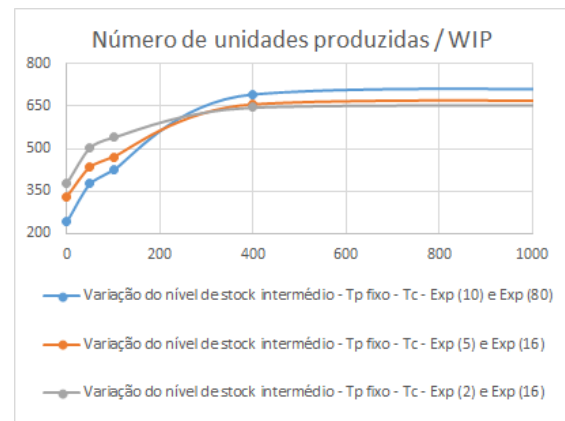
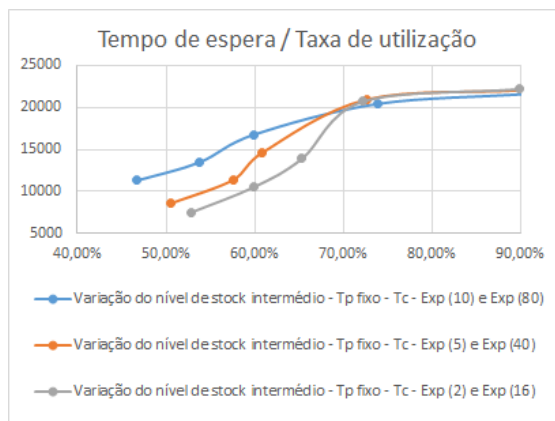


Figura 5.34: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.35: Modelo 1 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

O tempo de espera varia com a existência de variabilidade externa, assumindo valores inferiores e superiores com o aumento e descida da taxa de chegada, sendo difícil identificar um padrão de comportamento. Mais uma vez o aumento do nível de stock intermédio faz aumentar o tempo de espera pois existem mais unidades à espera de serem processadas.

O tempo de processamento médio de uma unidade apresenta-se a variar, sendo que a verdadeira leitura deste valor é difícil de realizar dada a produção por lotes até determinado ponto da linha e que mais tarde passa a produção unitária. Desta forma, apresenta-se um valor que se acredita ser próximo do real, sendo que o esperado seria um valor praticamente constante.

O tempo que as unidades passam no sistema é mais uma vez idêntico ao tempo de espera, dado que o tempo de espera apresenta valores muito superiores ao tempo de processamento.

A taxa de utilização aumenta com o aumento do nível do stock intermédio e com o aumento da taxa de chegada, de forma geral.

O número de unidades é também bastante afetado com a existência de variabilidade externa, dado que aumenta com a diminuição desta, em praticamente todos os casos, e com o aumento do nível de stock intermédio. Este valor atinge o máximo quando deixa de existir limite de stock.

Da análise dos gráficos do tempo de espera em função da taxa de utilização é possível verificar variações para níveis de stock mais baixos, sendo que com o aumento deste esta relação tende a estabilizar e a aumentar ligeiramente, em ambos os gráficos das bombas para os dois tipos de tanques. No caso do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio é possível verificar um comportamento idêntico entre os dois gráficos, sendo que o número de unidades vai aumentando até certo nível, começando a estabilizar a partir desse ponto, ficando mais dependente do tempo de processamento das unidades.

– Variabilidade interna e externa

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	185,27	39,94	225,21	32,16%	188	0
Caso 2	291,5	39,62	331,12	33,09%	202	
Caso 3	161,56	39,98	201,54	57,83%	364	
Caso 4	159,3	39,85	199,15	56,01%	356	
Caso 1	212,96	40,03	252,99	47,57%	285	1
Caso 2	290,44	40,4	330,84	51,34%	316	
Caso 3	251,45	39,91	291,36	65,58%	398	
Caso 4	264,79	40,25	305,04	67,55%	420	
Caso 1	296,28	39,94	336,22	54,87%	332	2
Caso 2	314,31	40,02	354,33	57,43%	345	
Caso 3	372,27	39,95	412,22	67,61%	413	
Caso 4	321,47	39,77	361,24	67,62%	422	
Caso 1	16055,76	40	16095,76	76,03%	487	INF
Caso 2	16339,23	39,66	16378,89	74,29%	462	
Caso 3	19825,16	40	19865,16	75,26%	469	
Caso 4	19690,62	39,98	19730,6	74,97%	463	

Figura 5.36: Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.

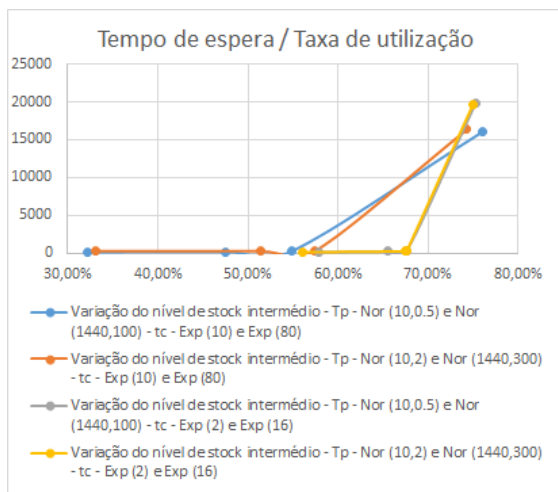


Figura 5.37: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

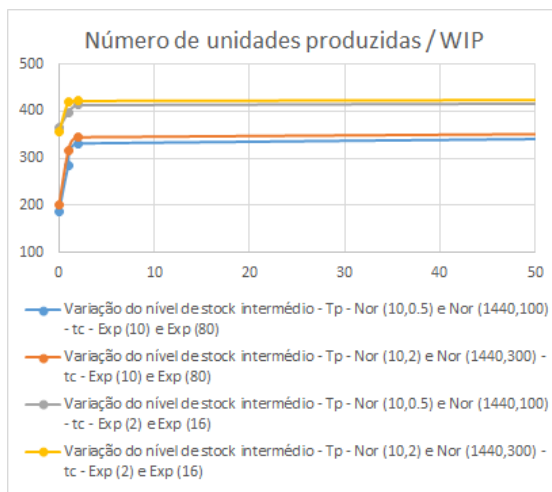


Figura 5.38: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	347,51	60,04	407,55	30,40%	218	0
Caso 2	287,17	59,89	347,06	30,10%	211	
Caso 3	288,11	59,86	347,97	49,86%	340	
Caso 4	345,43	59,86	405,29	47,72%	322	
Caso 1	498,88	59,97	558,85	43,37%	305	1
Caso 2	422,36	59,95	482,31	44,44%	303	
Caso 3	517,26	59,93	577,19	59,04%	412	
Caso 4	432,42	60,32	492,74	58,36%	395	
Caso 1	612,82	59,95	672,77	49,70%	348	2
Caso 2	553,38	60,01	613,39	52,43%	369	
Caso 3	566,05	59,83	625,88	60,33%	420	
Caso 4	625,38	59,97	685,35	59,24%	406	
Caso 1	16419,96	60,05	16480,01	63,85%	426	INF
Caso 2	16572,1	60,06	16632,16	65,50%	448	
Caso 3	19856,75	60,01	19916,76	65,62%	449	
Caso 4	20458,19	59,72	20517,91	65,80%	454	

Figura 5.39: Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

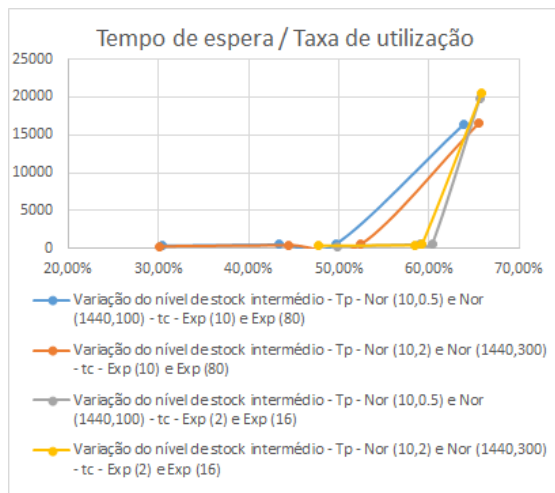


Figura 5.40: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

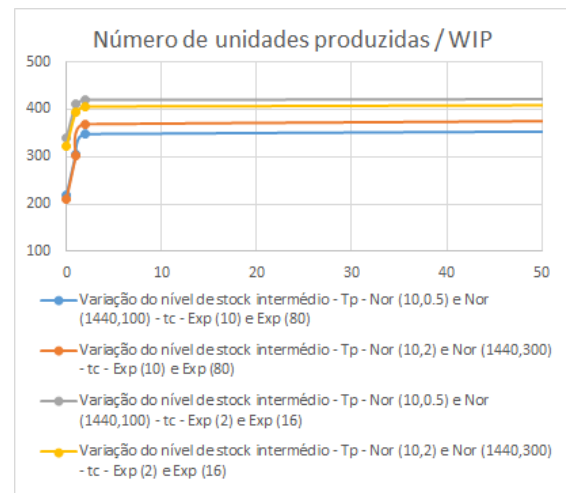


Figura 5.41: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Após a análise da produção de ambos os tipos de tanques verificou-se alguma similaridade nos comportamentos das variáveis, de tal modo que as conclusões seguintes referem-se aos dois tipos de tanques:

O número de casos estudados foi quatro, com variações impostas ao nível do tempo de processamento e taxa de chegada de itens ao sistema. Do primeiro para o segundo e do terceiro para o quarto caso variou-se o valor do desvio padrão da distribuição que regia o tempo de processamento das máquinas, já do primeiro para o terceiro e segundo para o quarto caso a alteração realizada prende-se com o valor da taxa de chegada.

Ao nível do tempo de espera verifica-se que este varia com a existência quer de variabilidade interna quer externa, sendo que com o aumento do nível de stock o tempo de espera também aumenta, principalmente quando o stock deixa de ser limitado. Entre tanques é possível verificar que o tanque B que está sujeito a uma maior número de operações, apresenta na sua generalidade, um tempo de espera superior.

No que diz respeito ao tempo de processamento médio é possível verificar que não existem alterações com um grande significado pois, para todos os casos, em ambos os tanques se verifica que o valor está sempre próximo do valor médio da distribuição que o rege.

O tempo que as unidades passam no sistema, mais uma vez relacionado com tempo de espera e tempo de processamento, tende a acompanhar o comportamento do tempo de espera, visto que apresenta valores superiores quando comparado com o tempo de processamento.

Ao nível da taxa de utilização pode-se destacar alterações importantes. Esta variável é bastante afetada pela presença de variabilidade externa e pelo aumento do nível de stock intermédio, visto que em ambos os casos, isto é, aumento do nível do stock e aumento da taxa de chegada, o valor da taxa de utilização também aumenta. De realçar que, apesar de ser em menor escala, a presença de variabilidade interna, no tempo de processamento, também afeta o valor de taxa de utilização.

No que diz respeito ao número de unidades produzidas também se verificam alterações significativas. O aumento quer do nível de stock intermédio quer da taxa de chegada fazem disparar este valor, principalmente quando o aumento ocorre em simultâneo. Quando o nível de stock deixa de ter limite, atinge-se a produção máxima e a diferença entre casos é atenuada, visto que a taxa de chegada deixa de ter tanto impacto.

Ao nível da análise dos gráficos destacam-se dois comportamentos diferentes, no caso do tempo de espera em função da taxa de utilização. Esta diferença é dada pela variação na taxa de chegada dos itens ao sistema. Em todos os casos se verifica que à medida que se atinge a maior taxa de utilização possível o tempo de espera aumenta de uma forma brusca. Já no caso do número de unidades produzidas, mais uma vez se realça a impossibilidade de representação do infinito, de maneira que apenas se pretende demonstrar a tendência de estabilização deste valor a partir de um certo nível de stock intermédio, que é indicativo de que o número de unidades deixa de ser independente do tamanho do stock.

* Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	10119,57	88,51	10208,08	59,57%	219	0
Caso 2	9445,79	94,55	9540,34	65,46%	212	
Caso 3	7312,55	72,2	7384,75	63,32%	341	
Caso 4	7356,92	78,56	7435,48	67,92%	323	
Caso 1	12589,21	72,57	12661,78	67,20%	307	50
Caso 2	14752,72	79,14	14831,86	67,35%	305	
Caso 3	11008,64	70,45	11079,09	71,06%	414	
Caso 4	10863,05	71,38	10934,43	72,00%	397	
Caso 1	17223,63	69,84	17293,47	70,32%	351	100
Caso 2	15714,42	72,33	15786,75	72,79%	372	
Caso 3	15337,17	67,81	15404,98	72,41%	423	
Caso 4	14529,69	69,83	14599,52	75,74%	409	
Caso 1	20425,57	62,32	20487,89	93,54%	746	400
Caso 2	20400,71	61,58	20462,29	89,13%	766	
Caso 3	21062,76	62,42	21125,18	93,22%	779	
Caso 4	21109,37	61,98	21171,35	90,08%	714	
Caso 1	21224,11	59,28	21283,39	99,30%	757	INF
Caso 2	21848,24	59,57	21907,81	98,98%	695	
Caso 3	22318,66	59,12	22377,78	99,92%	737	
Caso 4	22587,13	59,23	22646,36	99,82%	765	

Figura 5.42: Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

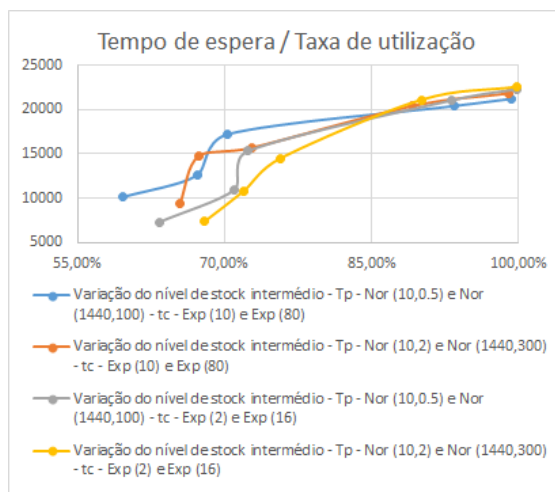


Figura 5.43: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

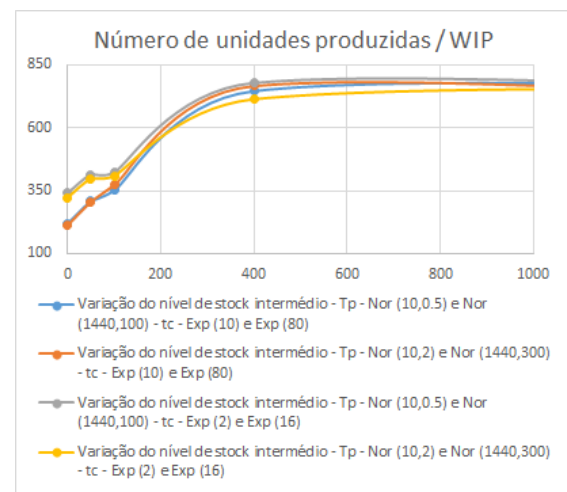


Figura 5.44: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	10139,67	68,41	10208,08	49,21%	264	0
Caso 2	9465,94	74,39	9540,33	53,78%	280	
Caso 3	7332,51	52,23	7384,74	56,19%	388	
Caso 4	7376,91	58,57	7435,48	58,61%	374	
Caso 1	12609,24	52,54	12661,78	56,82%	389	50
Caso 2	15772,79	59,07	15831,86	56,24%	321	
Caso 3	11028,67	50,42	11079,09	64,06%	463	
Caso 4	10883,15	51,28	10934,43	65,06%	470	
Caso 1	17243,61	49,87	17293,48	58,75%	406	100
Caso 2	16734,59	52,16	16786,75	63,35%	407	
Caso 3	15357,1	47,88	15404,98	65,12%	467	
Caso 4	14549,68	49,83	14599,51	67,60%	479	
Caso 1	20445,52	42,37	20487,89	85,65%	643	400
Caso 2	20420,55	41,74	20462,29	82,26%	635	
Caso 3	21082,76	42,42	21125,18	84,08%	608	
Caso 4	21129,4	41,96	21171,36	84,53%	681	
Caso 1	21244,13	39,26	21283,39	88,88%	628	INF
Caso 2	21868,64	39,18	21907,82	90,65%	689	
Caso 3	22338,68	39,1	22377,78	90,27%	656	
Caso 4	22607,08	39,28	22646,36	89,45%	637	

Figura 5.45: Modelo 1 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

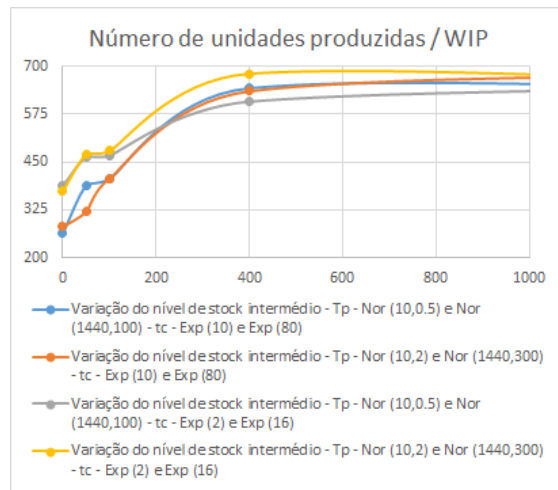
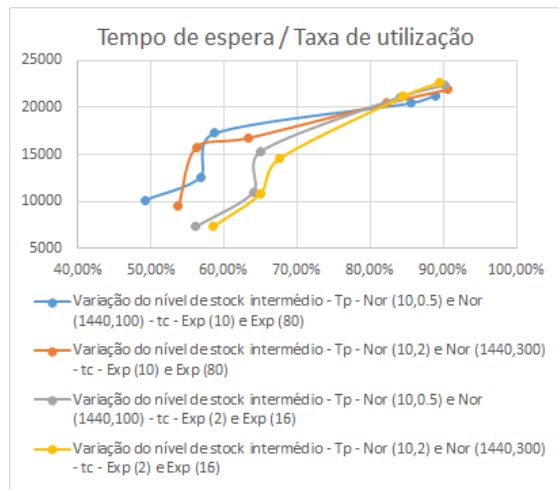


Figura 5.46: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.47: Modelo 1 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Dada a semelhança de comportamentos da produção de bombas para os dois tipos de tanques realizou-se uma análise conjunta. De maneira que se conclui o seguinte:

O número de casos mantém-se em quatro, diferindo ora no valor da taxa de chegada ora do tempo de processamento. Ambos os parâmetros seguiam distribuições de probabilidade, de tal forma que era possível variar o valor médio e/ou o desvio padrão, fazendo, desse modo, variar a variabilidade interna e/ou externa do sistema.

O tempo de espera apresenta valores elevados em todos os casos e para as bombas de ambos os tipos de tanque. Este valor tende a aumentar com o aumento do nível do stock intermédio, sendo também afetado pelas variações causadas pela existência variabilidade interna e externa.

O tempo de processamento sofre algumas alterações entre casos, tendo em conta que representa o tempo de processamento de uma unidade e em certas máquinas o processamento é realizado em lote, tem-se como consequência uma variação mais acentuada deste valor, o que trará implicações nas outras variáveis do sistema.

Apesar destas alterações visíveis no tempo de processamento, o tempo que as unidades passam no sistema é quase inteiramente devido ao tempo de espera, dado que apresenta uma escala de valores muito superiores aos do tempo de processamento. As variações dos valores do tempo de espera também serão visíveis no tempo que as unidades passam no sistema.

Ao nível da taxa de utilização, assim como no caso da produção de tanques, verifica-se alterações de alguma amplitude. Sendo que o aumento do nível do stock intermédio e da taxa de chegada faz aumentar o valor da taxa de utilização. De realçar que a existência de variabilidade interna também revela algum impacto no valor da taxa de utilização.

De forma semelhante às alterações visíveis na taxa de utilização, também ao nível do número de unidades produzidas é possível verificar essas mesmas variações. Existe um aumento claro do número de unidades com o aumento do nível do stock intermédio e com o aumento da taxa de chegada de itens ao sistema., sendo que este número também é afetado pela presença de variabilidade interna.

Da análise dos gráficos surge a relação entre o tempo de chegada e a taxa de utilização para a produção de bombas, que revela um comportamento diferente quando comparado com a produção de tanques. Neste caso, o crescimento do tempo de espera com o aumento da taxa de utilização continua a ser visível, mas à medida que se aumenta a taxa, este tempo tende a suavizar o seu crescimento, até que atinge o seu máximo quando deixa de haver limite de stock, indicando ficar completamente dependente da taxa de chegada e do tempo de processamento das unidades. Já no caso do número de unidades produzidas, continua a verificar-se que, apesar de algumas variações iniciais, quando o nível do stock ainda é baixo, à medida que este tende para infinito, o número de unidades tende a estabilizar no seu valor máximo, indicando que deixa de estar dependente do nível do stock.

