

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO PARA O PROBLEMA INTEGRADO DE ALOCAÇÃO
DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALISTAS E SEQUENCIAMENTO DE
TAREFAS EM UMA INDÚSTRIA CRIATIVA**

ANDRÉ LUIS MARQUES FERREIRA DOS SANTOS

**São Paulo
2017**

ANDRÉ LUIS MARQUES FERREIRA DOS SANTOS

**SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO PARA O PROBLEMA INTEGRADO DE ALOCAÇÃO
DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALISTAS E SEQUENCIAMENTO DE
TAREFAS EM UMA INDÚSTRIA CRIATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Prof. Dr. Fabio Henrique Pereira, Dr. – Orientador

São Paulo

2017

Santos, André Luis Marques Ferreira dos.

Simulação e otimização para o problema integrado de alocação de recursos humanos especialistas e sequenciamento de tarefas em uma indústria criativa. / André Luis Marques Ferreira dos Santos.2017.

107 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2017.

Orientador (a): Prof. Dr. Fabio Henrique Pereira.

1. Indústria Criativa. 2. Otimização. 3. Simulação. 4. Algoritmo Genético. 5. Sequenciamento de tarefas. 6. Alocação de recursos humanos.

I. Pereira, Fabio Henrique. II. Titulo.

CDU 658.5

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

DE

André Luis Marques Ferreira dos Santos

Título da Dissertação: Simulação e Otimização para o Problema Integrado de Alocação de Recursos Humanos Especialistas e Sequenciamento de Tarefas em uma Indústria Criativa.

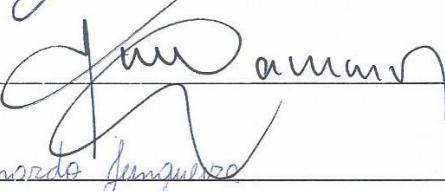
A Comissão Examinadora, Composta Pelos Professores Abaixo, Considero(a) o(a) candidato(a) André Luis Marques Ferreira dos Santos APROVADO.

São Paulo, 30 de agosto de 2017.

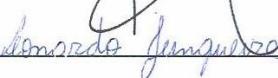
Prof(a). Dr(a).Fabio Henrique Pereira



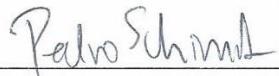
Prof(a). Dr(a).Antonio César Galhardi



Prof(a). Dr(a).Leonardo Junqueira



Prof(a). Dr(a). Pedro Henrique Triguis Schimit



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Gregório e Daura, aos meus filhos Andrey e Arthur e a minha esposa Karinne, pois foram o meu alicerce e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado guiando os meus passos e por me mostrar o quão pequenos somos frente a grandiosidade do universo.

À minha mãe, Daura Izabel Marques Ferreira dos Santos e ao meu pai, Gregório Ferreira dos Santos, por todo esforço, sacrifício e dedicação na minha criação. Espero que consiga ser para os meus filhos pelo menos metade do que eles foram e são para mim.

À minha irmã Abandria Luana Marques Ferreira dos Santos, pelo seu belo exemplo de mulher batalhadora.

Aos meus filhos Andrey Marques Simplício Ferreira dos Santos e Arthur Marques Simplício Ferreira dos Santos, pela inspiração que me dão para continuar nessa luta infinita pelo crescimento intelectual, profissional e pessoal.

Agradeço à minha amada esposa Karinne Regina Simplício, pelo apoio incondicional que me proporciona tranquilidade para focar nos meus estudos, projetos pessoais e profissionais.

A todos meus amigos e familiares, que de alguma forma contribuíram nessa importante etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Fabio Henrique Pereira, meus sinceros agradecimentos por compartilhar um milésimo do seu conhecimento, pela sua excelente orientação, por me escolher em meio à tantas outras pessoas mais talentosas do que eu, por nunca ter desistido de mim e acima de tudo pela sua amizade.

Ao corpo docente do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da Uninove, em especial aos professores da área de Otimização da Produção, Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz, Prof. Dr. José Carlos Curvelo Santana, Prof. Dr. Wagner Cezar Lucato, Prof. Dr. Renato José Sassi, Prof. Dr. Sidnei Alves de Araújo e Prof. Dr. Leonardo Junqueira, pela disposição em auxiliar a mim e meus amigos nos nossos projetos de pesquisa.

Agradeço aos docentes do Departamento de Mecânica, Matemática e Administração da Universidade Politécnica de Bari, na Itália, Prof. Dr. Salvatore Digiesi, Prof. Dr. Raffaello lavagnillo, Prof. Dr. Giorgio Mossa, Prof. Dr. Francesco Boenzi e Prof. Dr. Francesco Facchini, pelo intercâmbio cultural e pelas excelentes contribuições que deram ao nosso programa.

Por fim, agradeço à essa renomada Instituição de Ensino, Universidade Nove de Julho, pela bolsa de estudos e pela excelente estrutura oferecida ao Programa de Mestrado em Engenharia de Produção.

RESUMO

A Internet contribuiu para o surgimento de um novo tipo de organização, as indústrias criativas, empresas com negócios focados no capital intelectual, os quais podem ser avaliados por meio da otimização do tempo dos recursos humanos, também intitulado como, recursos humanos especialistas (RHE). A otimização dos RHE consiste em identificar quais os recursos devem ser alocados para cada projeto e em qual ordem as tarefas devem ser realizadas, tema conhecido na literatura como “problema integrado de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas”, comumente estudado nas empresas de manufatura como *job shop problem*, mas com pouca referência no contexto das indústrias criativas. Partindo desse pressuposto o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de simulação e otimização computacional, para resolver de forma integrada o problema de alocação de RHE e sequenciamento de tarefas dentro de uma indústria criativa. Assim, este trabalho torna-se relevante para as pesquisas que envolvam o uso de capital intelectual. O modelo desenvolvido neste trabalho consiste em representar por meio de simulação computacional o funcionamento de um departamento de inteligência competitiva e determinar os melhores cenários para otimizar o sistema, ou seja, identificar quais cenários viabilizam realizar todos os projetos em um menor tempo possível. A parametrização do modelo foi realizada com base em informações reais, coletadas em dois anos de observações na empresa objeto de estudo desta pesquisa. Os resultados mostram que a utilização de métodos computacionais de otimização pode contribuir na tomada de decisão para minimizar o tempo de realização dos projetos e para identificar os pontos de ociosidade do sistema em ambientes dinâmicos.

Palavras-chave: Indústria Criativa, Otimização, Simulação, Algoritmo Genético, Sequenciamento de Tarefas, Alocação de Recursos Humanos.

ABSTRACT

The internet has contributed to the appearance of new kinds of businesses, which require a peculiar scientific approach in order to enlarge the operational results of the said enterprises. This context gave rise to a new set of organizations, businesses focused on intellectual production, the so-called creative industries. One of the ways to assess these intellectual capital companies is the optimization of human resources time, also known as Human Resources Specialists (HRS). The optimization of HRS' consists in identifying which resources must be allocated to each project and the order in which the given tasks must be undertaken. In literature, this subject is known as "integrated problem of resources allocation and task scheduling", commonly studied in manufacture businesses as "job shop problem", but there is very little reference of the subject in the context of creative industries. Based on this assumption, the goal of this piece of work is to apply heuristic techniques to solve the HRS allocation and task scheduling problems within creative industries in an integrated way. Therefore, the model developed herein becomes relevant to researches involving the use of intellectual capital. The mentioned model consists in representing, through computer simulations, the operation of a competitive intelligence department and, making use of heuristics, determine the best scenarios for system optimization. In other words, to identify which of those scenarios makes viable to perform all projects in the shortest time possible. This model was based in real data, collected in two years of thorough observation of a company, the study object of this work. The outcome was satisfactory and the proposed model has achieved its objective.

Keywords: Creative Industry, Optimization, Simulation, Genetic Algorithm, Task Scheduling, Human Resources Allocation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação do PIARST ilustrada no Gráfico de Gantt.....	11
Figura 2. Exemplo do conjunto de restrições (5).....	15
Figura 3. Exemplo do conjunto de restrições (6).....	16
Figura 4. Exemplo do conjunto de restrições (6).....	16
Figura 5. Etapas para a construção do modelo de simulação e otimização para o problema da alocação de RHE e Sequenciamento de Cenários.	24
Figura 6. Processo para determinar o total de cenários possíveis para cada projeto.	26
Figura 7. Sequência dos recursos que um projeto deve seguir até ser finalizado na combinação 1.....	27
Figura 8. Associação entre as combinações 1 e 2 que deve ser tratada pelo modelo.....	28
Figura 9. Alocação dos projetos X e Y considerando apenas a prioridade menor tempo dos RHE para realização das tarefas. O comprimento do retângulo representa o tempo médio para realização da tarefa do projeto, logo quanto maior o retângulo, maior o tempo do RHE para finalizar a tarefa.	29
Figura 10. Otimização do sistema para os projetos X e Y, considerando a alocação dos RHE pelo menor tempo para finalizar os projetos.	30
Figura 11. Otimização do sistema para os projetos X e Y, considerando a alocação dos RHE pelo menor tempo para finalizar os projetos e os projetos com restrições de recursos.	31
Figura 12. Comparação entre o desempenho do sistema com o critério (1) de alocar o recurso com melhor desempenho e o critério (2) considerar além do melhor desempenho do recurso as restrições de recursos para os projetos.	31
Figura 13. Módulos do template Basic Process	33
Figura 14. Módulos do Basic Process e respectivas nomenclaturas no modelo de simulação.	34
Figura 15. Módulos do Advanced Transfer e respectivas nomenclaturas no modelo de simulação.....	35
Figura 16. Fluxograma do modelo de simulação do respectivo estudo de caso.	36
Figura 17. Entrada de dados do módulo Create.	37
Figura 18. Entrada dos dados no módulo Assign.	38
Figura 19. Entrada de dados do módulo Station.....	40
Figura 20. Entrada de dados do módulo Process.....	41
Figura 21. Entrada de dados do módulo Route.....	42
Figura 22. Entrada de dados do módulo Record.	43
Figura 23. Entrada de dados do módulo Dispose.....	44
Figura 24. Entrada de dados do módulo Dispose.....	45
Figura 25. Entrada dos dados no módulo Queue – Basic Process.....	46
Figura 26. Entrada de dados do módulo Resource	46
Figura 27. Entrada de dados do módulo Sequence	47
Figura 28. Entrada de dados do módulo Advanced Process	47
Figura 29. Entrada de dados do módulo Expression.....	47
Figura 30. Entrada de dados no controle de execução Run Setup.....	48
Figura 31. Representação gráfica do cromossomo utilizado nesta dissertação	49
Figura 32. Representação gráfica da função do ActiveX.....	53
Figura 33. Gráfico do número de observações por projetos das distribuições de probabilidades, considerando a alocação de cada RHE.	56

Figura 34. Gráfico do tempo médio para realização de um único projeto nos trinta testes realizados com o modelo de otimização.....	60
Figura 35. Diagrama com as alocações dos RHE determinadas pelo modelo de otimização.....	61
Figura 36. Diagrama do sequenciamento das alocações de recursos presentes na figura 4.3.1.....	62
Figura 37. Gráfico dos tempos de processamento do modelo em cada teste.	64
Figura 38. Gráfico da taxa de ocupação (em horas) por projeto para o modelo com oito cenários.....	66
Figura 39. Histograma dos dados coletados na empresa, sobre a alocação dos RHE por dia (em horas) trabalhado, para realizar o projeto 3, entre os anos de 2014 e 2015.....	66
Figura 40. Histograma da otimização da alocação dos RHE, realizado pelo modelo de simulação com FIFO, para realizar o projeto 3, entre os anos de 2014 e 2015.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índices da formulação matemática do PIARST	12
Tabela 2. Parâmetros da formulação matemática do PIARST	13
Tabela 3. Variáveis da formulação matemática do PIARST	13
Tabela 4. Formulação matemática para o PIARST	14
Tabela 5. Exemplo de áreas que aplicam o PIARST para otimização de trabalhos, processos e sistemas.....	17
Tabela 6. Critério para seleção dos projetos.	25
Tabela 7. Recursos Humanos Especialistas utilizados para parametrizar o modelo de simulação.....	26
Tabela 8. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Create.	37
Tabela 9. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Assign.	39
Tabela 10. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Station.....	40
Tabela 11. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Process.....	42
Tabela 12. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Route.	43
Tabela 13. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Record.	44
Tabela 14. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Dispose.....	44
Tabela 15. Módulos de dados utilizados na construção do modelo.	45
Tabela 16. Resumo do código VBA implantado no software de simulação.	51
Tabela 17. Tempo médio para realização de cada projeto em um dia de trabalho.....	54
Tabela 18. Cenários possíveis para o projeto 1 e o tempo que cada recurso gasta para realizar as respectivas atividades em horas	57
Tabela 19. Resultados no software de simulação e dados históricos resumidos estatisticamente no software Excel em horas.....	58
Tabela 20. Teste estatístico para identificar diferença entre os grupos, nos testes realizados	59
Tabela 21. Comparação entre o Teste 4 e demais testes, em relação ao tempo para realização dos projetos e total de recursos alocados.....	60
Tabela 22. Configuração do computador utilizado para executar o modelo.....	63
Tabela 23. Tempo médio (em segundos) de processamento do modelo de otimização em segundos	64
Tabela 24. Tempo médio (em segundos) de processamento do computador para o modelo de otimização nos testes com o modelo reduzido e completo	65
Tabela 25. Desempenho do modelo de otimização considerando o tempo médio para realização dos projetos e o makespan do sistema, de acordo com o tipo de atribuição para os RHE.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Algoritmos Genéticos
CV	Coeficiente de Variação
EC	Economia Criativa
FIFO	<i>First to In First to Out</i>
JSP	<i>Job Shop Problem</i>
PAE	Problema de Alocação de Equipes
PIB	Produto Interno Bruto
PC	Produtos Criativos
PETRR	Problema de Escalonamento de Tarefas com Restrição de Recursos
PIARST	Problema Integrado de Alocação de Recursos e Sequenciamento de Tarefas
RH	Recursos Humanos
RHE	Recursos Humanos Especialistas
T	número de transações.
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ECONOMIA CRIATIVA MUNDIAL	2
1.2	OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS NAS INDÚSTRIAS CRIATIVAS	2
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	3
1.4	JUSTIFICATIVA	3
1.5	OBJETIVOS	4
1.5.1	<i>Objetivo Geral</i>	4
1.5.2	<i>Objetivos Específicos</i>	4
1.6	CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DO TRABALHO	5
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1	DEFINIÇÃO DA ECONOMIA CRIATIVA	6
2.2	RECURSOS HUMANOS ESPECIALISTAS	9
2.3	PROBLEMA INTEGRADO DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS E SEQUENCIAMENTO DE TAREFAS (PIARST)	10
2.3.1	<i>Definição do Problema PIARST</i>	10
2.3.2	<i>Representação gráfica do PIARST</i>	11
2.3.3	<i>Formulação matemática do PIARST</i>	12
2.3.4	<i>Revisão da literatura sobre o PIARST</i>	17
2.4	MÉTODOS HEURÍSTICOS EM PLANEJAMENTO DE TAREFAS COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS	21
3	MODELO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO	23
3.1	LEVANTAMENTO DO PROBLEMA DA PESQUISA	24
3.2	DESENVOLVIMENTO DO MODELO CONCEITUAL	26
3.3	DESCRÍÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO NO ARENA®	32
3.3.1	<i>Construção do fluxograma do modelo de simulação</i>	32
3.4	DESCRÍÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	49
3.5	ACOPLAMENTO ENTRE O MODELO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO	51
4	RESULTADOS	54
4.1	RESUMO ESTATÍSTICO DOS DADOS	54
4.2	RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DO MODELO	58
4.3	RESULTADOS PARA O MODELO DE PIARST	59
4.4	DESEMPENHO COMPUTACIONAL DURANTE OS TESTES	63
4.5	RESULTADOS PARA ATRIBUIÇÃO POR FIFO	65
4.6	COMPARAÇÃO ENTRE ATRIBUIÇÃO POR ORDEM DE PRIORIDADE E POR ORDEM DE CHEGADA	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÊNDICES	77
	APÊNDICE A – VALORES DAS EXPRESSÕES DE PROBABILIDADE PARA CADA UM DOS VINTE PROJETOS, CONSIDERANDO CADA UM DOS SETE RHE	77

APÊNDICE B – VALORES DAS EXPRESSÕES SEM ALEATORIEDADE PARA CADA UM DOS VINTE PROJETOS, CONSIDERANDO CADA UM DOS SETE RHE, UTILIZADAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO	78
APÊNDICE C – LISTAS DO ALGORITMO GENÉTICO NOS TESTES REALIZADOS PARA O MODELO DE ATRIBUIÇÃO POR PRIORIDADE	79
APÊNDICE D – LISTAS DO ALGORITMO GENÉTICO NOS TESTES REALIZADOS PARA O MODELO DE ATRIBUIÇÃO POR FIFO.....	80
ANEXOS	81
APÊNDICE A – CÓDIGO VBA UTILIZADO NO MODELO.....	81

1 INTRODUÇÃO

Segundo Camalionte e Fontes (2011), em um cenário econômico globalizado em que a disputa comercial é cada vez maior, a busca e a análise de dados de forma rápida e que possam ser utilizados na tomada decisão torna-se um diferencial competitivo e tem um papel fundamental na estratégia das organizações.

De acordo com Pochmann (2015), em consequência às novas exigências de mercado, seja em resposta a competitividade ou exigências do ambiente internacional, a economia brasileira tem passado por mudanças profundas que se intensificaram a partir de 2015, nas quais se destacam: (1) queda na demanda por mão de obra e aumento na oferta de mão de obra em 1,3%, nos sete primeiros meses de 2015; (2) crescimento na taxa de desemprego para as mulheres em 43,3% e para os homens em 40,4%, nos sete primeiros meses de 2015; (3) competição global mais intensa; (4) automatização no sistema de manufatura; (5) busca por um sistema de fabricação mais produtivo e (6) flexibilidade, atendendo de forma rápida as demandas de mercado, fazendo apenas o necessário e na quantidade exata.

Todavia, no caso das empresas que tem como principal produto o capital intelectual, torna-se difícil reduzir o quadro de funcionários e ao mesmo tempo ser mais produtivo sem perder qualidade. Por essa razão, compreender as principais características do sistema, em relação ao tempo para execução de cada projeto, é fundamental para auxiliar a empresa e aumentar o valor econômico dos seus produtos.

Segundo Serra e Fernandez (2014), as empresas que dependem quase que exclusivamente do capital intelectual estão inseridas dentro de uma nova economia, a Economia Criativa (EC), que pode ser definida como o conjunto de negócios intensivos em conhecimento, baseados no capital intelectual, cultural e na criatividade de forma a ser gerado valor econômico e social tanto para as organizações quanto para a comunidade em que estas empresas estão inseridas.

1.1 ECONOMIA CRIATIVA MUNDIAL

Apesar de ter surgido na Austrália, foi na Inglaterra que a Economia Criativa se consolidou com a adoção de políticas públicas voltadas à sua promoção econômica, o que culminou no crescimento das atividades criativas em 6% ao ano, entre 1997 a 2014, bem acima da média da economia local que era de 4,3% ao ano (DCMS, 2016).

Saromenho (2016), afirma que nesta nova economia a informação utilizada de forma estratégica, de maneira a melhorar as ações, produtos, serviços, custos, investimentos entre outros, se tornou matéria-prima responsável pelas tomadas de decisão que influenciam no processo de inovação. No entanto, a obtenção da informação estratégica é algo difícil devido à complexidade oriunda das forças externas e dinâmicas do ambiente.

Presentes no Brasil desde 2004 a Indústria Criativa foi responsável até 2013, por gerar quase 900 mil empregos formais e nesse período registrou uma alta superior a 90%, bem acima do avanço do restante do mercado de trabalho nacional que era de 56% (PORTAL BRASIL, 2013).

1.2 OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS NAS INDÚSTRIAS CRIATIVAS

A otimização de recursos é um dos principais fatores para o sucesso das empresas focadas no capital intelectual, pois, na sua maioria, o valor econômico dos produtos está diretamente relacionado com a forma que esses recursos são atribuídos aos respectivos projetos, sejam recursos materiais, econômicos ou humanos. No entanto, uma das principais dificuldades está em analisar a variação do tempo que cada recurso emprega na execução de cada projeto. Assim, uma das alternativas é tratar a gestão do tempo de forma dinâmica, em que cada recurso humano possui um tempo específico para realizar cada um dos projetos que foi designado.

Esse problema de otimização de recursos humanos torna-se ainda mais difícil de ser abordado quando há concorrência de recursos entre vários projetos. Dessa forma, além de determinar a alocação dos recursos com base no tempo de execução dos projetos, deve-se ainda considerar em qual ordem esses recursos devem atender cada um deles.

Sendo assim possível conseguir a distribuição desses recursos, com o menor tempo para realizar todos os projetos simultaneamente com base nas restrições impostas no modelo.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O Modelo de Simulação e Otimização proposto neste trabalho consegue determinar quais os recursos devem ser alocados para cada projeto e ao mesmo tempo determinar em qual ordem os recursos devem atendê-los, de forma a determinar os cenários que retornam o menor tempo para realizar todos os projetos?

1.4 JUSTIFICATIVA

Os novos modelos de negócios, os quais tem como principal produto o capital humano tem constantemente buscado por soluções que permitam melhorar a gestão do seu maior diferencial competitivo, os recursos humanos especialistas.

Os produtos intangíveis, característica marcante dos negócios focados no capital intelectual e gestão do conhecimento humano, necessitam de uma abordagem de gestão diferente dos modelos tradicionais. Dentre as várias preocupações para a criação de novos modelos pode-se destacar a necessidade de mensurar o tempo de execução dos agentes criativos (recursos humanos especialistas) e a precificação desse tipo de produto que, segundo Madeira (2014) não representa a maturidade do setor.

De acordo com Kusters e Ponsteen (2014), a vantagem da utilização dos métodos heurísticos no problema de alocação de recursos humanos é que esse pode ser aplicado em problemas complexos. Dessa forma, apesar de já existirem várias ferramentas que tratam do problema de alocação de recursos humanos e sequenciamento de tarefas, a carência de material na literatura que trate do problema integrado de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas justifica a realização deste trabalho.

Desde o modelo matemático desenvolvido na primeira fase da Administração Científica por Frederick Taylor (MAXIMIANO, 2008), sobre a gestão do tempo na linha de produção aos novos modelos de simulação e otimização, ainda não há um modelo que consiga representar com fidedignidade um sistema dinâmico, considerando todas as variáveis relevantes ao perfeito funcionamento de um sistema regido por recursos humanos.

Assim, a contribuição deste trabalho torna-se significativa, pois permite a criação de uma ferramenta eficiente em um ambiente dinâmico e de constantes mudanças, de forma a auxiliar no processo de determinar os cenários que otimizam a alocação dos recursos humanos especialistas.

1.5 OBJETIVOS

De acordo com a proposta desta dissertação, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um modelo de simulação computacional e otimização para determinar simultaneamente os menores tempos para realização dos projetos, tendo como critérios as alocações dos RHE em cada projeto e a respectiva sequência de atendimento.

1.5.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a. Identificar a taxa de ocupação de cada recurso por projeto.
- b. Simular computacionalmente o funcionamento do sistema de um departamento de inteligência mercado em uma determinada indústria criativa.
- c. Determinar os cenários que otimizam o sistema considerando a alocação de recursos e sequenciamento das tarefas.

1.6 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DO TRABALHO

Para o respectivo estudo de caso foi adotada a técnica de simulação computacional e como tipologia metodológica a pesquisa quantitativa axiomática. A escolha da abordagem do problema pela simulação computacional se justifica, pois poderá gerar resultados superiores conforme se incrementar o número de variáveis no modelo, fazendo com que o estudo com análises puramente matemática não consiga gerar resultados satisfatório em um tempo computacional reduzido.

A investigação por intermédio de um estudo de caso, de acordo com Miguel (2012), possibilita amplo e detalhado conhecimento sobre o fenômeno estudado, inclusive, permite a generalização para outros casos, desenvolvimento de novas teorias e entendimento sobre eventos reais e contemporâneos.

Ainda de acordo com o autor, a utilização de pesquisa axiomática quantitativa em estudo de casos permite produzir conhecimento sobre determinadas variáveis do modelo, tendo como referência o comportamento de outras variáveis em questão.

Bertrand e Fransoo (2002), ressaltam que a utilização da pesquisa axiomática quantitativa é recomendada em situações em que o objetivo é obter soluções para o caso estudado e quando se usa como técnica para análise de dados a simulação computacional.

A construção do modelo de simulação e otimização utilizado nesta dissertação teve como referência o trabalho de Silva (2011), sobre simulação e otimização com regras heurísticas de sequenciamento em sistemas *job shop*, no qual foi utilizado a biblioteca de algoritmo genético GAlib, desenvolvida por Wall (1996), por ser de livre acesso, de código aberto e por ser amplamente referenciada.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, no primeiro capítulo são apresentados a introdução, problema de pesquisa, justificativa, objetivos, materiais, métodos e técnicas sobre o trabalho desenvolvido. No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico sobre os temas pertinentes a esta dissertação e que foram de fundamental importância para o desenvolvimento deste estudo de caso, tais como economia criativa e problemas de alocação e sequenciamento para RHE. O terceiro capítulo é reservado para discorrer sobre a construção do modelo matemático de simulação e otimização utilizado nesta pesquisa. No quarto e penúltimo capítulo é apresentado os resultados da pesquisa e no último capítulo as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico relativo aos temas abordados nesta dissertação e que são de fundamental importância para a compreensão do trabalho desenvolvido.

2.1 DEFINIÇÃO DA ECONOMIA CRIATIVA

Segundo Howlinks (2013), a criatividade por si só não tem valor econômico e precisa ser transformada em um produto comercializável. Com um mercado composto por vendedores e compradores, de acordo com diretrizes, leis e contratos com características próprias.

Azevedo; Barbosa, (2014), sugere que assim como em qualquer negócio os empreendimentos criativos também são afetados por forças internas e externas à organização. Sendo as que interagem diretamente em um ambiente mais restrito são os principais responsáveis pelo sucesso dos negócios: fornecedores, concorrentes, distribuidores, clientes, financiadores, formadores de opinião e outros. Essas forças podem ser divididas em forças econômicas, forças tecnológicas, forças sociais e forças políticas.

