



APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* EM ALGORITMOS DE *LAYOUT*: O CASO DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DO CENTRO DE TECNOLOGIA

Guilherme Porto Ottoni

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, D.Sc.

Co-Orientador: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2015

APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* EM ALGORITMOS DE *LAYOUT*: O CASO DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DO CENTRO DE TECNOLOGIA

Guilherme Porto Ottoni

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

Examinado por:

Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, D.Sc.

Prof. Getúlio Marques Martins, D.Sc.

Prof. Amarildo da Cruz Fernandes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO de 2015

Ottoni, Guilherme Porto

Aplicação da Lógica *Fuzzy* em Algoritmos de *Layout*: O Caso do Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia/ Guilherme Porto Ottoni – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2015.

XI, 71 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Vinícius Carvalho Cardoso

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Produção, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 53-55

1.Problema de *Layout*. 2.Lógica *Fuzzy*. 3.Algoritmos de *Layout*.

I. Cardoso, Vinícius Carvalho. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Produção. III. Aplicação da Lógica *Fuzzy* em Algoritmos de *Layout*: O Caso do Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus professores orientadores, Vinícius Carvalho Cardoso e Carlos Alberto Nunes Cosenza, pela enorme contribuição e paciência em me auxiliar na condução deste trabalho.

Aos professores Getúlio Marques Martins e Amarildo da Cruz Fernandes por se disponibilizarem a fazer parte da banca avaliadora, prestigiando esse projeto.

Agradeço também a todos os professores e funcionários do Curso de Engenharia de Produção que contribuíram na minha formação acadêmica e profissional ao longo dos últimos anos. Especialmente, gostaria de agradecer a dois professores que muito me orientaram e inspiraram ao longo do curso, Luiz Antônio Meirelles pela seriedade e importância com que via o curso e a profissão de um engenheiro de produção, e a professora e coordenadora Maria Alice Ferruccio Rainho, que sempre esteve presente ao longo da minha formação acadêmica.

Não poderia me furtar de agradecer a todos da minha família, que sempre me apoiaram e me guiaram. Tenho certeza que se estou hoje me formando como engenheiro de produção em uma das mais renomadas universidades do Brasil, a tudo isso devo a eles. A minha namorada Mariana, pelo carinho e companheirismo durante todos esses anos. Aos amigos e colegas, que certamente fizeram desse caminho uma trajetória muito mais divertida e fácil de seguir.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

Aplicação da Lógica *Fuzzy* em Algoritmos de *Layout*: O Caso do Restaurante
Universitário do Centro de Tecnologia

Guilherme Porto Ottoni

Fevereiro/2015

Orientador: Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, D.Sc.

Co-Orientador: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Curso: Engenharia de Produção

Tradicionalmente, em um projeto de *layout*, são levadas em consideração diversas variáveis e aspectos da instalação estudada. Tal diversidade de fatores aumenta a complexidade do projeto, que ainda possui como desafio a necessidade de lidar com variáveis tanto qualitativas como quantitativas. O presente trabalho estuda a aplicação de um método baseado na lógica *fuzzy* junto a algoritmos de *layout*, através de um estudo de caso. A abordagem *fuzzy* se faz particularmente útil devido às vaguezas, e incertezas presentes nos aspectos qualitativos envolvidos em tal projeto.

Após uma revisão bibliográfica dos métodos *fuzzy* já desenvolvidos para lidar com o problema de *layout*, foi aplicado um desses métodos junto a dois algoritmos de *layout* – MULTIPLE e CORELAP - para o estudo de caso de um restaurante universitário. Ao final do projeto, as alternativas geradas pelos algoritmos foram avaliadas por diferentes critérios.

Palavras-chave: Problema de *Layout*. Lógica *Fuzzy*. Algoritmos de *Layout*.

Abstract of Undergraduate Project presumed to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Industrial Engineer.