5.1.2 Configuração das estações de trabalho - Série

Neste segundo exemplo alterou-se a configuração base do modelo, sendo a alteração imposta ao nível do teste das bombas de calor. No modelo base tinha-se uma máquina/servidor a realizar um teste com a capacidade de 50 unidades de cada vez e com um tempo de processamento de 24 horas. No caso seguinte, dividiu-se esse trabalho em três estações idênticas, que realizariam as mesmas operações mas com uma configuração em série, isto é, a segunda só interviria no material, após a primeira o ter libertado. O tempo de processamento destas máquinas era de 8 horas, para cada máquina. Ao nível do stock intermédio, possibilitou-se a existência deste entre cada máquina de teste.

Para cada valor configuração destes parâmetros que fosse diferente, eram testados diferentes níveis de stock intermédio, reunindo no final todos os resultados. Dividiu-se a configuração em três cenários diferentes, a primeira onde se variou o tempo de processamento das máquinas, correspondendo à variabilidade interna do processo. De seguida, variou-se a taxa de chegada de itens ao sistema, correspondendo à variabilidade externa do processo. Por fim, aplicaram-se variações em ambos os parâmetros, com o intuito de analisar os seus impactos. Cada cenário conta com diferentes testes no que diz respeito ao número de unidades que possam existir em stock intermédio, tendo em conta que este facto vai produzir resultados diferentes. No caso limite colocará o sistema a depender apenas de um dos parâmetros, sendo potenciador de conclusões diferentes.

Na figura seguinte apresenta-se o esquema de operações a ser simulado, a partir do qual se originará o modelo simulado.

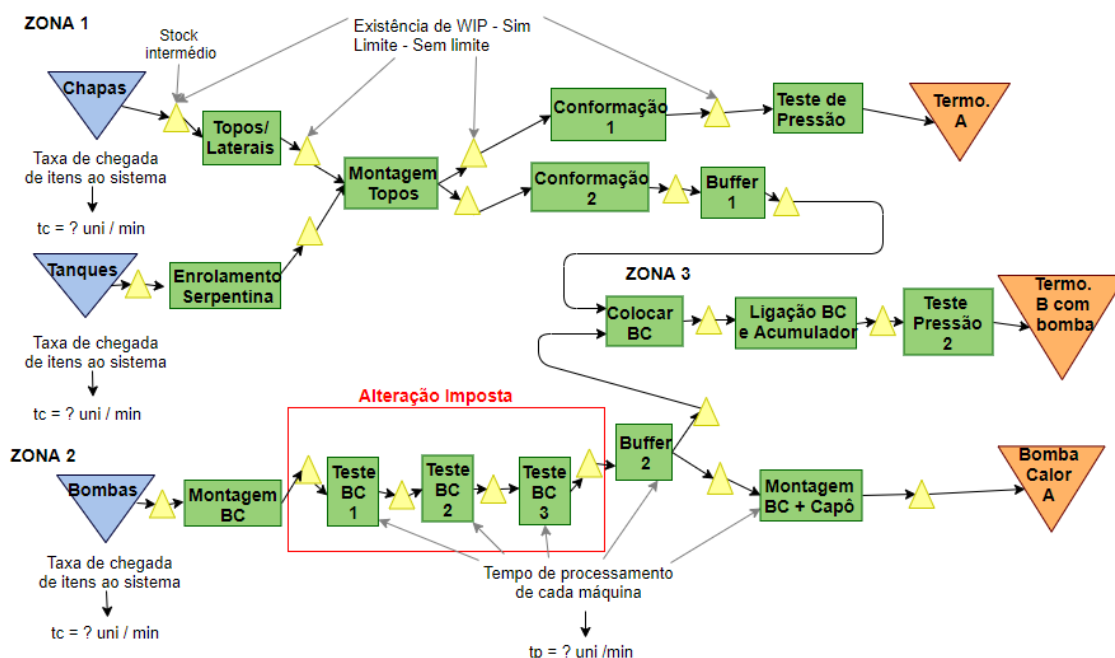


Figura 5.48: Modelo 2 - Esquema de operações a ser simulado - configuração série.

De realçar que os valores de cada stock intermédio antes de cada máquina, serão diferentes consoante as operações que realizam, no caso do processamento ser unitário, os valores vão variar entre 0, 1, 2, 2000 e infinito, já no caso do processamento ser em lote, os valores vão variar entre 0, 50, 100, 2000 e infinito, tendo em conta que o valor do lote é de 50 unidades. Por fim, os locais que representam a junção de dois materiais terão valores de stock intermédio que vão variar de 1, 2,3, 2000 e infinito, sendo que neste caso não é possível ter o valor de 0, visto que os materiais não chegam no mesmo instante, logo existe uma tempo de espera associado a um deles. Esse material estará no stock intermédio.

5.1.2.1 Cenário 1 - Variabilidade interna - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,0.5) e Normal (480, 30)**

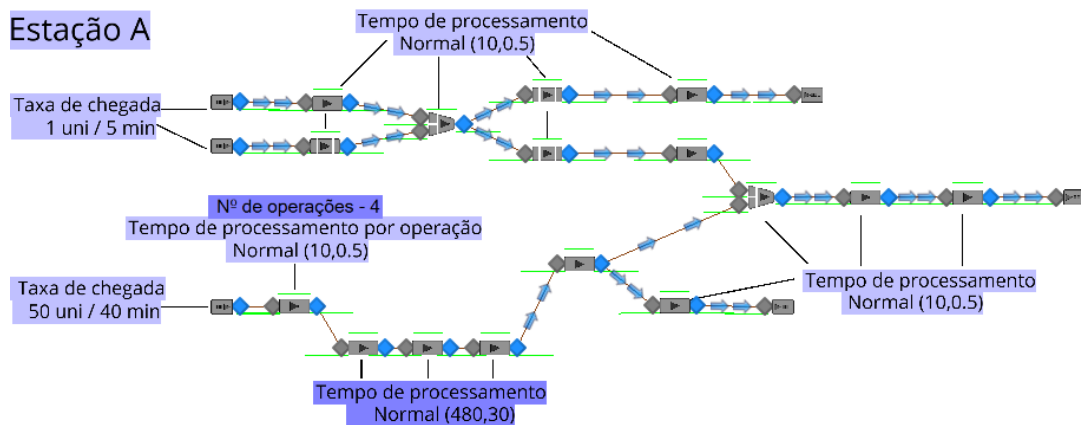


Figura 5.49: Modelo 2 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,1) e Normal (480, 60)**

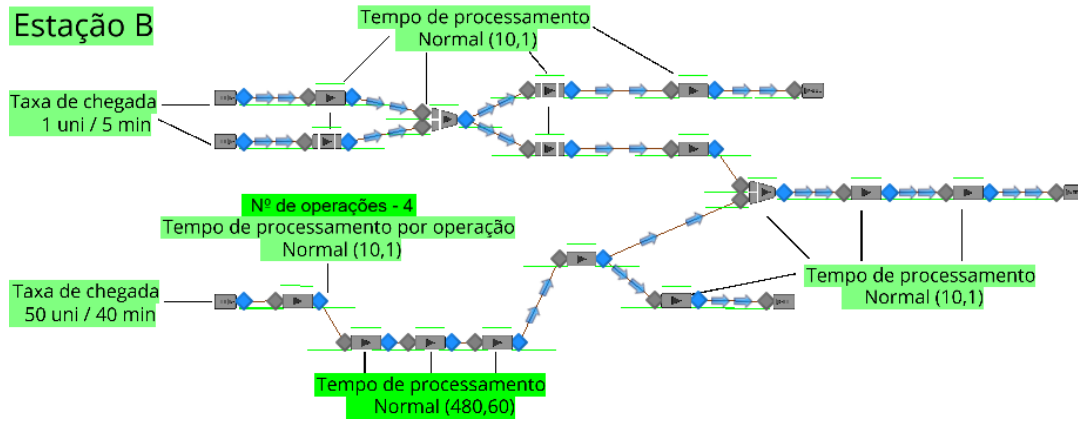


Figura 5.50: Modelo 2 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,2) e Normal (480, 90)**

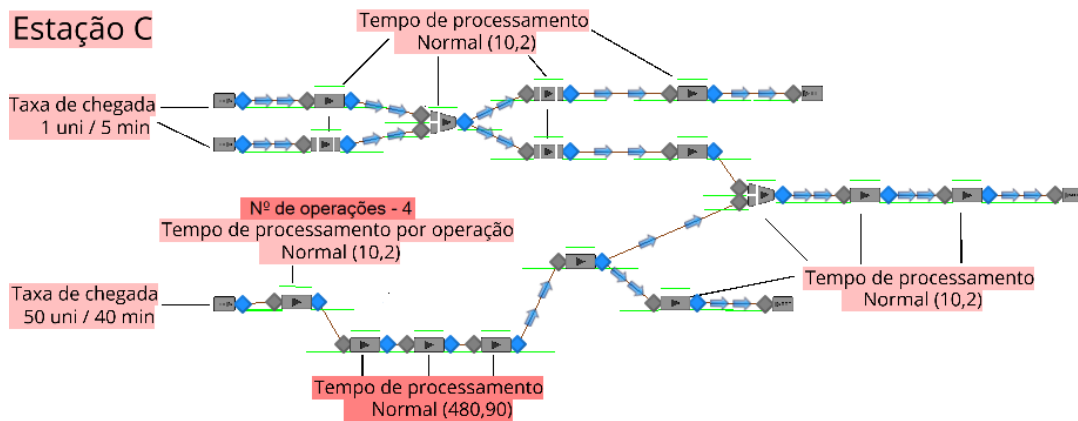


Figura 5.51: Modelo 2 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.

5.1.2.2 Cenário 2 - Variabilidade externa - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada variável - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento fixo**

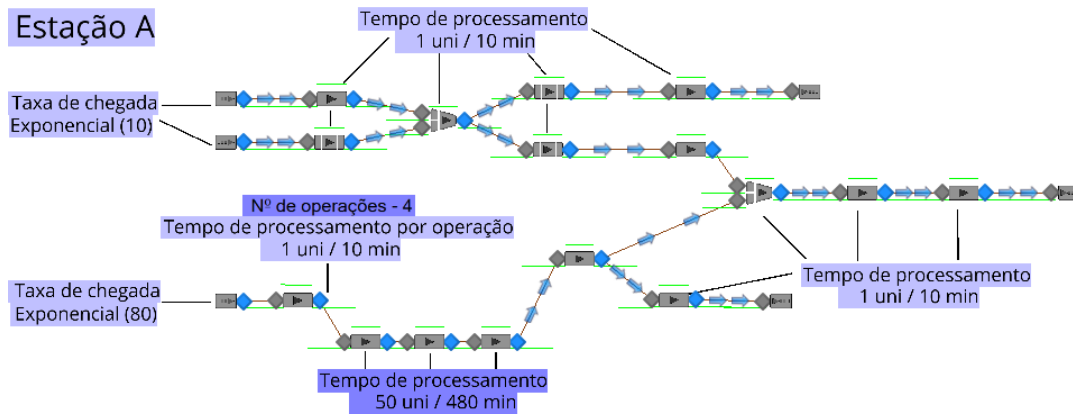


Figura 5.52: Modelo 2 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada variável - Exponencial (5) e Exponencial (40) e tempo de processamento fixo**

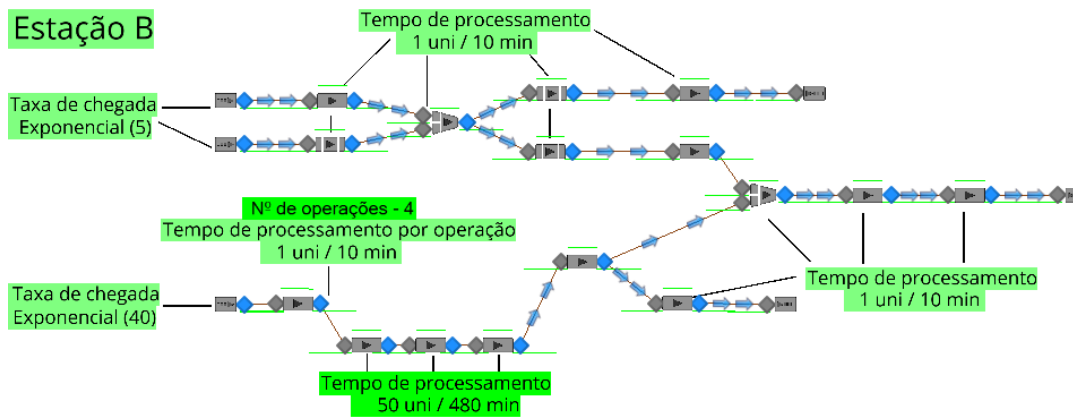


Figura 5.53: Modelo 2 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada variável - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento fixo**

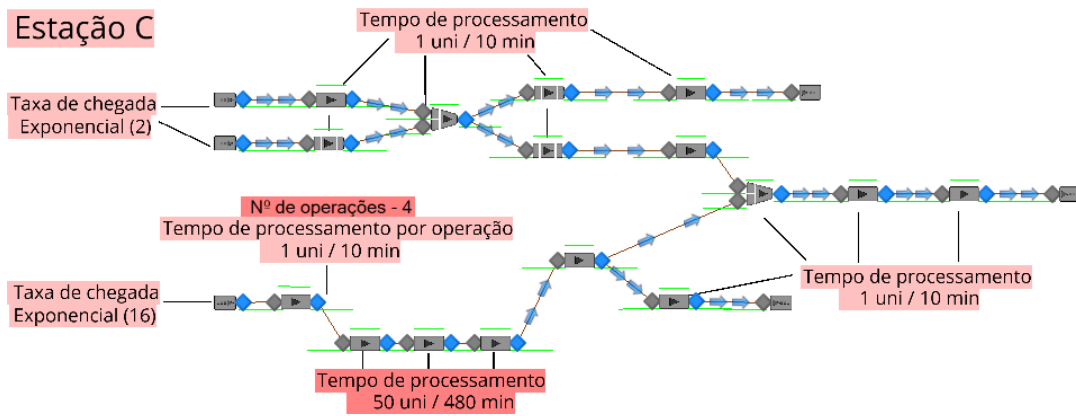


Figura 5.54: Modelo 2 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.

5.1.2.3 Cenário 3 - Variabilidade interna e externa - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento - Normal (10,0.5) e Normal (480,30)**

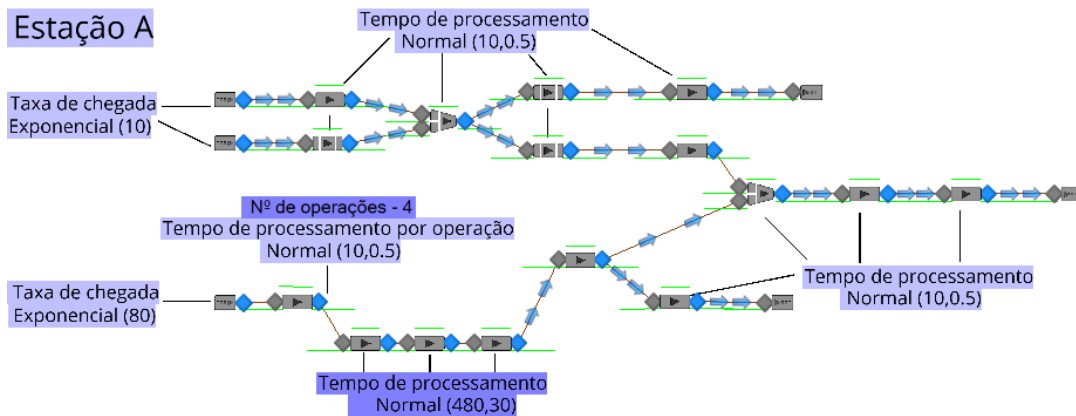


Figura 5.55: Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento - Normal (10,2) e Normal (480, 90)**

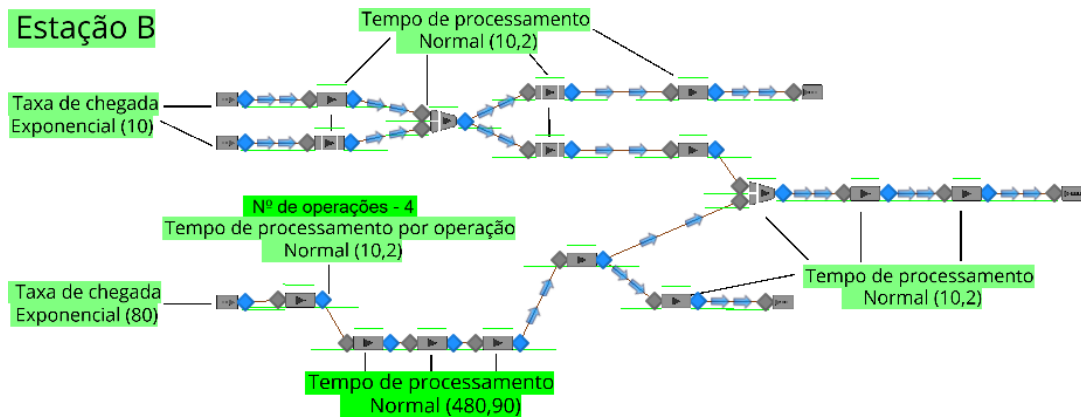


Figura 5.56: Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento - Normal (10,0.5) e Normal (480, 30)**

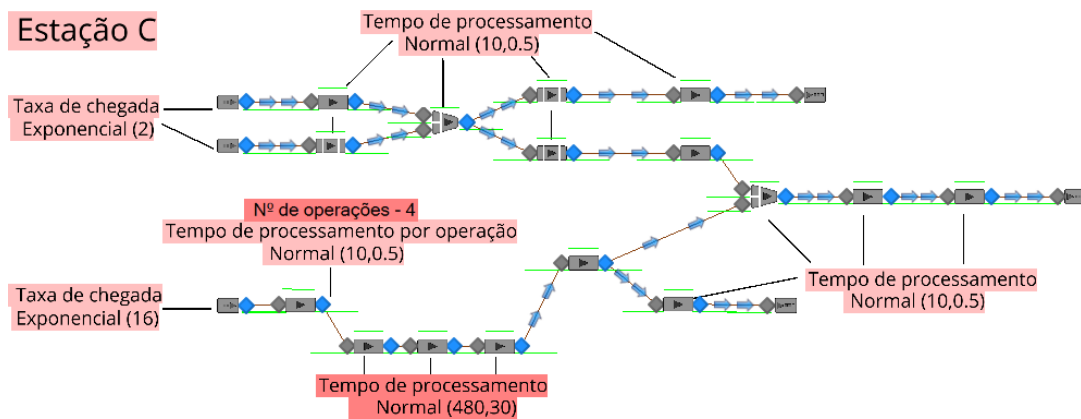


Figura 5.57: Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Taxa de chegada - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento - Normal (10,2) e Normal (480,90)**

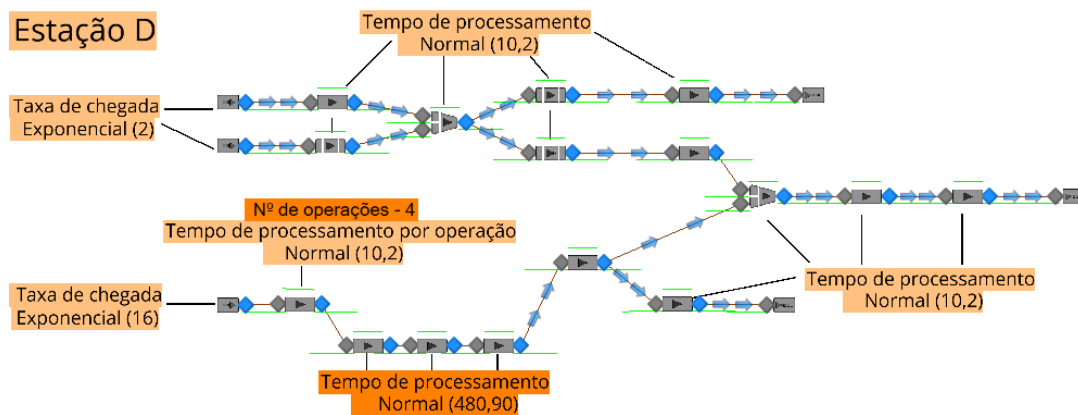


Figura 5.58: Modelo 2 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.

- **Resultados e Análises dos cenário**

– Variabilidade interna

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	177,4	40,05	217,45	56,89%	354	0
Caso 2	179,48	40,12	219,6	55,90%	339	
Caso 3	188	39,91	227,91	54,56%	330	
Caso 1	262,78	39,95	302,73	72,09%	431	1
Caso 2	239,23	39,82	279,05	72,31%	442	
Caso 3	237,49	40,11	277,6	71,42%	433	
Caso 1	300,89	39,97	340,86	71,84%	441	2
Caso 2	277,68	39,89	317,57	75,29%	484	
Caso 3	328,35	40,06	368,41	74,76%	469	
Caso 1	18339,2	39,92	18379,12	75,58%	476	INF
Caso 2	17923,78	39,97	17963,75	75,15%	465	
Caso 3	17941,48	39,92	17981,4	76,49%	494	

Figura 5.59: Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A - configuração série.