Dentre os diversos nichos de mercado explorados pela economia criativa certamente a internet é um dos mais promissores. Empreendedores criativos têm encontrado na tecnologia da informação (TI) e na internet o ambiente adequado para

começar a erguer negócios milionários, com pouco investimento financeiro. Nos quais podemos destacar alguns casos de sucesso (SAROMENHO, 2016):

- Bill Gates – junto com o empresário Paul Allen, foi responsável por fundar uma das maiores empresas desenvolvedoras de softwares, a Microsoft em 1975.
- Steve Jobs – responsável por fundar em 1976 a Apple Inc., uma empresa que começou suas atividades comerciais desenvolvendo computadores pessoais.
- Larry Page e Sergey Brin – fundaram em 1998 a empresa multinacional de serviços online Google, a qual foi considerada a segunda marca de maior valor de mercado (FORBES, 2016).
- Jeff Bezos – fundador da Amazon, empresa que começou suas atividades no ano de 1994 vendendo livros e hoje é uma das maiores empresas mundiais de comércio eletrônico.
- Mark Zuckerberg – fundador do Facebook, uma rede social fundada em 2004 que tem como principal produto a comercialização de espaços publicitários na sua plataforma e ocupa a quinta posição entre as empresas de maior valor de mercado (FORBES, 2016).

No Brasil também há grandes exemplos de empresas bem-sucedidas na economia criativa (SAROMENHO, 2016):

- Mercado Livre – empresa de tecnologia fundada em 1999 que oferece soluções de market place, solução de comércio eletrônico em que é disponibilizado a vários comerciantes espaços para venderem seus produtos mediante ao pagamento de uma taxa por produto vendido.
- Buscapé – fundada em 1999 pelos empresários Romero Rodrigues, Rodrigo Borges, Ronaldo Morita, Mario Letelier. Seu negócio é focado em comparar preços de produtos de diversos comerciantes na internet.
- Netshoes – empresa de comércio eletrônico de artigos esportivos, fundada em 2000 pelos empresários Marcio Kumruian e Hagop Chabab, os quais iniciaram as atividades da empresa com uma loja física na cidade de São Paulo, no Brasil, e logo viram na internet a possibilidade de alavancar os negócios da empresa. Atualmente a empresa tem centro de distribuições no Brasil, Argentina e México.

Saromenho (2016) considera como os mais promissores negócios focados para internet os que envolvem: (1) produção de conteúdo, seja através de vídeos, áudio ou textos; (2) redes sociais; (3) coaching de nicho (tipo de serviço em que profissionais através da internet dão conselhos e orientações, focalizando exclusivamente no desenvolvimento e autoestima); (4) criação de sites, visto que há um grande número de empresas que ainda não possuem presença na internet e também devido à grande evolução tecnológica muitas das plataformas antigas em que os sites foram desenvolvidos estão sendo substituídos, assim haverá uma demanda considerável por empresas que necessitem migrar para novas tecnologias; (5) market place, focados na venda de produtos criativos (pequenas invenções, objetos com design personalizado e artesanato) ou produtos não criativos e (6) gerenciamento de mídias sociais (serviço no qual consiste em administrar perfis corporativos ou pessoais nas redes sociais).

A EC está diretamente relacionada com as indústrias criativas, como, as agências de publicidade e cultural, onde é possível destacar: o cinema e o teatro. Atualmente o termo foi ampliado abrangendo uma gama de indústrias que produzem bens e serviços com foco em inovação tais como: a música, as indústrias relacionadas a arte, escrita, moda e design, mídia, bem como produção artesanal (BOCCELLA; SALERNO, 2016).

O crescente destaque que a EC tem tido no Brasil, despertou a atenção de órgãos públicos e instituições privadas e, com o objetivo de seguir os mesmos caminhos trilhados pelo Reino Unido, foi criada no Brasil a Secretaria de Economia Criativa no Ministério da Cultura. Além disso, de acordo com Serra e Fernandez (2014), há diversos esforços de aferição das atividades econômicas criativas de forma localizada, com o desenvolvimento de atividades preponderantes de arranjos regionais e parques tecnológicos.

Para Rodgers et al. (2015) o profissional criativo (arquiteto, designer, fotografo, etc.) tem importância econômica na indústria criativa como também nas indústrias manufatureiras. Assim é importante mensurar a contribuição desse profissional dentro e fora da indústria criativa e uma das formas é analisando a produtividade e inovação. Em relação a questão da inovação, segundo Rodgers et al. (2015) há poucos estudos que permitam examinar de forma qualitativa esses profissionais (BANKS, 2010; CHRISTOPHERSON, 2008; PANG, 2009; PEUTER, 2011).

Em relação a produtividade deste tipo de profissional é possível mensurar tendo como base a sua jornada de trabalho e total de atividades realizadas durante este período. Assim é possível avaliar a alocação desses profissionais em cada projeto e como devem ser distribuídas as atividades, de forma que os mesmos sejam capazes de realizar um número maior de tarefas.

2.2 RECURSOS HUMANOS ESPECIALISTAS

Os profissionais que trabalham diretamente com inteligência de negócios, analisando informações obtidas em projetos, de acordo com o código de ética sugerido pela SCIP (2016), são denominados recursos humanos especialistas.

Para Penha et. al. (2012) um dos fatores que relaciona diferentes projetos é a dotação limitada de recursos ordinários ou especialistas. Enquanto os recursos ordinários, máquinas e funcionários operacionais podem ser substituídos, (re) programados e ou (re) contratados com determinada facilidade, o maior desafio da organização ocorre quando diversos projetos competem por recursos humanos especializados, os quais podem ser relativamente caros, de difícil contratação ou substituição.

Segundo Maximiano (2008), Taylor, considerado o pai da Administração Científica, foi o primeiro a desenvolver estudo sobre a otimização de recursos humanos, através do estudo do tempo e movimento. Em 1895, Taylor apresentou o primeiro trabalho da administração científica: O sistema de pagamento por peça, no qual ele propôs um método que permitisse faturar mais por peças produzidas. Esse modelo consistia em procurar otimizar o tempo de fabricação das peças de forma que o valor da hora/homem fosse cada vez menor.

Influenciado por Taylor surgiram outros trabalhos: os Gilbreth, em 1909; com a publicação do livro *Bricklaying system* (Sistema de construção); Henry Gantt, em 1918 desenvolveu o diagrama de Gantt, um gráfico que permite mostrar o avanço de diferentes etapas de um projeto; e Hugo Munsterberg publicou em 1913 o livro *Psychology and Industrial*, trabalho que vinha a complementar o estudo de Taylor para identificar os trabalhadores mais capacitados.

2.3 PROBLEMA INTEGRADO DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS E SEQUENCIAMENTO DE TAREFAS (PIARST)

A seguir é apresentado a formulação para o PIARST e uma breve revisão da literatura sobre o problema em questão.

2.3.1 Definição do Problema PIARST

O problema integrado de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas pode ser tratado como um problema de alocação e concorrência de recursos em projetos associado ao *Job Shop Problem* (JSP) (PENHA *et al.*, 2014).

Segundo Penha *et al.* (2014), o problema JSP pode ser definido formalmente como um modelo conceitual, com um conjunto de m máquinas, um conjunto de n tarefas e um conjunto de l operações definidas para cada tarefa j , de otimização de fator combinatorial e de complexidade NP-completo, em que cada operação está associada a um recurso por um tempo determinado e uma vez iniciada a operação não pode ser interrompida.

O JSP pode ser representado pela notação $\alpha|\beta|\gamma$, utilizada para descrever problemas de programação de tarefas em diferentes ambientes, onde α representa a configuração das máquinas, β indica as características especiais das tarefas e dos recursos e γ define o critério de otimização utilizado.

Assim, o modelo pode ser descrito como $jm|n|C_{max}$ ao instante de término da última tarefa no ambiente, ou seja, minimizar o instante de término da última tarefa no ambiente *job shop* com “ m ” máquinas e “ n ” tarefas (MORALES, 2012).

De acordo com Morales (2012), a série de suposições particulares que constituem e facilitam a concepção e resolução do JSP podem ser descritos como:

Suposições referentes às tarefas:

- As tarefas devem ser determinadas no início do período de sequenciamento e devem estar disponíveis para serem processadas no instante zero.

- Há um roteiro sequencial de operações que cada tarefa deve seguir, em que cada operação, com exceção da primeira, tem uma única operação precedente.
- Cada operação tem um tempo específico para ser processada.

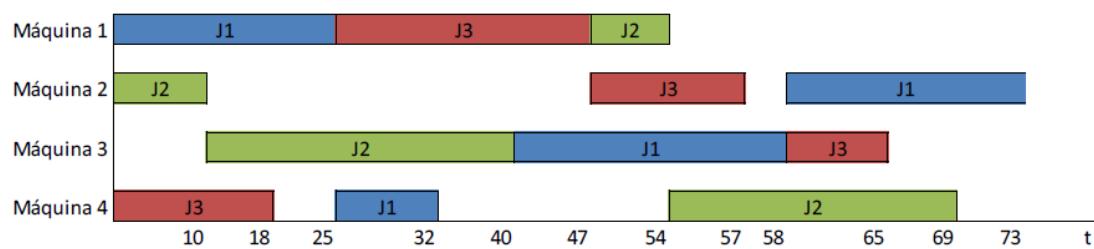
Suposições referentes as máquinas ou processos:

- Cada máquina está disponível de forma contínua por meio do processo de sequenciamento.
- Cada máquina só elabora uma tarefa por vez.
- Uma vez iniciada a operação não pode ser interrompida.
- Não existe limite de tarefas na fila antes ou depois de cada máquina.

2.3.2 Representação gráfica do PIARST

Uma visão gráfica e mais intuitiva no modelo representado na figura 1 pode ser obtida através da utilização do gráfico de Gantt, onde as máquinas são dispostas no eixo vertical e a escala do tempo no eixo horizontal, formando assim uma barra horizontal que representa cada tempo de processamento de cada operação em cada respectiva máquina.

Figura 1. Representação do PIARST ilustrada no Gráfico de Gantt.



Fonte: Morales (2012)

Como descrito nas suposições que constituem o JSP na representação do PIARST por meio do gráfico de Gantt, é possível observar que todas as tarefas têm roteiros diferentes, o que dificulta a otimização da produção em cada máquina e gera tempo ocioso na sequência da produção.

Em relação ao trabalho desenvolvido nesta dissertação, as tarefas representadas pela letra J refere-se a cada um dos projetos e as máquinas representam cada um dos RHE. Assim, o *makespan* pode ser determinado por meio do tempo final da última tarefa, que na representação pelo gráfico de Gantt seria igual a 73 unidades de tempo.

2.3.3 Formulação matemática do PIARST

Segundo Morales (2012), a formulação matemática permite que em problemas de otimização combinatória (como no caso do *JSP*) possa ser desenvolvido soluções metodológicas e sistemáticas através de recursos computacionais.

Existem dois grandes grupos de formulações dependendo de como o horizonte de tempo é considerado, conforme descritos a seguir:

- Formulações com horizonte de tempo discreto: onde o horizonte de tempo é dividido em períodos de tempo.
- Formulações com horizonte de tempo contínuo: onde o tempo é tratado sem divisões.

Nesta dissertação o PIARST, foi formulado considerando o horizonte de tempo de forma contínua e por tipo de designação (que se caracterizam por dividir o espaço de tempo de cada máquina em posições). E cada operação é estabelecida em uma única posição da sequência de cada uma delas.

Dessa forma o incremento do esforço computacional torna-se menor se comparado com modelos com horizonte de tempo discreto, tornando-o mais eficiente e efetivo (MORALES, 2012).

A seguir é apresentada a formulação matemática utilizada neste estudo, adaptada de Morales (2012):

Tabela 1. Índices da formulação matemática do PIARST.

n Número total de tarefas

m Número de máquinas

i Tarefa (*job*) *i*

k Máquina *k*

l Operação *l*

j Posição *j*

Tabela 2. Parâmetros da formulação matemática do PIARST.

p_{ik} Tempo de processamento da tarefa *i* na máquina *k*

Se a operação *l* da tarefa *i* requer a máquina *k*; observe que

$$r_{ilk} \quad \sum_{k=1}^m r_{ilk} = 1 \quad \forall i \forall l$$

M Número grande

Tabela 3. Variáveis da formulação matemática do PIARST.

h_{jk} Instante de início da tarefa na posição *j* na sequência da máquina *k*

S_{ik} Instante de início da tarefa *i* na máquina *k*

Tempo ocioso da máquina *k* entre o instante de início da produção

I_{1k} e o instante de início da primeira tarefa na primeira posição na máquina *k*.

I_{jk} Tempo ocioso da máquina *k* entre o instante de término da tarefa na posição (*j* – 1) da sequência e o instante de início da tarefa na posição *j* para *j* = 2,3, ... *m*

c_{max} makespan

X_{ijk} $\begin{cases} 1 & \text{1, se a tarefa } i \text{ é sequenciada na posição } j \text{ na máquina } k \\ 0 & \text{0, caso contrário} \end{cases}$

Z_{iuk} $\begin{cases} 1 & \text{1, se a tarefa } i \text{ precede a tarefa } u \text{ na máquina } k \\ 0 & \text{0, caso contrário} \end{cases}$

Segundo Morales (2012), este tipo de formulação foi proposto inicialmente por Wagner (1959) e apresenta quatro particularidades importantes que de forma análoga podem ser consideradas nesta dissertação como:

1. Designação das tarefas (cada projeto realizado por cada RHE) nas suas respectivas posições.
2. Definição do instante de início da produção.
3. Existência de tempo ocioso entre posições consecutivas em cada máquina (cada RHE).
4. Definição do instante de cada tarefa em cada posição na máquina.

Traduzindo essas particularidades em restrições do modelo tem-se:

Tabela 4. Formulação matemática para o PIARST.

$$\text{minimizar } C_{max} \quad (2)$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^n X_{ijk} = 1 \quad \begin{matrix} i = 1,2, \dots, n \\ k = 1,2, \dots, m \end{matrix} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ijk} = 1 \quad \begin{matrix} j = 1,2, \dots, n \\ k = 1,2, \dots, m \end{matrix} \quad (4)$$

$$h_{1k} = I_{1k} \quad k = 1,2, \dots, m \quad (5)$$

$$h_{jk} = \sum_{t=1}^j I_{tk} + \sum_{t=1}^{j-1} \sum_{i=1}^n p_{ik} X_{itk} \quad \begin{matrix} j = 2,3, \dots, n \\ k = 1,2, \dots, m \end{matrix} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m r_{ilk}(h_{jk} + p_{ik}) &\leq \sum_{k=1}^m r_{i,l+1,k} h_{wk} + \\ &+ M(1 - \sum_{k=1}^m r_{ilk} X_{ijk}) + M(1 - \sum_{k=1}^m r_{i,l+1,k} X_{iwk}) \end{aligned} \quad \begin{matrix} i,j,w = 1,2, \dots, n; \\ l = 1,2, \dots, m-1 \end{matrix} \quad (7)$$

$$h_{nk} + \sum_{i=1}^n p_{ik} X_{ink} \leq C_{max} \quad k = 1,2, \dots, m \quad (8)$$

$$h_{jk}, I_{jk} \geq 0 \quad \begin{matrix} j = 1,2, \dots, n \\ k = 1,2, \dots, m \end{matrix} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} X_{ijk} &= 0 \text{ ou } 1 \quad \begin{matrix} i = 1,2, \dots, n \\ j = 1,2, \dots, n \\ k = 1,2, \dots, m \end{matrix} \quad (10) \end{aligned}$$

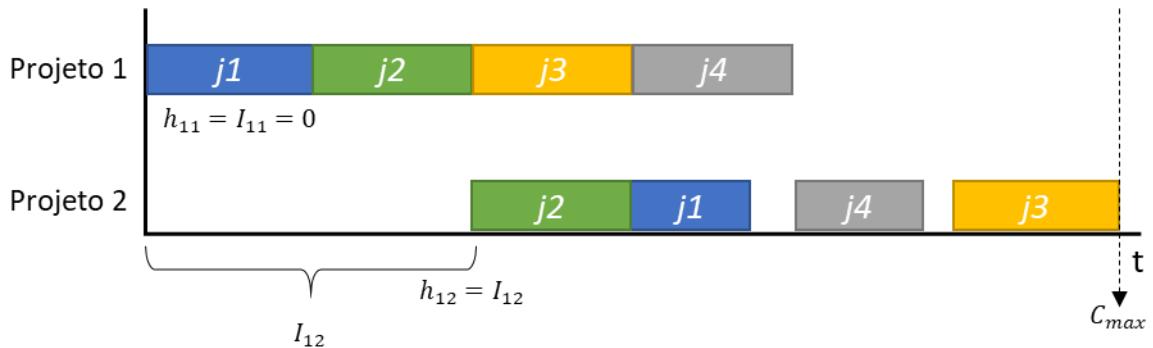
A restrição (2) representa o objetivo proposto pelo modelo que é de encontrar o menor valor para o *makespan*, como será explanado nos capítulos referente a construção do modelo e resultados obtidos.

A de número (3) estabelece que cada tarefa só pode ser executada uma única vez por cada RHE.

Na restrição (4) é assegura a condição de que cada posição só pode conter uma tarefa por projeto.

A restrição de número (5), indica que o instante inicial de cada tarefa na primeira posição em um determinado projeto seja igual ao tempo ocioso do início do funcionamento do sistema e o início da primeira tarefa na primeira posição, como pode ser observado na figura 2.

Figura 2. Exemplo do conjunto de restrições (5)

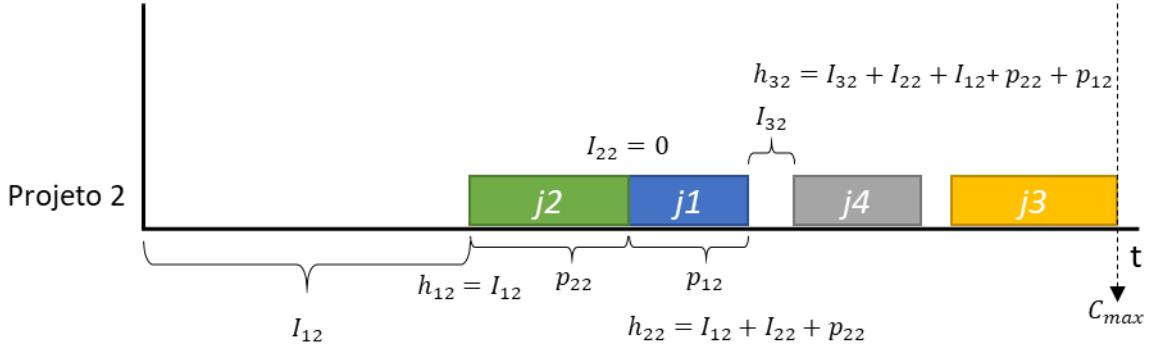


Fonte: Adaptado de Morales (2012)

Ao representar o PIARST, na figura 2 por meio do funcionamento de um sistema com dois projetos é possível observar que no instante zero de produção não há tempo ocioso de início da posição (h_{11}), enquanto no projeto 2 a primeira tarefa só se inicia após o tempo ocioso I_{12} .

A restrição de número (6) determina que o instante inicial de uma posição em um projeto, seja igual à soma dos tempos ociosos, desde o início da produção até a posição a ser avaliada, mais o total dos tempos de processamento de todas as tarefas alocadas nas posições anteriores. Conforme pode ser exemplificado na figura 2 (Morales, 2012).

Figura 3. Exemplo do conjunto de restrições (6)

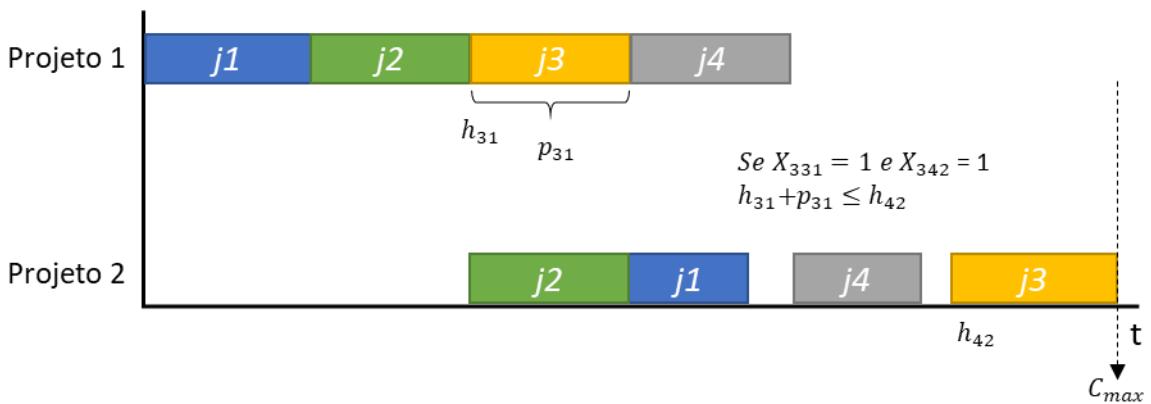


Fonte: Adaptado de Morales (2012)

Na figura 3, o instante em que a tarefa na posição 2 (h_{22}) se inicia é equivalente ao tempo ocioso entre o início da produção e o instante inicial da primeira posição no projeto (I_{12}), mais o tempo de ociosidade compreendido entre a posição anterior e a avaliada (I_{22}), mais o tempo para realizar a tarefa na posição anterior (p_{22}).

A restrição (7) estabelece que não pode haver duas tarefas sendo realizadas ao mesmo tempo em um mesmo projeto, ou seja, o início de processamento da operação $I + 1$ da tarefa i na posição w no respectivo projeto só pode ser iniciado quando finalizar a operação I na posição j . Observa-se que, de acordo com esta restrição, quando $X_{ijk_1} = 1$ e $X_{iwk_2} = 1$ se terá $h_{jk_1} + p_{ik_1} \leq h_{wk_2}$, de forma a garantir que a posição w só inicie após o término de processamento da posição j , como pode ser visto na exemplificação na figura 4.

Figura 4. Exemplo do conjunto de restrições (6)



Fonte: Adaptado de Morales (2012)

Na figura 4, quando $X_{331} = 1$ e $X_{342} = 1$ o momento inicial na posição $j4$ no projeto 2 (h_{42}) que corresponde a operação $I + 1$ da tarefa $j3$ é igual ou maior que o

instante de início de j_3 no projeto 1 (h_{31}) correspondente a operação I da tarefa j_3 , mais o seu tempo de processamento (p_{31}), dessa forma há garantia que não ocorra sobreposição de operações na respectiva tarefa (MORALES, 2012).

Por fim, a restrição de número (8) determina o instante de término de todas as tarefas em todas as posições de cada projeto e considerando o início da primeira tarefa até a finalização do último projeto tem-se o valor do *makespan* do sistema. Já as restrições (9) e (10) estabelecem as variáveis como sendo não negativas e binárias respectivamente (MORALES, 2012).

2.3.4 Revisão da literatura sobre o PIARST

Considerando o problema de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas de forma integrada é possível observar na literatura uma limitação de material, no entanto devido a sua importância vem sendo realizadas pesquisas em diversas áreas do conhecimento, tais como engenharias, saúde e inteligência computacional (tabela 5).

Tabela 5. Exemplo de áreas que aplicam o PIARST para otimização de trabalhos, processos e sistemas.

ÁREAS	REFERÊNCIAS
Engenharia de Produção	<ul style="list-style-type: none"> • Alves et al. (2016). • Fuchigami e Rangel (2014). • Gordon; Strusevich; Dolgui (2011).
Saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Weng et al (2013). • Jerić; Figueira (2012).
Inteligência Computacional	<ul style="list-style-type: none"> • Benoit et al (2015). • Yedidson (2012) • Lombardi et al (2010). • Tchernykh et al (2010).

Fonte: elaborado pelo autor

Além dos autores presentes na tabela 5, pode-se destacar inúmeros outros trabalhos, entre eles a pesquisa de Vieira et al. (2015), que abordou o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos, em um estudo de caso em uma fábrica automotiva, aplicando um modelo de “Programação Linear Inteira Misto”. Diferente do que é proposto nesta dissertação, onde o modelo está sendo aplicado para resolver simultaneamente o PIARST, para diversos projetos (vinte no total), o autor aplicou o modelo para minimizar a duração total de apenas um projeto.

Para Cabanillas et al. (2013), os sistemas de gestão de processos para negócios são cada vez mais utilizados no setor de serviços e, normalmente, são definidos por controle de fluxo, processamento de dados, envolvimento de recursos automáticos e serviços prestados por recursos humanos, estes últimos fundamentais para o desempenho do trabalho.

O autor, ainda contribuiu para o estudo integrado de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas, (1) definindo conceitualmente como priorizar a alocação de recursos por preferências e (2) propondo uma maneira pela qual as mesmas podem ser definidas sobre os recursos, de modo que um ranking de prioridade possa ser gerado automaticamente.

Rocha (2011), tratou o problema de alocação de equipes e escalonamento de tarefas para a obtenção de cronogramas eficientes com uma modelagem que utiliza como técnica de otimização algoritmo genético, que permite encontrar boas soluções num tempo aceitável. O problema de pesquisa abordado pelo autor, é em relação ao planejamento de cronograma considerando o Problema de Alocação de Equipes (PAE) e o Problema de Escalonamento de Tarefas com Restrição de Recursos (PETRR).

O mesmo autor, apresenta em seu estudo que ao tratar o PAE e o PETRR de forma integrada, devido ao total de permutações possíveis, fica inviável encontrar a solução ótima com métodos exatos em um tempo computacional aceitável. Assim, o mesmo usou técnicas heurísticas para encontrar boas soluções, o que tornou possível ser aplicado comercialmente para a gestão dos projetos de engenharia de *software*.

Yu e Buyya (2006), aplicaram um modelo de otimização com o objetivo de determinar as melhores alocações para cada tarefa, a um *slot* de serviço com tempo disponível capaz de executar a tarefa e ao mesmo tempo sequenciar os prazos, que

consistem em mapear o conjunto de tarefas para um conjunto de serviços apropriados. Visando minimizar os custos de execução e completa-lo dentro do prazo e orçamento disponível.

Para a construção do modelo de otimização os autores utilizaram algoritmo genético com heurística de sequenciamento. Ao contrário do que fora proposto pelos autores o modelo exposto nesta dissertação, não leva em consideração o custo dos diferentes RHE em cada projeto, considera apenas a alocação dos recursos e sequenciamento de tarefas, visando encontrar uma solução que retorne um menor tempo para execução dos projetos, o que não necessariamente representa o menor custo.

Vieira, Carvalho e Pinto (2007), estudaram o problema de sequenciamento de atividades e alocação de recursos limitados, em projetos de forma integrada, por meio da formulação do modelo de programação linear, considerando os tempos para a realização das tarefas como constantes. Contrário ao que é proposto neste trabalho, onde é possível observar que os tempos para execução das tarefas variam de acordo com cada RHE e cada projeto.

Os autores trataram o problema considerando conceitos de *Job Shop*, em que os tempos de processamento e as quantidades de recursos são variáveis, contínuas e consistem na obtenção dos melhores tempos para realização das tarefas conforme a alocação dos recursos disponíveis. Como resultado, após a implantação do modelo desenvolvido pelos autores, a solução ótima possibilitou identificar a data que minimiza o tempo para realização do projeto estudado, bem como o total de recursos necessários para serem alocados e os tempos de execução para a realização das atividades.

Carrapa (2003), mostrou como utilizar métodos de otimização com heurísticas construtivas associadas a modelos matemáticos para reconstruir os planos de escalas em hospital, quando algum imprevisto surge e impede que algumas enfermeiras possam realizar suas obrigações.

A autora divide o seu trabalho em duas fases, na primeira: trata os problemas designados como *staffing* e *allocation*. *Staffing* é o número total de trabalhadores necessários para realizar uma tarefa e *allocation*, a alocação desses trabalhadores por departamento ou serviço). Na segunda fase, a autora trata os problemas

designados por *scheduling* e *rostering*, correspondendo à sequenciação de tempo de trabalho, folgas e atribuição das escalas dos trabalhadores.

Como métodos de avaliação do modelo a autora utilizou-se do CPLEX e diferentes métodos heurísticos com a resolução de problemas similares que se utilizaram apenas de programação linear inteira, usando o CPLEX e os resultados foram relevantes.

Por sua vez, Rothstein (1973) utilizou um modelo matemático para resolver de forma sistemática a alocação de mão de obra nas operações de limpeza hospitalar. O método proposto, utilizou técnicas de programação linear para medir as consequências de vários tipos de restrições hospitalares.

De forma geral, é possível identificar os seguintes tipos de abordagens para o tratamento do problema de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas: (1) métodos exatos; (2) métodos heurísticos; (3) métodos exatos associados a métodos heurísticos.

Para problemas em que o objetivo é apenas tratar a alocação dos recursos os métodos exatos obtiveram bons resultados, na sua maioria obtendo a solução ótima. Já para os problemas que envolvem o sequenciamento de tarefas os métodos heurísticos são mais relevantes, pois permitem encontrar resultados satisfatórios em um tempo computacionalmente aceitável, o que possibilita ser utilizado dentro das organizações na tomada de decisão. Por fim, para problemas mais complexos, os denominados *np-hard* alguns autores utilizam a associação de mais de um método, geralmente modelos matemáticos aplicados por meio de simulação computacional, o que permitem representar o funcionamento do sistema e os métodos heurísticos para otimizar os respectivos sistemas.

O modelo proposto por essa dissertação, pode ser considerado como equivalente a execução da segunda fase do trabalho desenvolvido por Carrapa (2003), em que *scheduling*, diz respeito ao sequenciamento das tarefas a serem executadas pelos RHE e *rostering* equivale ao problema de alocação, que é determinado para quais projetos os RHE devem ser alocados.

2.4 MÉTODOS HEURÍSTICOS EM PLANEJAMENTO DE TAREFAS COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS

A utilização de métodos heurísticos, acoplados em softwares de simulação, são fundamentais para ter uma melhor compreensão do sistema, pois esse tipo de softwares apenas mostram o seu funcionamento de acordo com variáveis preestabelecidas. Identificando taxas de ociosidade, ocupação, número de atendimentos e recursos não atendidos. Estes softwares permitem apontar os cenários que maximizam a utilização dos recursos, melhorando a análise para tomada de decisão.

Segundo Moreno *et. al* (2006), as heurísticas mais utilizadas para solucionar o problema integrado de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas são: Busca Tabu, Grasp e Algoritmo Genético.

Algoritmos genéticos (AG) são uma ramificação de algoritmos evolutivos que, segundo Linden (2012), são métodos heurísticos de otimização global, tendo como finalidade determinar os valores máximos e mínimos de uma função objetivo. E podem ser estabelecidos como, um método de busca fundamentada numa metáfora do processo natural de evolução que funcionam mantendo uma população estruturada, denominadas indivíduos ou cromossomos.

Os parâmetros mais importantes a serem definidos no AG são: o tamanho populacional e número de gerações (os quais são determinados de acordo com a complexidade do problema), o espaço de busca e a otimização do sistema. Nesse processo é utilizado uma designação das particularidades de cada indivíduo como solução do respectivo problema, denominada avaliação. Neste cenário as melhores soluções permanecem e as piores são descartadas, ou seja, os mais aptos sobrevivem.

No caso desta pesquisa a avaliação realizada pelo AG é a prioridade de atribuição definida pelo modelo de simulação, onde as que detém valor mais baixo serão utilizadas no processo de otimização e as mais altas serão inicialmente descartadas.

As soluções que não foram descartadas são novamente combinadas a fim de gerar novas soluções, com características melhores do que as anteriores. Esse processo é realizado diversas vezes pelo algoritmo até que se tenha passado o total de interações preestabelecidas ou que se tenha obtido uma solução satisfatória.

Linden (2012), ressalta que os algoritmos evolucionários, como, o algoritmo genético, devem ser utilizados para resolver problemas NP-completos, (tal como no problema integrado de alocação de recursos e sequenciamento de tarefas), em problemas incapazes de obter solução, ou quando se pretende encontrar uma boa solução para um problema real.

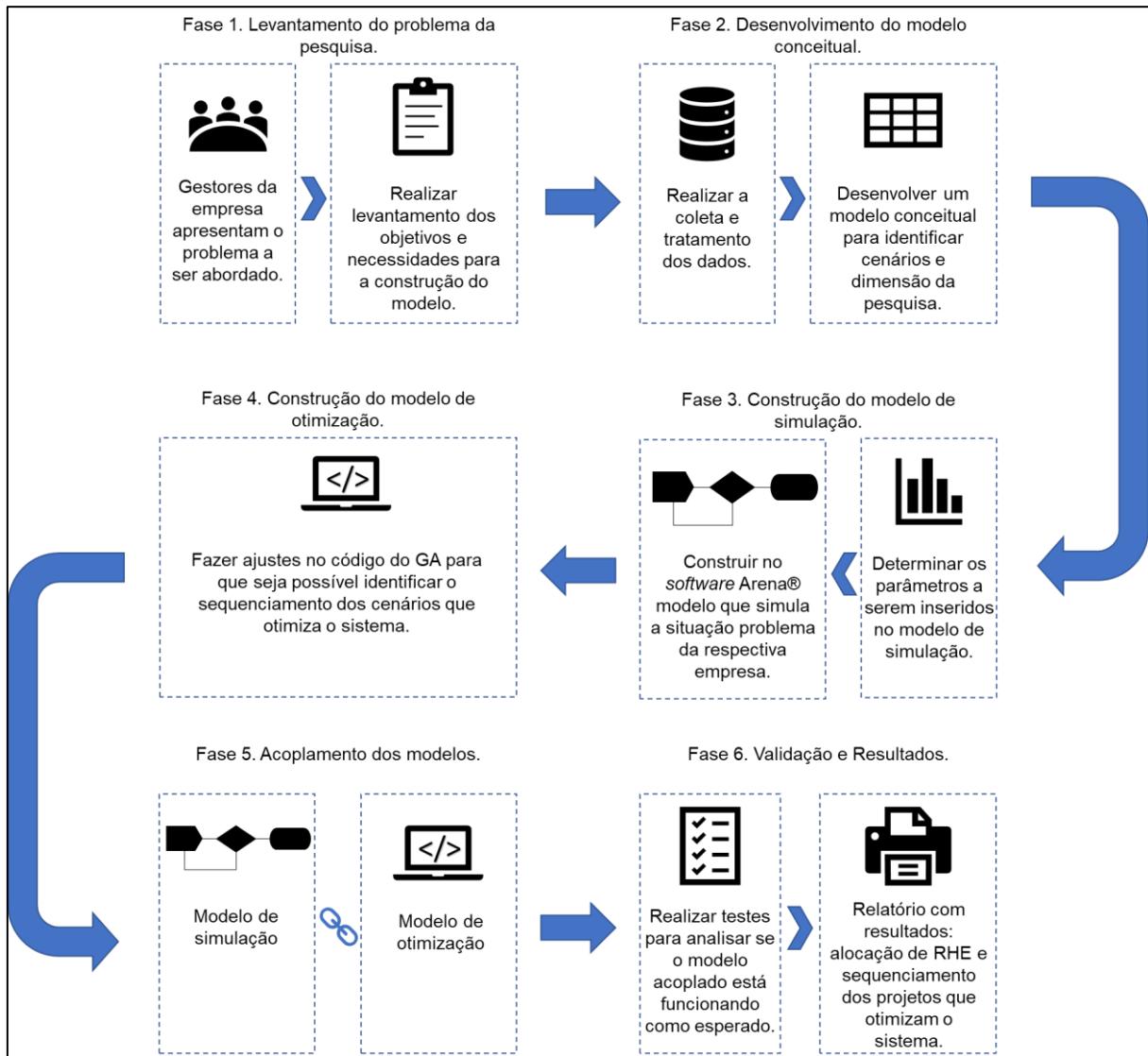
3 MODELO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

É apresentado neste capítulo a descrição geral de como o modelo foi desenvolvido partindo da identificação do problema, foi elaborada a construção conceitual para dar embasamento a pesquisa. Desta forma, foi possível, desenvolver a implementação do modelo de simulação e apresentar os pontos relevantes sobre o modelo de otimização com a utilização do algoritmo genético.

E para concretizar, foi realizado o acoplamento entre o modelo de simulação com o algoritmo, (este último responsável por determinar o sequenciamento de tarefas que otimizam o sistema).

Visando uma melhor compreensão do leitor sobre esse capítulo, é apresentado na figura 5 uma visão geral sobre a construção do modelo até a análise dos resultados, o que compõem de forma clara todas as etapas deste projeto de dissertação.

Figura 5. Etapas para a construção do modelo de simulação e otimização para o problema da alocação de RHE e Sequenciamento de Cenários.



Fonte: elaborado pelo autor

3.1 LEVANTAMENTO DO PROBLEMA DA PESQUISA

A primeira etapa na construção do modelo foi identificar junto aos gestores da empresa criativa (agência de publicidade) qual o problema a ser resolvido e quais as disponibilidades, em relação a tecnologia, que poderiam ser aplicadas para resolvê-lo.

Em uma reunião com a diretoria da empresa ficou estabelecido que a maior dificuldade enfrentada naquele momento era identificar o desempenho dos funcionários na realização das suas atividades, ou seja, quais funcionários (que nesta

dissertação são denominados como recursos humanos especialistas), realizavam suas atividades em um menor intervalo de tempo.

Requisitos fundamentais para melhorar o modelo de negócio da empresa:

1. Designar os funcionários com melhor desempenho para os projetos mais longos e complexos;
2. Determinar o lucro da empresa por funcionário;
3. Melhorar a precificação dos seus serviços;
4. Elaborar um plano de desenvolvimento e treinamento para os funcionários menos eficientes;
5. Ter uma ferramenta para tomada de decisão, ao invés de confiar apenas na experiência dos seus gestores.

Com o intuito de ter uma visão macro do problema foi proposto desenvolver primeiramente um modelo conceitual utilizando apenas o *software* Excel. Assim, o passo seguinte foi realizar a coleta e tratamento dos dados, referente o tempo médio que cada funcionário gasta por projeto.

Foram realizadas 360 observações durante o período de coleta, compreendido entre 01 de janeiro de 2014 a 30 de abril de 2015. E para a construção deste modelo, foi considerado os vinte projetos mais significativos (de um total de 259), ou, todos que atenderam os critérios de seleção (conforme descrito na tabela 6). Os recursos humanos especialistas alocados dentro destes, estão classificados de acordo com o cargo da própria empresa e foram categorizados para parametrização do modelo de acordo com as suas especialidades em sete recursos (conforme tabela 7).

Tabela 6. Critério para seleção dos projetos.

Critérios
1. Projetos cíclicos: com frequência mensal de entregas.
2. Projetos que apresentaram em seu desenvolvimento 5 ou mais RHE envolvidos.
3. Projetos com mais de 100 horas de trabalho.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 7. Recursos Humanos Especialistas utilizados para parametrizar o modelo de simulação.

Especialidades	Recursos
Gerente	Recurso 1
Supervisor	Recurso 2
Coordenador	Recurso 3
Analista Sênior	Recurso 4
Analista Pleno	Recurso 5
Analista Júnior	Recurso 6
Estagiário	Recurso 7

Fonte: Observações de campo – Agência de Publicidade

3.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO CONCEITUAL

Após a coleta e tratamento dos dados, a próxima etapa foi criar uma matriz contendo o tempo médio que cada RHE dispendia por projeto e o tempo total que cada projeto demandou do departamento de inteligência competitiva da agência de publicidade, de acordo com as suas respectivas distribuições de probabilidades.

Posto isto, foi necessário determinar o total de combinações possíveis entre os recursos dentro de um único projeto (conforme apresentado a seguir na figura 6). Com essas combinações foi possível definir o número total de cenários para cada projeto, os quais foram utilizados no modelo de otimização para a melhor alocação dos recursos.

Figura 6. Processo para determinar o total de cenários possíveis para cada projeto.

Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4	Combinação 5	Combinação 6	Combinação 7	Combinação 8
Gerente	Gerente	Gerente	Gerente	Supervisor	Coordenador	Supervisor	Coordenador
Estagiário	Estagiário	Analistas (Sr, Pl, Jr)	Analistas (Sr, Pl, Jr)	Estagiário	Estagiário	Analistas (Sr, Pl, Jr)	Analistas (Sr, Pl, Jr)
Analistas (Sr, Pl, Jr)	Analistas (Sr, Pl, Jr)	Supervisor	Coordenador	Analistas (Sr, Pl, Jr)			
Supervisor	Coordenador						

3 cenários 3 cenários

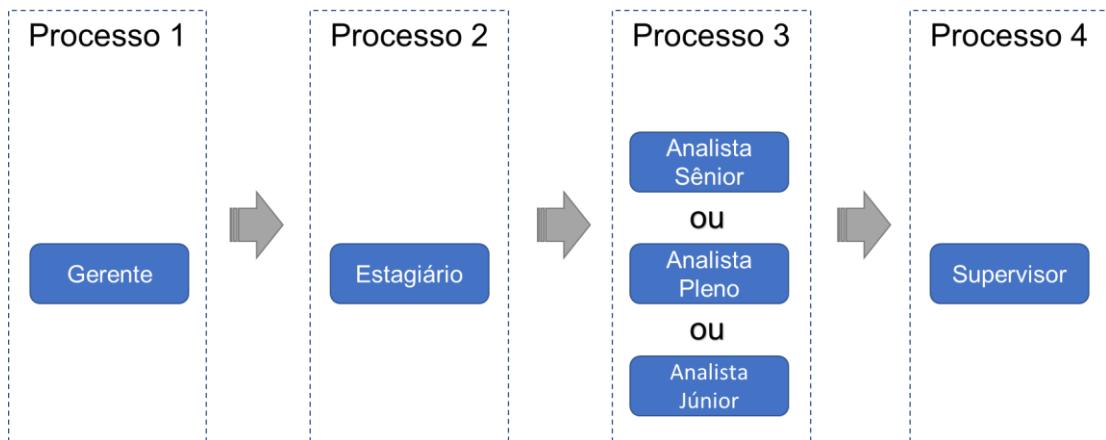
Fonte: elaborado pelo autor

Ao observar o total de combinações possíveis determinadas pela expressão 24²⁰ justifica-se a utilização de um método de otimização heurístico, visto que,

analisar todas as possibilidades, de forma a determinar efetivamente o sequenciamento dos cenários que otimiza a alocação dos recursos, levaria um tempo computacional considerável e seria impraticável comercialmente aplicar esse tipo de modelo. Assim, optou-se por encontrar soluções subótimas, mas que tragam em curto prazo uma melhora significativa para o funcionamento do sistema.

Ainda em relação a figura 6, as 8 combinações possíveis, foram obtidas de acordo com a regra de negócios da empresa em que obrigatoriamente a realização de cada projeto deve respeitar as sequências apresentadas. Assim, na combinação 1, quando forem alocados os recursos o modelo deve considerar a seguinte ordem:

Figura 7. Sequência dos recursos que um projeto deve seguir até ser finalizado na combinação 1.

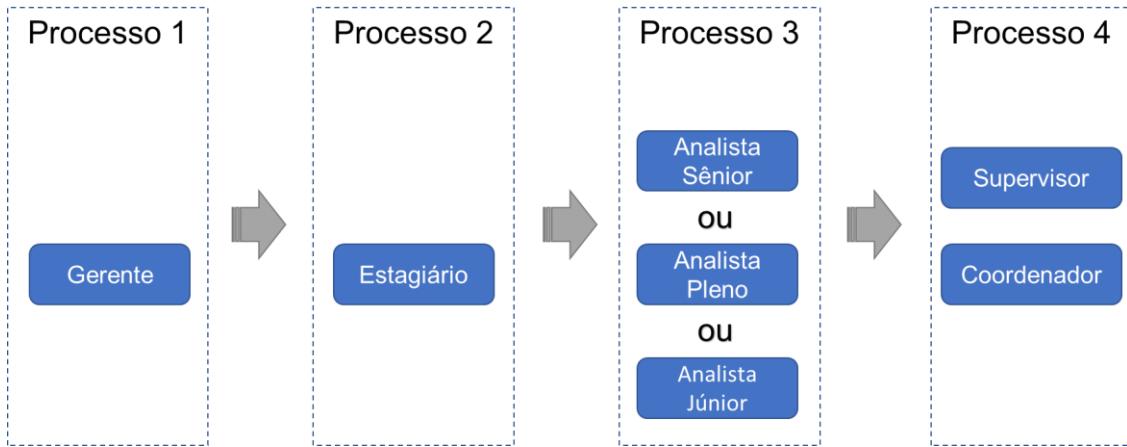


Fonte: elaborado pelo autor

Desta forma, é possível observar que existe uma regra de precedência que sempre deve ser respeitada. Por outro lado, quando o projeto chegar ao processo 3, deverá ser atendido por um analista sênior, analista pleno ou por um analista júnior, dependendo da disponibilidade dos recursos do momento. No caso em que os três estiverem disponíveis, é feita a alocação do que minimize o *makespan*, ou seja, para aquele que realiza a tarefa em um menor tempo possível.

Agora se, for considerado simultaneamente na figura 7 as combinações 1 e 2 o modelo deverá lidar com a seguinte combinação:

Figura 8. Associação entre as combinações 1 e 2 que deve ser tratada pelo modelo.



Fonte: elaborado pelo autor

Na demonstração da figura 8 é possível perceber que além de tratar do problema de alocação proposto no processo 3 agora é necessário que o modelo determine para qual RHE, deverá ser alocado para o projeto que está na fila para atendimento.

O problema é que nem sempre quando se tem dois recursos livres e ambos capacitados para realizar a mesma função o que possui o melhor desempenho é a melhor alternativa, ou seja, o que realiza a tarefa em um menor tempo, pode não determinar que o sistema no final do processo realize a entrega de todos os projetos no menor tempo possível e isso pode acontecer pelos seguintes aspectos:

- Ao entregar um projeto para o recurso disponível, os próximos trabalhos na fila podem ter apenas esse recurso capacitado para atendê-los e assim ficar aguardando o término da realização da tarefa para iniciar o atendimento seguinte.
- Um recurso disponível pode não ser o com melhor taxa de desempenho para atender o respectivo projeto, assim o mesmo poderá ser atribuído a um recurso com uma taxa de desempenho inferior e isso poderá prejudicar a otimização do sistema.

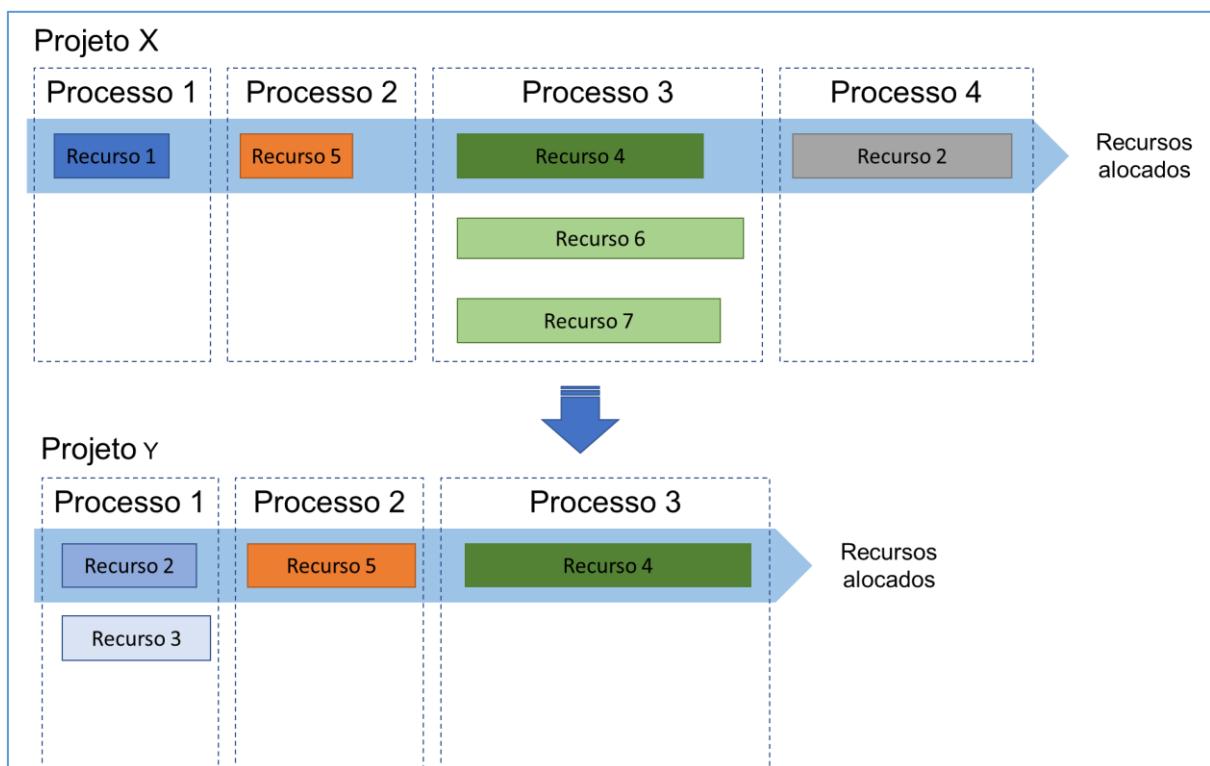
Para exemplificar o problema em questão, imagine a situação em que se tem dois projetos disputando os mesmos recursos representados por X e Y, e com as seguintes alocações possíveis:

- Projeto X pode ser atendido pela seguinte sequência de recursos: Recurso 1 + Recurso 5 + Recursos (4, 6 ou 7) + Recurso 2, respectivamente.
- Projeto Y pode ser atendido pela seguinte sequência de recursos: Recursos 2 + Recurso 5 + Recurso 4, respectivamente.

A figura 9, apresenta como seriam os cenários escolhidos pelo modelo, se apenas a regra “selecione o recurso livre com menor tempo para realizar a tarefa” fosse considerada no processo de otimização.

Figura 9. Alocação dos projetos X e Y considerando apenas a prioridade menor tempo dos RHE para realização das tarefas.

O comprimento do retângulo representa o tempo médio para realização da tarefa do projeto, logo quanto maior o retângulo, maior o tempo do RHE para finalizar a tarefa.



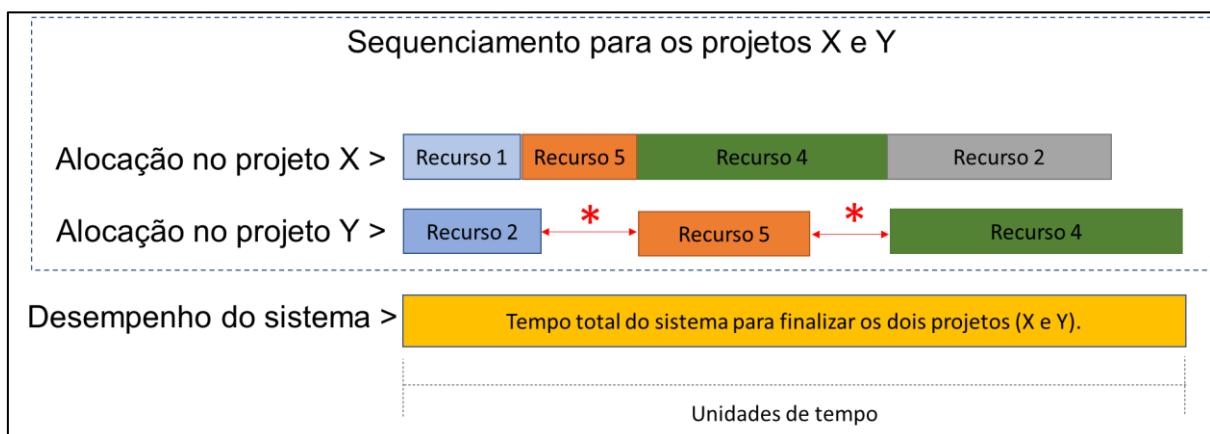
Fonte: elaborado pelo autor

Considerando que ambos os projetos cheguem para serem atendidos no mesmo momento no processo 1, não há problema para a alocação dos recursos, visto que enquanto o projeto X é atendido pelo Recurso 1, o projeto Y é atendido pelo Recurso 2.

No entanto, no processo 2 começa o conflito, pois ambos possuem o mesmo recurso para atendê-los, que no caso é o Recurso 5. Como no projeto X o tempo que o Recurso 5 demora para finalizar a tarefa é menor do que no projeto Y, então o sistema atribui ao Recurso 5 o projeto X.

Ainda em relação ao exemplo da figura 9, ao comparar as seleções feitas nos projetos X e Y, adotando o critério do menor tempo para realização das tarefas, o tempo total para finalizar os projetos ficará como ilustrado na figura 10.

Figura 10. Otimização do sistema para os projetos X e Y, considerando a alocação dos RHE pelo menor tempo para finalizar os projetos.