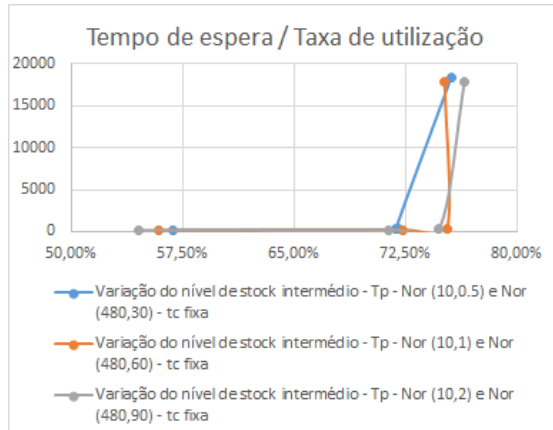


Figura 5.60: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

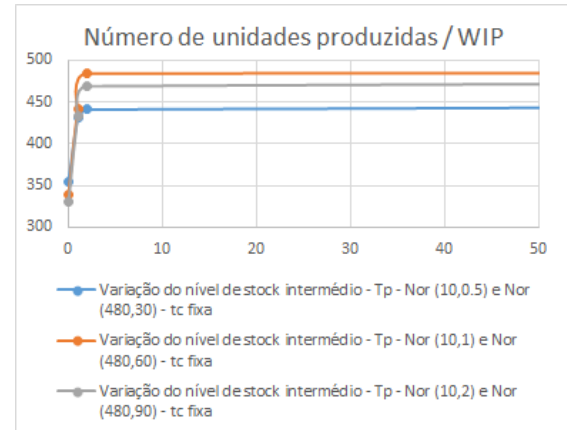


Figura 5.61: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	277,63	60,06	337,69	49,64%	340	0
Caso 2	285,57	59,98	345,55	50,26%	351	
Caso 3	257,55	59,67	317,22	49,57%	350	
Caso 1	362,19	59,94	422,13	62,47%	426	1
Caso 2	328,72	59,88	388,6	63,08%	422	
Caso 3	344,56	59,89	404,45	64,10%	438	
Caso 1	527,42	59,92	587,34	63,89%	443	2
Caso 2	378,5	59,98	438,48	65,19%	442	
Caso 3	404,08	59,91	463,99	64,46%	440	
Caso 1	17950,7	59,96	18010,66	65,18%	443	INF
Caso 2	18309,18	60,02	18369,2	66,03%	453	
Caso 3	18402,96	59,76	18462,72	65,42%	448	

Figura 5.62: Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

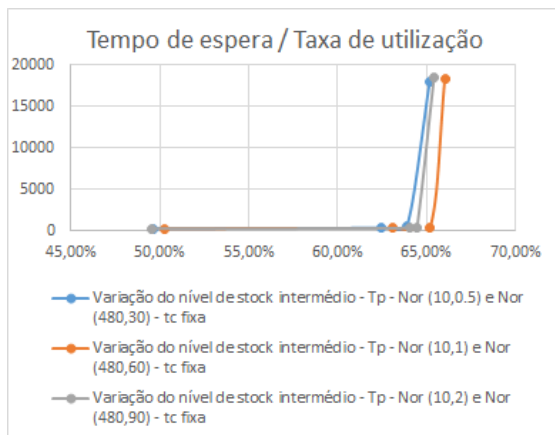


Figura 5.63: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

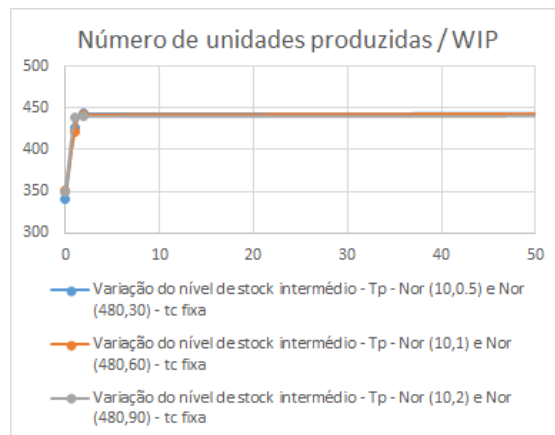


Figura 5.64: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Após a análise das figuras e dada a similaridade dos comportamentos das variáveis, decidiu-se analisar a produção de bombas para ambos os tipos, em conjunto. Desta maneira, conclui-se o seguinte:

O número de casos analisado foi três, variando no valor do desvio padrão da distribuição que rege o tempo de processamento das máquinas/servidores. Estes tempos de processamento seguiam uma distribuição de probabilidade normal, onde se definia o valor médio e o desvio padrão.

O tempo de espera varia com a introdução de variabilidade interna no sistema, visto que cada unidade terá um tempo de processamento variável. Com o aumento do nível de stock intermédio antes de cada máquina, mais uma vez, se verifica o aumento do tempo de espera, atingindo valores elevados quando este stock deixa de ser limitado.

Ao nível do tempo de processamento médio é visível ligeiras variações causadas pela existência de variabilidade interna, mas sempre próximas do valor médio.

No que diz respeito ao tempo que as unidades passam no sistema revela-se um comportamento idêntico ao tempo de espera das unidades, visto que apresenta valores consideravelmente superiores ao tempo de processamento.

Ao nível da taxa de utilização verificam-se pequenas alterações despoletadas pela existência de variabilidade interna, entre casos. O aumento do nível de stock volta a permitir atingir taxas de utilização superiores, até que este nível deixa de ser limitado e a taxa passa a depender mais de outros parâmetros, como o tempo de processamento e a taxa de chegada.

O número de unidades produzidas revela um comportamento semelhante às variações vistas na taxa de utilização. Este valor varia com a existência de variabilidade interna e aumenta com o aumento no nível de stock intermédio, até atingir a máxima produção de unidades.

Da análise dos gráficos é possível inferir um comportamento idêntico para todos os casos

quando se aborda a variação do tempo de espera em função da taxa de utilização. Mais uma vez se verifica o facto de este tempo disparar para valores muito superiores à medida que se atinge o maior valor possível para a taxa de utilização média. Ao nível do número de unidades produzidas volta-se a verificar a tendência estabilizadora deste número, quando o nível de stock tende para infinito, indicando que a dependência destas variáveis deixa de existir e que o número de unidades passa a ser limitado por outros parâmetros.

*** Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo de bloqueio médio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	11711,42	52,58	11764	31,02	38,11%	341	0
Caso 2	10506,38	52,28	10558,66	27,19	40,27%	352	
Caso 3	10354,43	54,21	10408,64	28,29	42,01%	351	
Caso 1	14578,5	49,69	14628,19	18,47	44,60%	428	50
Caso 2	14960,95	49,77	15010,72	17,61	48,06%	457	
Caso 3	15388,56	50,7	15439,26	18,17	48,05%	450	
Caso 1	17211,93	48,35	17260,28	17,39	45,93%	446	100
Caso 2	17224,53	48,81	17273,34	15,91	49,30%	425	
Caso 3	18301	49,45	18350,45	16,62	49,41%	443	
Caso 1	21013,12	40,95	21054,07	0	98,80%	2152	2000
Caso 2	21283,06	40,97	21324,03	0	98,63%	2130	
Caso 3	21430,53	40,99	21471,52	0	98,62%	2168	
Caso 1	21196,96	40,35	21237,31	0	98,96%	2181	INF
Caso 2	21254,13	40,47	21294,6	0	98,89%	2189	
Caso 3	21346,96	40,21	21387,17	0	98,89%	2169	

Figura 5.65: Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

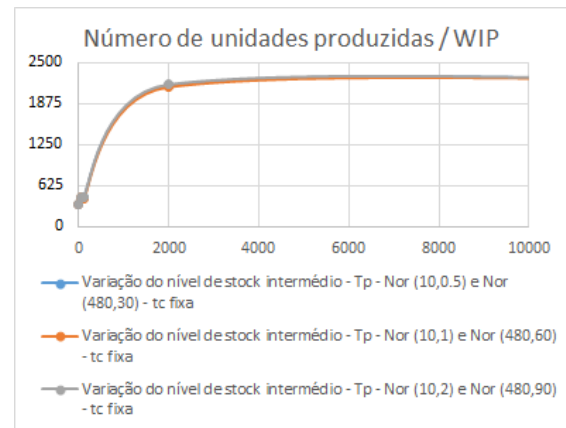
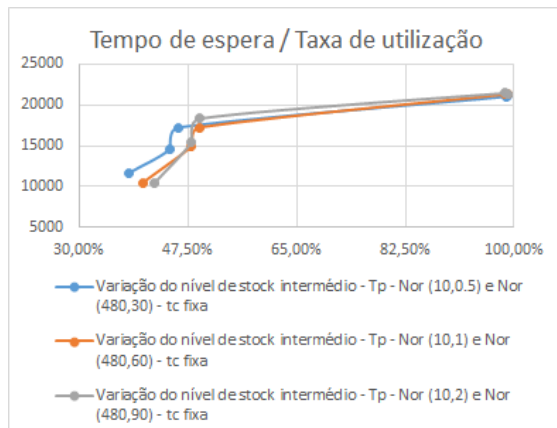


Figura 5.66: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.67: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servido.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo de bloqueio médio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	11731,55	32,45	11764	31,02	38,41%	368	0
Caso 2	10526,36	32,3	10558,66	27,19	41,63%	434	
Caso 3	10374,14	34,5	10408,64	28,29	42,20%	393	
Caso 1	14598,49	29,7	14628,19	18,47	46,41%	450	50
Caso 2	14980,87	29,86	15010,73	17,61	49,71%	520	
Caso 3	15408,52	30,75	15439,27	18,17	47,80%	457	
Caso 1	17231,88	28,4	17260,28	17,39	48,32%	463	100
Caso 2	17244,51	28,83	17273,34	15,91	51,70%	520	
Caso 3	18321,12	29,33	18350,45	16,62	49,41%	468	
Caso 1	21233,07	21,01	21254,08	0	96,74%	815	2000
Caso 2	21303,01	21,02	21324,03	0	96,71%	820	
Caso 3	21450,52	21	21471,52	0	96,58%	817	
Caso 1	21216,94	20,36	21237,3	0	96,87%	818	INF
Caso 2	21274,2	20,41	21294,61	0	96,92%	820	
Caso 3	21366,74	20,43	21387,17	0	96,80%	815	

Figura 5.68: Modelo 2 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

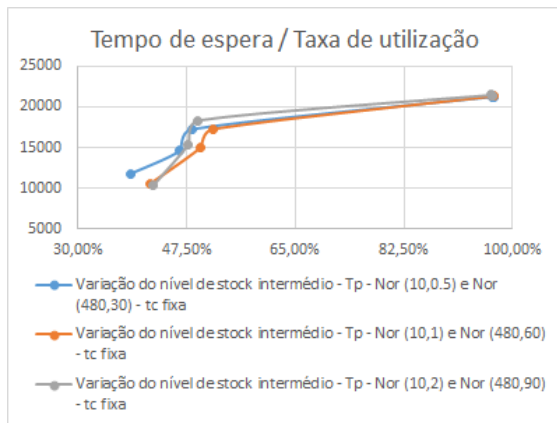


Figura 5.69: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

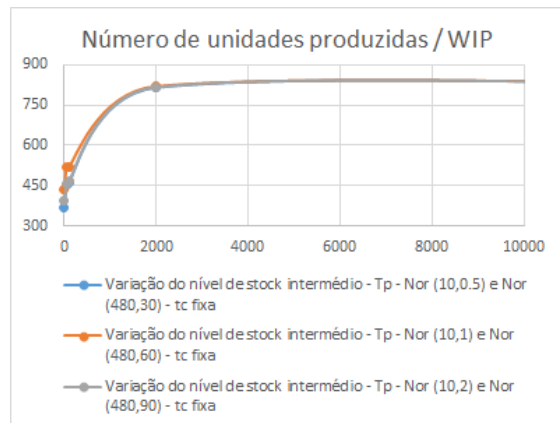


Figura 5.70: Modelo 2 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Seguindo a mesma linha de pensamento, decidiu-se analisar a produção de bombas para ambos os tipos de tanque, em conjunto. Dessa forma, conclui-se o seguinte:

Não houve alteração no número de casos estudados. As variações impostas mantiveram-se ao nível dos tempos de processamento. Para cada caso testou-se o comportamento das variáveis para diferentes valores do nível de stock intermédio antes de cada máquina/servidor.

É possível verificar a influência, ainda que não seja numa escala muito ampla, da variabilidade interna do processo, através dos resultados entre casos. No caso do stock intermédio continua a verificar-se o esperado, o aumento deste provoca aumentos significativos do tempo de espera.

Ao nível do tempo de processamento verificam-se algumas variações que terão consequências nos resultados finais de outras variáveis, sendo as alterações visíveis impostas pela existência de variabilidade interna. À medida que o número de unidades produzidas cresce é possível verificar a estabilização do tempo de processamento num valor próximo do valor médio esperado para a produção de uma unidade.

O tempo que as unidades passam no sistema é quase inteiramente devido ao tempo de espera, dada a escala de resultados deste, em comparação com o tempo de processamento. Sendo que as variações visíveis no tempo de espera serão também visíveis no tempo que as unidades passam no sistema.

Neste ponto analisou-se uma nova variável, tempo de bloqueio das máquinas. Esta variável já existia e estava presente no modelo, só que no caso em questão, como se pretende estudar uma configuração em série, decidiu-se estudar apenas agora e apenas nas três máquinas que pretendem simular essa configuração. Este tempo varia com a existência de variabilidade interna e vai diminuindo à medida que o nível de stock intermédio aumenta, isto porque as máquinas poderão encaminhar os seus itens já processados para esses mesmo stocks, evitando o bloqueio das mesmas.

Ao nível da taxa de utilização verifica-se, através da comparação dos casos, que a existência de variabilidade interna faz variar os valores desta taxa. Como já tem sido visível em diversas análises anteriores, o aumento do nível do stock intermédio permite que a utilização das máquinas/servidores aumente, aumentando o valor médio da taxa de utilização.

O número de bombas produzidas, para ambos os tanques, apresenta um comportamento semelhante a taxa de utilização, ou seja, varia com a existência de variabilidade interna e aumenta com o aumento do nível do stock intermédio, atingindo o seu máximo quando o stock deixa de ser limitado, sendo este máximo relativo à configuração em causa.

Da análise dos gráficos volta-se a verificar que o crescimento do tempo de espera difere do tempo de espera da produção dos tanques, visto que para taxas mais elevadas, apresenta um crescimento menos acentuado, apresentando também melhores taxas de utilização. Já ao nível do número de unidades produzidas volta-se a verificar um aumento com o aumento do nível de stock, que a partir de certo nível tem tendência a estabilizar, mais uma vez indicando que estas variáveis passam a ser independentes.

– Variabilidade externa

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	262,25	39,99	302,24	33,92%	216	0
Caso 2	155,08	40	195,08	45,91%	290	
Caso 3	179,32	39,98	219,3	54,36%	336	
Caso 1	255,89	40	295,89	52,25%	334	1
Caso 2	229,3	39,99	269,29	66,14%	407	
Caso 3	240,07	39,96	280,03	69,39%	425	
Caso 1	284,24	39,96	324,2	59,04%	375	2
Caso 2	249,46	39,98	289,44	71,20%	426	
Caso 3	359,96	39,98	399,94	70,45%	433	
Caso 1	16026,59	39,97	16066,56	74,14%	447	INF
Caso 2	18299,84	39,98	18339,82	74,92%	461	
Caso 3	18907,95	39,96	18947,91	75,08%	464	

Figura 5.71: Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A - configuração série.

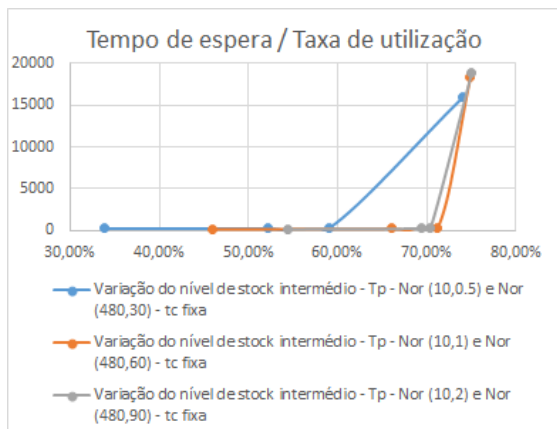


Figura 5.72: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

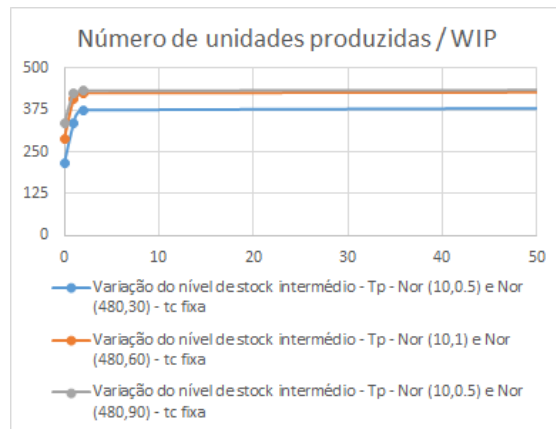


Figura 5.73: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	239,24	59,99	299,23	28,82%	194	0
Caso 2	286,14	60	346,14	39,41%	267	
Caso 3	331,55	59,96	391,51	47,88%	330	
Caso 1	339,55	59,99	399,54	44,11%	296	1
Caso 2	338,19	60	398,19	58,60%	405	
Caso 3	448,51	59,96	508,47	62,02%	427	
Caso 1	458,93	59,96	518,89	50,31%	340	2
Caso 2	605,19	59,99	665,18	65,17%	459	
Caso 3	584,19	59,91	644,1	64,30%	453	
Caso 1	15854,95	59,95	15914,9	67,30%	472	INF
Caso 2	18206,37	59,91	18266,28	66,50%	461	
Caso 3	20036,09	59,93	20096,02	66,29%	458	

Figura 5.74: Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

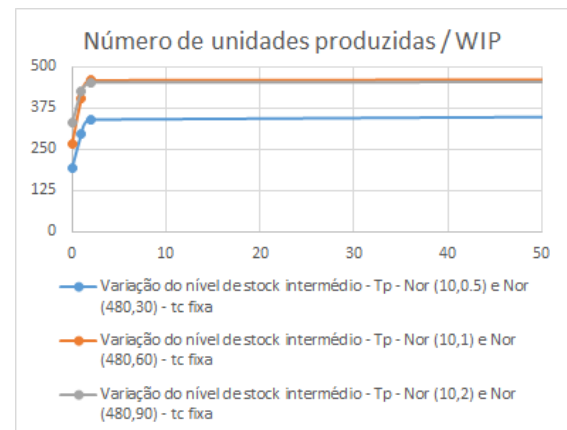
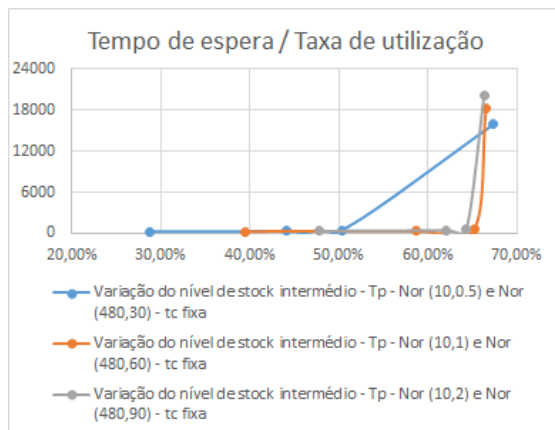


Figura 5.75: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.76: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermediário que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Após a análise da produção dos dois tipos de tanques se verifica que apresentam um comportamento semelhante, o que possibilita uma análise conjunta dos impactos causados pela existência de variabilidade externa:

O número de casos continua a ser três, sendo que diferem no valor da taxa de chegada de itens ao sistema, isto é, no intervalo entre chegadas. Sabendo que este segue uma distribuição exponencial com valor médio variável de caso para caso.

À primeira vista é possível visualizar um aumento do tempo de espera com o aumento do nível do stock intermédio, sendo que as variações da taxa de chegada também têm influência nesta variável. Também é evidente que a produção do tipo B apresenta valores superiores de tempo de espera dado contar com mais máquinas e operações a realizarem trabalho nos itens. Quando o nível de stock intermédio deixa de ter limite, atinge-se o tempo de espera máximo, para a configuração usada.

O tempo de processamento é praticamente inerte com valores próximos do valor médio de cada um, visto que neste caso não se aplicou qualquer tipo de variabilidade nestes tempos, mas sim valores fixos.

O tempo que as unidades passam no sistema é mais uma vez dependente essencialmente do tempo de espera e das suas variações, dada a pouca influência do tempo de processamento em ambos os casos. Com o aumento do nível de stock intermédio cada vez é menor a influência do tempo de processamento.

A taxa de utilização aumenta com o aumento do nível de stock intermédio e com aumento da taxa de chegada. Sendo que esta taxa varia em grande escala, em mais de 40% com o aumento destes dois parâmetros. Entre casos é possível verificar algumas alterações de valores, indicando que a taxa de chegada consegue ter uma influência bastante significativa em alguns casos.