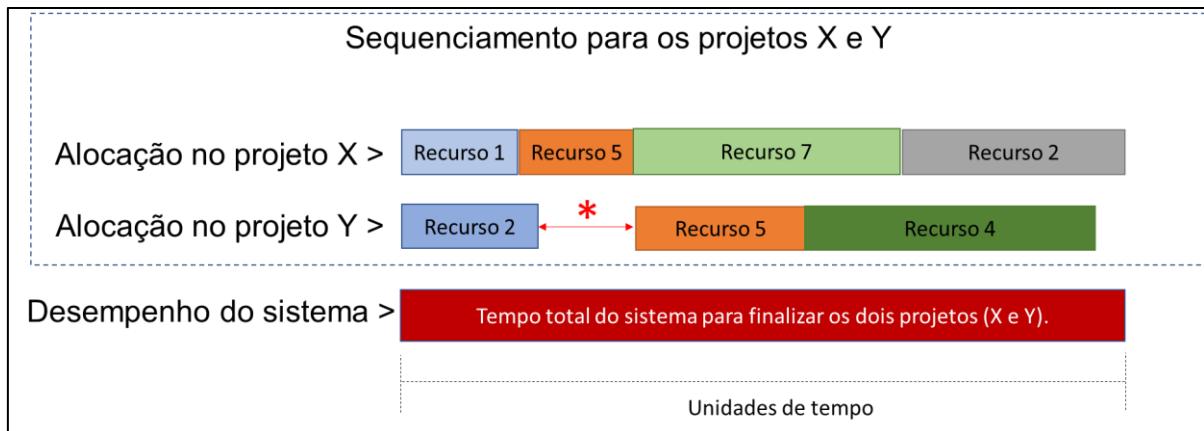


Fonte: elaborado pelo autor

No sequenciamento da figura 10, (o qual foi selecionado pelo sistema de acordo com o critério do menor tempo), observa-se que o Recurso 5 só poderá começar a atender o projeto Y após finalizar o X, idem para o Recurso 4. Nesta situação em que o projeto Y deve esperar para ser atendido, ocorrem os períodos de ociosidade no sistema (representados pelos asteriscos) e são exatamente esses intervalos que o modelo tem como objetivo encontrar cenários que tornem essas lacunas as menores possíveis, visando maximizar a alocação dos recursos.

Como no processo 3, (representado na figura 9), o projeto Y possui apenas um recurso disponível para atende-lo, enquanto X possui três. O modelo de otimização deve considerar também a escassez de recursos para atender um determinado projeto, além do critério de melhor desempenho. Caso contrário um deles poderá ficar sem atendimento, enquanto os demais são passados na sua frente. Assim, a alocação para os projetos X e Y ficaria como representado na figura 11.

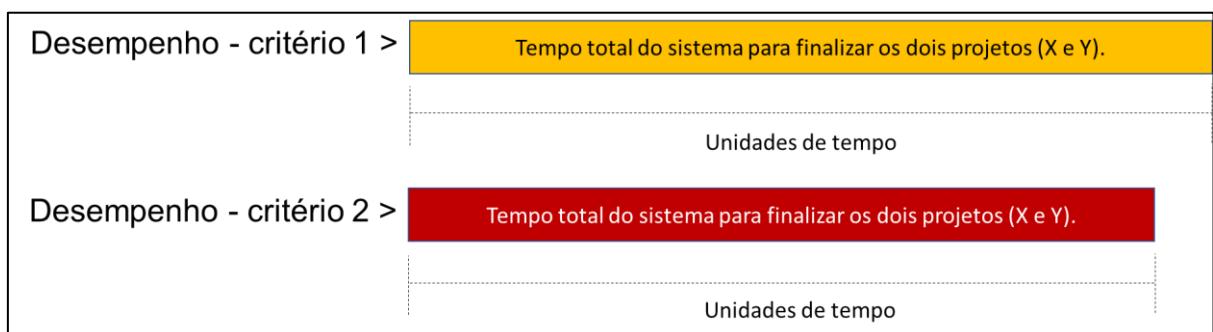
Figura 11. Otimização do sistema para os projetos X e Y, considerando a alocação dos RHE pelo menor tempo para finalizar os projetos e os projetos com restrições de recursos.



Fonte: elaborado pelo autor

Nesta nova sequência definida na figura 11 para os projetos X e Y é possível observar que mesmo não alocando o recurso com melhor desempenho para o projeto X, (durante o processo 3), o fato de considerar que o projeto Y possui apenas um único recurso, possibilitou reduzir o *makespan* e analogamente melhorar o desempenho do sistema em algumas unidades de tempo, como pode ser comparado na figura abaixo.

Figura 12. Comparação entre o desempenho do sistema com o critério (1) de alocar o recurso com melhor desempenho e o critério (2) considerar além do melhor desempenho do recurso as restrições de recursos para os projetos.



Fonte: elaborado pelo autor

O processo apresentado a partir da figura 6 até a 11 mostra o modelo que deve ser capaz de realizar, porém a partir de agora considerando os vinte projetos

selecionados. Para isso, a próxima etapa consiste em avaliar o modelo descrito no no *software* de simulação Arena®, para vinte projetos.

3.3 DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO NO ARENA®

Definido todos os critérios que norteiam a parte conceitual, descritos na seção 3.2, o próximo passo é implementar o modelo de simulação no software Arena®. Assim, nesta seção será comentado as principais fases para o desenvolvimento do modelo no *software*.

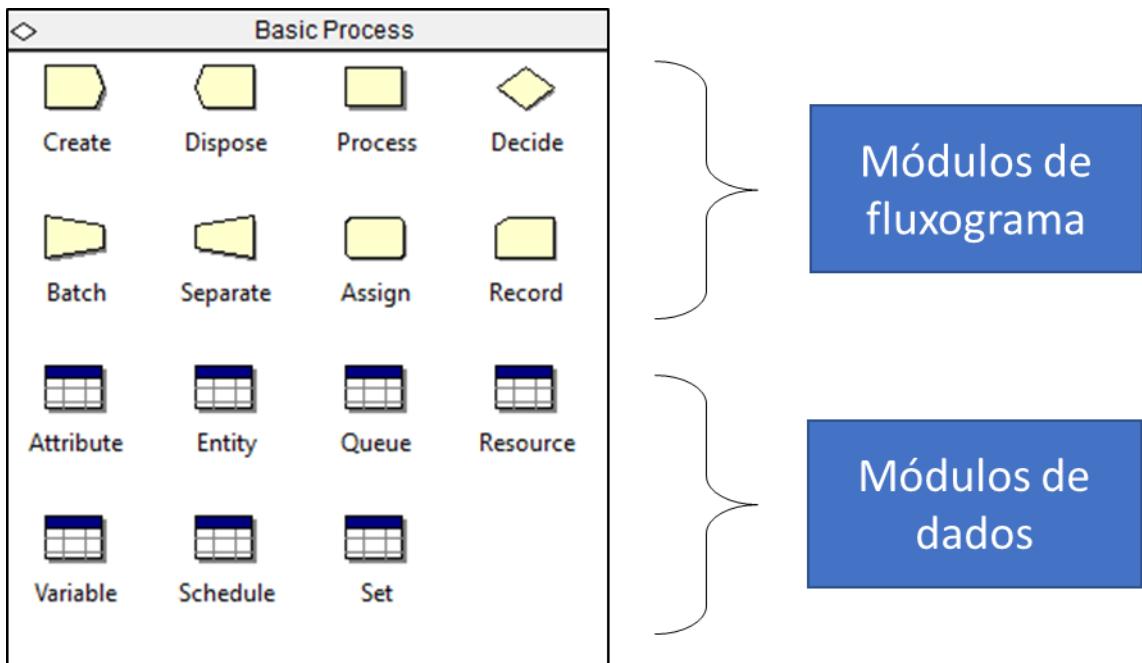
De maneira geral a construção dentro do Arena® seguiu a seguinte ordem:

1. Construção do fluxograma – parte lógica do modelo, em que através de programação visual foi criado na tela do computador a ocorrência de eventos que correspondem ao sistema que está sendo modelado.
2. Entrada de dados no modelo – após construído o fluxograma foi realizado a parametrização do modelo, ou seja, foram fornecidos os dados de cada bloco.
3. Implementação do código VBA – que tem como objetivo integrar o Arena® com algoritmo genético.

3.3.1 Construção do fluxograma do modelo de simulação

O primeiro passo para a construção do fluxograma do modelo é desenvolver por meio de programação visual a lógica do funcionamento do sistema, por intermédio dos módulos que se dividem em duas categorias, conforme representado na figura a seguir.

Figura 13. Módulos do template Basic Process



Fonte: Adaptado de Prado (2014)

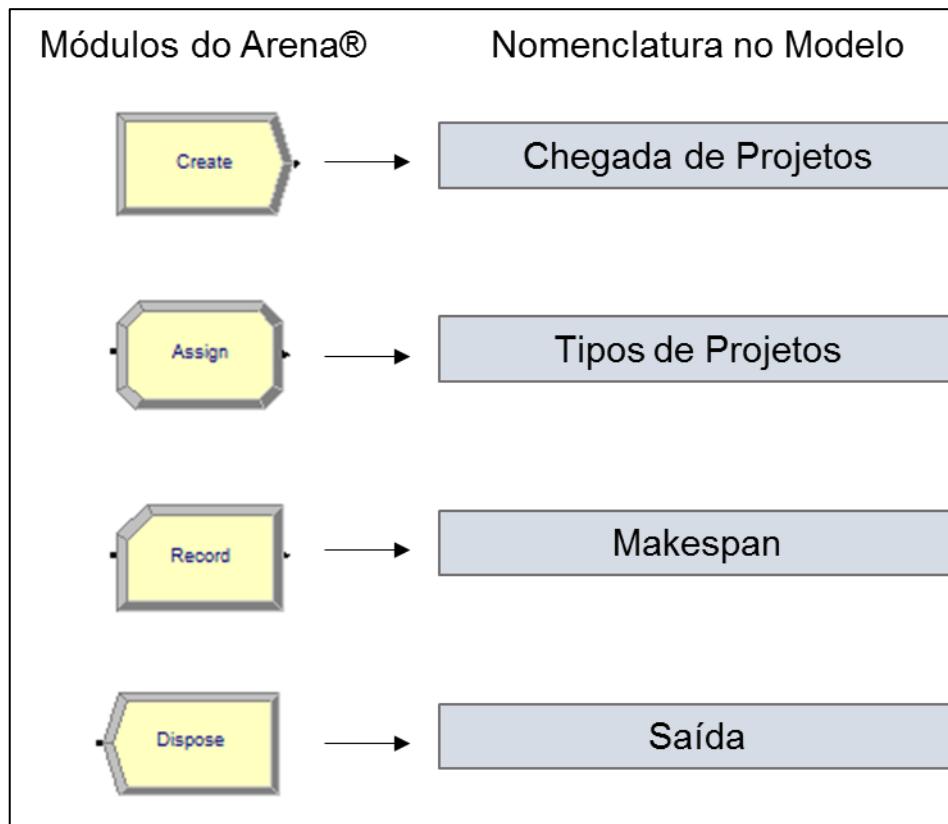
Os módulos de fluxograma que foram utilizados estão divididos em (1) *Basic Process*, (2) *Advanced Transfer* e (3) *Advanced Process* e cada um dos respectivos módulos possuem seus respectivos módulos de dados, estes últimos utilizados para parametrizar algumas partes do modelo, como será visto adiante.

No *Basic Process* foram utilizados os módulos *Create*, *Assign*, *Record* e *Dispose*. O módulo *Create* é o primeiro módulo do sistema e é nele que são configurados os dados de entrada, as “Chegadas de Projetos”, neste módulo os vinte projetos chegam todos juntos e estão disponíveis, no instante zero para serem atendidos.

No módulo *Assign* é configurado os “Tipos de Projetos”, ele é responsável por alterar os valores das variáveis, atributos, entidades entre outros parâmetros do modelo, além de cronometrar o tempo inicial do módulo *Record*, o qual é utilizado para gravar o “Makespan” do sistema, sua função é registrar as estatísticas referente a contagem e tempo.

Por fim, o módulo *Dispose* é o módulo de “Saída” dos projetos.

Figura 14. Módulos do Basic Process e respectivas nomenclaturas no modelo de simulação.



Fonte: elaborado pelo autor

No *Advanced Transfer* foram utilizados os módulos *Station* e *Route*. O *Station* foi utilizado para definir cada uma das estações do modelo, ou seja, os locais de processamento. Neste modelo cada estação representa um único RHE, o que dá um total de sete estações, uma para cada recurso.

A estação tem uma área de atividade correspondente que é utilizada para reportar todos os tempos e custos acumulados pelas entidades (PEREIRA, 2009). Já o *Route* foi utilizado para transferir um dos projetos para o processo seguinte.

Figura 15. Módulos do Advanced Transfer e respectivas nomenclaturas no modelo de simulação.

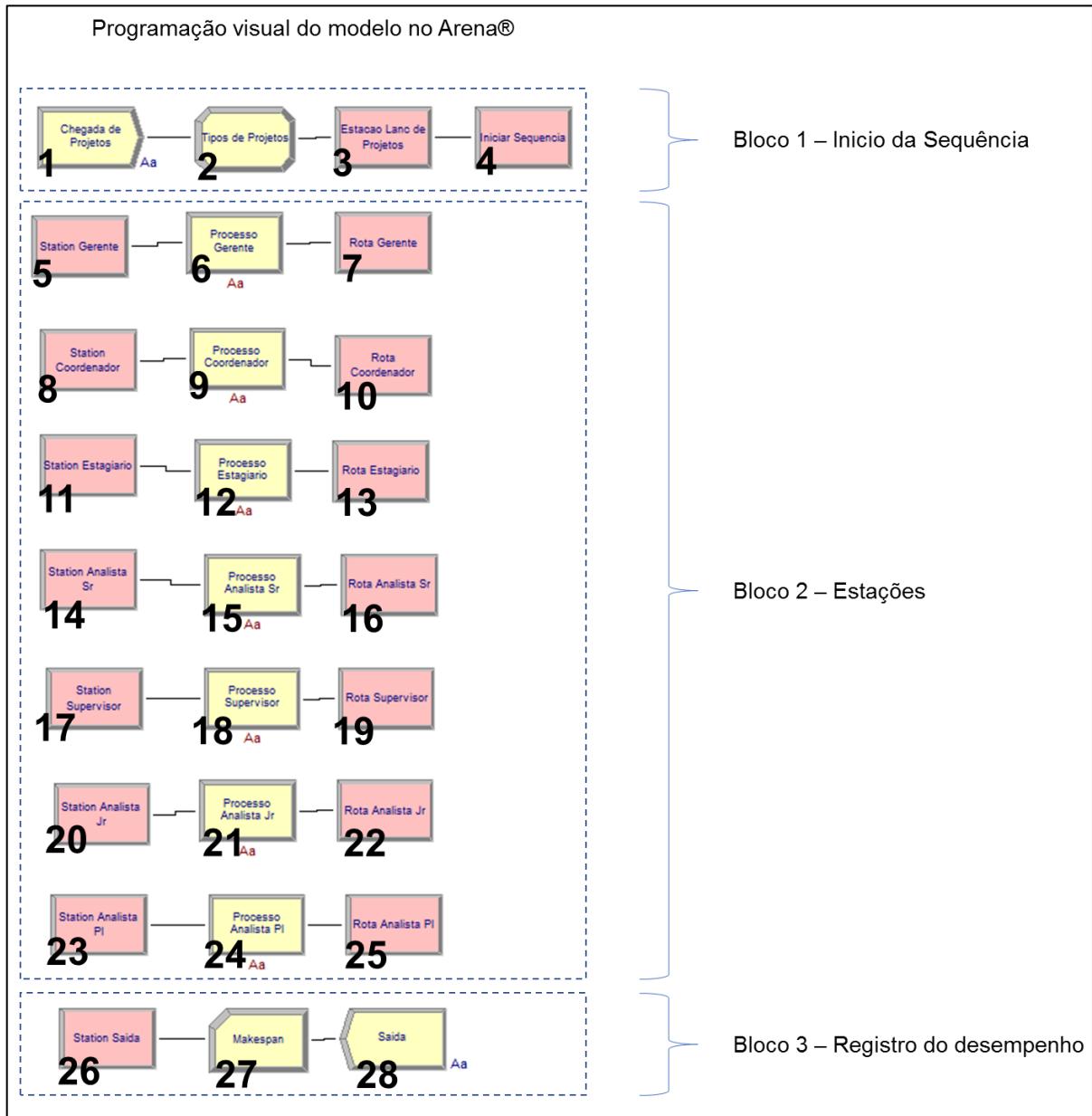
Módulos do Arena®	Nomenclatura no Modelo
Station	Station <nome do RHE>
Route	Rota <nome do RHE>

Fonte: elaborado pelo autor

Definido quais módulos são necessários para desenvolver o modelo o passo seguinte é montar o fluxo lógico do sistema, conforme apresentado na figura 16. O modelo pode ser dividido em 3 blocos:

- Bloco 1 é o início do processo. Neste momento todos os vinte projetos já chegaram no sistema e estão prontos para serem atendidos. Aqui também é realizado o registro inicial das medidas de desempenho e o início da sequência.
- Bloco 2 é composto por todas as estações (RHE) do sistema. Este também é o bloco das rotas que os projetos deverão seguir, conforme os cenários possíveis para cada projeto e os critérios de seleção.
- Bloco 3 é o bloco de saída do sistema, ele é responsável por registrar as estatísticas que serão utilizadas para avaliar quais cenários geram menor makespan no sistema.

Figura 16. Fluxograma do modelo de simulação do respectivo estudo de caso.



Fonte: elaborado pelo autor

Cada um dos módulos presentes no modelo possui seus próprios parâmetros, os quais serão apresentados a seguir, mas antes é importante mostrar ao leitor os tipos de entrada de dados para cada grupo de módulos usado.

No módulo *Create* há oito campos a serem preenchidos conforme representado na figura 17.

Figura 17. Entrada de dados do módulo Create.

The dialog box shows the configuration for a 'Create' module. The 'Name' is set to 'Chegada de Projetos' and the 'Entity Type' is 'Projetos'. Under 'Time Between Arrivals', the 'Type' is 'Constant' with a 'Value' of '0' and 'Units' of 'Hours'. Below this, 'Entities per Arrival' is set to '20', 'Max Arrivals' is '1', and 'First Creation' is '0.0'. At the bottom of the dialog are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Fonte: elaborado pelo autor

Neste modelo de simulação é possível observar na figura 16 que há apenas um módulo *Create*, que é o bloco número 1. O objetivo de cada um dos campos, da caixa de entrada de dados, da figura 17 é mostrado na tabela 8.

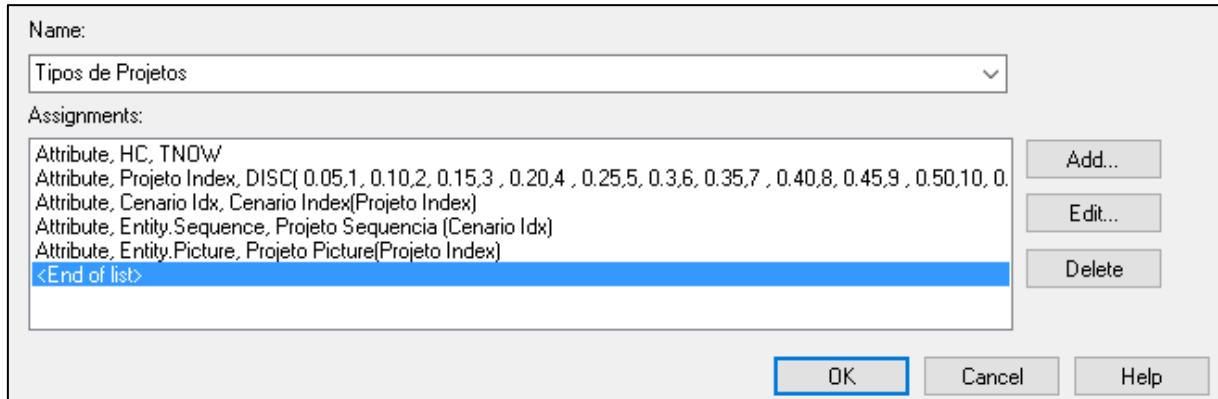
Tabela 8. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Create.

Campos	Objetivo
Name	Nome da entidade de entrada.
Entity Type	Tipo da entidade.
Type	Tipo de fluxo, no modelo foi considerado como constante, ou seja, todos projetos já chegaram no sistema. Não há novos projetos a serem incluídos.
Value	Determina o tempo entre as chegadas, como no modelo todos os projetos chegam juntos, então o valor entre as chegadas é igual a zero.
Units	Unidade de tempo utilizada.
Entities per Arrival	Número de projetos (entidades) que entrarão no sistema a cada chegada, neste caso são considerados os vinte projetos.

Fonte: elaborado pelo autor

A configuração do módulo *Assign* consiste em inserir os atributos das entidades conforme representado na figura 18.

Figura 18. Entrada dos dados no módulo *Assign*.



Fonte: elaborado pelo autor

Neste modelo de simulação é possível observar na figura 16 que assim como ocorreu no módulo *Create*, no módulo *Assign* há apenas um módulo, que é o bloco número 2. O objetivo de cada um dos campos, da caixa de entrada de dados, da figura 18 é mostrado na tabela 9.

Tabela 9. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Assign.

Campos	Objetivo
Attribute, HC, TNOW	A função <i>TNOW</i> informa o momento atual da simulação.
Attribute, Projeto Index, DISC (0.05,1, 0.10,2, 0.15,3 , 0.20,4 , 0.25,5, 0.3,6, 0.35,7 , 0.40,8, 0.45,9 , 0.50,10, 0.55,11 , 0.60,12, 0.65,13 , 0.70,14, 0.75,15 , 0.80,16, 0.85,17 , 0.90,18, 0.95,19 , 1.0,20)	<p><i>Disc</i> é a abreviação para a distribuição de probabilidade Discreta, ou seja, é atribuído para cada um dos vinte projetos a mesma probabilidade de serem selecionados.</p> <p>Parâmetros:</p> <p>$DISC(\rho, P)$, onde ρ refere-se a probabilidade acumulada associada ao projeto e P ao projeto em questão.</p>
Attribute, Cenario Idx, Cenario Index (Projeto Index)	Aqui é especificado o projeto que será realizado.
Attribute, Entity.Sequence, Projeto Sequence (Cenario Idx)	Determinar a sequência a ser realizada, de acordo com os cenários inseridos no modelo.
Attribute, Entity.Picture, Projeto Picture (Projeto Index)	Determinar qual animação irá representar cada um dos projetos.

Fonte: elaborado pelo autor

O módulo *Station* possui 6 campos a serem preenchidos, conforme representado na figura 19.

Figura 19. Entrada de dados do módulo Station

Name: Estacao Lanc de Projetos Station Type: Station

Station Name: Lanc de Projetos

Parent Activity Area: Associated Intersection:

Report Statistics

OK Cancel Help

Fonte: elaborado pelo autor

Na figura 16 é possível observar a existência de nove módulos *Station*, que são os blocos de números 3, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 e 26, sendo que o bloco de número 3 e 26 referem-se a estação inicial de lançamento dos projetos no sistema e a estação de saída do sistema, respectivamente, os demais referem-se as estações de cada RHE. O objetivo de cada um dos campos, da caixa de entrada de dados, da figura 19 é mostrado na tabela 10.

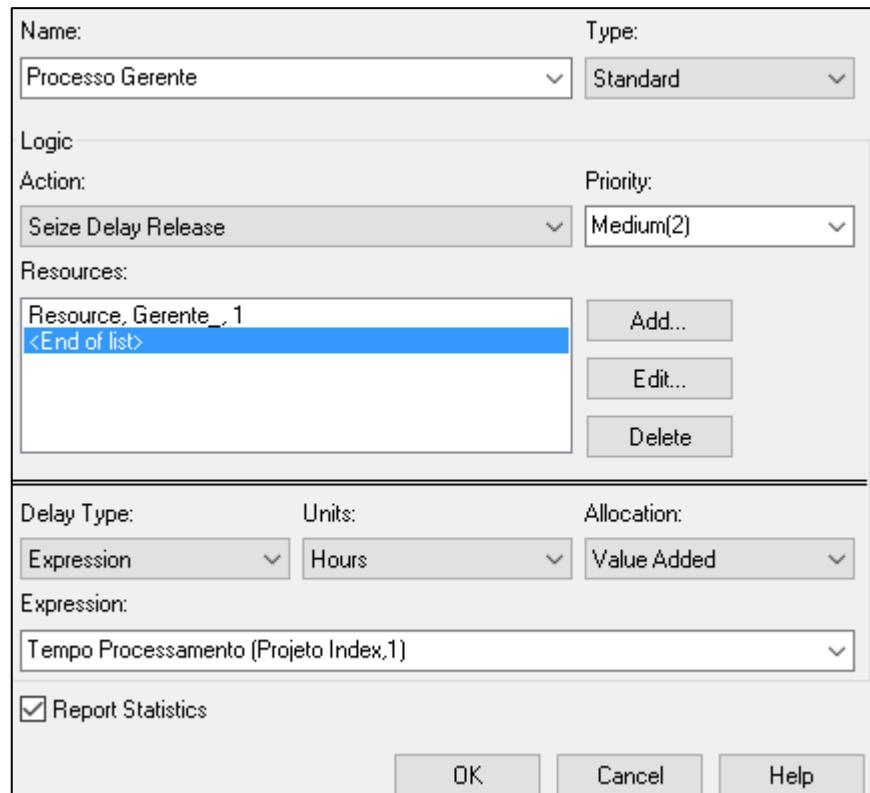
Tabela 10. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Station.

Campos	Objetivo
Name	Nome da estação a ser exibido na tela.
Station Type	Tipo da estação se é uma unidade ou um conjunto, no modelo em questão está se atribuindo uma unidade por estação.
Station Name	Nome da estação que o software irá procurar no modelo.
Parent Activity Area	Nome da área principal das atividades.
Associated Intersection	Nome da intersecção associada a estação em uma rede de transporte.
Report Statistics	Opção para coletar as estatísticas da respectiva estação.

Fonte: elaborado pelo autor

O módulo *Process* possui 10 campos para entrada de dados, conforme representado na figura 20.

Figura 20. Entrada de dados do módulo Process.



Fonte: elaborado pelo autor

No total são sete módulos *Process*, conforme mostra a figura 16, que são os blocos de números 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24, referentes a cada um dos RHE. O objetivo de cada um dos campos, da caixa de entrada de dados da figura 20 é mostrado na tabela 11.

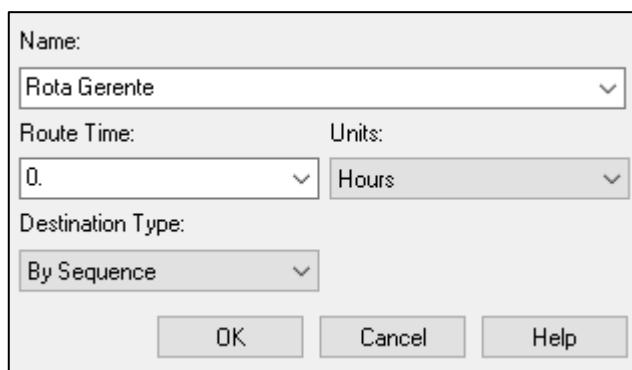
Tabela 11. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Process.