O número de unidades produzidas, tal como a taxa de utilização, aumenta com o aumento quer do stock intermédio, quer da taxa de chegada de itens ao sistema, sendo que este número acaba por estabilizar e ficar dependente apenas do tempo de processamento, quando a taxa de chegada é elevada e o nível do stock também. Mais uma vez é possível verificar que entre casos, existem algumas alterações de valores, indicando que a taxa de chegada consegue ter uma influência bastante significativa em alguns casos.

Da visualização dos gráficos verifica-se novamente o disparo do tempo de espera com o aumento da taxa de utilização e a estabilização dos valores dos números de unidades produzidas para valores elevados de stock intermédio, sendo que com diferenças entre casos, apesar de ligeiras. Mais uma vez se entende que a partir de certo nível deixa de existir dependência entre as variáveis.

* **Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	15107,32	59,78	15167,1	46,59	35,45%	195	0
Caso 2	13510,92	55,32	13566,24	38,22	36,57%	268	
Caso 3	11785	51,17	11836,17	33,04	36,05%	331	
Caso 1	17064,02	51,04	17115,06	28,5	39,06%	298	50
Caso 2	16006,19	48,63	16054,82	23,2	40,97%	407	
Caso 3	15591,36	47,98	15639,34	21,81	41,23%	429	
Caso 1	18372,37	49,74	18422,11	21,1	43,10%	343	100
Caso 2	16501,04	46,89	16547,93	15,73	45,65%	462	
Caso 3	17677,28	46,99	17724,27	17	44,12%	456	
Caso 1	20647,08	40,36	20687,44	0	88,06%	2174	2000
Caso 2	21135,32	40,34	21175,66	0	88,06%	2071	
Caso 3	21509,13	40,34	21549,47	0	88,06%	2134	
Caso 1	20647,08	40,36	20687,44	0	98,56%	2174	INF
Caso 2	21135,31	40,34	21175,65	0	98,88%	2071	
Caso 3	21812,14	40,34	21852,48	0	99,10%	2153	

Figura 5.77: Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

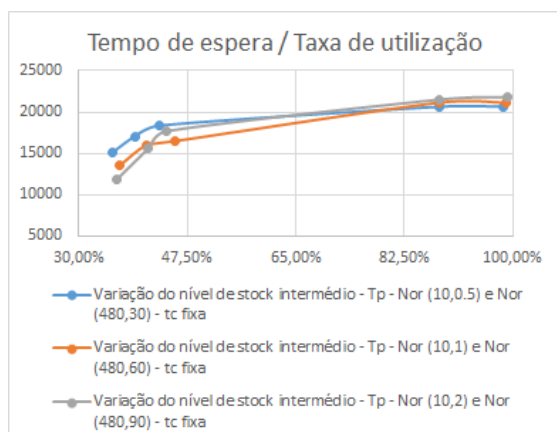


Figura 5.78: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

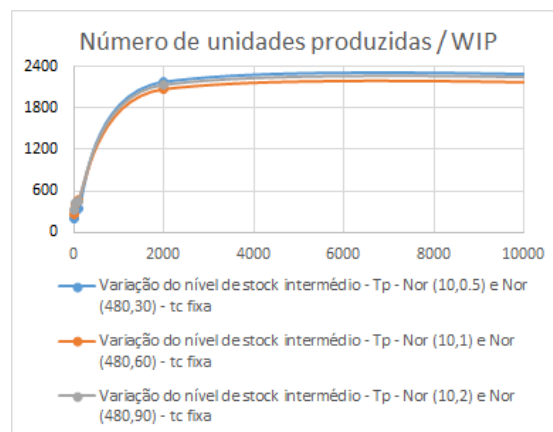


Figura 5.79: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	15127,32	39,78	15167,1	46,59	33,75%	249	0
Caso 2	13530,92	35,32	13566,24	38,22	35,75%	300	
Caso 3	11804,97	31,2	11836,17	33,04	36,67%	362	
Caso 1	17084,01	31,05	17115,06	28,5	39,04%	360	50
Caso 2	16026,06	28,62	16054,68	23,2	42,03%	427	
Caso 3	15611,38	27,96	15639,34	21,81	42,94%	460	
Caso 1	18392,34	29,77	18422,11	21,1	42,57%	374	100
Caso 2	16521,04	26,89	16547,93	15,73	48,21%	540	
Caso 3	17697,26	27,02	17724,28	17	45,71%	481	
Caso 1	20667,06	20,37	20687,43	0	88,04%	813	2000
Caso 2	21155,28	20,37	21175,65	0	88,24%	822	
Caso 3	21529,1	20,37	21549,47	0	88,43%	831	
Caso 1	20667,06	20,38	20687,44	0	96,45%	813	INF
Caso 2	21155,28	20,38	21175,66	0	96,90%	822	
Caso 3	21832,1	20,38	21852,48	0	96,83%	811	

Figura 5.80: Modelo 2 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

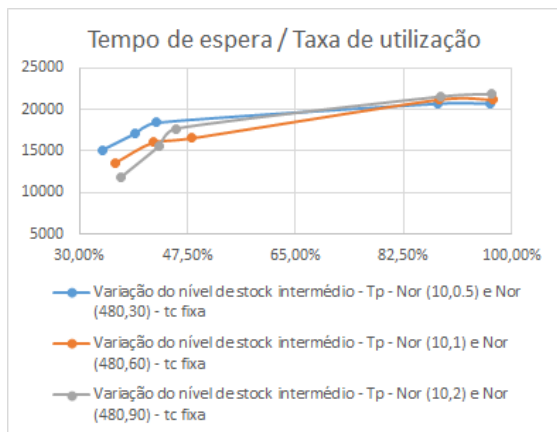


Figura 5.81: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

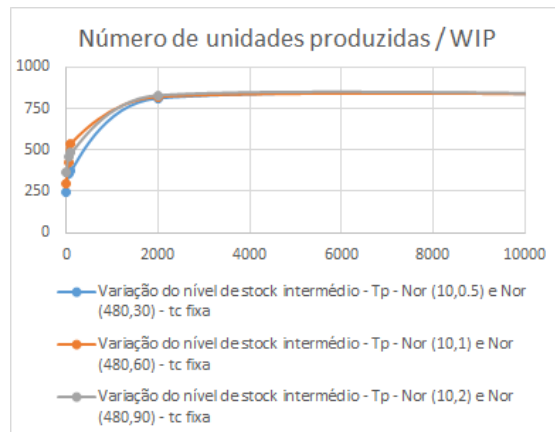


Figura 5.82: Modelo 2 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Da mesma forma que a produção dos tanques se assemelha, também a produção das bombas para os dois tipos de tanques o faz. De maneira que se conclui o seguinte:

O número de casos mantém-se igual, diferenciando o valor da taxa de chegada dos itens ao sistema.

O tempo de espera varia com a existência de variabilidade externa, como também já havia sido visto, assumindo valores inferiores e superiores com o aumento e descida da taxa de chegada, sendo difícil identificar um padrão de comportamento. Mais uma vez o aumento do nível de stock intermédio faz aumentar o tempo de espera pois possibilita a existência de mais unidades em espera de serem processadas.

O tempo de processamento médio de uma unidade apresenta-se a variar, sendo que a verdadeira leitura deste valor é difícil de realizar dada a produção por lotes até determinada ponto da linha e que mais tarde passa a produção unitária. Desta forma, apresenta-se uma valor que se acredita ser próximo do real, sendo que o esperado seria uma valor praticamente constante.

O tempo que as unidades passam no sistema é mais uma vez idêntico ao tempo de espera, dado que o tempo de espera apresenta valores muito superiores ao tempo de processamento.

Volta a surgir o tempo de bloqueio referentes às máquinas de montagem de bombas, que apresenta uma configuração em série. Este tempo tende a diminuir quer com o aumento da taxa de chegada mas também com o aumento do nível de stock intermédio. Para valores altos do stock, este tempo acaba mesmo por deixar de existir.

A taxa de utilização aumenta com o aumento do nível do stock intermédio e com o aumento da taxa de chegada, de forma geral.

O número de unidades é também bastante afetado com a existência de variabilidade externa, dado que aumenta com a diminuição desta, em praticamente todos os casos, e com o aumento do nível de stock intermédio. Este valor atinge o máximo quando deixa de existir limite de stock.

Da análise dos gráficos do tempo de espera em função da taxa de utilização é possível verificar variações para níveis de stock mais baixos, sendo que com o aumento deste a relação tende a aumentar ligeiramente, em ambos os gráficos das bombas para os dois tipos de tanques. No caso do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio é possível verificar um comportamento idêntico entre os dois gráficos, sendo que o número de unidades vai aumentando até certo nível, começando a estabilizar a partir desse ponto, ficando mais dependente do tempo de processamento das unidades.

– Variabilidade interna e externa

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	148,47	39,96	188,43	34,58%	209	0
Caso 2	189,47	39,81	229,28	33,93%	208	
Caso 3	183,3	40	223,3	55,94%	342	
Caso 4	154,34	39,61	193,95	58,13%	363	
Caso 1	214,6	40,05	254,65	50,69%	318	1
Caso 2	342,8	39,92	382,72	50,60%	322	
Caso 3	264,62	39,91	304,53	69,25%	422	
Caso 4	268,47	40,05	308,52	71,58%	438	
Caso 1	305,38	39,99	345,37	58,19%	352	2
Caso 2	297,34	39,82	337,16	61,41%	384	
Caso 3	399,8	40,06	439,86	73,51%	460	
Caso 4	283,29	39,66	322,95	72,17%	443	
Caso 1	15928,28	40,05	15968,33	74,07%	451	INF
Caso 2	15668,23	39,89	15708,12	73,65%	449	
Caso 3	19758,31	40,04	19798,35	75,04%	463	
Caso 4	19675,59	39,81	19715,4	75,40%	472	

Figura 5.83: Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.

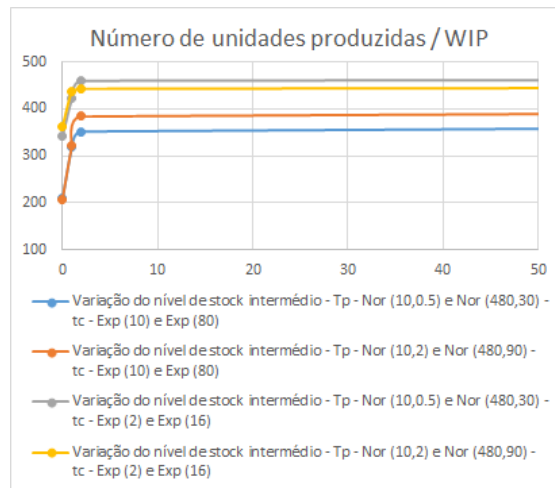
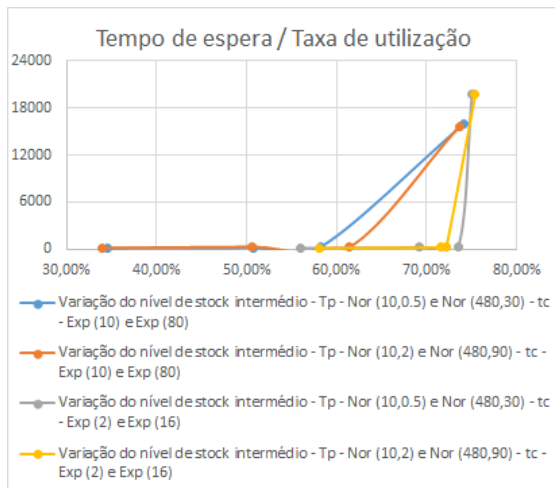


Figura 5.84: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.85: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Após a análise da produção de ambos os tipos de tanques verificou-se alguma similaridade nos comportamentos das variáveis, de tal modo que as conclusões seguintes referem-se aos dois tipos de tanques:

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	259,89	59,93	319,82	31,37%	220	0
Caso 2	216,9	60,11	277,01	30,49%	212	
Caso 3	305,92	59,92	365,84	49,75%	345	
Caso 4	294,12	60,04	354,16	51,49%	354	
Caso 1	456,89	59,91	516,8	43,64%	297	1
Caso 2	357,56	59,82	417,38	42,97%	290	
Caso 3	440,46	59,84	500,3	62,33%	436	
Caso 4	392,27	60,17	452,44	63,91%	442	
Caso 1	417,1	59,94	477,04	52,63%	369	2
Caso 2	445,64	60,05	505,69	53,74%	368	
Caso 3	507,89	60,02	567,91	63,61%	433	
Caso 4	492,88	59,68	552,56	64,81%	448	
Caso 1	15249,31	60,05	15309,36	66,39%	462	INF
Caso 2	15896,2	59,75	15955,95	66,03%	461	
Caso 3	19184,43	60	19244,43	66,12%	456	
Caso 4	19593,42	59,9	19653,32	65,29%	454	

Figura 5.86: Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

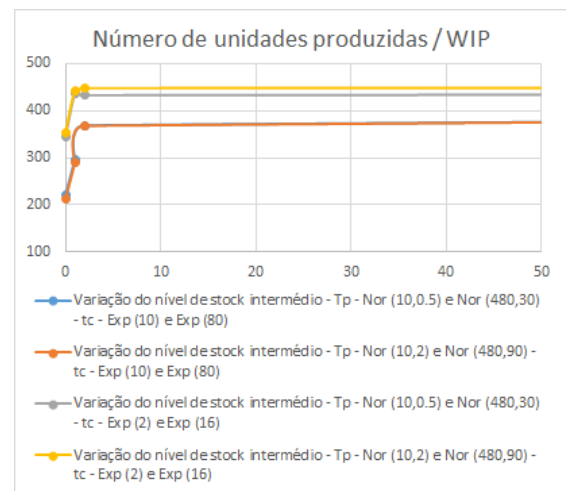
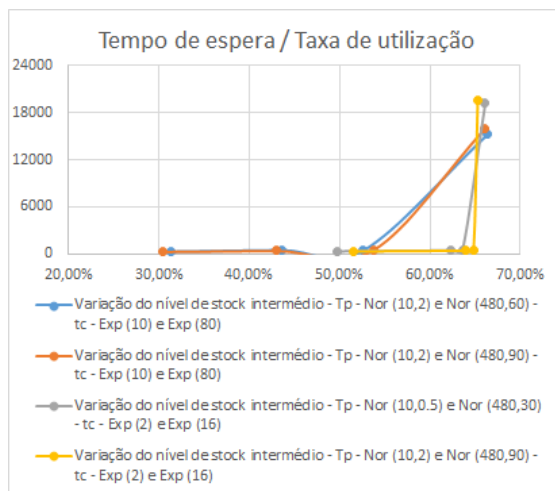


Figura 5.87: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.88: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

O número de casos estudados foi quatro, com variações impostas ao nível do tempo de processamento e taxa de chegada de itens ao sistema. Do primeiro para o segundo e do terceiro para o quarto caso variou-se o valor do desvio padrão da distribuição que regia o tempo de processamento das máquinas, já do primeiro para o terceiro e segundo para o quarto caso a alteração realizada prende-se com o valor médio da distribuição que regia o intervalo de tempo entre chegadas de itens aos sistema.

Ao nível do tempo de espera verifica-se que este varia com a existência quer de variabilidade interna quer externa, sendo que com o aumento do nível de stock o tempo de espera também aumenta, principalmente quando o stock deixa de ser limitado. Entre tanques é possível verificar que o tanque B que está sujeito a uma maior número de operações, apresenta na sua generalidade, um tempo de espera superior.

No que diz respeito ao tempo de processamento médio é possível verificar que não existem alterações com um grande significado, pois para todos os casos estudados, em ambos os tanques se verifica que o valor está sempre próximo da soma dos valores médios das várias distribuições que regem o tempo de processamento das máquinas.

O tempo que as unidades passam no sistema, mais uma vez relacionado com tempo de espera e tempo de processamento, tende a acompanhar o comportamento do tempo de espera, visto que apresenta valores superiores quando comparado com o tempo de processamento.

Ao nível da taxa de utilização pode-se destacar alterações importantes. Esta variável é bastante afetada pela presença de variabilidade externa e pelo aumento do nível de stock intermédio, visto que em ambos os casos, isto é, aumento do nível do stock e aumento da taxa de chegada, o valor da taxa de utilização também aumenta. De realçar que, apesar de ser em menor escala, a presença de variabilidade interna, no tempo de processamento, também afeta o valor de taxa de utilização.

No que diz respeito ao número de unidades produzidas também se verificam alterações significativas. O aumento quer do nível de stock intermédio quer da taxa de chegada fazem disparar este valor, principalmente quando o aumento ocorre em simultâneo. Quando o nível de stock deixa de ter limite, atinge-se a produção máxima e a diferença entre casos é atenuada, visto que a taxa de chegada deixa de ter tanto impacto.

Ao nível da análise dos gráficos destacam-se dois comportamentos diferentes, no caso do tempo de espera em função da taxa de utilização. Esta diferença é dada pela variação na taxa de chegada dos itens ao sistema. Em todos os casos se verifica que à medida que se atinge a maior taxa de utilização possível o tempo de espera aumenta de uma forma brusca. Já no caso do número de unidades produzidas, mais uma vez se realça a impossibilidade de representação do infinito, de maneira que apenas se pretende demonstrar a tendência de estabilização deste valor a partir de um certo nível de stock intermédio, que é indicativo de que o número de unidades deixa de ser independente do tamanho do stock.

* **Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	14815,69	59,77	14875,46	42,97	36,23%	221	0
Caso 2	13393,41	62,04	13455,45	37,58	41,64%	213	
Caso 3	11326,9	52,29	11379,19	30,4	38,63%	346	
Caso 4	11096,2	54,7	11150,9	28,1	42,80%	355	
Caso 1	16737,72	52,14	16789,86	29,18	39,11%	299	50
Caso 2	17870,16	55,99	17926,15	26,16	45,41%	292	
Caso 3	15384,9	49,44	15434,34	19,66	45,08%	438	
Caso 4	14819,57	51,32	14870,89	18,2	49,22%	444	
Caso 1	17241,57	49,31	17290,88	18,67	45,56%	372	100
Caso 2	18264,2	50,81	18315,01	17,98	48,58%	371	
Caso 3	17093,71	48,15	17141,86	16,37	47,30%	436	
Caso 4	16914,29	49,25	16963,54	14,52	51,68%	456	
Caso 1	20896,28	41,04	20937,32	0	98,72%	2134	2000
Caso 2	20558,24	40,99	20599,23	0	97,97%	2150	
Caso 3	21442,92	40,95	21483,87	0	98,78%	2212	
Caso 4	21556,79	41,08	21597,87	0	98,74%	2210	
Caso 1	20897,45	40,42	20937,87	0	98,80%	2111	INF
Caso 2	20506,98	40,33	20547,31	0	98,49%	2248	
Caso 3	21447,29	40,37	21487,66	0	98,94%	2189	
Caso 4	21461,32	40,35	21501,67	0	98,82%	2118	

Figura 5.89: Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

Dada a semelhança de comportamentos da produção de bombas para os dois tipos de tanques realizou-se uma análise conjunta. De maneira que se conclui o seguinte:

O número de casos mantém-se em quatro, diferindo ora no valor da taxa de chegada ora no valor do tempo de processamento. Ambas os parâmetros seguiam distribuições de probabilidade, de tal forma que era possível variar o valor médio e/ou o desvio padrão, fazendo, desse modo, variar a variabilidade interna e/ou externa do sistema.

O tempo de espera apresenta valores elevados em todos os casos e para as bombas de ambos os tipos de tanque. Este valor tende a aumentar com o aumento do nível do stock intermédio, sendo também afetado pelas variações causadas pela existência variabilidade interna e externa.

O tempo de processamento sofre algumas alterações entre casos, tendo em conta que representa o tempo de processamento de uma unidade e em certas máquinas o processamento é realizado em lote, tem-se como consequência uma variação mais acentuada deste valor, o que trará implicações nas outras variáveis do sistema.

Apesar destas alterações visíveis no tempo de processamento, o tempo que as unidades passam no sistema é quase inteiramente devido ao tempo de espera, dado que apresenta uma escala de valores muito superiores aos do tempo de processamento. As variações dos valores do tempo de espera também serão visíveis no tempo que as unidades passam no sistema.

Da configuração em série das máquinas de montagens de bombas de calor surge o tempo de bloqueio, associado à demora em finalizar o seu processamento da máquina adjacente, quando a anterior já terminou e necessita de enviar o item para poder voltar a operar. Esta variável diminui

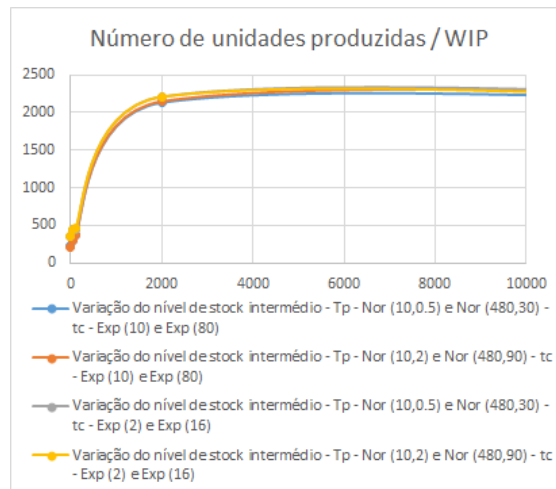
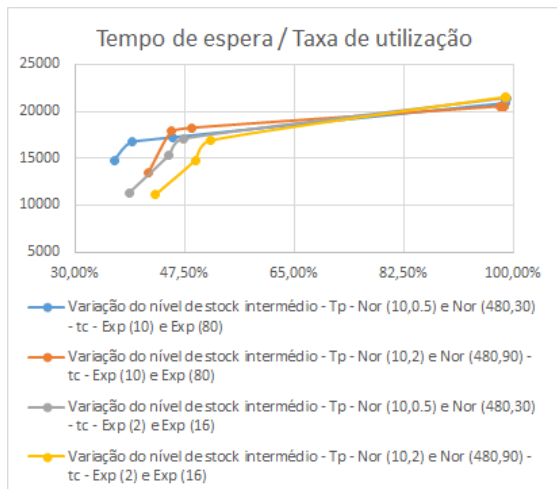


Figura 5.90: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.91: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	14835,62	39,83	14875,45	42,97	34,50%	254	0
Caso 2	13413,71	41,75	13455,46	37,58	40,07%	314	
Caso 3	11346,86	32,33	11379,19	30,4	39,09%	378	
Caso 4	11116,15	34,74	11150,89	28,1	42,57%	385	
Caso 1	16757,6	32,26	16789,86	29,18	39,39%	375	50
Caso 2	17890,29	35,86	17926,15	26,16	43,33%	329	
Caso 3	15404,88	29,47	15434,35	19,66	46,24%	470	
Caso 4	14839,64	31,25	14870,89	18,2	49,89%	482	
Caso 1	17261,54	29,34	17290,88	18,67	46,09%	444	100
Caso 2	18284,41	30,59	18315	17,98	48,44%	442	
Caso 3	17113,69	28,17	17141,86	16,37	48,81%	507	
Caso 4	16934,31	29,22	16963,53	14,52	52,83%	533	
Caso 1	20916,34	20,98	20937,32	0	96,59%	814	2000
Caso 2	20578,28	20,94	20599,22	0	96,11%	824	
Caso 3	21462,94	20,96	21483,9	0	96,67%	816	
Caso 4	21577,03	20,84	21597,87	0	96,76%	835	
Caso 1	20917,51	20,37	20937,88	0	96,65%	813	INF
Caso 2	20526,9	20,41	20547,31	0	96,52%	817	
Caso 3	21467,3	20,36	21487,66	0	96,79%	816	
Caso 4	21481,29	20,38	21501,67	0	96,83%	821	

Figura 5.92: Modelo 2 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

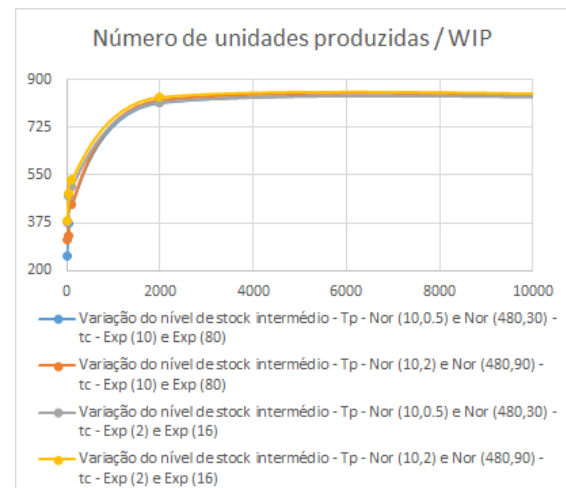
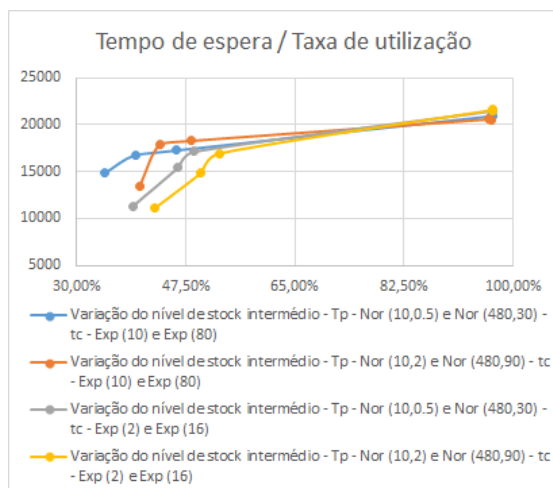


Figura 5.93: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.94: Modelo 2 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

com o aumento do nível de stock intermédio, sendo também visíveis alterações provocadas pela existência de variabilidade interna e externa.

Ao nível da taxa de utilização, assim como no caso da produção de tanques, verifica-se alterações de alguma amplitude. Sendo que o aumento do nível do stock intermédio e da taxa de chegada faz aumentar o valor da taxa de utilização. De realçar que a existência de variabilidade interna também revela alguma impacto no valor da taxa de utilização, facto visível pela análise entre casos.

De forma semelhante às alterações visíveis na taxa de utilização, também ao nível do número de unidades produzidas é possível verificar essas mesmas variações. Existe um aumento claro do número de unidades com o aumento do nível do stock intermédio e com o aumento da taxa de chegada de itens ao sistema., sendo que este número também é afetado pela presença de variabilidade interna.

Dá análise dos gráficos surge a relação entre o tempo de chegada e a taxa de utilização para a produção de bombas, que revela um comportamento diferente quando comparado com a produção de tanques. Neste caso, o crescimento do tempo de espera com o aumento da taxa de utilização continua a ser visível, mas à medida que se aumenta a taxa, este tempo tende a suavizar o seu crescimento, até que atinge o seu máximo quando deixa de haver limite de stock, indicando ficar completamente dependente da taxa de chegada e do tempo de processamento das unidades. Já no caso do número de unidades produzidas, continua a verificar-se que, apesar de algumas variações iniciais, quando o nível do stock ainda é baixo, à medida que este tende para infinito, o número de unidades tende a estabilizar no seu valor máximo, indicando que deixa de estar dependente do nível do stock.

5.1.3 Configuração das estações de trabalho - Paralelo

Neste exemplo alterou-se a configuração base do modelo, sendo a alteração imposta ao nível do teste das bombas de calor. No modelo base tinha-se uma máquina/servidor que realizava as operações de montagem da bomba de calor e uma outra máquina que realizava um teste, ambas com a capacidade de 50 unidades de cada vez e com um tempo de processamento de 40 minutos e 24 horas, respetivamente. No caso seguinte, dividiu-se esse trabalho em três estações idênticas para a montagem e três estações idênticas para o teste, que realizariam as mesmas operações mas com uma configuração em paralelo, isto é, cada máquina realizaria o mesmo trabalho e este era independente das restantes. O tempo de processamento destas máquinas era de 120 minutos para as estações de montagem e de 24 horas, para cada máquina que realizava teste às bombas. Ao nível do stock intermédio, possibilitou-se a existência deste antes das máquinas de montagem e entre as máquinas de montagem e de teste.

Para cada valor configuração destes parâmetros que fosse diferente, eram testados diferentes níveis de stock intermédio, reunindo no final todos os resultados. Dividiu-se a configuração em três cenários diferentes, a primeira onde se variou o tempo de processamento das máquinas, correspondendo à variabilidade interna do processo. De seguida, variou-se a taxa de chegada de itens ao sistema, correspondendo à variabilidade externa do processo. Por fim, aplicaram-se variações em ambos os parâmetros, com o intuito de analisar os seus impactos. Cada cenário conta com diferentes testes no que diz respeito ao número de unidades que possam existir em stock intermédio, tendo em conta que este facto vai produzir resultados diferentes. No caso limite colocará o sistema a depender apenas de um dos parâmetros, sendo potenciador de conclusões diferentes.

Na figura seguinte apresenta-se o esquema de operações a ser simulado, a partir do qual se originará o modelo simulado.

De realçar que os valores de cada stock intermédio antes de cada máquina, serão diferentes consoante as operações que realizam, no caso do processamento ser unitário, os valores vão variar entre 0, 1, 2, 2000 e infinito, já no caso do processamento ser em lote, os valores vão variar entre 0, 50, 100, 2000 e infinito, tendo em conta que o valor do lote é de 50 unidades. Por fim, os locais que representam a junção de dois materiais terão valores de stock intermédio que vão variar de 1, 2, 3, 2000 e infinito, sendo que neste caso não é possível ter o valor de 0, visto que os materiais não chegam no mesmo instante, logo existe um tempo de espera associado a um deles. Esse material estará no stock intermédio.

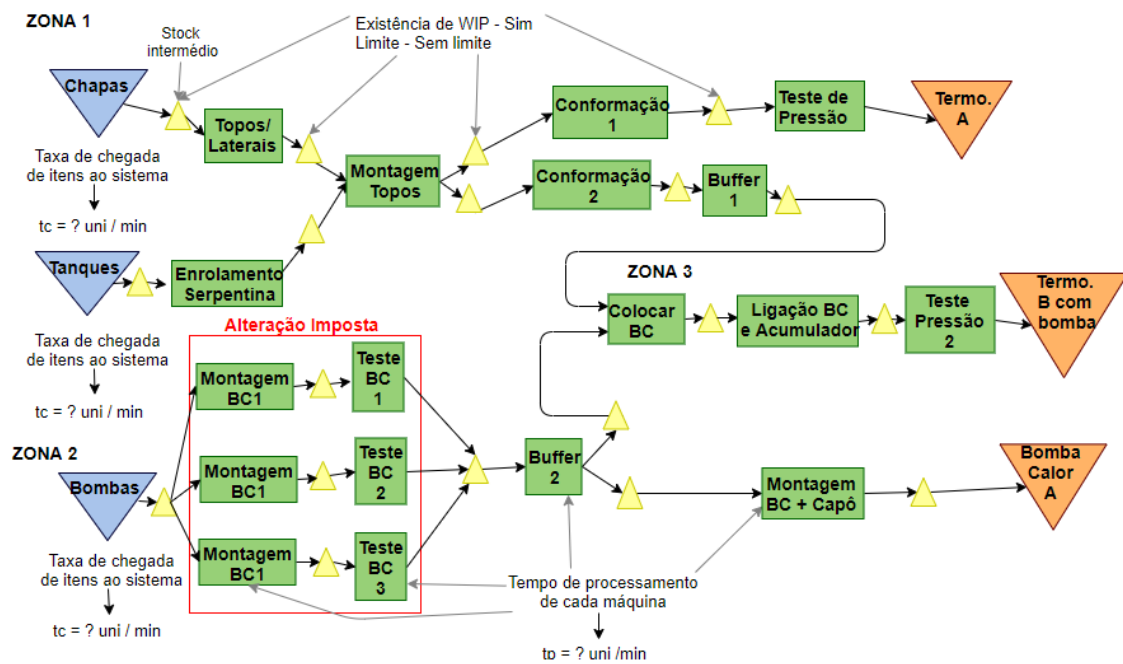


Figura 5.95: Modelo 3 - Esquema de operações a ser simulado - configuração série.

5.1.3.1 Cenário 1 - Variabilidade interna - com variação no número de unidades de stock intermédio

- Caso 1 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,0,5), Normal (1440, 100) e Normal (120,7)

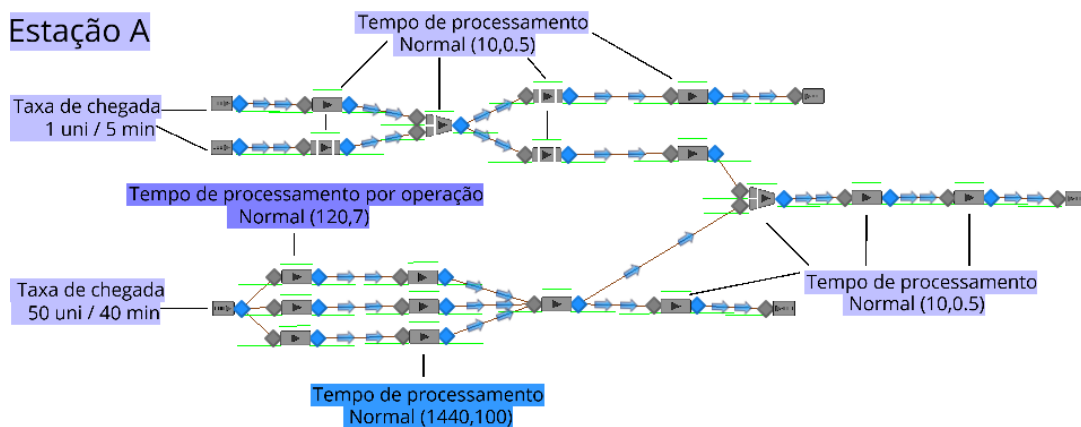


Figura 5.96: Modelo 3 - Cenário 1 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,1), Normal (1440, 200) e Normal (120, 14)**

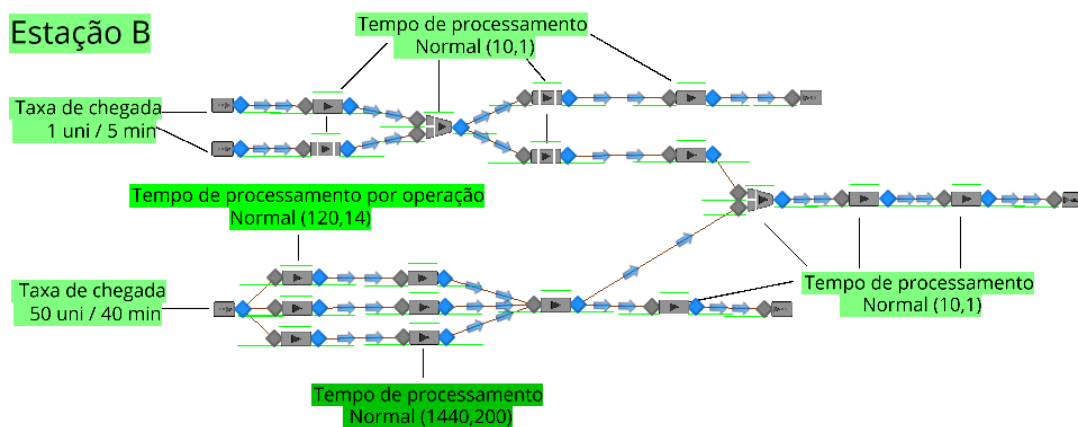


Figura 5.97: Modelo 3 - Cenário 1 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada fixa e tempo de processamento variável - Normal (10,2), Normal (1440, 300) e Normal (120, 21)**

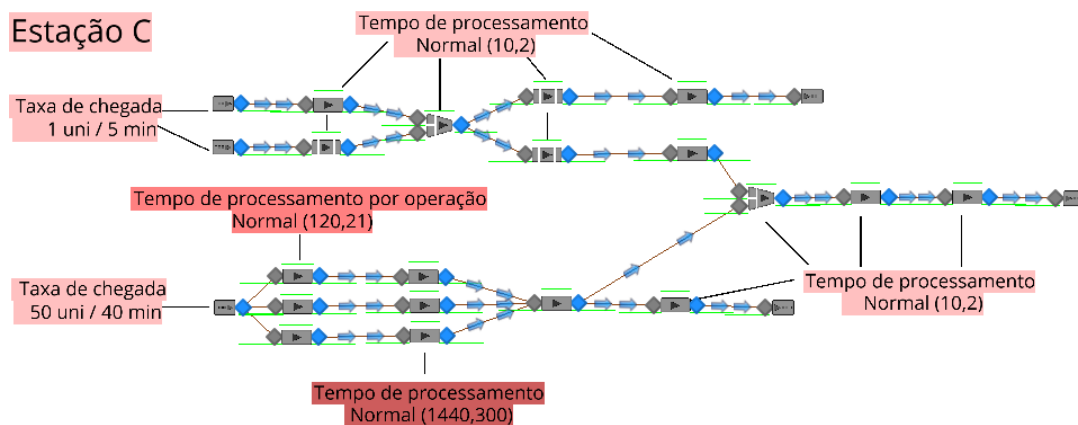


Figura 5.98: Modelo 3 - Cenário 1 - Caso 3 - Condições de simulação.

5.1.3.2 Cenário 2 - Variabilidade externa - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada variável - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento fixo**

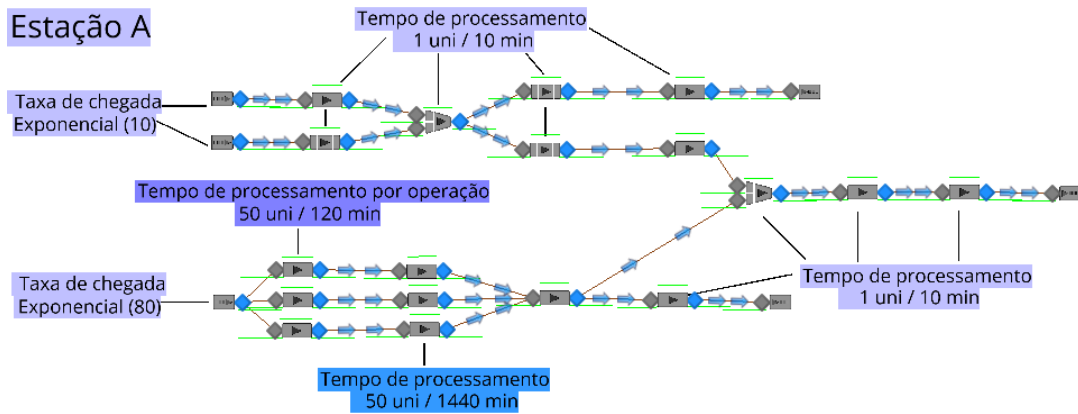


Figura 5.99: Modelo 3 - Cenário 2 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada variável - Exponencial (5) e Exponencial (40) e tempo de processamento fixo**

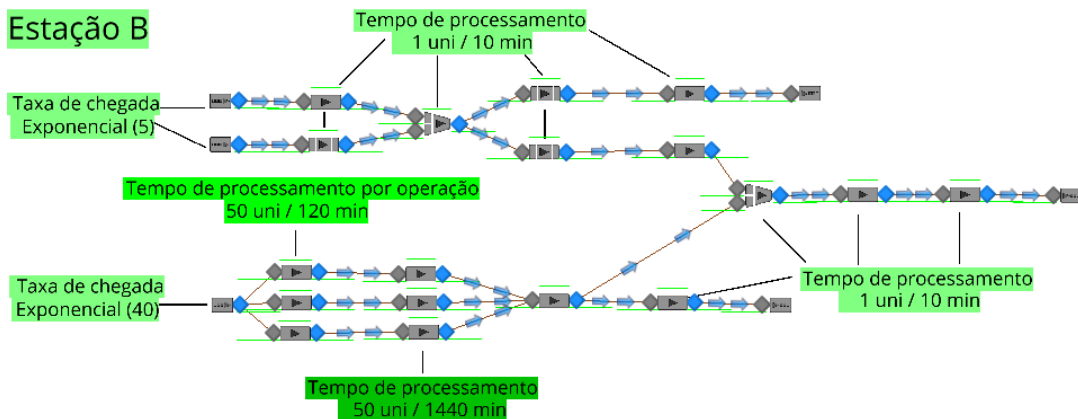


Figura 5.100: Modelo 3 - Cenário 2 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada variável - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento fixo**

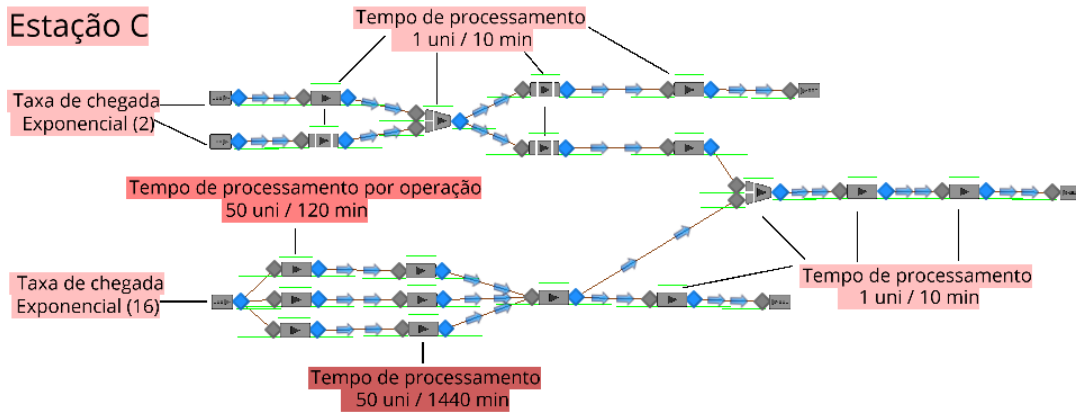


Figura 5.101: Modelo 3 - Cenário 2 - Caso 3 - Condições de simulação.