Campos	Objetivo
Name	Nome do recurso a ser ocupado.
Type	Define o tipo de alocação
Action	Refere-se a forma como o processo atuará, o qual foi ajustado para liberar o recurso assim que finalizado a tarefa.
Priority	Ajuste de prioridade do recurso.
Resources	Neste campo é indicado os recursos que serão alocados para a respectiva estação.
Delay Type	Tipo de espera, no modelo foi ajustada como Expression
Units	Unidade de tempo utilizada.
Allocation	Determina o tempo de processamento
Expression	Considera o tempo de processamento
Report Statistics	Opção para coletar as estatísticas da respectiva estação.

Fonte: elaborado pelo autor

O módulo *Route* possui 4 campos para entrada de dados, conforme representado na figura 21.

Figura 21. Entrada de dados do módulo Route.



Fonte: elaborado pelo autor

No total são oito módulos *Route*, conforme mostra a figura 16, que são os blocos de números 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 e 25, todos referentes a cada um dos RHE, com exceção do bloco de número 4 que se refere ao início da sequência do modelo.

O objetivo de cada um dos campos, da caixa de entrada de dados, da figura 21 é mostrado na tabela 12.

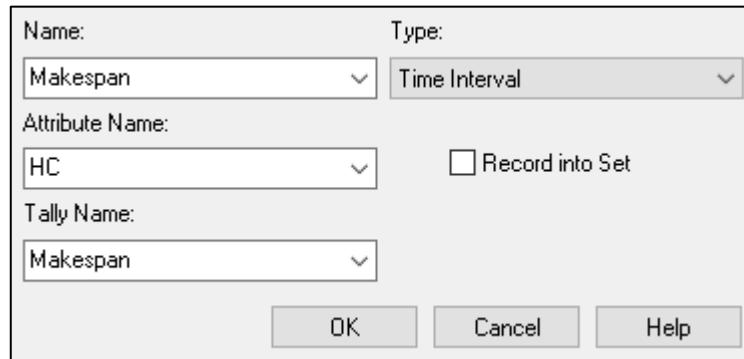
Tabela 12. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Route.

Campos	Objetivo
Name	Nome exclusivo exibido no fluxograma.
Route time	Tempo de percurso entra a estação atual e a estação de destino.
Units	Unidade de tempo da rota.
Destination Type	Método utilizado para determinar o destino do projeto. Neste modelo será atribuído como destino a sequência que será estabelecida pelo modelo de otimização.

Fonte: elaborado pelo autor

O próximo módulo a receber as informações de entrada é o *Record*, que conforme pode ser visto na figura 21 possui 4 campos para entrada de dados.

Figura 22. Entrada de dados do módulo Record.



Fonte: elaborado pelo autor

No modelo apresentado nesta dissertação há apenas um módulo, conforme mostra a figura 16, que é o bloco de número 27. O objetivo de cada um dos campos, da caixa de entrada de dados, da figura 22 é mostrado na tabela 13.

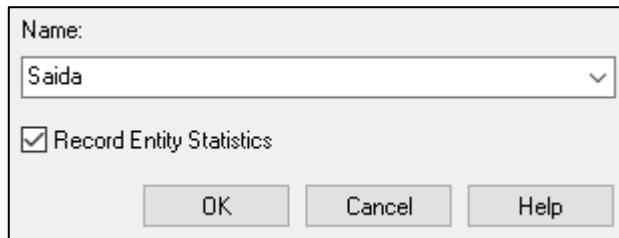
Tabela 13. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo Record.

Campos	Objetivo
Name	Nome exibido no fluxograma.
Type	É o modo de funcionamento que foi configurado como <i>Time Interval</i> , ou seja, ele irá registrar o tempo que um projeto demora para percorrer o sistema.
Attribute Name	Nome criado com o módulo <i>Assign</i> .
Tally Name	Nome atribuído ao registrador de tempo, que no caso é o “Makespan” do sistema.
Record into Set	Opção para gravar em conjunto.

Fonte: elaborado pelo autor

O último módulo a receber as informações de entrada é o *Dispose*, que conforme pode ser visto na figura 23 possui 1 campo para entrada de dados.

Figura 23. Entrada de dados do módulo *Dispose*.



Fonte: elaborado pelo autor

Há apenas um módulo *Dispose* no modelo desenvolvido, conforme a figura 16, que é o bloco de número 28. O objetivo de cada um dos campos, da caixa de entrada de dados, da figura 23 é mostrado na tabela 14.

Tabela 14. Objetivos dos campos da caixa de entrada de dados do módulo *Dispose*.

Campos	Objetivo
Name	Retira os projetos do sistema.

Fonte: elaborado pelo autor

Após a construção dos módulos de fluxograma, dentro do Arena®, o próximo passo é entrar com os dados dentro dos respectivos módulos de dados, sendo que neste modelo foram utilizados os módulos conforme segue na tabela 15.

Tabela 15. Módulos de dados utilizados na construção do modelo.

Painéis	Módulos de dados
Basic Process	<i>Attribute</i>
	<i>Queue</i>
	<i>Resource</i>
Advanced Transfer	<i>Sequence</i>
Advanced Process	<i>Advanced Set</i>
	<i>Expression</i>

Fonte: elaborado pelo autor

O módulo *Attribute* é responsável por armazenar os dados associados a cada entidade, para permitir a coleta das estatísticas de forma separada. Neste modelo o módulo *Attribute* está com as seguintes entradas de dados, conforme mostrado na figura Figura 24, em que temos (1) os nomes (*Name*) dos respectivos atributos, (2) o total de linhas (*Rows*), em que é possível observar que no atributo *Cenario Index* temos vinte linhas, cada uma representa um respectivo projeto, (3) o total de colunas (*Columns*), (4) o tipo da entrada de dados (*Data Type*) e (5) os valores iniciais.

Figura 24. Entrada de dados do módulo Dispose

Attribute - Basic Process					
	Name	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1	HC			Real	0 rows
2	Prioridade			Real	0 rows
3	Projeto Index			Real	1 rows
4	Cenario Index	20		Real	20 rows
5	Cenario Idx			Real	0 rows
6 ►	Attribute 1			Real	0 rows

Fonte: elaborado pelo autor

O módulo *Queue* fornece informações ao sistema sobre como deve ser tratada cada entidade, conforme as suas chegadas em cada estação.

No caso, deste modelo optou-se pelo tipo *Lowest Attribute Value*, ou seja, o modelo irá selecionar priorizar o atributo com prioridade mais baixa (Figura 25). Através desses valores o algoritmo genético será capaz de resolver o problema de sequenciamento de tarefas, considerando todos os recursos humanos especialistas presentes.

Figura 25. Entrada dos dados no módulo Queue – Basic Process.

Queue - Basic Process						
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics	
1	Processo Gerente.Queue	Lowest Attribute Value	Prioridade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Processo Supervisor.Queue	Lowest Attribute Value	Prioridade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Processo Coordenador.Queue	Lowest Attribute Value	Prioridade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Processo Estagiario.Queue	Lowest Attribute Value	Prioridade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Processo Analista Jr.Queue	Lowest Attribute Value	Prioridade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Processo Analista Pl.Queue	Lowest Attribute Value	Prioridade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7 ►	Processo Analista Sr.Queue	Lowest Attribute Value	Prioridade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fonte: elaborado pelo autor

Continuando com a entrada de dados nos módulos, o próximo é o *Resource*, onde tem-se as informações pertinentes a quantidade de recursos disponíveis no sistema, para atender os vinte projetos, (de acordo com a figura 26), em que se tem os nomes de cada recurso (*Name*), o tipo de capacidade (*Type*) se é fixa ou dependente do sequenciamento e quantidade (*capacity*) disponível de cada recurso.

Figura 26. Entrada de dados do módulo Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1 ►	Analista Junior	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Analista Pleno	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Analista Senior	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Gerente_	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Supervisor_	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Estagiario_	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Coordenador_	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: elaborado pelo autor

No módulo Sequence – *Advanced Transfer* a entrada de dados são referentes aos cenários (*Name*) com seus respectivos estágios (*Steps*). A título de ilustração na

figura 27 há apenas entrada para oito cenários, no entanto, o modelo contempla vinte e quatro cenários. Essa variação de cenários vai depender do objetivo do estudo, caso seja necessário inserir mais informações, certamente esse número irá aumentar.

Figura 27. Entrada de dados do módulo Sequence

Sequence - Advanced Transfer		
	Name	Steps
1 ►	Cenario 1	5 rows
2	Cenario 2	5 rows
3	Cenario 3	5 rows
4	Cenario 4	5 rows
5	Cenario 5	5 rows
6	Cenario 6	5 rows
7	Cenario 7	5 rows
8	Cenario 8	5 rows

Fonte: elaborado pelo autor

No painel *Advanced Process* tem-se o módulo *Advanced Set* o qual é utilizado para agrupar os cenários dentro de um mesmo conjunto, denominado aqui de Projeto Sequencia, conforme mostrado na figura 28.

Figura 28. Entrada de dados do módulo Advanced Process

Advanced Set - Advanced Process			
	Name	Set Type	Members
1 ►	Projeto Sequencia	Other	24 rows

Fonte: elaborado pelo autor

O último módulo que falta inserir as informações no sistema é o *Expression* do painel *Advanced Process*. Nessa etapa é definido o tipo de expressão, relativo as distribuições de probabilidade de cada recurso em cada projeto, (conforme apontado na figura 29). E a matriz com os resultados encontrados é apresentada no capítulo de resultados.

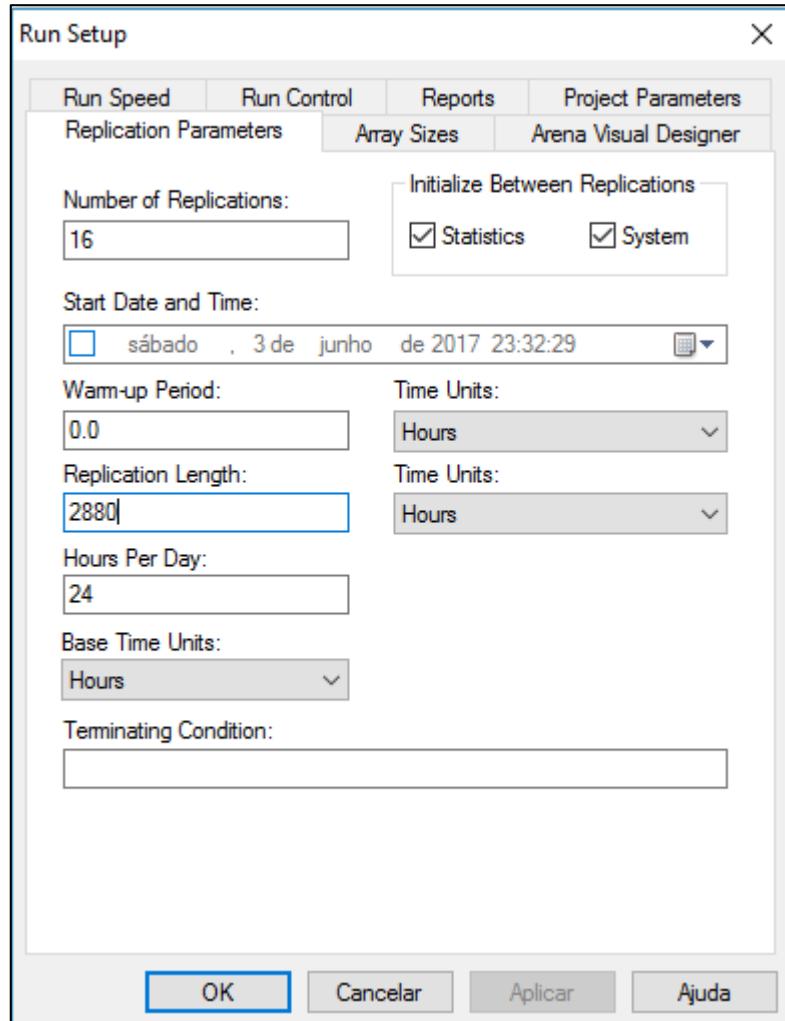
Figura 29. Entrada de dados do módulo Expression

Expression - Advanced Process						
	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1 ►	Tempo Processamento	20	7	Real		140 rows

Fonte: elaborado pelo autor

Para concluir e executar o modelo de simulação é preciso fornecer também as opções de controle de execução (*Run Setup*), conforme mostrado na figura 30.

Figura 30. Entrada de dados no controle de execução Run Setup



Fonte: elaborado pelo autor

Foi considerado para entrada de dados no *Run Setup* o período de dezesseis meses, correspondente ao tempo em que foram coletados os dados (*Number of Replications*), com uma jornada diária de trabalho de oito horas (*Hour Per Day*) o que deu um total de dois mil, oitocentos e oitenta horas trabalhadas (*Replication Length*).

3.4 DESCRIÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O processo de otimização do modelo é realizado pelo algoritmo genético por meio da biblioteca GALib sendo necessário os seguintes requisitos (MITCHELL, 1997):

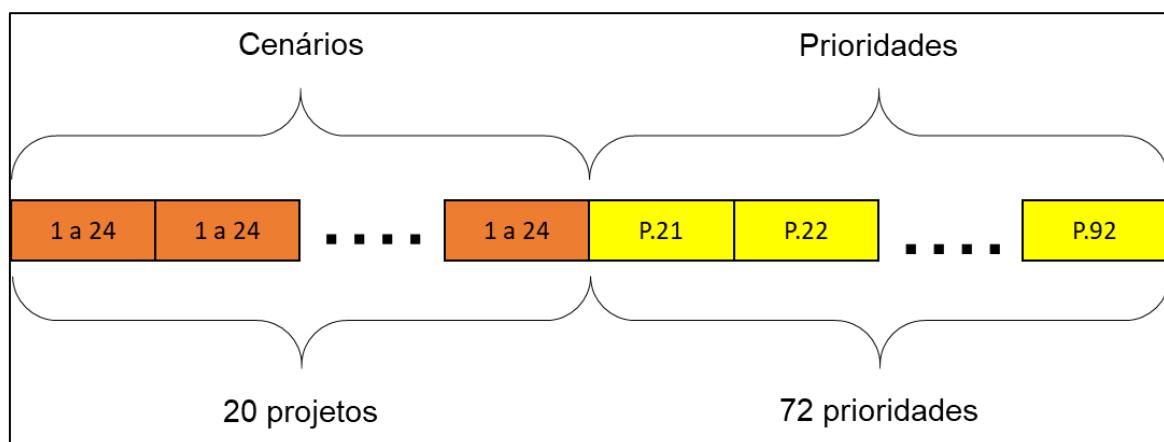
- População
- Avaliação de aptidão
- Seleção
- Operadores genéticos

A população é o conjunto de indivíduos que estão sendo cogitados como solução para o problema e que serão utilizados para criar um novo conjunto para análise.

Na proposta deste trabalho a população é dada por meio da codificação do cromossomo (figura 31), através de uma lista de números inteiros, de 1 a 92. Em que cada um dos vinte primeiros genes representa um cenário a ser adotado em cada projeto e os demais a prioridade de atendimento das tarefas, contabilizando um cromossomo com noventa e dois genes.

O cruzamento proposto neste trabalho cria novos indivíduos considerando as melhores características da geração anterior, denominados na literatura como pais (MITCHELL, 1997).

Figura 31. Representação gráfica do cromossomo utilizado nesta dissertação



Fonte: Elaborado pelo autor

Avaliação de aptidão, referente a proposta desta dissertação, mede através de uma função o valor de aptidão de cada indivíduo da população, ou seja, essa função mede a quão boa é a solução.

A seleção de cada indivíduo foi atribuída um valor de aptidão através do método por Roleta, em que cada indivíduo da população é representado proporcionalmente ao seu índice de aptidão, assim os indivíduos com alto índice recebem uma proporção maior (MITCHELL, 1997).

Os operadores genéticos são responsáveis por transformar a população inicial entre as diversas e sucessivas gerações. Esses operadores têm o papel de diversificar a população e manter as melhores características das gerações anteriores. Neste trabalho foi parametrizado os seguintes operadores genéticos:

- Cruzamento – operador predominante, responsável por criar novos indivíduos através das características de dois indivíduos de uma geração anterior, também denominados como “pais”. Como resultado tem-se novos indivíduos potencialmente melhores que os anteriores. Neste trabalho foi considerado uma taxa de cruzamento que considera 80% das características dos pais.
- Mutação – este operador é responsável por mudar algumas características do indivíduo sobre o qual é aplicada. Nesta dissertação aplicou-se uma taxa de mutação de 0,05%.
- Geração – este operador refere-se ao total de conjunto de indivíduos que devem ser criados a partir da geração anterior. Esse operador é importante para se definir o critério de parada do modelo de otimização, que neste caso é igual a cem gerações.

3.5 ACOPLAMENTO ENTRE O MODELO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

O acoplamento entre o modelo de simulação e otimização do sistema foi realizado por intermédio do código de programação VBA, como pode ser visto de maneira sucinta na tabela 16 e o código concluído. é exibido nos anexos desta dissertação.

Tabela 16. Resumo do código VBA implantado no software de simulação.

Tarefas	Resumo dos blocos dos códigos do VBA
1. Apagar	<pre>Dim sOutputFile As String sOutputFile = "C:/Users/.../outputAR.txt" iFileNum = FreeFile() Open sOutputFile For Output As iFileNum Close iFileNum</pre>
2. Leitura do arquivo e armazenamento dos valores lidos	<pre>sFileName = "C:/Users/.../outputAG.txt" If Len(Dir\$(sFileName)) = 0 Then Exit Sub End If iFileNum = FreeFile() Open sFileName For Input As iFileNum Dim StaticArray(1 To 92) As String i = 1 Do While Not EOF(iFileNum) Line Input #iFileNum, sBuf StaticArray(i) = sBuf i = i + 1 Loop Close iFileNum</pre>
3. Aponta o modelo atual	Set oModel = ThisDocument.Model
4. Preenche os valores dos cenários	<pre>oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag, "object.625")).Data("Initial Value(1)") = StaticArray(1)</pre>
5. Muda as prioridades das tarefas para cada cenário	<pre>oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.367") Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex) oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(9)</pre>

Fonte: Silva (2011)

A primeira tarefa que o código executa é realizar a limpeza do arquivo *Output* onde será armazenado o resultado final (makespan) para cada replicação determinada no modelo de simulação, em seguida é realizada a leitura das respectivas informações.

A próxima tarefa a ser realizada é o apontamento (indicar para o algoritmo genético qual documento deverá ser lido) para o modelo atual e após isso preencher os valores dos cenários para cada um dos vinte projetos.

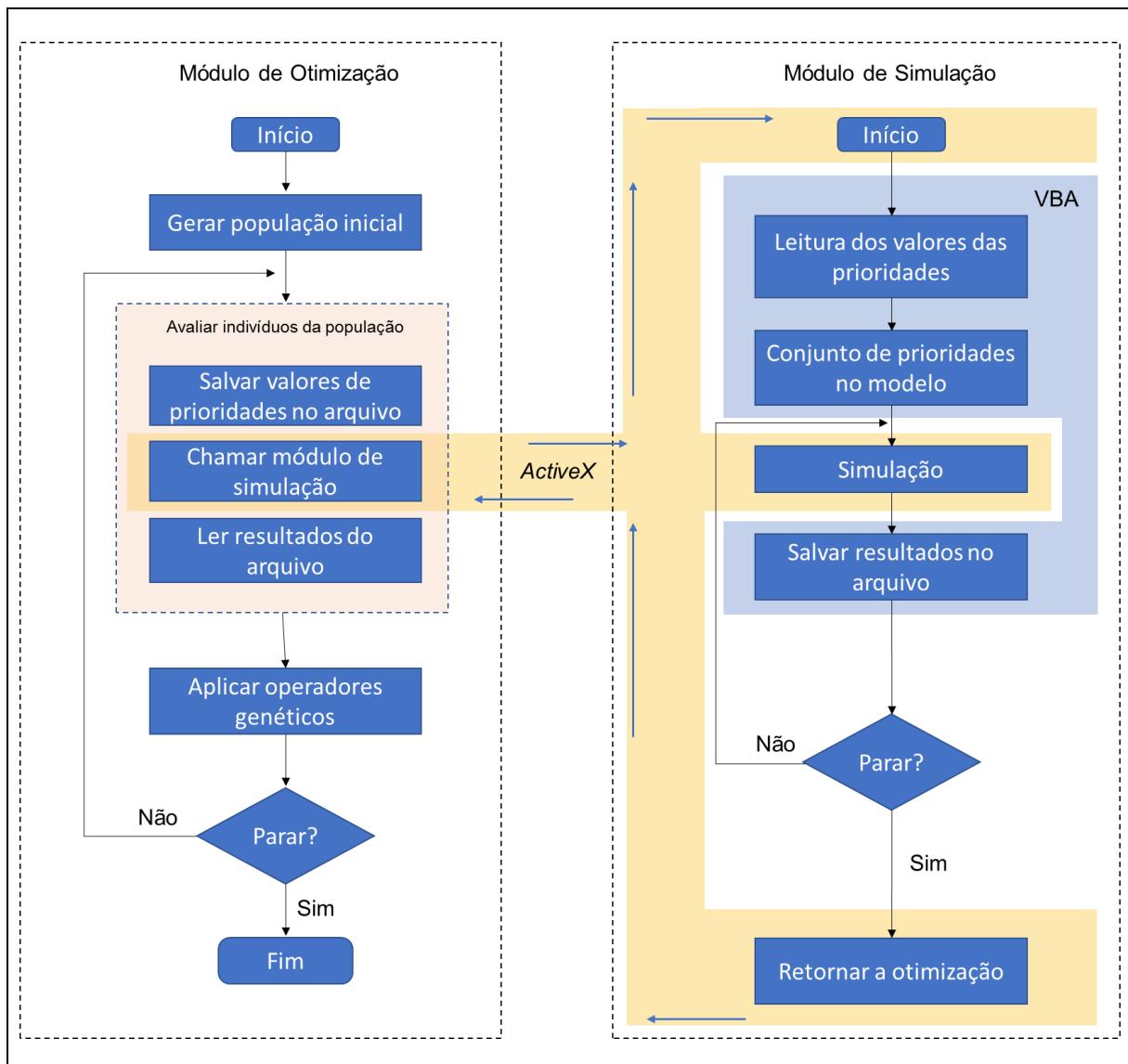
Por fim, na tarefa (exemplificada na tabela 16) que o modelo de otimização busca uma solução ótima ou subótima para resolver o problema de sequenciamento de tarefas. Nesta etapa o algoritmo genético deve ser capaz de trocar as prioridades de atendimento definidas inicialmente para cada um dos cenários no bloco *Sequence – Advanced Transfer*.

Os processos descritos da primeira à quinta tarefa são repetidos pelo algoritmo genético, conforme definido no critério de parada, sempre realizando a função de avaliação e aptidão do indivíduo, desta forma o simulador consegue gravar cada nova informação gerada relativa ao desempenho do sistema.

A sincronização entre o modelo de simulação e o algoritmo genético é realizada pelo controlador ActiveX, conforme ilustrado na figura 32. Após parametrizado os módulos de otimização e simulação é necessário estabelecer uma conexão entre eles, por meio do *ActiveX*, que é responsável por ler as linhas de códigos do VBA, presentes no modelo de simulação.

A leitura desse código VBA permite que o algoritmo genético tenha o “comando” do processo de simulação no *software*, para assim fazer as devidas alterações nos valores de prioridades, ler os resultados obtidos e salvar as melhores soluções encontradas até o momento de parada.

Figura 32. Representação gráfica da função do ActiveX



Fonte: Menezes et al (2016)

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa, referentes ao tratamento estatístico dos dados coletados, seguido dos resultados da validação do modelo de simulação, os resultados do modelo de otimização e, por fim, demais resultados subjacentes à pesquisa.

4.1 RESUMO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Por meio da coleta e tratamento estatístico dos dados, considerando os sete recursos humanos especialistas e os vinte projetos, foi possível identificar o tempo médio que cada recurso investe por dia em cada projeto em horas (Tabela 17).

Tabela 17. Tempo médio em horas para realização de cada projeto em um dia de trabalho.

Projetos	Gerente	Supervisor	Coordenador	Analista Sênior	Analista Pleno	Analista Júnior	Estagiário
Projeto 1	1,90	1,03	0,87	1,00	3,38	2,67	3,10
Projeto 2	1,57	1,65	1,55	3,54	2,51	3,39	5,03
Projeto 3	1,05	1,28	0,92	2,06	3,68	3,61	3,50
Projeto 4	1,27	1,20	0,86	1,78	4,19	3,76	3,59
Projeto 5	1,95	1,84	1,28	2,69	2,98	3,05	1,19
Projeto 6	1,62	1,49	0,87	1,87	3,75	3,66	3,47
Projeto 7	3,89	1,22	0,80	1,00	3,89	4,01	0,25
Projeto 8	1,20	1,45	0,86	1,85	3,62	3,73	4,45
Projeto 9	2,89	1,00	5,88	3,42	3,00	1,00	3,25
Projeto 10	1,00	0,91	0,73	1,29	2,52	2,56	2,38
Projeto 11	1,78	1,59	1,18	2,00	4,27	5,36	5,00
Projeto 12	1,84	1,22	1,21	2,49	4,90	4,11	3,00
Projeto 13	1,00	1,36	0,81	1,49	3,54	5,07	4,50
Projeto 14	1,13	0,57	0,44	1,83	1,86	2,50	4,00
Projeto 15	1,53	1,12	1,15	1,56	2,11	2,21	2,88
Projeto 16	1,53	1,25	1,40	2,00	1,96	2,52	5,08
Projeto 17	2,98	3,39	0,88	2,22	4,00	1,00	2,09
Projeto 18	1,61	1,18	0,66	2,33	3,25	2,14	1,59
Projeto 19	0,50	1,98	0,81	2,15	4,33	2,64	2,00
Projeto 20	1,60	1,50	1,60	1,39	2,70	1,25	3,25
Média	1,69	1,41	1,24	2,00	3,32	3,01	3,18
Desvio Padrão	0,78	0,56	1,13	0,67	0,85	1,20	1,32

Fonte: coleta de campo – agência de publicidade

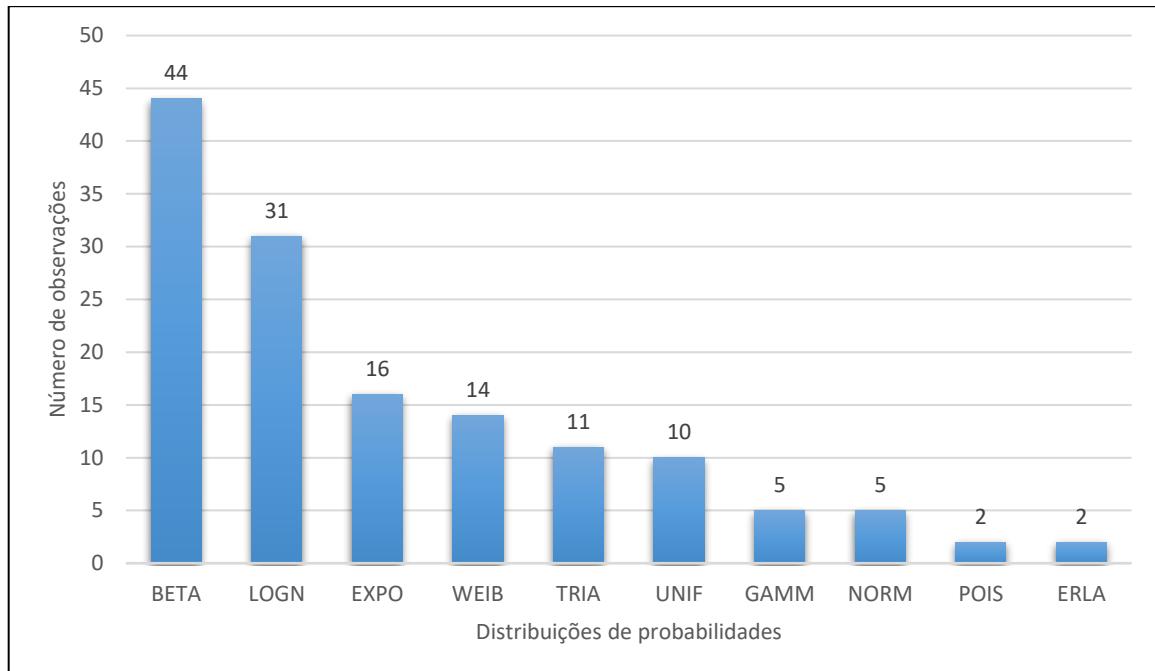
Por meio da coleta e tratamento estatístico dos dados no *software* de gestão de recursos humanos da respectiva indústria criativa, foi possível observar o total de projetos em que cada recurso foi alocado, assim como o tempo médio para realização dos mesmos.

Essas informações são relevantes para a construção do modelo, pois se fosse identificado a existência de projetos que possuem apenas um único RHE capaz de realiza-lo o mesmo deveria ser excluído do modelo, pois não haveria como otimizar sua produção alocando outros RHE e tão pouco o respectivo recurso poderia ser alocado para outro projeto.

Outra característica importante observada com o tratamento estatístico dos dados é em relação a sua aleatoriedade, além da variação média ser pertinente a cada um dos RHE em cada respectivo projeto, as suas distribuições de probabilidades também variam de projeto para projeto, (como pode ser visto no apêndice A), ou seja, o comportamento probabilístico varia de acordo com o RHE utilizado em um determinado projeto. Dessa forma, ao analisar a aleatoriedade de cada recurso em cada projeto foi identificado as seguintes distribuições de probabilidade:

- (1) BETA – distribuição de probabilidade Beta;
- (2) ERLA – distribuição de probabilidade Erlang;
- (3) EXPO – distribuição de probabilidade Exponencial;
- (4) GAMM – distribuição de probabilidade Gamma;
- (5) LOGN – distribuição de probabilidade Lognormal;
- (6) NORM – distribuição de probabilidade Normal;
- (7) POIS – distribuição de probabilidade Poisson;
- (8) TRIA – distribuição de probabilidade Triangular;
- (9) UNIF – distribuição de probabilidade Uniforme;
- (10) WEIB – distribuição de probabilidade Weibull.

Figura 33. Número de observações das distribuições de frequências por projetos, considerando a alocação de cada RHE.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto no gráfico acima, não há uma regularidade em relação ao comportamento probabilístico dos RHE em cada projeto, o que vem a corroborar com a importância de se considerar como um processo dinâmico o sistema de alocação de recursos especialistas em uma indústria criativa, neste respectivo estudo de caso.

Ao analisar os dados históricos da empresa e considerando cada um dos vinte e quatro cenários possíveis para alocação dos recursos foi possível identificar o tempo médio por cenário para realização de qualquer projeto, (como apresentados na tabela 18). Dependendo do cenário pode-se ter alocado entre dois a quatro recursos e, geralmente, os cenários que empregam mais recursos tendem a ter um tempo maior para realização de um projeto.

Tabela 18. Cenários possíveis para o projeto 1 e o tempo em horas que cada recurso gasta para realizar as respectivas atividades

Projeto 1	Recurso 1	Recurso 2	Recurso 3	Recurso 4	Recurso 5	Recurso 6	Recurso 7	Total
Cenário 1	1,91		0,87			2,67	3,1	8,55
Cenário 2	1,91		0,87		3,04		3,1	8,92
Cenário 3	1,91		0,87	1,00			3,1	6,88
Cenário 4	1,91	1,03				2,67	3,1	8,71
Cenário 5	1,91	1,03			3,04		3,1	9,08
Cenário 6	1,91	1,03		1,00			3,1	7,04
Cenário 7	1,91		0,87			2,67		5,45
Cenário 8	1,91		0,87		3,04			5,82
Cenário 9	1,91		0,87	1,00				3,78
Cenário 10	1,91	1,03				2,67		5,61
Cenário 11	1,91	1,03			3,04			5,98
Cenário 12	1,91	1,03		1,00				3,94
Cenário 13		1,03				2,67	3,1	6,80
Cenário 14		1,03			3,04		3,1	7,17
Cenário 15		1,03		1,00			3,1	5,13
Cenário 16		1,03				2,67		3,70
Cenário 17		1,03			3,04			4,07
Cenário 18		1,03		1,00				2,03
Cenário 19			0,87			2,67	3,1	6,64
Cenário 20			0,87		3,04		3,1	7,01
Cenário 21			0,87	1,00			3,1	4,97
Cenário 22			0,87			2,67		3,54
Cenário 23			0,87		3,04			3,91
Cenário 24			0,87	1,00				1,87

Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, apesar das limitações da planilha eletrônica é possível para o tomador de decisão ter algumas análises preliminares, tais como, identificar o cenário que retorna o menor tempo para realização de um projeto, o total de recursos necessários e o tempo médio de horas necessárias.

4.2 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DO MODELO

Com o objetivo de identificar se o modelo desenvolvido no *software* de simulação representava satisfatoriamente o funcionamento do departamento de inteligência competitiva, no que diz respeito ao tempo de execução dos projetos, foi realizado um teste comparativo entre os resultados obtidos no *software* de simulação e os resultados coletados e resumidos estatisticamente no Excel. Para isso foi necessário comparar os resultados com os valores das expressões com aleatoriedade (apêndice A) e sem aleatoriedade (apêndice B).

Para o teste foi selecionado aleatoriamente o projeto 1 e cenário 1 e foi encontrado os valores presentes na tabela 19. Os resultados encontrados no *software* de simulação Arena®, sem aleatoriedade e os dados históricos tabulados no Excel foram iguais. Assim, de acordo com o teste realizado, não há evidências estatísticas para dizer que há diferença entre as médias dos resultados apresentados no Excel e no Arena®. Desta forma, evidencia-se que o modelo construído no *software* de simulação consegue representar o sistema de RHE, dentro das características e restrições impostas.

Tabela 19. Resultados no software de simulação e dados históricos resumidos estatisticamente no software Excel em horas.

Recursos	Arena®	Excel
Gerente	1,90	1,90
Supervisor	2,02	2,02
Coordenador	1,34	1,34
Analista Sênior	2,38	2,38
Analista Pleno	3,04	3,04
Analista Junior	3,36	3,36
Estagiário	1,19	1,19

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 RESULTADOS PARA O MODELO DE PIARST

Os testes realizados para o modelo de otimização podem ser analisados primeiramente considerando o processo de alocação de recursos e por fim o processo de sequenciamento das tarefas.

Em relação ao processo de alocação dos RHE o modelo teve um desempenho satisfatório. Dos trinta testes realizados, não foi possível encontrar evidências estatísticas que mostrem haver diferenças dos resultados obtidos entre os grupos (Tabela 20).

Tabela 20. Teste estatístico para identificar diferença entre os grupos

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	QM	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	89,14	29	3,07	0,60	0,94	1,48
Dentro dos grupos	2885,54	570	5,06			
Total	2974,69	599				

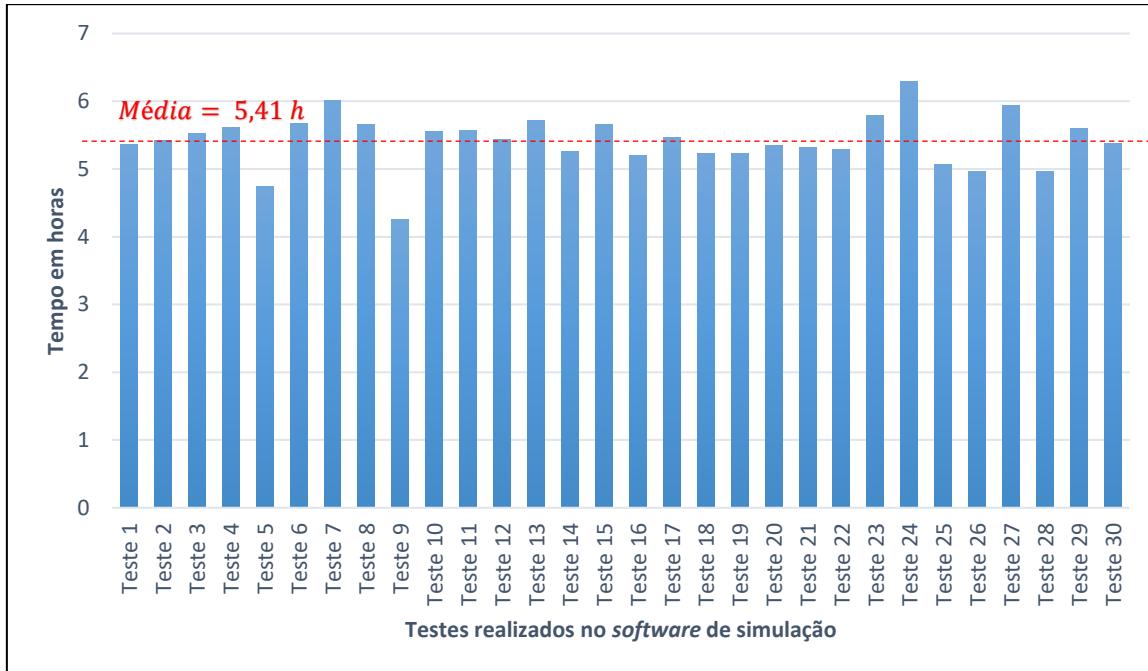
Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda:

- SQ – Soma dos Quadrados ou variação.
- GL – Graus de Liberdade ou quantidade de valores que podem variar antes que os restantes dos valores sejam predeterminados.
- QM – Quadrados Médios dos desvios das médias.
- F – Estatística F é a razão entre duas variâncias amostrais.
- Valor-P – área a direita do valor da estatística F.
- F crítico – ponto sobre a distribuição da estatística F sob a hipótese nula que define um conjunto de valores para rejeitar a hipótese a ser testada.

Como o teste estatístico $F < F_{crítico}$, então assume-se a hipótese de que as amostras, ou seja, os testes realizados, são semelhantes em todos os grupos de dados. Assim, em qualquer um dos testes realizados o modelo tende a dar como resultado uma média de 5,41 horas por dia trabalhado para a realização de um projeto, considerando os projetos de forma independente (Figura 34).

Figura 34. Gráfico do tempo médio para realização de um único projeto nos trinta testes realizados com o modelo de otimização.



Fonte: Elaborado pelo autor

Além do tempo médio para execução dos projetos, outra característica apresentada nos testes foi em relação ao total de recursos alocados por projeto. Nos trinta testes apenas em um a mediana foi igual a quatro, para os demais os resultados foram iguais a três, ou seja, o modelo, no geral, considerou a alocação de três recursos por projetos como sendo o que otimiza o PIARST (Tabela 21).

Tabela 21. Comparaçao entre o Teste 4 e demais testes, em relação ao tempo para realização dos projetos e total de recursos alocados

Projetos	Média por projeto	RHE por projeto	Makespan
Teste 4	5,6 h	4 RHE	39,2 h
Média dos projetos	5,4 h	3 RHE	29,3 h

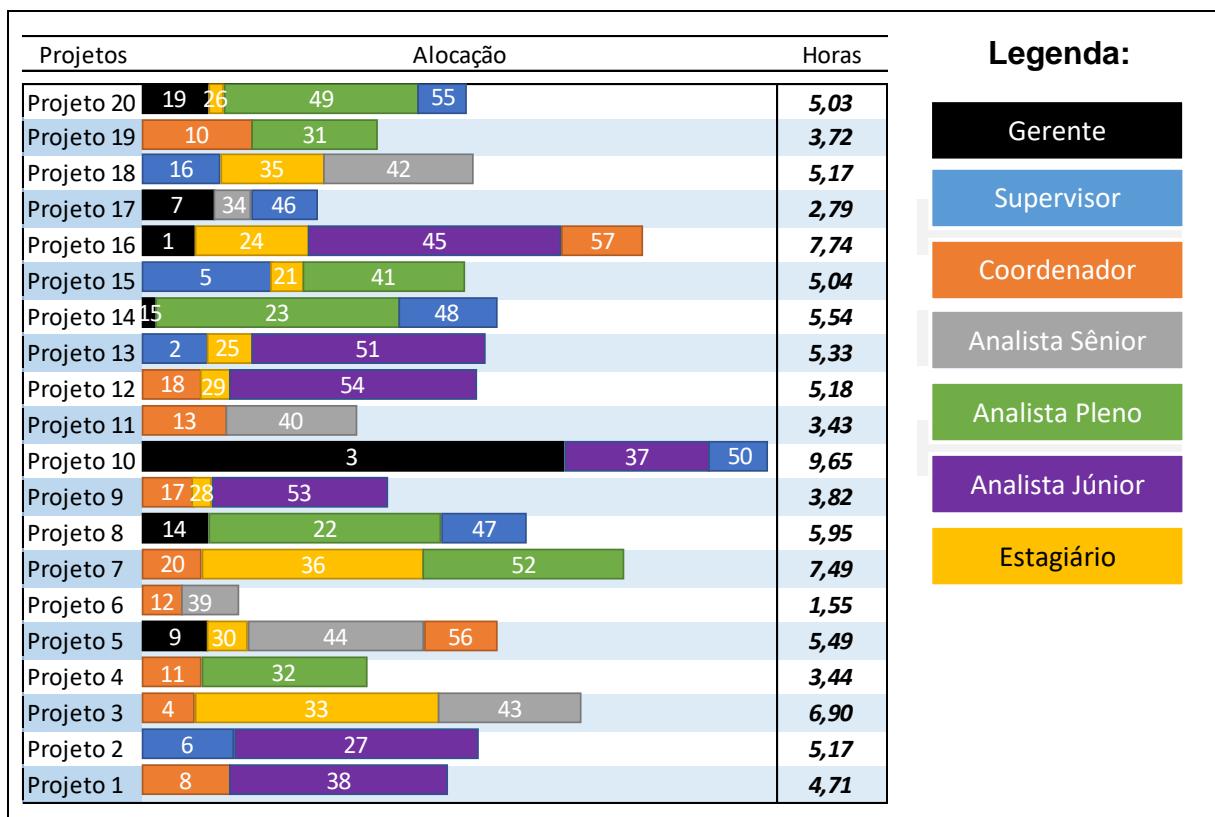
Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar da diferença do teste que alocou quatro recursos em relação aos demais projetos que alocaram três recursos não ser estatisticamente significativa é possível observar pela tabela anterior que a diferença é de aproximadamente 25% no

makespan, entre o teste que alocou quatro recursos com a média do *makespan* dos testes que alocaram até três recursos.

Além da compreensão do total de recursos necessários para otimizar o sistema, o modelo de otimização permite construir dois diagramas (1) com os recursos que devem ser designados para cada projeto, (conforme demonstrado na figura 35) e (2) com o sequenciamento que otimiza o sistema, (de acordo com a figura 36).

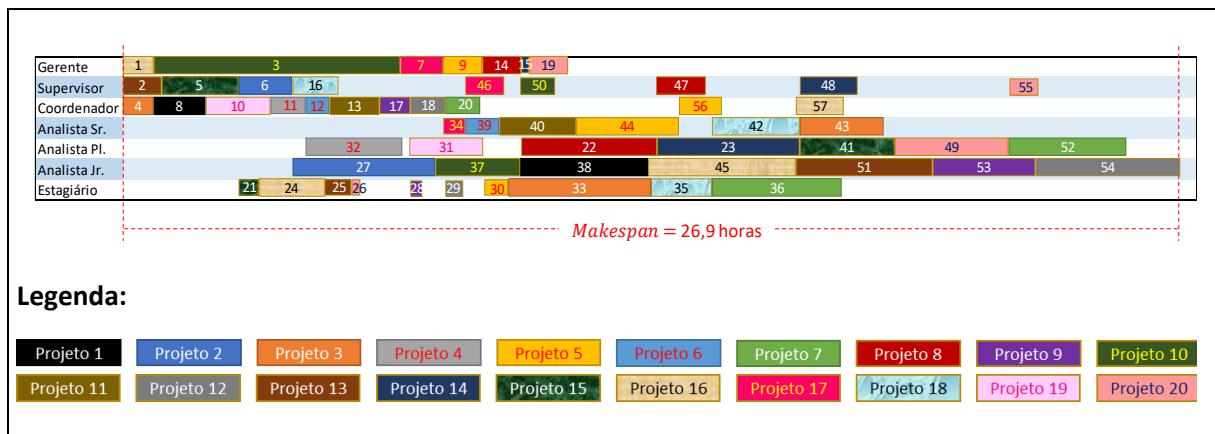
Figura 35. Diagrama com as alocações dos RHE determinadas pelo modelo de otimização.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 35 é possível observar que o modelo conseguiu determinar a alocação dos recursos para cada um dos 20 projetos entre dois a quatro recursos por projeto. As cores, conforme descrito na legenda, representam um RHE específico, o tamanho da cada retângulo representa o tempo médio que o respectivo recurso demora para realizar o projeto e os números dentro de cada retângulo representam a ordem de prioridade de atendimento determinada pelo modelo de otimização.

Figura 36. Diagrama do sequenciamento das alocações de recursos presentes na figura 35.



Fonte: Elaborado pelo autor

Outra maneira de interpretar os resultados da figura 35 é conforme segue na figura 36, em que é possível observar a solução para o PIARST, assim identificando o *makespan* total do sistema, que conforme figura 36 é de 26,9 horas.

E também com o modelo é possível identificar rapidamente quais os recursos alocados por projeto e qual o sequenciamento o tomador de decisão deverá adotar a fim de otimizar o sistema (minimiza o *makespan*).

Na figura 36 é possível observar vários espaços em branco, entre a alocação de um projeto e outro. Estes espaços são as lacunas que o modelo não conseguiu otimizar, ou seja, são intervalos de tempo que os RHE ficarão ociosos até a alocação para o próximo projeto. Apesar do modelo não ter conseguido otimizar esses tempos de ociosidade o fato de ser possível identificar os momentos em que apareceram essas ociosidades no sistema é uma oportunidade para alocar os RHE em outras atividades, tais como treinamento, ou ainda em outros projetos que não foram contemplados no processo de otimização.

4.4 DESEMPENHO COMPUTACIONAL DURANTE OS TESTES

Com o objetivo de analisar a interferência do tempo de processamento nos resultados finais durante os testes, foram coletados dados referentes ao desempenho computacional, a priori considerando uma versão menor do modelo de otimização, contemplando oito cenários e a posteriori considerando o modelo final com os vinte e quatro cenários.

A configuração do computador utilizada para o teste está apresentada na tabela 22 e durante todo o procedimento o computador permaneceu reservado, executando apenas o modelo proposto, ou seja, não havia qualquer outro tipo de programa sendo executado paralelamente ao modelo que pudesse interferir nos resultados.

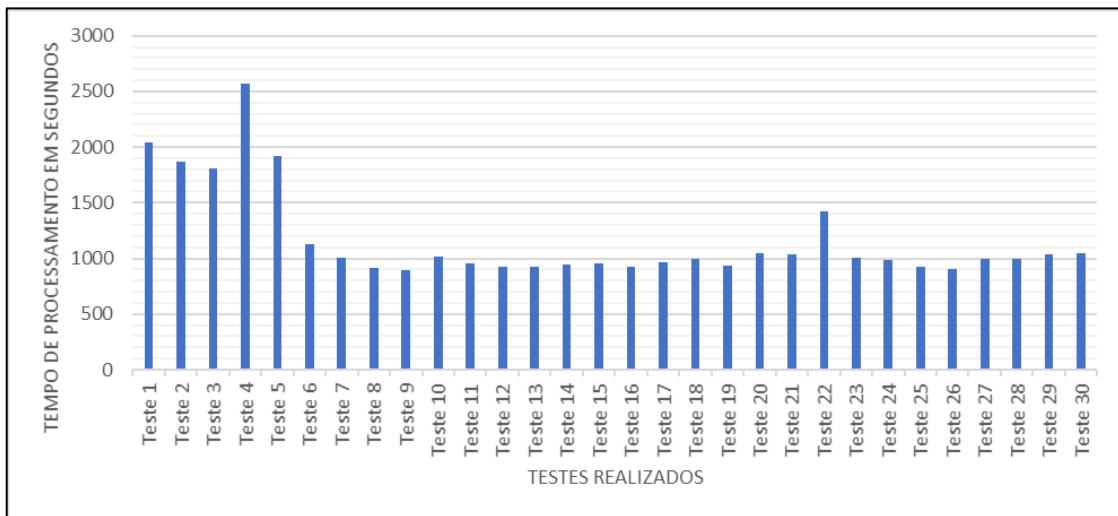
Tabela 22. Configuração do computador utilizado para executar o modelo

Organização	Configuração
Edição	Windows 10 Home Single Language
Versão	1607
Build SO	14393.693
Processador	Intel® Core™ i5-3230M CPU @ 2.60GHz
RAM instalada	8,00 GB (7,89 GB utilizáveis)
Tipo de sistema	Sistema Operacional de 64 bits, processador com base em x64

Fonte: Elaborado pelo autor

No modelo com oito cenários foram realizados trinta testes, com o tempo médio de processamento da CPU de 1.169,7 segundos (aproximadamente dezenove minutos). Nesta fase os RHE foram alocados conforme os projetos chegavam no sistema *FIFO* (*First to In First to Out*). A partir do sexto teste o tempo de processamento se estabilizou, apresentando um coeficiente de variação de 10% conforme pode ser visto na figura 37 e na Tabela 23.

Figura 37. Gráfico dos tempos de processamento do modelo em cada teste.



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 23. Tempo médio de processamento do modelo de otimização em segundos.

	30 testes	Do 6º ao 30º teste
Média	1.169,7	995,05
Desvio Padrão	424,2	105,4
Coeficiente de Variação (C.V.)	36,2%	10,6%

Fonte: Elaborado pelo autor

Por meio do teste estatístico *t-student*, com um índice de confiança de 95%, foi possível observar que os tempos de processamento do computador não interferiram nos resultados encontrados. Mesmo nos testes que apresentaram maior variação (CV) no tempo de processamento, não é possível afirmar que há uma diferença estatisticamente significativa, assim é esperado que o computador não interfira no desempenho do modelo.

Na segunda fase de testes, (desta vez considerando a versão completa do modelo), foi possível observar uma diferença estatisticamente significativa no tempo de processamento, tanto em relação ao modelo reduzido (com oito cenários), quanto em relação ao método de atribuição dos recursos (por prioridade ou *FIFO*), conforme representado na tabela 24.

Tabela 24. Tempo médio (em segundos) de processamento do computador para o modelo de otimização nos testes com o modelo reduzido e completo

	Modelo reduzido	Modelo completo	Modelo completo
	<i>FIFO</i>	Prioridade	<i>FIFO</i>
Média	1.169,7	582,14	521,90
Desvio Padrão	424,2	132,37	40,77
C.V.	36,2%	22,7%	7,81%

Fonte: Elaborado pelo autor

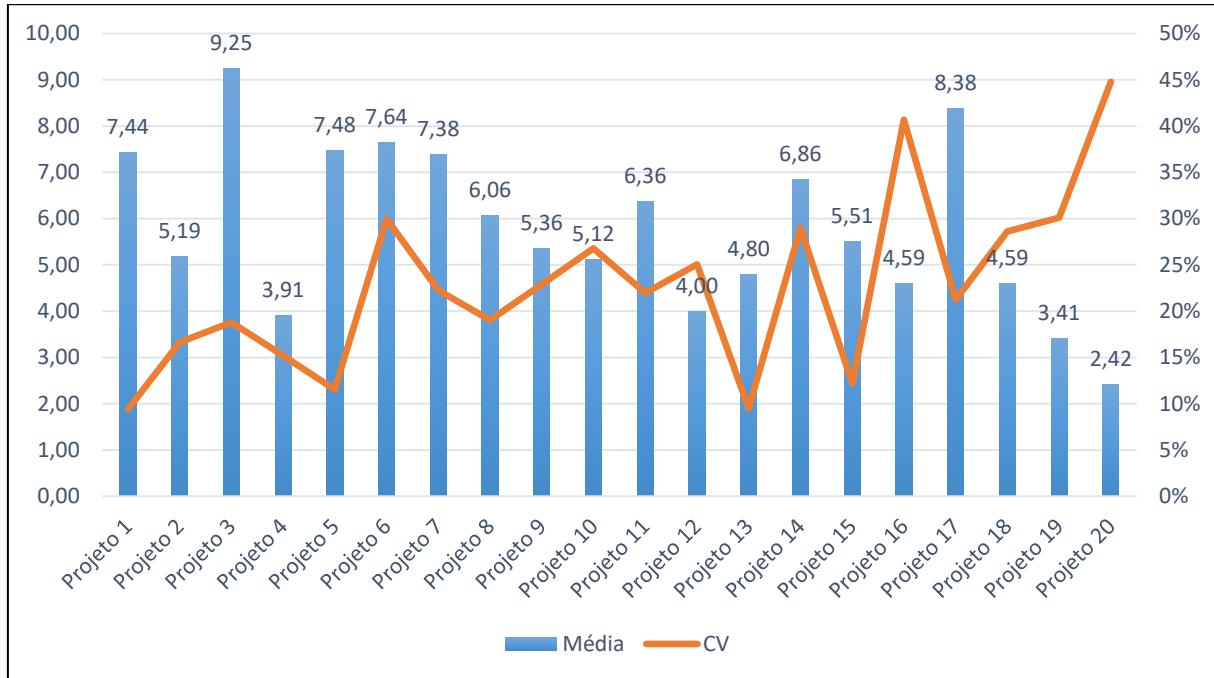
Apesar do número reduzido de cenários é possível observar pela tabela supracitada que o modelo reduzido teve um tempo de processamento significativamente mais alto do que os modelos na versão completa. Isso pode ser atribuído a seleção dos cenários, pois os oito tinham uma particularidade em comum, que era a seleção do “recurso gerente” na primeira estação, com isso o sistema tendia a ficar sobrecarregado, aumentando significativamente o tempo de processamento.