5.1.3.3 Cenário 3 - Variabilidade interna e externa - com variação no número de unidades de stock intermédio

- **Caso 1 - Taxa de chegada - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento - Normal (10,0.5), Normal (1440, 100) e Normal (120, 7)**

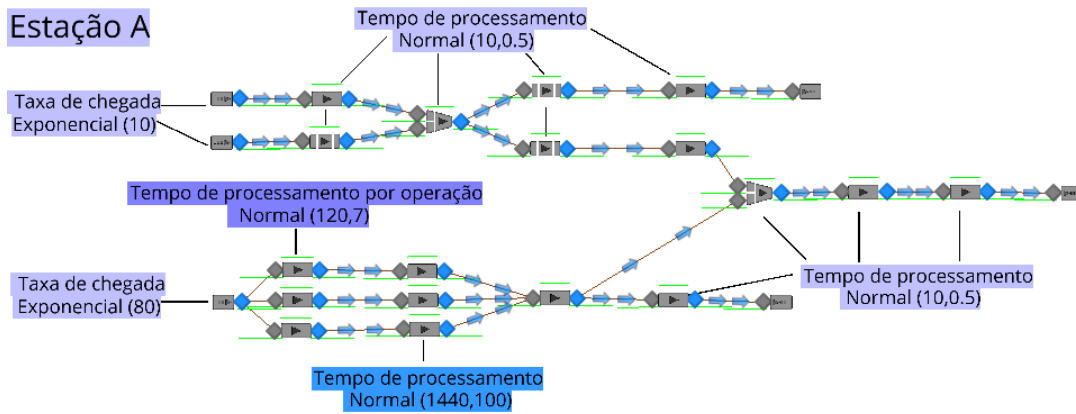


Figura 5.102: Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 1 - Condições de simulação.

- **Caso 2 - Taxa de chegada - Exponencial (10) e Exponencial (80) e tempo de processamento - Normal (10,2), Normal (1440, 300) e Normal (120, 21)**

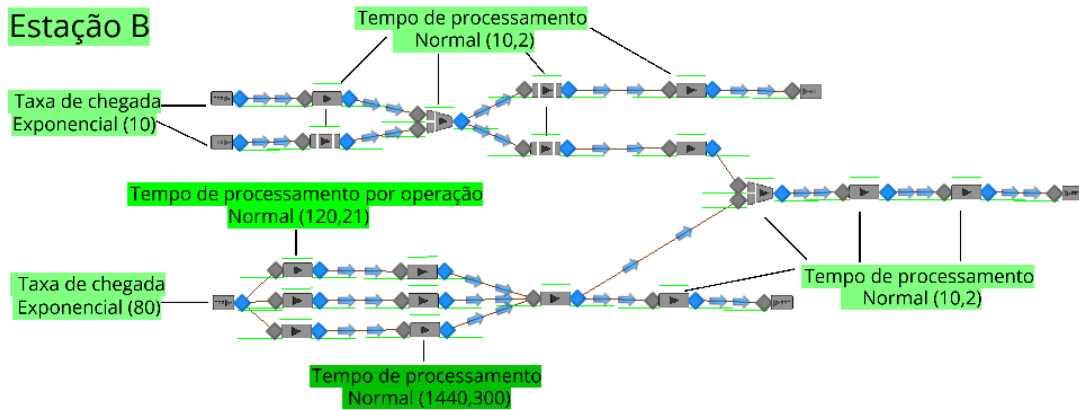


Figura 5.103: Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 2 - Condições de simulação.

- **Caso 3 - Taxa de chegada - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento - Normal (10,0.5), Normal (1440, 100) e Normal (120, 7)**

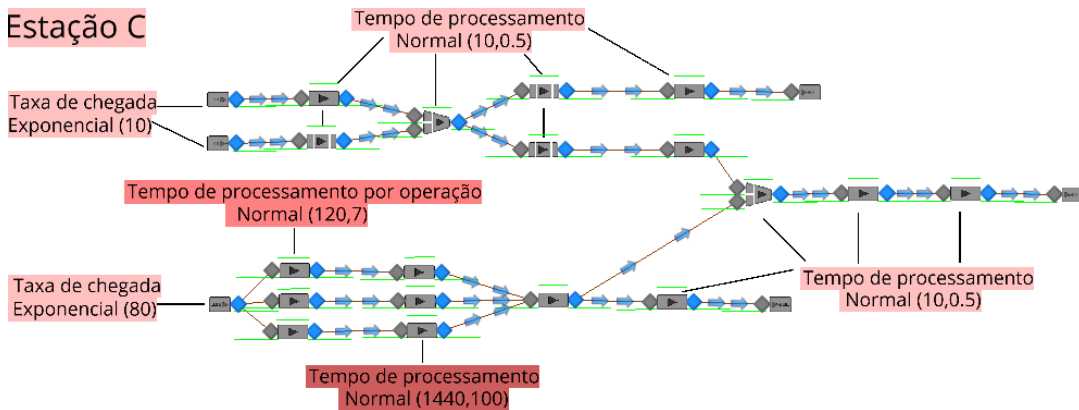


Figura 5.104: Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 3 - Condições de simulação.

- **Caso 4 - Taxa de chegada - Exponencial (2) e Exponencial (16) e tempo de processamento - , Normal (1440, 300) e Normal (120, 21)**

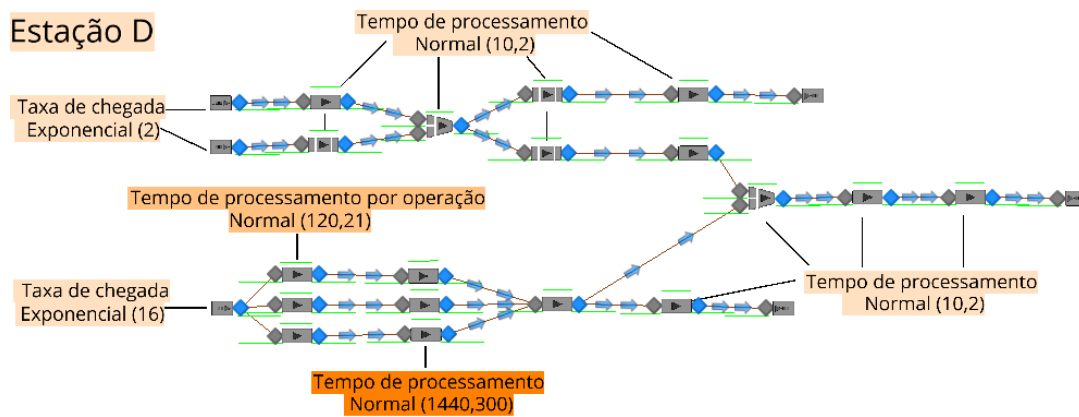


Figura 5.105: Modelo 3 - Cenário 3 - Caso 4 - Condições de simulação.

- **Resultados e Análises dos cenário**

– Variabilidade interna

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	178,5	39,92	218,42	58,70%	385	0
Caso 2	114,26	40	154,26	57,88%	361	
Caso 3	188,56	39,8	228,36	55,12%	326	
Caso 1	263,81	40,02	303,83	74,19%	465	1
Caso 2	251,95	39,86	291,81	69,88%	429	
Caso 3	260,11	39,88	299,99	70,88%	434	
Caso 1	285,28	40,01	325,29	74,13%	465	2
Caso 2	322,21	39,86	362,07	73,02%	453	
Caso 3	303,53	40,14	343,67	73,28%	461	
Caso 1	17655,26	39,97	17695,23	75,37%	470	INF
Caso 2	17276,63	39,94	17316,57	75,39%	472	
Caso 3	17921,35	40,18	17961,53	75,02%	462	

Figura 5.106: Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A - configuração paralelo.



Figura 5.107: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

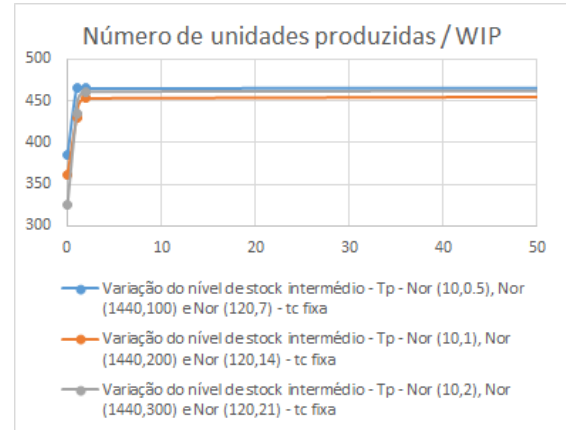


Figura 5.108: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	261,17	59,99	321,16	47,89%	314	0
Caso 2	287,19	59,92	347,11	50,27%	344	
Caso 3	295,95	60,09	356,04	51,50%	366	
Caso 1	367,53	59,99	427,52	62,19%	415	1
Caso 2	388,86	59,85	448,71	62,35%	434	
Caso 3	376,41	59,93	436,34	62,27%	429	
Caso 1	447,74	59,94	507,68	63,88%	434	2
Caso 2	448,85	59,92	508,77	64,46%	445	
Caso 3	421,95	59,89	481,84	63,55%	433	
Caso 1	18553,07	60,04	18613,11	65,71%	449	INF
Caso 2	19161,38	60,1	19221,48	65,27%	443	
Caso 3	18349,01	59,75	18408,76	65,41%	450	

Figura 5.109: Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

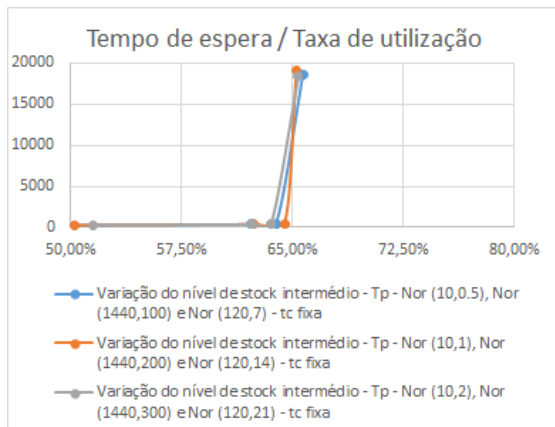


Figura 5.110: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores.

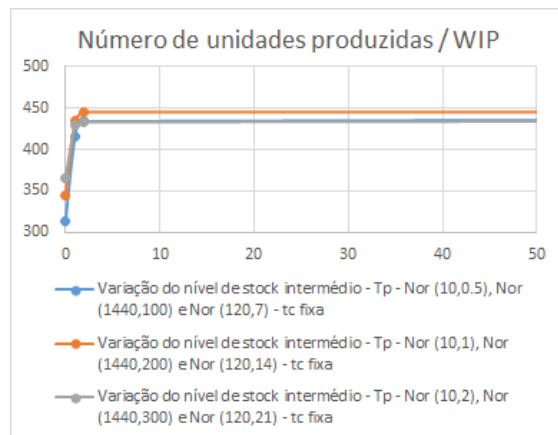


Figura 5.111: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Ao nível da produção de tanques do tipo A e do tipo B pode-se concluir:

O número de casos estudados foi três, com alterações nos valores do tempo de processamento de todos os componentes, fazendo-se variar o valor do desvio padrão, de todas as distribuições normais que regiam os tempos de processamento de todas as máquinas/servidores.

Ao nível do tempo de espera verifica-se ligeiras alterações com a existência de variabilidade interna. Com o aumento do nível de stock intermédio o valor do tempo de espera aumenta, sendo que atinge o seu máximo quando o stock é infinito.

O tempo de processamento médio de uma unidade apresenta-se como um valor próximo do valor médio esperado para cada um dos tipos de tanques, e para os casos apresentados são poucas as variações neste valor.

O tempo que as unidades passam no sistema depende em grande percentagem do tempo de espera, visto que este valor é bastante superior ao tempo de processamento, sendo que as variações no tempo de espera também se verificam no tempo que as unidades passam no sistema.

Ao nível da taxa de utilização média das máquinas, que atuam na produção dos tanques do tipo A e do tipo B, é possível verificar algumas variações provocadas pela existência de variabilidade interna, não sendo possível identificar um padrão nos resultados apresentados por esta variável. Com o aumento do stock intermédio mais uma vez é possível verificar o aumento da taxa de utilização. De realçar, mais uma vez, que este valor é um valor médio, que resulta de todas as taxas de utilização de todas as máquinas que realizam operações neste produto, sendo que algumas apresentam valores muito altos e outras valores mais baixos de utilização.

No que diz respeito ao número de unidades produzidas, o comportamento desta variável é idêntico ao da variável taxa de utilização, apesar não estarem tão relacionados como nas configurações tipo. Este número representa de forma geral o número de tanques produzidos, sendo que este valor varia com a existência de variabilidade interna. Destaca-se, de modo geral, o aumento

deste número com o aumento do nível de stock intermédio, sendo que a produção tem sempre a tendência a estagnar, passando a estar mais dependente dos tempos de processamento das máquinas.

Da análise dos gráficos é possível verificar variações causadas pela existência de variabilidade interna. É visível a tendência de maiores valores de taxa de utilização provocarem um aumento significativo no tempo de espera. Da análise do gráfico do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio é possível entender que apenas está representada a tendência para alguns valores de stock, tendo em conta que não é possível quantificar o infinito, contudo o que se pretende mostrar é que o valor do número das unidades tende a estabilizar e a partir da tabela é possível verificar que as diferenças entre casos existem mas são pouco acentuadas.

*** Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo de bloqueio médio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	16139,54	68,13	16207,67	60,67	64,97%	315	0
Caso 2	15280,09	67,9	15347,99	54,12	67,27%	345	
Caso 3	14597,27	69,25	14666,52	47,63	69,27%	367	
Caso 1	19523,31	59,08	19582,39	43,53	65,90%	417	50
Caso 2	18739,2	58,11	18797,31	38,89	68,50%	436	
Caso 3	19577,03	60,54	19637,57	34,33	70,07%	441	
Caso 1	20436,96	57,05	20494,01	42,66	66,38%	437	100
Caso 2	19716,18	58,47	19774,65	37,15	68,89%	448	
Caso 3	20121,07	59,02	20180,09	33,58	71,08%	446	
Caso 1	20695,29	40,32	20735,61	0,01	99,38%	2241	2000
Caso 2	21400,23	40,27	21440,5	0	99,49%	2305	
Caso 3	21017,39	40,22	21057,61	0	99,49%	2264	
Caso 1	20710,28	40,27	20750,55	0	99,53%	2254	INF
Caso 2	21414,02	40,23	21454,25	0	99,51%	2286	
Caso 3	21034,94	40,07	21075,01	0	99,48%	2245	

Figura 5.112: Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

Ao nível da produção das bombas para tanques do tipo A e B verificou-se uma similaridade de comportamento, de tal forma que se infere o seguinte:

O número de casos mantém-se em três, diferindo na configuração de cada um, neste caso no valor médio da distribuição normal que rege o tempo de processamento de cada máquina.

O tempo de espera aumenta com o aumento do nível de stock intermédio, atingindo elevados valores a partir de um certo nível de stock, sendo que a partir desse nível as diferenças atenuam-se. Com a existência de variabilidade interna existe variações no tempo de espera das unidades.

O tempo de processamento apresenta variações superiores aos produtos anteriores, sendo este facto causado pela produção em lote e o tempo apresentado ser médio e referente a uma unidade produzida, desta forma o impacto da variabilidade interna revela-se muito superior.

Apesar do tempo de processamento variar em algumas unidades continua a ter pouca influência no valor do tempo que as unidades passam no sistema, visto que o tempo de espera apresenta

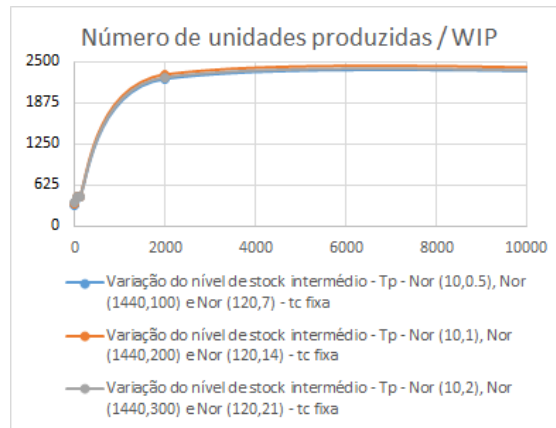
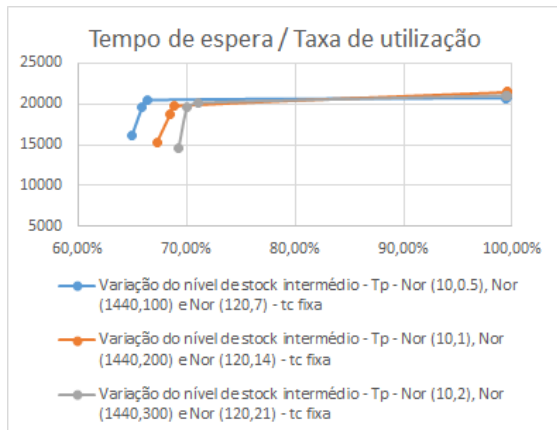


Figura 5.113: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

Figura 5.114: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo de bloqueio médio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	16159,56	48,11	16207,67	60,67	61,22%	358	0
Caso 2	15300,02	47,97	15347,99	54,12	63,30%	365	
Caso 3	14617,5	49,03	14666,53	47,63	64,97%	362	
Caso 1	19543,32	39,07	19582,39	43,53	63,88%	468	50
Caso 2	18759,16	38,15	18797,31	38,89	66,01%	478	
Caso 3	19596,98	40,59	19637,57	34,33	66,81%	488	
Caso 1	20456,92	37,08	20494	42,66	64,14%	488	100
Caso 2	19736,21	38,44	19774,65	37,15	66,35%	492	
Caso 3	20141,04	39,05	20180,09	35,58	67,63%	498	
Caso 1	20715,31	20,3	20735,61	0,01	98,59%	864	2000
Caso 2	21420,16	20,35	21440,51	0	98,15%	829	
Caso 3	21037,36	20,26	21057,62	0	98,14%	836	
Caso 1	20730,32	20,23	20750,55	0	98,71%	865	INF
Caso 2	21433,98	20,27	21454,25	0	98,17%	830	
Caso 3	21054,81	20,19	21075	0	98,16%	837	

Figura 5.115: Modelo 3 - Cenário 1 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

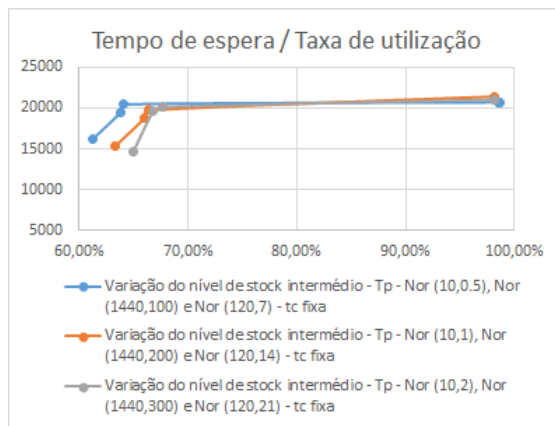


Figura 5.116: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

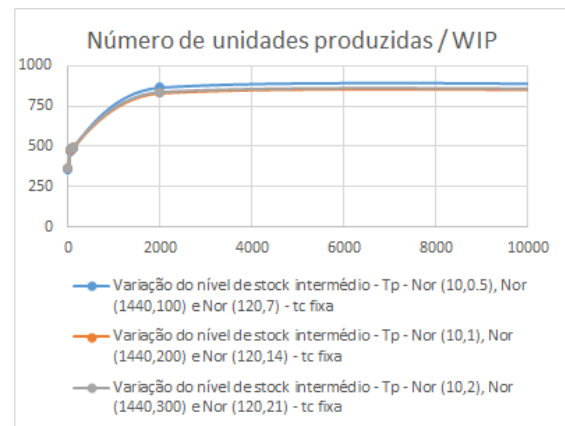


Figura 5.117: Modelo 3 - Cenário 1 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

valores muito altos. Desta forma, o tempo que as unidades passam no sistema varia de forma semelhante à variação apresentada pelo tempo de espera.

Na produção das bombas, ao nível da montagem e do teste verificou-se a existência da variável anteriormente abordada, tempo de bloqueio. Este valor tende a variar com a variabilidade interna e tende a diminuir com o aumento do nível de stock intermédio. A partir de certo nível, chega mesmo a deixar de existir.

Ao nível da taxa de utilização a amplitude de resultados é alta, conseguindo atingir resultados muitos elevados para valores de stock intermédio também elevados. A variabilidade interna mostra novamente alguma influência devido às diferenças entre casos.

O número de unidades produzidas também sofre alterações com a existência de variabilidade interna, mas estas variações tornam-se mais significativas com o aumento do nível do stock intermédio, sendo que quando este valor deixa de ter limite, atinge-se o máximo de unidades produzidas.

Da análise dos gráficos verifica-se que já não existe um disparo no tempo de espera com o aumento da taxa de utilização, apesar de continuar a verificar-se que o aumento da taxa também faz aumentar o tempo de espera até certo nível, verificando-se uma tendência estabilizadora a partir de um nível de stock elevado. No que diz respeito ao número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio é visível um aumento até certo nível de stock, sendo que a partir deste o valor tende a estabilizar e as diferenças entre casos continuam a existir e relacionam-se com a variabilidade interna.

– Variabilidade externa

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	268,09	39,96	308,05	33,12%	207	0
Caso 2	161,16	39,98	201,14	45,16%	271	
Caso 3	193,26	39,96	233,22	59,04%	365	
Caso 1	238,55	39,95	278,5	51,56%	327	1
Caso 2	247,26	39,99	287,25	68,08%	427	
Caso 3	268,68	39,96	308,64	72,78%	452	
Caso 1	293,52	39,97	333,49	60,01%	384	2
Caso 2	283,39	40	323,39	72,32%	449	
Caso 3	417,28	39,96	457,24	73,05%	455	
Caso 1	15827,36	39,96	15867,32	73,93%	444	INF
Caso 2	17854,1	39,96	17894,06	74,49%	453	
Caso 3	19392,16	39,94	19432,1	75,11%	464	

Figura 5.118: Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.

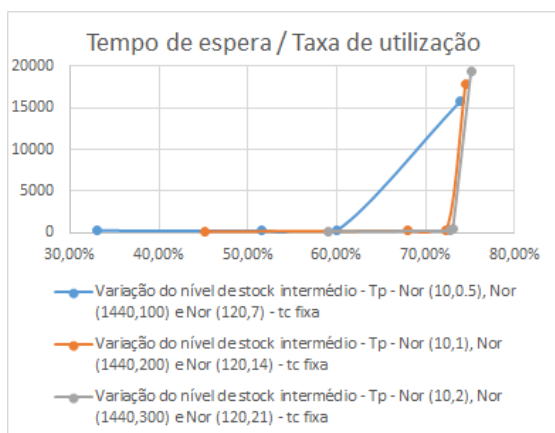


Figura 5.119: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

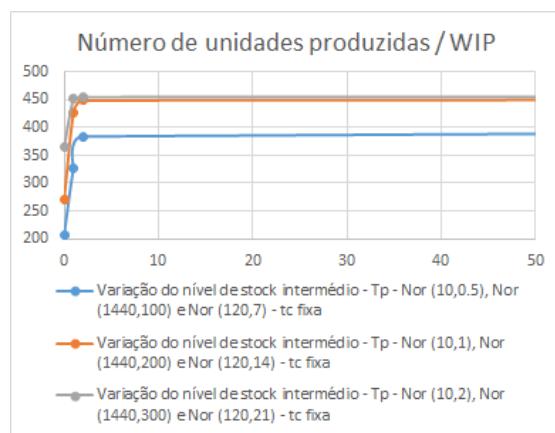


Figura 5.120: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Após a análise da produção dos dois tipos de tanques se verifica que apresentam um comportamento semelhante, o que possibilita uma análise conjunta dos impactos causados pela existência de variabilidade externa:

O número de casos é três, variando no valor da taxa de chegada de itens ao sistema, isto é, no intervalo entre chegadas. Sabendo que estes seguem uma distribuição exponencial com valor médio variável de caso para caso.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	242,12	60	302,12	28,73%	196	0
Caso 2	300,44	59,94	360,38	41,14%	289	
Caso 3	202,44	59,98	262,42	51,89%	357	
Caso 1	363,04	59,93	422,97	43,85%	296	1
Caso 2	346,03	59,97	406	58,95%	402	
Caso 3	346,16	59,94	406,1	62,80%	427	
Caso 1	431,71	59,95	491,66	50,43%	337	2
Caso 2	394,53	59,99	454,52	63,43%	436	
Caso 3	476,37	59,95	536,32	63,64%	435	
Caso 1	15974,66	59,93	16034,59	67,47%	475	INF
Caso 2	18611,13	59,96	18671,09	67,10%	469	
Caso 3	19701,53	59,96	19761,49	66,27%	457	

Figura 5.121: Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

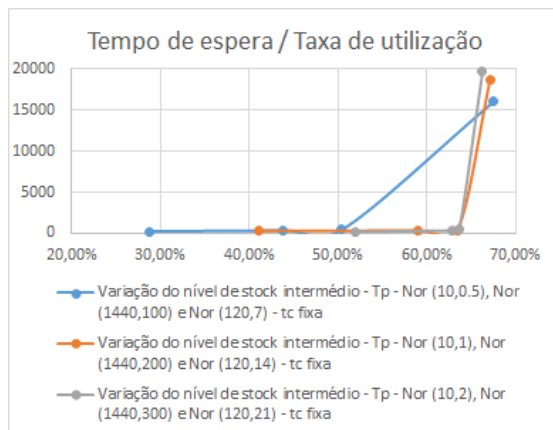


Figura 5.122: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

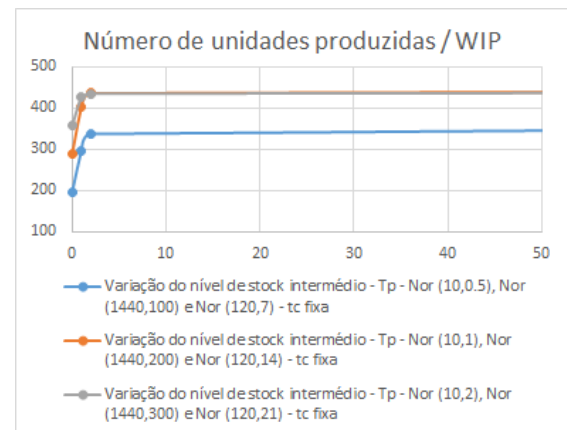


Figura 5.123: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

À primeira vista é possível visualizar uma aumento do tempo de espera com o aumento do nível do stock intermédio, sendo que com variações da taxa de chegada também se verificam variações nesta variável. Também é evidente que a produção do tipo B apresenta valores superiores de tempo de espera dado contar com mais máquinas e operações a realizarem trabalho nos itens.

O tempo de processamento médio é praticamente inerte com valores próximos do valor médio de cada um.

O tempo que as unidades passam no sistema é, mais uma vez, dependente do tempo de espera e das suas variações, dada a pouca influência do tempo de processamento em ambos os casos, em comparação com o tempo de espera, devido aos valores mais elevados que apresenta.

A taxa de utilização aumenta com o aumento do nível de stock intermédio e com aumento da taxa de chegada. Sendo que esta taxa varia em grande escala, em mais de 40% com o aumento destes dois parâmetros.

O número de unidades produzidas, tal como a taxa de utilização, aumenta com o aumento quer do stock intermédio, quer da taxa de chegada de itens ao sistema, sendo que este número acaba por estabilizar e ficar dependente apenas do tempo de processamento, quando a taxa de chegada é elevada e o nível do stock também.

Da visualização dos gráficos verifica-se novamente o disparo do tempo de espera com o aumento da taxa de utilização e a estabilização dos valores dos números de unidades produzidas para valores elevados de stock intermédio, sendo que com diferenças entre casos, apesar de ligeiras. No gráfico as diferenças do número de unidades produzidas indicam ser elevadas, mas este facto só pretende ser representativo da tendência estabilizadora da produção de itens, visto que não existe possibilidade em representar a existência de stock ilimitado. Como a produção de unidades depende de diversos factores, aqui o intuito prende-se com a indicação de que a partir de um certo nível de stock deixa de haver uma dependência deste valor. Com a consulta da tabela verifica-se que o número de unidades tende a estabilizar num valor que se aproxima entre casos.

*** Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Da mesma forma que a produção dos tanques se assemelha, também a produção das bombas para os dois tipos de tanques o faz. De maneira que se conclui o seguinte:

O número de casos é o mesmo, diferenciando o valor da taxa de chegada dos itens ao sistema.

O tempo de espera varia com a existência de variabilidade externa, assumindo valores inferiores e superiores com o aumento e descida da taxa de chegada, sendo difícil identificar um padrão de comportamento. Mais uma vez o aumento do nível de stock intermédio faz aumentar o tempo de espera pois existem mais unidades à espera de serem processadas.

O tempo de processamento médio de uma unidade apresenta-se a variar, sendo que a verdadeira leitura deste valor é difícil de realizar dada a produção por lotes até determinada ponto da linha e que mais tarde passa a produção unitária. Desta forma, apresenta-se um valor que se acredita ser próximo do real, sendo que o esperado seria um valor praticamente constante.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	18635,25	58,28	18693,53	141,88	34,59%	197	0
Caso 2	16273,94	57,41	16331,35	106,07	40,33%	290	
Caso 3	14718,88	52,85	14771,73	88,31	39,45%	358	
Caso 1	18990,04	59,93	19049,97	99,11	36,89%	298	50
Caso 2	21087,5	52,89	21140,39	65,92	45,64%	404	
Caso 3	20045,78	50,35	20096,13	71,53	41,82%	429	
Caso 1	19329,62	51,11	19380,73	73,77	40,61%	340	100
Caso 2	21279,34	51,57	21330,91	56,34	47,38%	439	
Caso 3	20415,45	50,25	20465,7	60,37	44,46%	438	
Caso 1	20585,33	40,36	20625,69	0,09	95,52%	2157	2000
Caso 2	20650,35	40,36	20690,71	0,09	97,30%	2218	
Caso 3	21081,84	40,35	21122,19	0,16	96,58%	2222	
Caso 1	20585,35	40,34	20625,69	0	97,25%	2157	INF
Caso 2	20650,38	40,33	20690,71	0	99,06%	2218	
Caso 3	21081,85	40,34	21122,19	0	99,61%	2222	

Figura 5.124: Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

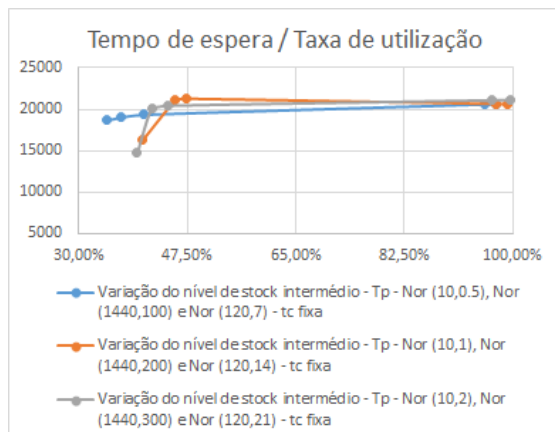


Figura 5.125: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

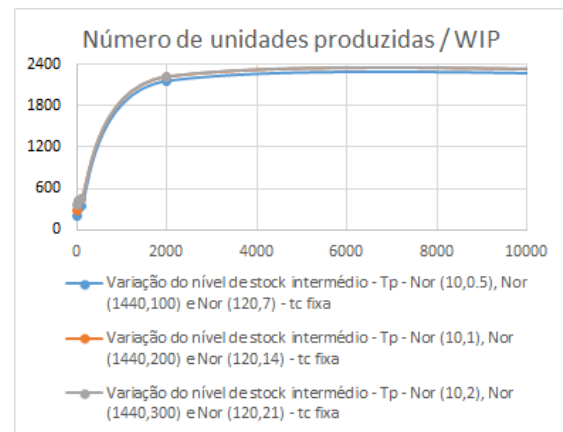


Figura 5.126: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	18655,26	38,27	18693,53	141,88	33,71%	262	0
Caso 2	16293,9	37,44	16331,34	106,07	39,55%	322	
Caso 3	14738,88	32,86	14771,74	88,31	40,32%	420	
Caso 1	19010,02	33,25	19043,27	99,11	36,54%	318	50
Caso 2	21107,51	32,88	21140,39	65,92	46,31%	465	
Caso 3	20065,78	30,35	20096,13	71,53	42,98%	461	
Caso 1	19349,6	31,12	19380,72	73,77	41,28%	419	100
Caso 2	21299,36	31,56	21330,92	56,34	48,19%	490	
Caso 3	20435,45	30,25	20465,7	60,37	45,79%	497	
Caso 1	20605,31	20,39	20625,7	0,09	94,32%	805	2000
Caso 2	20670,34	20,37	20690,71	0,09	96,73%	862	
Caso 3	21101,83	20,37	21122,2	0,16	96,01%	855	
Caso 1	20605,33	20,37	20625,7	0	95,80%	805	INF
Caso 2	20670,37	20,34	20690,71	0	98,24%	862	
Caso 3	21101,84	20,35	21122,19	0	98,60%	855	

Figura 5.127: Modelo 3 - Cenário 2 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

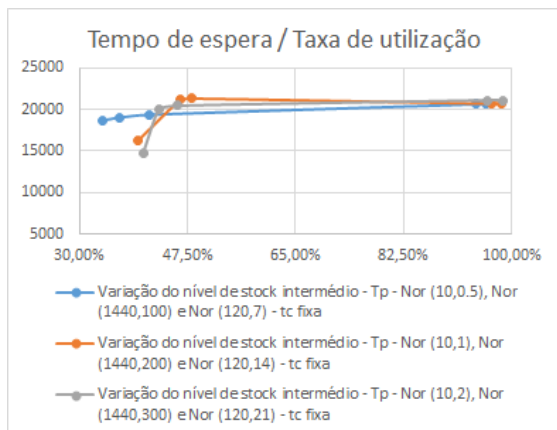


Figura 5.128: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

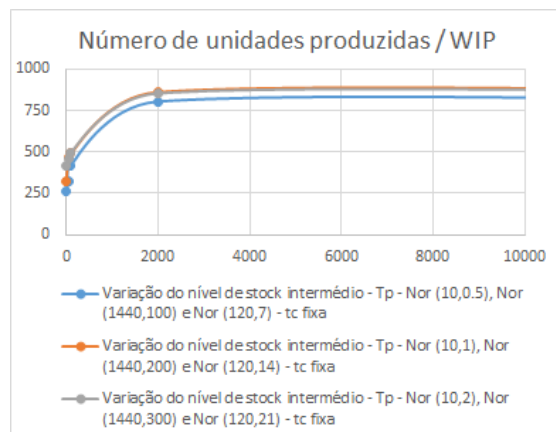


Figura 5.129: Modelo 3 - Cenário 2 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

O tempo que as unidades passam no sistema é mais uma vez idêntico ao tempo de espera, dado que o tempo de espera apresenta valores muito superiores ao tempo de processamento, indicando que o tempo de processamento tem pouca influência na variação desta variável.

A taxa de utilização aumenta com o aumento do nível do stock intermédio e com o aumento da taxa de chegada, de forma geral. De realçar que a amplitude de valores que resultam da variação da taxa de chegada e nível de stock intermédio chega a atingir os 60%.

O número de unidades é também bastante afetado com a existência de variabilidade externa, dado que aumenta com a diminuição desta, em praticamente todos os casos, e com o aumento do nível de stock intermédio. Este valor atinge o máximo quando deixa de existir limite de stock.

Da análise dos gráficos do tempo de espera em função da taxa de utilização é possível verificar variações para níveis de stock mais baixos, sendo que com o aumento deste esta relação tende a estabilizar, em ambos os gráficos das bombas para os dois tipos de tanques. No caso do número de unidades produzidas em função do nível de stock intermédio é possível verificar um comportamento idêntico entre os dois gráficos, sendo que o número de unidades vai aumentando até certo nível, começando a estabilizar a partir desse ponto, ficando mais dependente do tempo de processamento das unidades e torna-se independente do nível do stock.

– Variabilidade interna e externa

* Produção de tanques do tipo A e de tanques do tipo B

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	207,5	40,05	247,55	33,80%	208	0
Caso 2	163,75	40,19	203,94	34,33%	209	
Caso 3	203,15	39,96	243,11	59,51%	366	
Caso 4	152,29	40,14	192,43	60,04%	374	
Caso 1	224,56	39,98	264,54	52,93%	333	1
Caso 2	217,65	40,17	257,82	49,18%	289	
Caso 3	276,18	39,98	316,16	72,63%	453	
Caso 4	207,4	40,24	247,64	71,29%	424	
Caso 1	269,83	39,9	309,73	59,55%	375	2
Caso 2	338,9	40,12	379,02	59,21%	374	
Caso 3	309,98	40,06	350,04	73,42%	466	
Caso 4	336,87	39,69	376,56	72,84%	439	
Caso 1	15328,31	39,99	15368,3	74,60%	462	INF
Caso 2	16010,16	39,77	16049,93	72,30%	429	
Caso 3	19350,62	39,95	19390,57	75,78%	480	
Caso 4	19416,23	39,83	19456,06	74,79%	461	

Figura 5.130: Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo A.

Após a análise da produção de ambos os tipos de tanques verificou-se alguma similaridade nos comportamentos das variáveis, de tal modo que as conclusões seguintes referem-se aos dois tipos de tanques:

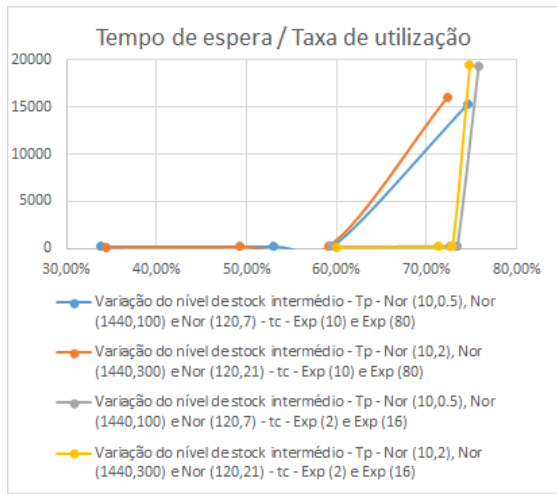


Figura 5.131: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

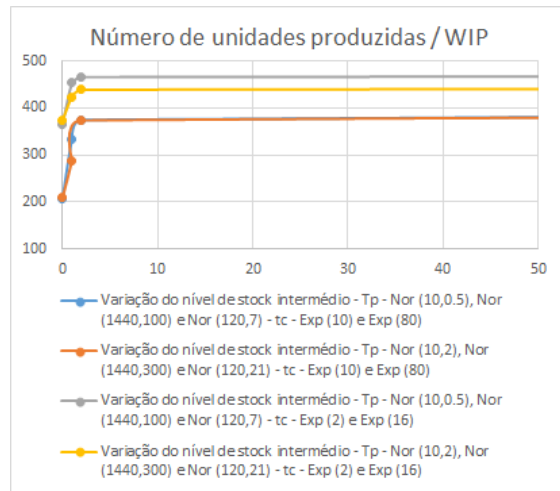


Figura 5.132: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	253,19	60,04	313,23	29,96%	207	0
Caso 2	343,12	60,12	403,24	30,65%	213	
Caso 3	211,86	59,98	271,84	52,98%	367	
Caso 4	299,93	60,24	360,17	52,21%	355	
Caso 1	389,24	59,96	449,2	45,61%	310	1
Caso 2	365,57	59,95	425,52	45,71%	326	
Caso 3	309,3	59,95	369,25	63,40%	431	
Caso 4	373,51	60,35	433,86	63,43%	433	
Caso 1	445,18	60	505,18	51,40%	349	2
Caso 2	402,38	59,75	462,13	50,26%	340	
Caso 3	497,59	60,01	557,6	64,05%	439	
Caso 4	471,4	60,04	531,44	66,90%	474	
Caso 1	16193,66	59,95	16253,61	65,50%	451	INF
Caso 2	15739,59	60,05	15799,64	67,36%	478	
Caso 3	19561,14	59,95	19621,09	67,74%	438	
Caso 4	19842,32	59,68	19902	68,40%	462	

Figura 5.133: Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de tanques do tipo B.

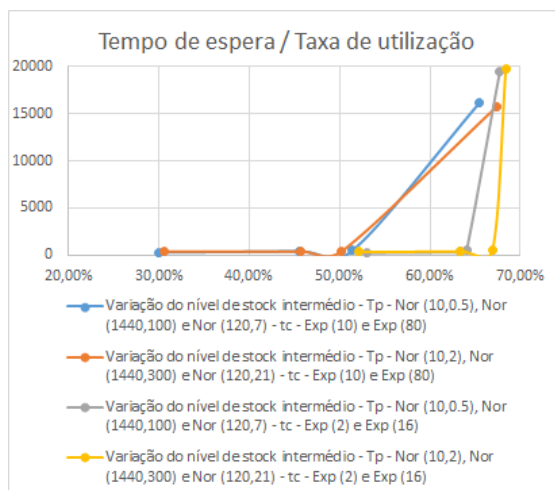


Figura 5.134: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio dos tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

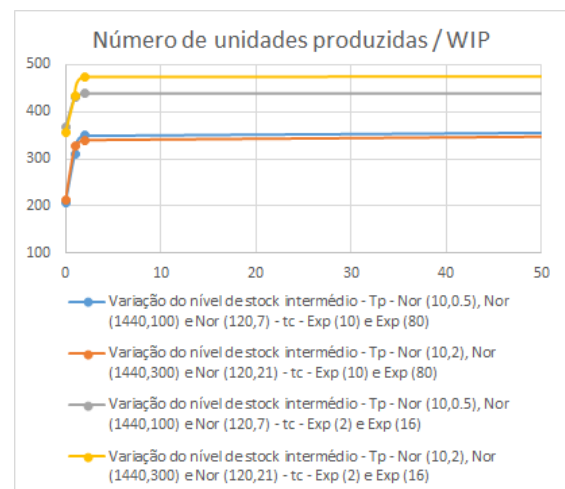


Figura 5.135: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor.

O número de casos estudados foi quatro, com variações impostas ao nível do tempo de processamento e taxa de chegada de itens ao sistema. Do primeiro para o segundo e do terceiro para o quarto caso variou-se o valor do desvio padrão da distribuição que rege o tempo de processamento das máquinas, já do primeiro para o terceiro e segundo para o quarto caso a alteração realizada prende-se com o valor da taxa de chegada.