4.5 RESULTADOS PARA ATRIBUIÇÃO POR FIFO

Considerando a versão reduzida no modelo, de acordo com os resultados apresentados na figura 38 é possível observar que, na média o modelo com prioridade de atendimento por *FIFO* conseguiu alocar os RHE de forma satisfatória. Visto que na média apenas os projetos 3 e 17 ficaram acima das oito horas diárias de jornada de trabalho.

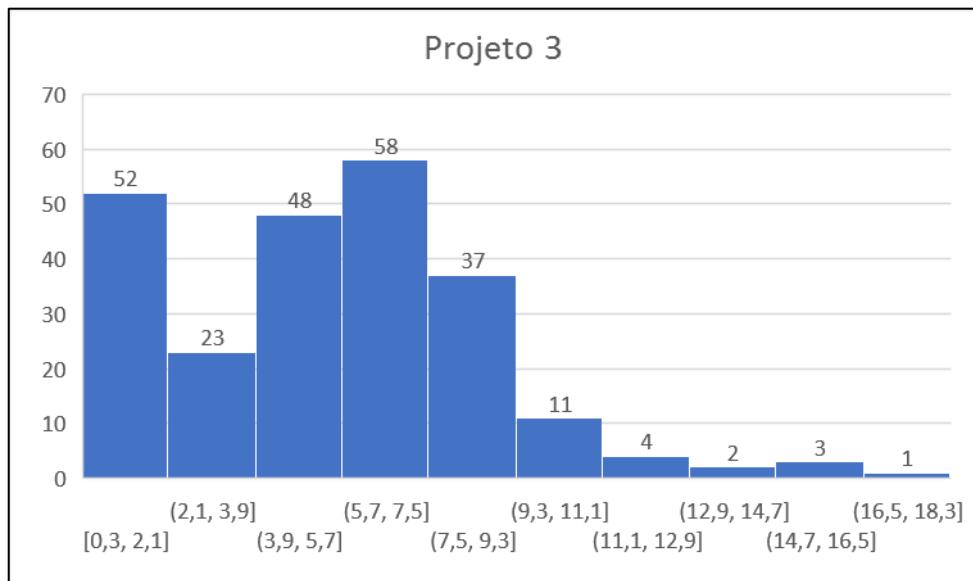
Ao comparar os resultados obtidos no modelo com os dados coletados é possível observar que as alocações de recursos realizadas manualmente pela empresa estudada como no projeto 3, não foram bem ajustadas, apresentando dias com uma duração de 0,3 até 18,3 horas (figura 39).

Figura 38. Taxa de ocupação (em horas) por projeto para o modelo com oito cenários.



Fonte: Elaborado pelo autor

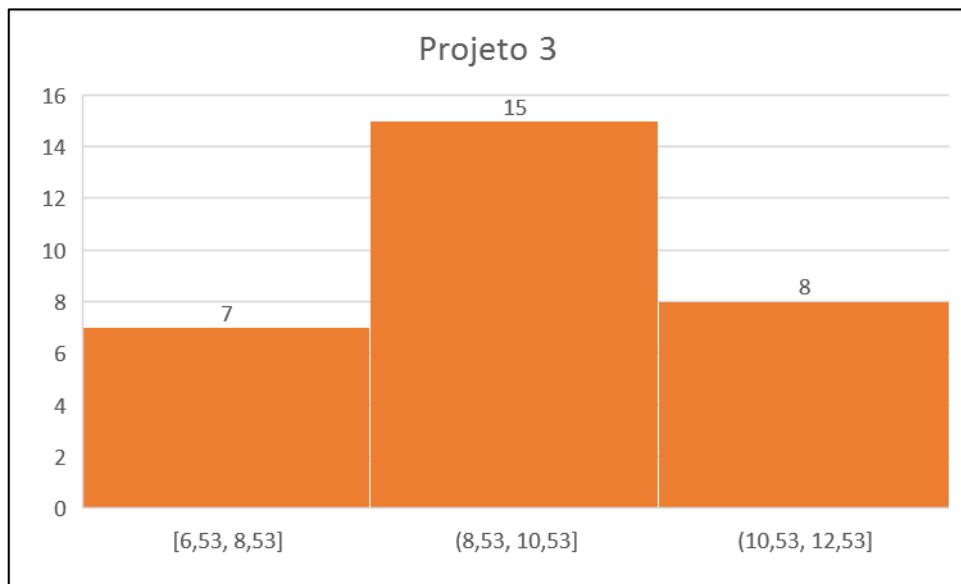
Figura 39. Histograma dos dados coletados na empresa, sobre a alocação dos RHE por dia (em horas) trabalhado, para realizar o projeto 3, entre os anos de 2014 e 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisar os resultados dos testes realizados com o projeto 3 (figura abaixo), é possível observar que, o modelo conseguiu otimizar o processo de alocação, na média reduziu o tempo máximo para a execução do respectivo projeto e o modelo também conseguiu melhorar os resultados dos demais.

Figura 40. Histograma da otimização da alocação dos RHE, realizado pelo modelo de simulação com *FIFO*, para realizar o projeto 3, entre os anos de 2014 e 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor

No entanto, o modelo *FIFO* apresenta algumas limitações, pois não permite identificar a ordem em que as tarefas devem ser realizadas. Outro ponto a ser destacado é que pelo fato do modelo *FIFO* atribuir sempre o primeiro projeto na fila para os recursos disponíveis nem sempre a respectiva alocação representa a melhor solução.

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE ATRIBUIÇÃO POR ORDEM DE PRIORIDADE E POR ORDEM DE CHEGADA

Com o objetivo de analisar a eficácia do modelo, foram realizados testes para comparar o desempenho quando o mesmo é ajustado para selecionar os recursos por prioridade e quando o tipo de atribuição é por ordem de chegada (*FIFO*), ou seja, o primeiro recurso disponível deve ser o primeiro a ser alocado.

Considerando os dois aspectos analisados (1) tempo médio para realizar cada projeto e (2) *makespan* do sistema, na média dos testes realizados o modelo por

atribuição de prioridade foi estatisticamente superior em relação a obtenção do menor *makespan*, no entanto em relação apenas a alocação dos projetos a diferença de 0,9% não pode ser considerada estatisticamente significativa, conforme pode ser visto na tabela 25.

Tabela 25. Desempenho do modelo de otimização considerando o tempo médio para realização dos projetos e o *makespan* do sistema, de acordo com o tipo de atribuição para os RHE.

Tipo de atribuição	Tempo médio para realizar os projetos	<i>Makespan</i> do sistema
Por prioridade	5,43 h	29,3 h
FIFO	5,38 h	32,5 h
Diferença	0,9%	11%

Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, sobre o problema integrado de alocação de recursos humanos especialistas e sequenciamento de tarefas foi tratado como um problema de ambiente denominado *job shop*. Para abordar o respectivo problema foi utilizado simulação computacional para a identificar a solução que retorna o menor *makespan*. Essa metodologia permite investigar um grande número de possibilidades com um custo computacional reduzido, no entanto a desvantagem dessa técnica é que não há garantias de encontrar a solução ótima.

Iniciou-se os estudos considerando uma amostra menor com sete recursos, vinte projetos e oito cenários, posteriormente, na versão completa do modelo, foram considerados todos os cenários possíveis para as alocações dos recursos, vinte e quatro no total. Também foram considerados dois tipos de atribuições para o modelo, o primeiro tipo e objetivo principal deste trabalho foi a atribuição por prioridade, em que os recursos, nos respectivos cenários, com uma nota de atribuição menor tinham preferência no atendimento do sistema, o segundo tipo foi atribuição do tipo *FIFO*, em que os primeiros recursos livres eram os primeiros a serem atendidos pelo sistema.

Os resultados obtidos indicam que a atribuição por prioridade tende a obter um melhor desempenho em relação ao modelo por *FIFO* e isso é mais evidente na otimização final do sistema (*makespan*) do que na otimização individual de cada projeto. É importante ressaltar que o fato de ter mudado as características do modelo, passando da versão reduzida para a versão completa não fez com que aumentasse o tempo de processamento, pelo contrário, houve uma diminuição no tempo de processamento na versão completa, isso ocorreu porque na versão reduzida todos os cenários em um determinado estágio concorriam pelos mesmos recursos e não havia outras possibilidades para alocação, assim o congestionamento nesta estação aumentou consideravelmente, já na versão completa haviam outras possibilidades para alocação.

Os resultados obtidos mostram que em média alocar três recursos é suficiente para otimizar o sistema, por ter sido resultado responsável por trazer os menores valores para o *makespan* para o sistema.

Com a aplicação do modelo é possível identificar através da construção de um diagrama os recursos alocados por projetos e o sequenciamento que otimiza o sistema, de forma que o tomador de decisão consiga ter uma leitura completa de todo o sistema antes mesmo de iniciar o processo de alocação, assim saberá para quais projetos cada recurso deve ser alocado, poderá prever o tempo de duração, quais projetos irão finalizar primeiro e quais recursos tendem a ter uma maior taxa de ocupação.

Trabalhos futuros poderão considerar a utilização de novas heurísticas e novos parâmetros que permitam aprimorar o modelo, e assim encontrar resultados diferentes. Também poderão ser considerados neste mesmo modelo novas regras de negócios como determinar o *makespan* que retorna o menor investimento com base no custo por hora trabalhada, visto que cada cargo tem uma faixa salarial diferente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Fernanda de Freitas et al. Modelos integrados de dimensionamento e sequenciamento da produção: aplicação em uma fábrica de cimento para refratário. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.204-218, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2196-15>.
- AZEVEDO, Margarida; BARBOSA, Álvaro. The creative industries as an integrated factor in a sustainable model for Macao's economic development. **Creative Industries Journal**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.121-133, 3 jul. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17510694.2014.962931>.
- BANKS, Mark. Craft labour and creative industries. **International Journal Of Cultural Policy**, [s.l.], v. 16, n. 3, p.305-321, ago. 2010. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10286630903055885>.
- BENOIT, Anne et al. Optimizing memory allocation for multistage scheduling including setup times. **Journal Of Scheduling**, [s.l.], v. 19, n. 6, p.641-658, 21 jul. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10951-015-0437-x>.
- BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Modelling and simulation – Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p.241-264, 2002.
- BOCCELLA, N.; SALERNO, I. Creative Economy, Cultural Industries and Local Development. **Procedia – Social and Behavioral Science**, v. 223, p.291-296, 2016.
- CABANILLAS, Cristina et al. Priority-Based Human Resource Allocation in Business Processes. **Service-oriented Computing**, [s.l.], p.374-388, 2013. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-45005-1_26.
- CAMALIONTE, E.; FONTES, A. **Inteligência de Mercado: Conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Saint Paul, 2011.
- CARRAPA, M.M.O.M.; **Técnicas de Investigação Operacional Aplicadas a um Problema de Escalonamento de Pessoal em Contexto Hospitalar**. Lisboa, 2003, 239p. Dissertação (Doutorado em Matemática Aplicada à Economia e à Gestão) Universidade Técnica de Lisboa, 2003.

CHRISTOPHERSON, Susan. Beyond the Self-expressive Creative Worker. **Theory, Culture & Society**, [s.l.], v. 25, n. 7-8, p.73-95, dez. 2008. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0263276408097797>.

FORBES. **The World's Most Valuable Brands.** Disponível em: <<http://www.forbes.com/powerful-brands/>> . Acesso em: 22/10/2016

FUCHIGAMI, Hélio Yochihiro; RANGEL, Socorro. UM ESTUDO COMPUTACIONAL DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA FLOW SHOP PERMUTACIONAL COM TAREFAS JUST-IN-TIME. **XLVIII SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Vitória, ES, Brasil, 27 a 30 de setembro de 2016.

GORDON, Valery; STRUSEVICH, Vitaly; DOLGUI, Alexandre. Scheduling with due date assignment under special conditions on job processing. **Journal Of Scheduling**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.447-456, 15 jun. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10951-011-0240-2>.

JERIĆ, Silvija Vlah; FIGUEIRA, José Rui. Multi-objective scheduling and a resource allocation problem in hospitals. **Journal Of Scheduling**, [s.l.], v. 15, n. 5, p.513-535, 19 jul. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10951-012-0278-9>.

KUSTERS, R.J.; PONSTEEN, A. Classification of Human and Automated Resource Allocation Approaches in Multi-Project Management. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.194, p. 165-173, 2015. Proceedings of the 2014 IPMA World Congress, Sept 29-Oct 1, Rotterdam, Netherlands.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos**. 3 ed., Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2012.

LOMBARDI, Michele et al. Stochastic allocation and scheduling for conditional task graphs in multi-processor systems-on-chip. **Journal Of Scheduling**, [s.l.], v. 13, n. 4, p.315-345, 18 jun. 2010. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10951-010-0184-y>.

MADEIRA, G.M. **Economia Criativa: Implicações e desafios para a política externa brasileira**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2014.

MAXIMIANO, A.C.A. **Teoria Geral da Administração: Da Revolução Urbana à Revolução Digital**. São Paulo: ATLAS, 2008.

MENEZES, F.M. et al. **INTEGRATION OF DYNAMIC JOB SHOP SCHEDULING UNDER STOCHASTIC VARIABLE DEMAND WITH DISCRETE EVENT SIMULATION FOR MANUFACTURING FACILITIES**. São Paulo: Universidade Nove de Julho, 2016.

MIGUEL, P.A.C. (org.) **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2 ed. ABEPROM, Rio de Janeiro: Campus, 2012.

MITCHELL, T.M. **Machine Learning**. 16^a ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

MORALES, Sergio Wilson Gomez. **FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS E ESTRATÉGICAS DE RESOLUÇÃO PARA O PROBLEMA JOB SHOP CLÁSSICO**. 2012. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://pro.poli.usp.br/dissertacao/formulacoes-matematicas-e-estrategias-de-resolucao-para-o-problema-job-shop-classico/>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

MORENO, Luis Fernando et al. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DOS ALGORITMOS HEURÍSTICOS PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE PLANEACIÓN DE TAREAS CON RESTRICCIÓN DE RECURSOS (RCPSP). **DYNA Universidad Nacional de Colombia**, Medellín, v. 74, n. 151, pp. 171-183, novembro de 2006.

PANG, L.. The Labor Factor in the Creative Economy: A Marxist Reading. **Social Text**, [s.l.], v. 27, n. 299, p.55-76, 18 maio 2009. Duke University Press. <http://dx.doi.org/10.1215/01642472-2008-022>.

PENHA, Renato et al. **APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA A RESOLUÇÃO DE JOB**. Singep, São Paulo, v. 3, n. 467, p.1-15, 11 nov. 14. Disponível em: <<https://singep.org.br/3singep/resultado/467.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2017.

PENHA, R.; KNIESS, C.T.; BERGMANN, D.R.; BIANCOLINO, C.A. Avaliação de Modelos Matemáticos para a Resolução de Job Shop Problem com Utilização de Recursos Humanos Especialistas em Projetos. **Revista de Ciências da Administração**, v.14, n.34, p. 118-130, Florianópolis, SC, outubro de 2012.

PEREIRA, C.R. **Apostila Arena 11.0**. UFSCar, 2009.

PEUTER, Greig de. Creative Economy and Labor Precarity. **Journal Of Communication Inquiry**, [s.l.], v. 35, n. 4, p.417-425, out. 2011. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0196859911416362>.

PORTAL BRASIL. **Economia criativa cresce mais que o PIB no Brasil**. Publicado em 04/2/2013. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/cultura/2013/02/economia-criativa-cresce-mais-que-o-pib-no-brasil>. Acesso em 15/10/2016.

POCHMANN, M. Ajuste econômico e desemprego recente no Brasil metropolitano. **Scientific Electronic Library Online**, vol.29, n.85, São Paulo dezembro de 2015.

PRADO, D.S. **Usando o ARENA em simulação**. 5 ed., v.3, Série Pesquisa Operacional, Nova Lima: FALCONI, 2014.

ROCHA, I.M. **Uma abordagem para o problema de alocação de equipes e escalonamento de tarefas para a obtenção de cronogramas eficientes**. Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2011.

RODGERS, Jess et al. Jobs for creatives outside the creative industries: a study of creatives working in the Australian manufacturing industry. **Creative Industries Journal**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.3-23, 2 jan. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17510694.2015.1034572>.

ROTHSTEIN, M. Hospital Manpower Shift Scheduling by Mathematical Programming. **Health Services Research**, v.8, n.1, 1973.

SAROMENHO, G.J. **Economia Criativa e Empreendedorismo**. Universidade Estácio de Sá, 2016.

SERRA, N.; FERNANDEZ, R.S. Economia Criativa: da discussão do conceito à formulação de políticas públicas. **Administração e Inovação**, v.11, n.4, p.355-372, outubro-dezembro/2014.

SILVA, Dhiego; BOLZANI, Leticia; VARGAS, Fabian. An intellectual property core to detect task scheduling-related faults in RTOS-based embedded systems. **2011 Ieee 17th International On-line Testing Symposium**, [s.l.], v. 0, n. 0, p.19-24, jul. 2011. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/iolts.2011.5993805>.

SILVA, M.F.S.S. **Abordagem Para Otimização Multiobjetivo de Regras Heurísticas de Sequenciamento em Sistemas de Manufatura Job Shop Por Meio de Simulação Computacional Acoplada ao Algoritmo Genético**. São Paulo, 2011, 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Nove de Julho. São Paulo, 2011.

SCIP. **Strategic and Competitive Intelligence Professionals**. Disponível em: <https://scip.site-ym.com/?page=CodeofEthics>. Acesso em: 19/01/2017.

TCHERNYKH, Andrei et al. On-line hierarchical job scheduling on grids with admissible allocation. **Journal Of Scheduling**, [s.l.], v. 13, n. 5, p.545-552, 5 mar. 2010. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10951-010-0169-x>.

VIEIRA, C.S.; BEZERRA, M.; FERREIRA, R.; LOPES, M.; NAKAO, R. O modelo matemático do problema de sequenciamento em projeto com restrição de recurso (PSPRR): um estudo de caso de uma fábrica automotiva. In: **XLVII SBPO**, Porto de Galinhas, PE, Brasil, 25 a 28 de agosto de 2015.

VIEIRA, C.S.; CARVALHO, C.R.V.; PINTO, R.L.U.F. Um modelo de sequenciamento e alocação de recursos limitados em projetos. In: **XXXIX SBPO**, Fortaleza, CE, Brasil, agosto de 2007.

WAGNER, Harvey M. An integer linear-programming model for machine scheduling. **Naval Research Logistics Quarterly**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.131-140, jun. 1959. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/nav.3800060205>. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/nav.3800060205/abstract>>. Acesso em: 09 jul. 2017.

WALL, M. GALIB: A C++ library of genetic algorithm components. **Mechanical Engineering Department**, Massachusetts Institute of Technology, 1996.

WENG, Chunhua et al. An Integrated Model for Patient Care and Clinical Trials (IMPACT) to support clinical research visit scheduling workflow for future learning health systems. **Journal Of Biomedical Informatics**, [s.l.], v. 46, n. 4, p.642-652, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbi.2013.05.001>.

YEDIDSION, Liron. Bi-criteria and tri-criteria analysis to minimize maximum lateness makespan and resource consumption for scheduling a single machine. **Journal Of**

Scheduling, [s.l.], v. 15, n. 6, p.665-679, 29 set. 2012. Springer Nature.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10951-012-0290-0>.

YU, Jia; BUYYA, Rajkumar. Scheduling Scientific Workflow Applications with Deadline and Budget Constraints Using Genetic Algorithms. **Scientific Programming**, [s.l.], v. 14, n. 3-4, p.217-230, 2006. Hindawi Publishing Corporation.
<http://dx.doi.org/10.1155/2006/271608>. Disponível em:
<https://www.hindawi.com/journals/sp/2006/271608/abs/>. Acesso em: 02 abr. 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – VALORES DAS EXPRESSÕES DE PROBABILIDADE PARA CADA UM DOS VINTE PROJETOS, CONSIDERANDO CADA UM DOS SETE RHE.

Projetos	Gerente	Supervisor	Coordenador	Analista Sênior	Analista Pleno	Analista Júnior	Estagiário
Projeto 1	0.999 + 2.75 * BETA (0.548, 0.921)	WEIB (3.66, 0.431)	0.03 + LOGN (0.663, 0.365)	POIS (0.0526)	LOGN (4.42, 4.05)	8 * BETA (1.24, 2.01)	UNIF (0.999, 5.95)
Projeto 2	EXPO (7.17)	WEIB (10, 0.336)	TRIA (0, 1.96, 16)	NORM (6.41, 3.18)	23 * BETA (0.63, 1.69)	28 * BETA (0.702, 2.04)	TRIA (0, 4.62, 18)
Projeto 3	0.999 + WEIB (0.0133, 0.394)	LOGN (1.76, 2.42)	7 * BETA (0.969, 3.06)	LOGN (2.34, 2.15)	25 * BETA (0.63, 1.69)	WEIB (6.31, 1.22)	1.5 + 4 * BETA (0.812, 0.837)
Projeto 4	4 * BETA (0.912, 1.8)	LOGN (1.87, 2.85)	LOGN (1.27, 1.63)	9 * BETA (0.417, 1.29)	NORM (5.77, 3.78)	13 * BETA (0.918, 1.72)	TRIA (0, 5.4, 6)
Projeto 5	EXPO (2.3)	LOGN (2.41, 3.92)	LOGN (2.03, 2.64)	13 * BETA (1.04, 2.88)	NORM (7.22, 3.25)	UNIF (0, 9)	0.25 + 2.75 * BETA (0.448, 0.863)
Projeto 6	EXPO(9) (1.18, 1.46)	GAMM (1.21)	EXPO (2.04, 1.67)	LOGN (2.01, 4.13)	16 * BETA (0.55, 11)	TRIA (0, 3.41, 7)	TRIA
Projeto 7	2.09 + 3.6 * BETA (0.596, 0.618)	0.59 + 1.9 * BETA (0.829, 0.856)	LOGN (0.848, 0.847)	TRIA (-0.5, 0, 1.5)	17 * BETA (1.19, 2.51)	0.999 + WEIB (4.61, 1.26)	0.001 + WEIB (0.0148, 0.378)
Projeto 8	0.25 + GAMM (0.45, 2.2)	GAMM (1.37, 1.39)	6 * BETA (0.629, 2.46)	0.999 + EXPO (0.854)	NORM (5.64, 2.84)	TRIA (3, 5.5, 8)	0.001 + WEIB (0.06, 0.249)
Projeto 9	0.53 + 4.22 * BETA (0.842, 0.737)	0.999 + 0.121 * BETA (0.866, 0.763)	0.001 + WEIB (0.0271, 0.248)	1 + 6.87 * BETA (1.06, 1.41)	7 * BETA (0.0672, 0.0897)	0.5 + WEIB (0.797, 1.92)	0.001 + WEIB (0.0165, 0.271)
Projeto 10	0.35 + LOGN (0.761, 0.724)	LOGN (0.949, 0.932)	EXPO (1.14)	0.14 + ERLA (0.573, 2)	LOGN (3.14, 2.46)	8 * BETA (1.17, 1.51)	0.25 + 2.75 * BETA (0.557, 0.185)
Projeto 11	0.09 + EXPO (1.91)	LOGN (2.34, 1.96)	7.87 * BETA (0.471, 2.56)	0.999 + EXPO (1.12)	WEIB (5.4, 1.39)	20 * BETA (1, 1.85)	UNIF (3.5, 6.5)
Projeto 12	6 * BETA (1.62, 2.45)	LOGN (1.43, 1.23)	11 * BETA (0.614, 3.03)	LOGN (2.9, 2.79)	12 * BETA (1.09, 1.31)	17 * BETA (1.11, 1.91)	0.5 + 6 * BETA (0.679, 0.822)
Projeto 13	NORM (1, 0.25)	0.23 + 3.2 * BETA (0.929, 1.53)	LOGN (0.881, 0.632)	6 * BETA (0.535, 1.62)	9 * BETA (1.02, 1.28)	17 * BETA (1.03, 2.3)	0.5 + 7 * BETA (0.818, 0.781)
Projeto 14	0.35 + LOGN (0.82, 0.683)	0.26 + LOGN (0.31, 0.26)	0.08 + 0.921 * BETA (0.995, 1.24)	0.04 + EXPO (1.79)	LOGN (2.55, 3.5)	8 * BETA (0.505, 0.964)	0.5 + LOGN (0.92, 0.826)
Projeto 15	0.999 + GAMM (0.21, 0.361)	0.25 + 2.75 * BETA (0.469, 0.548)	LOGN (1.44, 2.25)	UNIF (0.25, 3)	UNIF (-0.001, 7)	LOGN (3.17, 3.64)	UNIF (0.04, 5)
Projeto 16	LOGN (2.32, 2.67)	0.08 + EXPO (1.42)	EXPO (1.68)	6 * BETA (0.862, 1.4)	EXPO (2.39)	EXPO (3.02)	UNIF (1, 8)
Projeto 17	9 * BETA (0.679, 1.33)	WEIB (4.4, 1.32)	0.18 + 1.81 * BETA (0.871, 0.887)	LOGN (2.53, 2.32)	0.5 + LOGN (1.36, 1.65)	POIS (0.0526)	1.35 + 1.21 * BETA (0.0772, 0.0491)
Projeto 18	TRIA (0, 0.277, 6)	TRIA (0.43, 0.787, 4)	0.04 + LOGN (0.662, 0.438)	0.5 + 4 * BETA (0.783, 0.925)	WEIB (4.66, 1.49)	EXPO (2.14)	0.14 + ERLA (0.484, 3)
Projeto 19	TRIA (0, 0.277, 6)	TRIA (0.37, 1.56, 4)	LOGN (1.02, 0.837)	1.14 + LOGN (1.23, 0.986)	UNIF (0.999, 8)	6 * BETA (1.02, 1.3)	0.5 + LOGN (0.679, 0.367)
Projeto 20	UNIF (0.999, 2)	UNIF (-0.5, 2.5)	GAMM (0.714, 2.25)	0.25 + LOGN (1.16, 0.926)	0.999 + EXPO (2.38)	0.001 + EXPO (0.418)	0.001 + WEIB (0.0515, 0.258)

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B – VALORES DAS EXPRESSÕES SEM ALEATORIEDADE PARA CADA UM DOS VINTE PROJETOS, CONSIDERANDO CADA UM DOS SETE RHE, UTILIZADAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO.

Projetos	Gerente	Supervisor	Coordenador	Analista Sênior	Analista Pleno	Analista Júnior	Estagiário
Projeto 1	1,9	1,0	0,9	1,0	3,4	2,7	3,1
Projeto 2	1,6	1,7	1,6	3,5	2,5	3,4	5,0
Projeto 3	1,1	1,3	0,9	2,1	3,7	3,6	3,5
Projeto 4	1,3	1,2	0,9	1,8	4,2	3,8	3,6
Projeto 5	2,0	1,8	1,3	2,7	3,0	3,1	1,2
Projeto 6	1,6	1,5	0,9	1,9	3,8	3,7	3,5
Projeto 7	3,9	1,2	0,8	1,0	3,9	4,0	0,3
Projeto 8	1,2	1,4	0,9	1,9	3,6	3,7	4,5
Projeto 9	2,9	1,0	5,9	3,4	3,0	1,0	3,3
Projeto 10	1,0	0,9	0,7	1,3	2,5	2,6	2,4
Projeto 11	1,8	1,6	1,2	2,0	4,3	5,4	5,0
Projeto 12	1,8	1,2	1,2	2,5	4,9	4,1	3,0
Projeto 13	1,0	1,4	0,8	1,5	3,5	5,1	4,5
Projeto 14	1,1	0,6	0,4	1,8	1,9	2,5	4,0
Projeto 15	1,5	1,1	1,1	1,6	2,1	2,2	2,9
Projeto 16	1,5	1,3	1,4	2,0	2,0	2,5	5,1
Projeto 17	3,0	3,4	0,9	2,2	4,0	1,0	2,1
Projeto 18	1,6	1,2	0,7	2,3	3,3	2,1	1,6
Projeto 19	0,5	2,0	0,8	2,2	4,3	2,6	2,0
Projeto 20	1,6	1,5	1,6	1,4	2,7	1,3	3,3

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C – LISTAS DO ALGORITMO GENÉTICO NOS TESTES REALIZADOS PARA O MODELO DE ATRIBUIÇÃO POR PRIORIDADE

Lista 1	Lista 2	Lista 3	Lista 4	Lista 5	Lista 6	Lista 7	Lista 8	Lista 9	Lista 10	Lista 11	Lista 12	Lista 13	Lista 14	Lista 15	Lista 16	Lista 17	Lista 18	Lista 19	Lista 20	Lista 21	Lista 22	Lista 23	Lista 24	Lista 25	Lista 26	Lista 27	Lista 28	Lista 29	Lista 30	
84	85	60	6	47	18	2	86	11	9	1	48	24	47	0	86	76	53	62	40	67	38	61	60	28	71	35	7	55	35	
2	1	49	24	81	32	15	21	53	73	30	57	20	62	78	85	79	74	12	75	59	60	54	1	1	3	74	79	37		
91	20	23	33	80	58	38	7	35	19	2	12	10	82	74	22	69	62	89	34	39	41	84	49	20	80	68	14	78	23	
67	8	84	31	5	36	76	52	85	31	54	84	74	51	5	63	72	52	73	53	87	91	48	3	43	46	89	36	67	54	
12	87	4	79	21	3	4	69	90	35	21	73	18	24	3	53	83	14	1	18	41	42	20	70	4	12	72	82	4	34	
45	91	6	43	34	55	29	4	32	47	80	5	0	84	89	77	27	65	5	71	19	5	44	72	5	20	73	61	81	75	
26	34	5	46	89	64	66	78	6	25	45	86	85	15	72	4	6	12	85	81	63	79	27	52	36	60	62	5	69	83	
31	76	24	66	8	56	73	44	89	30	88	90	6	7	7	5	70	50	27	55	45	71	90	72	28	11	2	67	31	7	4
88	61	77	1	56	50	30	5	40	20	3	47	84	4	83	67	36	25	71	58	79	10	5	65	8	8	25	8	49	39	
32	83	76	41	35	59	68	75	37	7	29	83	26	14	9	11	54	79	32	36	62	3	68	31	17	21	32	69	33	10	
62	30	54	28	29	49	33	16	50	77	64	23	62	91	10	87	66	32	48	46	82	77	82	90	76	27	79	35	23	47	
40	21	11	40	10	47	82	11	3	21	11	85	21	11	51	13	4	39	88	61	14	36	32	11	56	55	81	83	72	11	
29	65	39	68	17	7	10	58	62	70	70	0	40	20	39	88	55	60	26	12	52	70	88	24	61	67	9	22	77	86	
86	23	2	13	6	0	17	22	46	84	13	21	35	8	62	58	13	30	30	13	84	71	90	45	37	58	82	16	36	60	
82	39	71	10	87	35	31	14	54	88	52	8	77	9	14	43	44	28	79	89	88	34	39	66	71	14	26	49	59	36	
11	16	15	38	49	76	1	74	20	72	39	55	91	35	87	62	15	26	78	49	42	52	77	0	44	13	29	40	19	7	
27	79	26	16	74	75	48	72	17	59	20	32	50	43	86	16	17	16	65	16	8	39	75	57	41	9	45	17	10	15	
59	68	29	78	72	17	90	45	10	17	48	17	17	76	80	12	22	61	54	6	58	22	73	4	12	17	53	37	61	71	
46	7	75	32	18	28	18	85	36	54	10	62	88	1	70	90	63	1	45	4	73	45	49	21	21	69	52	84	60	16	
7	19	53	5	78	80	19	82	82	16	90	80	46	64	54	65	67	80	86	19	22	19	42	82	19	75	19	34	71	52	
87	75	68	29	63	23	43	23	83	4	18	3	34	68	21	57	19	23	80	39	26	87	86	17	39	77	22	3	1	84	
21	72	48	4	60	21	21	1	22	18	23	34	43	33	11	91	85	19	21	79	85	37	67	13	49	10	87	41	6	49	
20	22	50	9	26	22	36	18	4	56	22	56	78	29	31	39	61	2	22	22	65	14	2	22	69	85	38	51	16	14	
0	71	9	75	28	45	69	51	1	23	91	60	53	23	69	76	90	44	19	37	23	53	69	33	23	90	23	29	45	18	
47	24	13	47	36	43	24	49	55	24	55	24	68	42	24	50	73	84	16	21	91	49	76	68	24	24	57	88	34	53	
74	59	25	55	25	86	64	38	43	22	25	26	5	83	81	59	56	29	81	28	36	59	36	25	77	91	75	39	21	20	
78	77	55	26	37	42	13	26	71	14	89	72	9	74	28	46	75	72	23	31	86	86	30	15	26	7	91	45	3	81	
24	5	30	57	59	5	88	42	68	34	17	41	27	49	55	49	80	49	13	27	81	78	17	61	35	36	27	73	90	64	
90	89	86	89	58	87	3	6	63	26	50	27	2	73	59	41	58	71	51	44	74	40	56	74	84	0	59	2	43	76	
48	60	72	62	7	15	78	29	87	11	40	82	33	55	29	32	7	75	72	33	29	44	13	7	29	33	61	1	58	50	
41	58	89	30	30	90	54	84	15	85	12	74	80	69	84	30	60	91	44	32	70	2	53	9	70	61	43	90	30	13	
68	31	31	83	77	31	5	28	47	13	16	39	38	41	40	52	91	3	75	73	53	47	3	80	27	43	18	76	31	2	
9	27	0	23	67	30	83	19	13	43	28	67	32	25	38	30	10	82	88	82	3	78	84	19	86	3	57	21	18	24	90
49	40	18	77	39	60	70	33	2	39	19	33	58	88	35	84	29	33	33	67	60	8	21	88	25	73	0	55	32	33	
34	43	36	56	75	34	16	73	70	37	31	75	56	5	20	40	32	21	34	70	34	37	73	34	3	63	44	5	41		
6	28	45	27	51	51	11	13	84	49	35	15	49	79	27	48	74	22	2	9	35	20	35	81	87	35	77	77	19	19	
36	18	7	59	12	73	27	63	51	36	44	36	36	2	47	37	28	69	17	2	47	24	91	10	60	53	58	10	84	29	
37	35	35	63	4	82	84	68	29	15	32	11	12	59	1	51	41	37	37	48	56	21	43	51	72	82	37	9	47	59	
42	51	3	35	38	57	52	66	39	58	46	7	31	85	25	38	89	63	77	24	13	80	29	62	78	44	24	71	70	89	
5	53	87	15	54	11	39	46	19	3	36	31	1	21	52	36	39	89	53	50	24	6	67	25	46	53	78	47	79	38	
22	17	21	25	76	48	32	55	34	33	76	81	22	40	17	45	43	90	74	90	40	81	40	75	51	79	10	53	64	32	
44	2	46	65	41	19	41	44	69	41	2	87	89	16	68	71	20	41	57	27	27	41	42	18	48	83	25	63	74		
16	33	42	7	65	40	53	61	26	42	63	44	11	44	8	26	59	42	31	72	61	35	64	64	5	48	37	4	75	25	63
18	9	43	91	19	67	61	70	8	8	77	43	3	46	43	70	40	87	43	47	55	88	78	69	83	45	33	46	40	77	
43	70	66	81	24	52	71	61	41	44	42	16	10	68	60	58	81	1	4	50	24	52	24	71	61	38	26	36	66	0	8
10	82	33	51	86	72	0	59	38	1	59	45	2	25	57	9	57	63	2	16	71	67	6	34	48	56	25	66	91		
75	50	16	74	50	39	60	57	61	52	0	35	72	58	76	69	23	6	20	88	17	23	16	19	30	41	84	27	66	91	
19	35	64	21	55	6	86	25	5	2	78	71	61	34	37	72	18	64	61	65	48	73	58	85	52	65	56	72	26	87	
70	44	61	11	70	62	23	27	5	34	59	73	48	42	54	62	54	82	20	64	89	41	63	62	12	62	80	62			
58</td																														

APÊNDICE D – LISTAS DO ALGORITMO GENÉTICO NOS TESTES REALIZADOS PARA O MODELO DE ATRIBUIÇÃO POR FIFO

Lista 1	Lista 2	Lista 3	Lista 4	Lista 5	Lista 6	Lista 7	Lista 8	Lista 9	Lista 10	Lista 11	Lista 12	Lista 13	Lista 14	Lista 15	Lista 16	Lista 17	Lista 18	Lista 19	Lista 20	Lista 21	Lista 22	Lista 23	Lista 24	Lista 25	Lista 26	Lista 27	Lista 28	Lista 29	Lista 30			
61	30	82	0	0	20	13	35	39	5	22	30	69	8	6	82	73	51	45	15	65	14	91	12	46	31	12	33	37	66			
80	1	47	53	1	67	1	47	79	73	91	55	42	48	88	50	18	1	25	72	22	56	47	42	19	90	2	22	35	33			
2	44	10	47	36	53	90	2	58	23	8	17	30	20	74	26	2	67	89	75	41	0	5	16	50	18	80	10	43	62			
3	6	84	6	4	31	73	41	52	86	43	18	59	38	43	17	69	77	70	65	49	11	75	90	51	74	70	3	82	19			
49	53	19	4	89	2	57	89	76	40	75	86	56	16	8	24	34	45	4	76	64	33	33	51	41	62	20	26	58	3			
25	58	31	17	5	26	16	90	5	84	59	32	82	50	64	5	30	35	14	45	83	31	11	62	5	52	75	46	16	5			
6	75	16	9	68	23	71	33	56	21	64	82	14	49	68	80	26	55	29	46	31	66	52	17	48	14	90	59	91	46			
29	7	85	75	77	24	8	15	27	12	86	50	16	18	86	7	57	46	18	8	58	35	43	53	82	57	7	76	29	38			
12	23	8	14	6	21	56	55	12	50	62	84	40	11	17	49	58	8	81	50	8	8	54	80	77	23	16	24	32	22			
8	48	22	90	39	91	20	64	16	15	13	83	53	71	70	18	33	20	34	63	9	45	29	26	9	58	72	9	90	26			
70	26	2	70	17	43	5	17	81	53	10	35	43	12	22	68	90	4	26	66	10	26	90	61	14	81	55	2	87	80			
7	77	0	80	72	11	3	30	11	33	39	13	24	3	46	20	85	83	78	35	27	2	14	1	61	28	6	61	73	88			
90	13	3	12	84	12	63	68	72	29	85	49	5	91	28	77	88	60	17	74	12	60	26	79	6	9	25	7	13	37			
13	36	90	3	82	36	83	13	13	18	8	26	46	17	25	87	17	12	43	17	69	20	0	2	81	78	74	15	49	56			
14	74	58	86	14	48	14	45	2	59	54	64	22	86	1	79	37	31	5	31	53	61	4	41	31	80	9	54	59	71			
73	66	70	19	76	83	35	22	48	77	84	48	64	19	15	29	16	30	37	17	15	72	15	86	11	42	47	69	78				
65	16	45	60	11	44	14	1	14	27	78	34	27	84	31	83	57	16	42	29	25	3	43	24	77	5	56	34	35	23			
36	4	66	20	32	45	52	0	55	44	74	60	51	87	9	23	48	69	7	64	15	16	84	85	72	84	5	27	50	13			
59	79	76	76	16	68	42	18	43	13	68	68	45	53	49	59	53	66	39	18	19	63	33	18	87	41	87	18	61	68			
4	27	49	25	46	0	29	19	41	67	6	73	37	10	19	19	43	71	66	11	33	21	19	7	25	19	3	63	2	15			
74	86	71	29	54	87	50	25	65	90	2	0	20	34	66	91	66	52	72	81	38	79	85	22	28	20	27	20	55	60			
83	17	46	40	31	71	61	29	34	62	17	38	84	13	21	53	62	44	44	25	28	6	69	76	1	65	31	34	51	9			
22	57	41	1	15	84	38	75	70	69	23	80	21	40	50	25	56	38	12	83	60	40	82	9	22	32	71	1	36	34			
71	73	1	58	7	89	44	20	6	55	63	1	55	73	58	28	54	58	22	90	23	41	1	87	59	56	34	35	23	57			
24	64	61	21	80	90	24	6	17	27	3	79	81	23	24	21	61	24	62	21	54	51	10	24	29	24	28	45	86				
5	25	54	82	55	6	80	86	85	87	76	43	26	25	81	70	14	53	87	22	35	39	89	63	49	54	66	49	25	7			
54	10	12	26	21	77	26	46	32	26	82	42	25	7	76	10	16	42	86	60	76	88	83	65	58	49	19	41	53	53			
15	42	27	41	69	28	48	9	14	79	58	7	41	21	27	39	12	72	84	73	32	25	66	27	8	55	50	86	67	87			
28	37	63	59	64	69	0	12	69	32	77	14	91	87	85	65	76	9	65	52	11	43	74	86	20	17	11	69	44	28			
31	40	74	61	29	72	47	80	35	22	37	51	88	41	89	36	42	37	88	7	45	84	57	81	62	47	85	15	85				
57	49	13	22	9	30	18	58	90	46	19	52	9	88	20	71	86	90	77	40	30	18	30	13	75	30	30	4	12	47			
72	35	55	31	12	86	62	81	37	66	31	76	31	44	0	13	31	28	52	88	63	36	21	28	52	83	25	8	32	30	2		
84	65	15	15	48	50	80	72	51	47	9	16	54	32	26	54	69	0	68	32	26	37	9	32	6	32	48	62	13	7	79		
66	89	33	8	19	46	11	59	30	16	55	67	48	89	56	16	60	6	63	78	25	24	18	23	0	8	29	79	33	50			
0	28	39	69	83	58	91	65	9	8	34	46	70	5	142	34	35	36	82	5	57	34	31	89	50	76	68	34	20				
1	91	79	27	48	42	84	82	79	0	44	24	63	74	33	6	3	88	35	24	85	53	63	29	80	12	33	78	1	64			
52	87	83	55	3	34	70	10	42	43	14	53	77	61	32	56	11	39	49	33	40	23	73	39	10	43	81	58	22	36			
76	21	37	66	20	70	33	43	25	37	42	40	45	80	73	70	38	32	70	61	27	88	10	62	69	12	39	73	19	27	41		
16	70	34	48	87	32	21	23	24	71	26	27	38	4	71	90	63	22	71	39	6	70	38	59	38	45	38	38	4	1			
38	43	17	7	26	73	39	39	63	89	66	59	52	72	0	39	48	87	32	80	28	39	91	39	55	85	37	21	14	88	32		
46	34	60	46	70	7	31	47	47	40	51	40	45	59	15	44	41	48	37	57	55	0	17	33	52	38	15	75	46	52			
20	82	35	78	41	40	41	85	74	41	41	41	87	42	38	61	29	41	41	48	2	57	46	8	35	6	64	12	66	48			
62	63	20	85	42	8	60	42	45	2	24	2	68	1	5	37	6	21	42	6	26	42	71	36	42	21	44	44	44	44			
32	51	87	54	13	49	27	44	68	81	61	11	52	81	36	47	1	34	67	13	30	83	29	4	77	75	35	57	5	57	71	5	69
47	33	52	49	91	17	25	52	21	11	52	66	1	84	42	41	28	31	43	75	50	7	83	47	53	67	55	11	42				
53	54	30	62	9	53	53	64	65	51	44	35	30	78	74	91	59	67	19	36	74	53	38	53	89	41	53	48	6				
50	84	88	72	34	81	9	50	53	64	35	62	49	54	79	54	23	43	6	54	54	48	8	19	36	79	86	80	54	91			
55	81	36	32	49	86	8	28	45	78	36	60	59	51	64	67	87	15	34	59	55	81	24	55	76	85	50	41	11				
56	12	56	18	52	51	56	23	91	1	20	0	32	32	82	0	70	40	38	13	24	47	16	16	17	35	28	31	42	43			

ANEXOS

APÊNDICE A – CÓDIGO VBA UTILIZADO NO MODELO

```
Private Sub ModelLogic_DocumentOpen()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ModelLogic_RunBeginSimulation()
```

```
Dim oModel As Arena.Model
```

```
Dim oModule As Arena.Module
```

```
Dim oModuleIndex As Long
```

```
'Variables for file
```

```
Dim sFileName As String
```

```
Dim iFileNum As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim sBuf As String
```

```
.....
```

```
'Clear the Output File
```

```
Dim sOutputFile As String
```

```
sOutputFile = "C:/Users/Karinne/Documents/Andre/outputAR.txt"
```

```
iFileNum = FreeFile()
```

```
Open sOutputFile For Output As iFileNum
```

```
'close the file
```

```
Close iFileNum
```

```
'
```

```
.....
```

```
'Faz a leitura do arquivo
```

```
sFileName = "C:/Users/Karinne/Documents/Andre/outputAG.txt"
```

```
' does the file exist? simpleminded test:
```

```
If Len(Dir$(sFileName)) = 0 Then
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
iFileNum = FreeFile()
```

```
Open sFileName For Input As iFileNum
```

```
Dim StaticArray(1 To 92) As String 'Armazena os valores lidos
```

```
i = 1
```

```
Do While Not EOF(iFileNum)
```

```
    Line Input #iFileNum, sBuf
```

```
    ' now you have the next line of the file in sBuf
```

```
    ' do something useful:
```

```
    StaticArray(i) = sBuf
```

```
    i = i + 1
```

```
Loop
```

```
' close the file
```

```
Close iFileNum
```

```
'Aponta o modelo atual
Set oModel = ThisDocument.Model

' Preenche valores dos cenarios

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(1)) = StaticArray(1) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(2)) = StaticArray(2) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(3)) = StaticArray(3) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(4)) = StaticArray(4) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(5)) = StaticArray(5) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(6)) = StaticArray(6) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(7)) = StaticArray(7) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(8)) = StaticArray(8) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(9)) = StaticArray(9) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(10)) = StaticArray(10) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(11)) = StaticArray(11) "object.625")).Data("Initial

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,
Value(12)) = StaticArray(12) "object.625")).Data("Initial
```

```

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(13)") = StaticArray(13)

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(14)") = StaticArray(14)

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(15)") = StaticArray(15)

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(16)") = StaticArray(16)

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(17)") = StaticArray(17)

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(18)") = StaticArray(18)

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(19)") = StaticArray(19)

oModel.Modules(Model.Modules.Find(smFindTag,      "object.625")).Data("Initial
Value(20)") = StaticArray(20)

```

.....

'Muda Prioridades das tarefas do cenario #1 (template Advanced Transfer >> Sequence)

```

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.363")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(21) 'Cenario 1 Step 1

oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(22) 'Cenario 1 Step 2

oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(23) 'Cenario 1 Step 3

oModule.Data("Value(1,4)") = StaticArray(24) 'Cenario 1 Step 4

```

.....

'Muda Prioridades das tarefas do cenario #2

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.364")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(25) 'Cenario 2 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(26) 'Cenario 2 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(27) 'Cenario 2 Step 3
```

```
oModule.Data("Value(1,4)") = StaticArray(28) 'Cenario 2 Step 4
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #3
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.365")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(29) 'Cenario 3 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(30) 'Cenario 3 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(31) 'Cenario 3 Step 3
```

```
oModule.Data("Value(1,4)") = StaticArray(32) 'Cenario 3 Step 4
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #4
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.366")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(33) 'Cenario 4 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(34) 'Cenario 4 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(35) 'Cenario 4 Step 3
```

```
oModule.Data("Value(1,4)") = StaticArray(36) 'Cenario 4 Step 4
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #5
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.367")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(37) 'Cenario 5 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(38) 'Cenario 5 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(39) 'Cenario 5 Step 3
```

```
oModule.Data("Value(1,4)") = StaticArray(40) 'Cenario 5 Step 4
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #6
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.368")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(41) 'Cenario 6 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(42) 'Cenario 6 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(43) 'Cenario 6 Step 3
```

```
oModule.Data("Value(1,4)") = StaticArray(44) 'Cenario 6 Step 4
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #7
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.369")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(45) 'Cenario 7 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(46) 'Cenario 7 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(47) 'Cenario 7 Step 3
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #8
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.370")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(48) 'Cenario 8 Step 1
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(49) 'Cenario 8 Step 2
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(50) 'Cenario 8 Step 3
-----
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #9

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.371")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(51) 'Cenario 9 Step 1
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(52) 'Cenario 9 Step 2
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(53) 'Cenario 9 Step 3
-----
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #10

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.372")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(54) 'Cenario 10 Step 1
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(55) 'Cenario 10 Step 2
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(56) 'Cenario 10 Step 3
-----
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #11

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.373")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(57) 'Cenario 11 Step 1
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(58) 'Cenario 11 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(59) 'Cenario 11 Step 3
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #12
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.374")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(60) 'Cenario 12 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(61) 'Cenario 12 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(62) 'Cenario 12 Step 3
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #13
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.375")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(63) 'Cenario 13 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(64) 'Cenario 13 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(65) 'Cenario 13 Step 3
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #14
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.376")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(66) 'Cenario 14 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(67) 'Cenario 14 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(68) 'Cenario 14 Step 3
```

```
.....
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #15
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.377")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(69) 'Cenario 15 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(70) 'Cenario 15 Step 2
```

```
oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(71) 'Cenario 15 Step 3
```

```
::::::::::::::::::
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #16
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.378")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(72) 'Cenario 16 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(73) 'Cenario 16 Step 2
```

```
::::::::::::::::::
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #17
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.379")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(74) 'Cenario 17 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(75) 'Cenario 17 Step 2
```

```
::::::::::::::::::
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #18
```

```
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.380")
```

```
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(76) 'Cenario 18 Step 1
```

```
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(77) 'Cenario 18 Step 2
```

```
::::::::::::::::::
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #19

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.381")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(78) 'Cenario 19 Step 1

oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(79) 'Cenario 19 Step 2

oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(80) 'Cenario 19 Step 3

::::::::::
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #20

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.382")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(81) 'Cenario 20 Step 1

oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(82) 'Cenario 20 Step 2

oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(83) 'Cenario 20 Step 3

::::::::::
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #21

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.383")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(84) 'Cenario 21 Step 1

oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(85) 'Cenario 21 Step 2

oModule.Data("Value(1,3)") = StaticArray(86) 'Cenario 21 Step 3

::::::::::
```

```
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #22

oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.384")

Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
```

```

oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(87) 'Cenario 22 Step 1
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(88) 'Cenario 22 Step 2
-----
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #23
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.385")
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(89) 'Cenario 23 Step 1
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(90) 'Cenario 23 Step 2
-----
'Muda Prioridades das tarefas do cenario #24
oModuleIndex = oModel.Modules.Find(smFindTag, "object.386")
Set oModule = oModel.Modules.Item(oModuleIndex)
oModule.Data("Value(1,1)") = StaticArray(91) 'Cenario 24 Step 1
oModule.Data("Value(1,2)") = StaticArray(92) 'Cenario 24 Step 2
-----
End Sub

Private Sub ModelLogic_RunEndReplication()
    Dim oModel As Arena.Model
    Dim oSIMAN As Arena.SIMAN
    Dim oMSIndex As Long
    Dim oTAIndex As Long
    Dim oNAIndex As Long
    Dim nValue1 As Integer
    Dim nValue2 As Long

```

```
Dim nValue3 As Long

'Faz a escrita em arquivo

Dim sFileName As String

Dim iFileNum As Integer

Dim i As Integer

Dim sBuf As String

Dim dVal As Double

'Aponta o modelo atual

Set oModel = ThisDocument.Model

'Aponta SIMAN

Set oSIMAN = oModel.SIMAN

'Pega index "makespan"

oMSIndex = oSIMAN.SymbolNumber("Makespan")

'oTAIndex = oSIMAN.SymbolNumber("Tempo Total de Atraso")

'oNAIndex = oSIMAN.SymbolNumber("Numero de trabalhos atrasados")

'Pega valores

nValue1 = oSIMAN.TallyAverage(oMSIndex)

'nValue2 = oSIMAN.CounterValue(oTAIndex)

'nValue3 = oSIMAN.CounterValue(oNAIndex)

'Create (or open) output file

sFileName = "C:/Users/Karinne/Documents/Andre/outputAR.txt"

iFileNum = FreeFile()
```

```
Open sFileName For Append As iFileNum
```

```
'
```

```
'Write #iFileNum, nValue1; nValue2; nValue3
```

```
Print #iFileNum, nValue1
```

```
' close the file
```

```
Close iFileNum
```

```
'
```

```
End Sub
```