Ao nível do tempo de espera verifica-se que este varia com a existência quer de variabilidade interna quer externa, sendo que com o aumento do nível de stock o tempo de espera também aumenta, principalmente quando o stock deixa de ser limitado. Entre tanques é possível verificar que o tanque B que está sujeito a uma maior número de operações, apresenta na sua generalidade, um tempo de espera superior.

No que diz respeito ao tempo de processamento médio é possível verificar que não existem alterações com um grande significado, pois para todos os casos em ambos os tanques se verifica que o valor está sempre próximo do valor médio da distribuição que o rege.

O tempo que as unidades passam no sistema, mais uma vez relacionado com tempo de espera e tempo de processamento, tende a acompanhar o comportamento do tempo de espera, visto que apresenta valores superiores quando comparado com o tempo de processamento.

Ao nível da taxa de utilização pode-se destacar alterações importantes. Esta variável é bastante afetada pela presença de variabilidade externa e pelo aumento do nível de stock intermédio, visto que em ambos os casos, isto é, aumento do nível do stock e aumento da taxa de chegada, o valor da taxa de utilização também aumenta. De realçar que, apesar de ser em menor escala, a presença de variabilidade interna, no tempo de processamento, também afeta o valor de taxa de utilização. Apenas quando deixa de existir limite ao nível do stock intermédio é que se verifica menos influência da variabilidade interna e externa, visto que os casos apresentam valores de taxa

de utilização mais próximos.

No que diz respeito ao número de unidades produzidas também se verificam alterações significativas. O aumento quer do nível de stock intermédio quer da taxa de chegada fazem disparar este valor, principalmente quando o aumento ocorre em simultâneo. Quando o nível de stock deixa de ter limite, atinge-se a produção máxima e a diferença entre casos é atenuada, visto que a taxa de chegada deixa de ter tanto impacto.

Ao nível da análise dos gráficos destacam-se dois comportamentos diferentes, no caso do tempo de espera em função da taxa de utilização. Esta diferença é dada pela variação na taxa de chegada dos itens ao sistema. Em todos os casos se verifica que à medida que se atinge a maior taxa de utilização possível o tempo de espera aumenta de uma forma brusca. Já no caso do número de unidades produzidas, mais uma vez se realça a impossibilidade de representação do infinito, de maneira que apenas se pretende demonstrar a tendência de estabilização deste valor a partir de um certo nível de stock intermédio, que é indicativo de que o número de unidades deixa de ser independente do tamanho do stock.

*** Produção de bombas de calor para tanques do tipo B e para tanques do tipo A**

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	18077,77	81,29	18159,06	80,47	61,24%	208	0
Caso 2	18383,67	83,03	18466,7	69,74	67,35%	214	
Caso 3	14638,39	65,43	14703,82	55,06	65,91%	358	
Caso 4	15196,01	68,44	15264,45	48,48	69,14%	356	
Caso 1	19073,74	66,78	19140,52	59,59	63,81%	312	50
Caso 2	19500,39	67,91	19568,3	46,1	68,51%	365	
Caso 3	19049,99	58,9	19108,89	45,21	66,68%	433	
Caso 4	20523,37	61,05	20584,42	39,16	69,95%	435	
Caso 1	19688,36	60,17	19748,53	47,58	65,81%	352	100
Caso 2	20340,72	63,41	20404,13	44,07	69,43%	373	
Caso 3	20478,14	56,97	20535,11	41,89	66,85%	442	
Caso 4	20586,33	58,67	20645	34,18	70,47%	477	
Caso 1	20344,86	40,27	20385,13	0	99,27%	2234	2000
Caso 2	20575,79	40,27	20616,06	0	98,22%	2196	
Caso 3	20955,42	40,27	20995,69	0	99,81%	2176	
Caso 4	21205,29	40,2	21245,49	0	99,81%	2242	
Caso 1	20344,89	40,2	20385,09	0	99,30%	2230	INF
Caso 2	20332,86	40,34	20373,2	0	98,24%	2186	
Caso 3	20955,59	40,16	20995,75	0	99,81%	2184	
Caso 4	21251,37	40,14	21291,51	0	99,81%	2245	

Figura 5.136: Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo B.

Dada a semelhança de comportamentos da produção de bombas para os dois tipos de tanques realizou-se uma análise conjunta. De maneira que se conclui o seguinte:

O número de casos mantém-se em quatro, diferindo ora no valor da taxa de chegada ou do tempo de processamento. Ambas os parâmetros seguiam distribuições de probabilidade, de tal forma que era possível variar o valor médio e/ou o desvio padrão, fazendo, desse modo, variar a variabilidade interna e/ou externa do sistema.

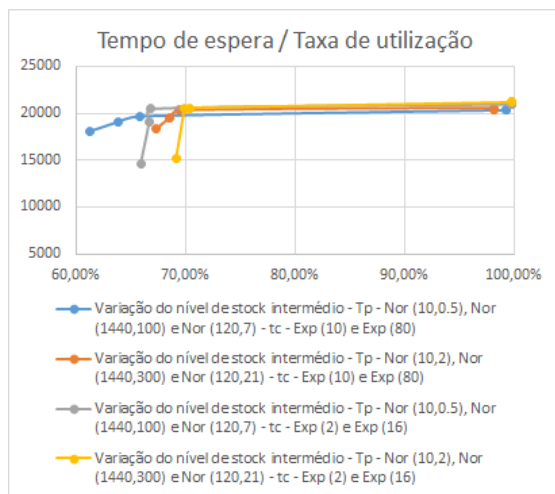


Figura 5.137: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo B em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

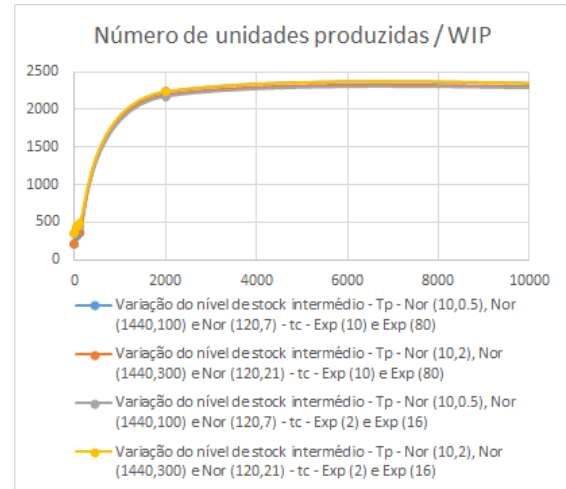


Figura 5.138: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo B em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

Casos	Tempo de espera	Tempo de processamento	Tempo das unidades no sistema	Tempo médio de bloqueio	Taxa de utilização média	Número de unidades produzidas	WIP
Caso 1	18097,75	61,31	18159,06	80,47	58,64%	240	0
Caso 2	18403,58	63,12	18466,7	69,74	61,61%	249	
Caso 3	14658,42	45,4	14703,82	55,06	62,39%	383	
Caso 4	15216,28	48,17	15264,45	48,48	65,19%	384	
Caso 1	19093,74	46,78	19140,52	59,59	59,60%	318	50
Caso 2	19520,05	48,26	19568,31	46,1	64,42%	359	
Caso 3	19069,96	38,92	19108,88	45,21	64,28%	462	
Caso 4	20543,56	40,86	20584,42	39,16	67,09%	461	
Caso 1	19708,4	40,12	19748,52	47,58	62,97%	425	100
Caso 2	20360,49	43,64	20404,13	44,07	66,63%	374	
Caso 3	20498,14	36,97	20535,11	41,89	64,64%	474	
Caso 4	20606,61	38,39	20645	34,18	67,58%	470	
Caso 1	20364,83	20,29	20385,12	0	98,35%	857	2000
Caso 2	20295,72	20,35	20316,07	0	96,98%	822	
Caso 3	20975,36	20,33	20995,69	0	99,02%	869	
Caso 4	21225,16	20,34	21245,5	0	98,63%	845	
Caso 1	20364,85	20,23	20385,08	0	98,37%	857	INF
Caso 2	20352,97	20,23	20373,2	0	97,01%	826	
Caso 3	20997,49	20,26	21017,75	0	99,02%	869	
Caso 4	21271,28	20,23	21291,51	0	98,63%	847	

Figura 5.139: Modelo 3 - Cenário 3 - Resultados da simulação relativos à produção de bombas de calor para tanques do tipo A.

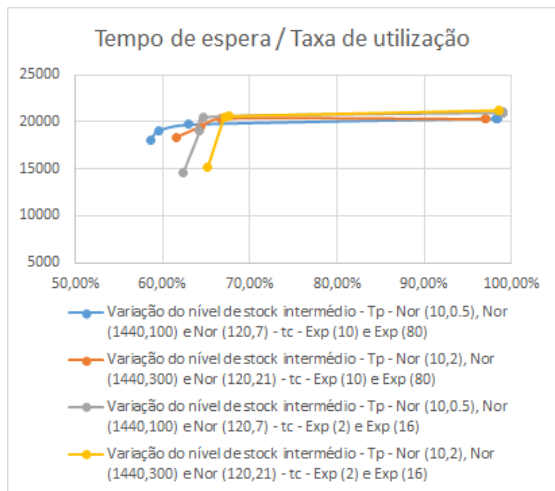


Figura 5.140: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do tempo de espera médio das bombas de calor para tanques do tipo A em função da taxa de utilização média de todas as máquinas/servidores que realizam operação nesse tipo de material.

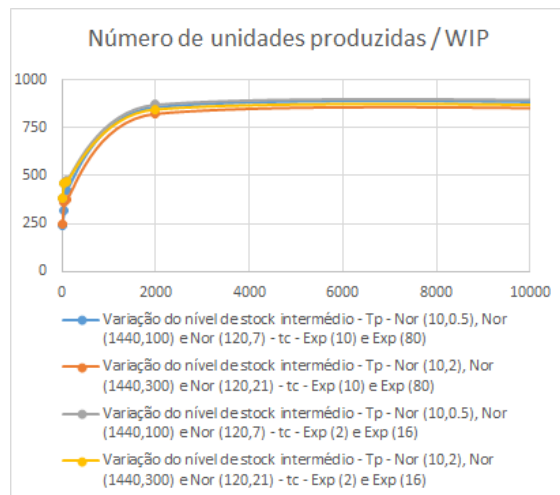


Figura 5.141: Modelo 3 - Cenário 3 - Gráfico do número de unidades produzidas de bombas de calor para tanques do tipo A em função do nível de stock intermédio que existe antes de cada máquina/servidor que realizam operação nesse tipo de material.

O tempo de espera apresenta valores elevados em todos os casos e para as bombas de ambos os tipos de tanque. Este valor tende a aumentar com o aumento do nível do stock intermédio, sendo também afetado pelas variações causadas pela existência variabilidade interna e externa. De destacar que nestes casos o tempo de espera é elevado, sendo que o crescimento deste, é menos acentuado e chega estabilizar quando não existe limite de stock.

O tempo de processamento sofre algumas alterações entre casos, tendo em conta que representa o tempo de processamento de uma unidade e em certas máquinas o processamento é realizado em lote, tem-se como consequência uma variação mais acentuada deste valor, o que trará implicações nas outras variáveis do sistema.

Apesar destas alterações visíveis no tempo de processamento, o tempo que as unidades passam no sistema é quase inteiramente devido ao tempo de espera, dado que apresenta uma escala de valores muito superiores aos do tempo de processamento. As variações dos valores do tempo de espera também serão visíveis no tempo que as unidades passam no sistema.

Neste cenário verifica-se a existência de tempos de bloqueio com algum relevo, sendo que chega a atingir tempos idênticos ao tempo de processamento médio. De forma geral, o tempo de bloqueio diminui com o aumento da variabilidade interna e diminuição da variabilidade externa, sendo esta diminuição mais significativa com o aumento do nível de stock intermédio. Este tempo chega mesmo a deixar de existir.

Ao nível da taxa de utilização, assim como no caso da produção de tanques, verifica-se alterações de alguma amplitude. Sendo que o aumento do nível do stock intermédio e da taxa de chegada faz aumentar o valor da taxa de utilização. De realçar que a existência de variabilidade interna também revela alguma impacto no valor da taxa de utilização.

De forma semelhante às alterações visíveis na taxa de utilização, também ao nível do número de unidades produzidas é possível verificar essas mesmas variações. Existe um aumento claro do número de unidades com o aumento do nível do stock intermédio e com o aumento da taxa de chegada de itens ao sistema, sendo que este número também é afetado pela presença de variabilidade interna.

Da análise dos gráficos surge a relação entre o tempo de chegada e a taxa de utilização para a produção de bombas, que revela um comportamento diferente quando comparado com a produção de tanques. Neste caso, o crescimento do tempo de espera com o aumento da taxa de utilização continua a ser visível, mas à medida que se aumenta a taxa, este tempo tende a suavizar o seu crescimento, até que atinge o seu máximo quando deixa de haver limite de stock, indicando ficar completamente dependente da taxa de chegada e do tempo de processamento das unidades. Já no caso do número de unidades produzidas, continua a verificar-se que, apesar de algumas variações iniciais, quando o nível do stock ainda é baixo, à medida que este tende para infinito, o número de unidades tende a estabilizar no seu valor máximo, indicando que deixa de estar dependente do nível do stock. Nos gráficos relacionados com a produção das bombas de calor fica mais perceptível que as diferenças de unidades produzidas deixam de ter uma grande importância.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

6.1 Principais conclusões

Após uma reflexão geral de todo o trabalho desenvolvido sobre a temática apresentada, chega-se a um conclusão generalizada de tudo o que foi feito. Este trabalho permitiu uma análise profunda do conceito de variabilidade e da relação deste conceito com os processos operacionais. De forma geral, variabilidade representa imprevisibilidade, e o que é imprevisível pode ser difícil de controlar e/ou resolver.

Ao nível deste conceito focou-se o trabalho em duas dimensões específicas, variabilidade interna relacionada com todo o que envolva o processamento de unidades e variabilidade externa, relacionada com aspetos externos ao processos e mais difíceis de prever e controlar.

No que diz respeito à variabilidade interna, esta pode estar presente das mais variadas formas, no caso específico associou-se este conceito, principalmente, ao tempo de processamento de cada máquina. Cada máquina seguia uma distribuição normal onde se definia o valor médio e o desvio padrão. Em traços gerais, a existência de variabilidade interna afetava todo o sistema, fazia variar o tempo de processamento, fazia surgir tempo de espera, influenciava a taxa de utilização de cada máquina, fazendo variar deste modo o número de unidades produzidas. Dependendo da configuração poderia ter efeito no tempo de bloqueio das máquinas, e poderia ter um impacto com maior ou menor amplitude. A introdução de variabilidade interna no sistema acarreta incerteza e possivelmente demora no processamento de determinado produto, daí que um produto que seja lançado de seguida possa ter que esperar para ser processado, deste modo, pode influenciar todas as variáveis estudadas. Se o contrário acontecesse e o processamento fosse mais rápido que a chegada, implicaria um decaimento nas taxas de utilização, visto que as máquinas ficariam sem ser utilizadas. Em suma, com a existência de variabilidade interna do sistema todo o sistema sofria alterações, mais ou menos acentuadas, também dependendo do grau de variabilidade.

No caso da variabilidade externa, esta surgia apenas a partir das fontes de material, onde se impôs que se seguisse uma distribuição exponencial, com o intuito de representar a procura por produtos. Neste caso era apenas necessário definir o valor médio da distribuição, sendo que quando maior fosse o valor, maior seria a possibilidade de atingir diferentes valores, logo maior

a variabilidade externa. Por outro lado, o intervalo entre chegadas também seria mais elevado. A existência de variabilidade externa acarretava incerteza no intervalo de tempo que iria decorrer entre chegadas de itens ao sistema, podendo ser curto e fazer aumentar o tempo de chegada mas também as taxas de utilização e número de unidades produzidas, visto que haveriam sempre itens prontos a ser operados no sistema. O contrário também era possível de acontecer, o que traria decaimento do número de unidades produzidas e da taxa de utilização. Em traços gerais, esta dimensão apresentava grandes impactos ao nível das taxas de utilização e tempo de espera, sendo que na maioria dos casos era visível nos gráficos tempo de espera em função da taxa de utilização, a curva cujo crescimento aumentava em grande escala, para valores mais elevados de taxa de utilização, o crescimento dos valores de tempo de espera era ainda mais abrupto. Da mesma forma, apresentava uma grande impacto na produção de unidades.

Em suma, variabilidade indica, mais uma vez, imprevisibilidade e o que é imprevisível, torna-se difícil de resolver, daí que os impactos eram fáceis de identificar. Este conceito está muito presente nos processos operacionais e como foi visto, pode ter efeitos brutais na linha de produção.

Em traços conclusivos, considera-se satisfatória a obtenção dos objetivos, visto que se apresenta uma ferramenta capaz de demonstrar os efeitos da variabilidade nos processos operacionais. Foram demonstrados diversos casos, realizadas diversas análises e retirados alguns padrões de comportamentos que a existência de variabilidade suscita. Partindo de todo o trabalho desenvolvido, conclui-se que os objetivos foram cumpridos, mas que este estudo não fica finalizado, dada a enorme panóplia de possibilidades de configurações possíveis de analisar. No entanto, o que foi estudado permite retirar conclusões importantes sobre este conceito.

6.2 Trabalho Futuro

Ao nível do trabalho futuro a desenvolver destaca-se a continuação da aplicação de diversos tipos de configuração no modelo base. Com isto é possível realizar uma análise ainda mais profunda, não só do modelo e das possibilidades de implementação de alterações neste, mas também por permitir um entendimento do conceito de variabilidade aplicada a processos operacionais e especificamente às dimensões estudadas, variabilidade interna e externa.

De modo geral, trata-se de dar continuidade ao estudo começado, visto que existe uma grande variedade de possibilidades a serem testadas e estudadas. Também seria vantajoso analisar o modelo real mais em profundidade com intuito de aproximar o mais possível a simulação da realidade, para ser possível utilizar essa mesma simulação para inferir conclusões sobre a linha de produção e testar novas soluções que possam vir a ser aplicadas na linha de produção física, melhoria contínua.

Ao nível das configurações também seria interessante realizar um maior número de testes para cada cenário, com o objetivo de entender melhor as alterações causadas pela existência de variabilidade, de modo a verificar se seria possível destacar padrões de comportamento.

Ao nível das configurações poderiam ser testadas outras que aqui não foram referidas, aplicando-as noutros locais do modelo, permitindo verificar onde teriam mais impacto.

Em conclusão, seria vantajoso aproximar o mais possível o modelo da realidade com o intuito de realizar testes que mais tarde pudessem trazer melhorias no processo, já que a simulação iria permitir analisar em pormenor todo o trabalho que esta a ser realizado na linha de produção física.

Referências

- [1] (PDF) changes in toyota motors' operations management. URL: https://www.researchgate.net/publication/245330904_Changes_in_Toyota_Motors'_operations_management, doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00207540310001602883>.
- [2] Operations management 101 & 201. URL: <https://www.smartsheet.com/operations-management>.
- [3] Eric Savitz. The path to becoming a fortune 500 CEO. URL: <https://www.forbes.com/sites/ciocentral/2011/12/05/the-path-to-becoming-a-fortune-500-ceo/>.
- [4] (PDF) information structure to support discrete event simulation in manufacturing systems. URL: https://www.researchgate.net/publication/2931975_Information_Structure_To_Support_Discrete_Event_Simulation_In_Manufacturing_Systems, doi:<http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2003.1261564>.
- [5] Paul Rogers e Rosalee J Gordon. SIMULATION FOR REAL-TIME DECISION MAKING IN MANUFACTURING SYSTEMS. página 9.
- [6] (PDF) context variability for context-aware systems. URL: https://www.researchgate.net/publication/260603686_Context_Variability_for_Context-Aware_Systems.
- [7] Simulation, production planning and scheduling software | simio. URL: <https://www.simio.com/index.php>.
- [8] *Lean Production for Competitive Advantage*. URL: https://books.google.com/books/about/Lean_Production_for_Competitive_Advantag.html?hl=pt-PT&id=vGRRDwAAQBAJ.
- [9] Wallace J. Hopp e Mark L. Spearman. *Factory Physics*. Richard D. Irwin, 3ª edição.
- [10] Richard Ph.D, Cindy Claycomb, e Cornelia Dröge. Supply chain variability, organizational structure, and performance: The moderating effect of demand unpredictability. 26:557–570. doi:10.1016/j.jom.2007.10.002.
- [11] Little's Law. Variability makes a difference! página 21.
- [12] Marshall Fisher, Kathy Pearson, Christian Terwiesch, e Karl Ullrich. Operations management: Quality and productivity how variability impacts process performance. URL: <http://opim.wharton.upenn.edu/~ulrich/downloads/variability99.pdf>.
- [13] Marcos Portnoi. Distribuicao exponencial. página 21.

- [14] Asynchronous mediation for integrating business and operational processes | IEEE computer society digital library. URL: <https://www.computer.org/csdl/magazine/ic/2006/01/w1056/13rRUynZ5sq>.
- [15] Welcome to ER publications, india :: URL: <http://www.erpublications.com/our-journals-search.php>.