Fuzzy Logic Application on Layout Algorithms: The Case of the University Restaurant
of the *Centro de Tecnologia*

Guilherme Porto Ottoni

February/2015

Advisor: Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, D.Sc.

Co-Advisor: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Course: Industrial Engineering

Traditionally, in a layout design project, are taken into account many variables and aspects of the studied installation. This diversity of factors increases the complexity of the project, which still has as challenge the need to deal with both qualitative and quantitative variables. This paper studies the application of a method based on fuzzy logic with layout algorithms, through a case study. The fuzzy approach is particularly useful due to vagueness, and uncertainties in the qualitative aspects involved in such a project.

After reviewing the literature on fuzzy methods already developed for dealing with the layout problem, it was applied one of these methods with two layout algorithms – MULTIPLE and CORELAP - to the case study of a university restaurant. At the end of the project, the alternatives generated by the algorithms were evaluated by different criteria.

Keywords: Facility Layout Problem. Fuzzy Logic. Layout Algorithms.

.

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Apresentação.....	1
1.2	Objeto.....	1
1.2.1	O Restaurante Universitário	2
1.3	Objetivo	4
1.3.1	Objetivo Geral	4
1.3.2	Objetivo Específico	4
1.4	Justificativa	4
1.5	Método	5
2	Enquadramento Conceitual	7
2.1	Problema de <i>layout</i>	7
2.1.1	Introdução e histórico do tema	7
2.1.2	Método SLP.....	8
2.1.3	Algoritmos e o uso da computação	11
2.2	Lógica <i>Fuzzy</i>	13
2.3	Pesquisa Bibliográfica: A Lógica <i>Fuzzy</i> no Problema de <i>Layout</i>	15
3	O Método <i>Fuzzy</i>	19
3.1	Sistema <i>Fuzzy</i> de Tomada de Decisões	19
3.2	Interface de <i>Fuzzyficação</i>	20
3.2.1	Critérios Crisp: Movimentação de Material	21
3.2.2	Critérios Fuzzy: Opinião dos Especialistas	23
3.3	Lógica de Tomada de Decisão	24
3.3.1	Analytical Hierarchy Process	24
3.3.2	Operação IF-THEN	28
3.4	Interface de <i>Defuzzyficação</i>	31
3.4.1	Operação de Multiplicação	32

3.4.2	Operador Máximo	33
3.4.3	Multiplicação dos Índices e Soma dos Critérios	34
4	Algoritmos de <i>layout</i>	37
4.1	CORELAP	37
4.1.1	Sequenciamento das áreas	37
4.1.2	Posicionamento das Áreas	39
4.2	MULTIPLE.....	42
5	Resultados Obtidos.....	48
6	Conclusão	52
7	Bibliografia.....	53
8	Apêndices	56
8.1	Apêndice A – Matriz de Proximidades	56
8.2	Apêndice B – <i>Layout</i> Final CORELAP	57
8.3	Apêndice C – <i>Layout</i> MULTIPLE: Curva 1 – Sequência 1	58
8.4	Apêndice D – <i>Layout</i> MULTIPLE: Curva 1 – Sequência 2	59
8.5	Apêndice E – <i>Layout</i> MULTIPLE: Curva 1 – Sequência 3	60
8.6	Apêndice F – <i>Layout</i> MULTIPLE: Curva 2 – Sequência 1	61
8.7	Apêndice G – <i>Layout</i> MULTIPLE: Curva 2 – Sequência 2	62
8.8	Apêndice H – <i>Layout</i> MULTIPLE: Curva 2 – Sequência 3	63
9	ANEXOS.....	64
9.1	Anexo A – <i>Blueprints</i> do Funcionamento do RU-CT	64
9.2	Anexo A – Matriz De-Para do Fluxo de Materiais	66
9.3	Anexo C – Respostas do Questionário com Especialista.....	67
9.4	Anexo D: Layout Sugerido pelo Caso Estudado	71

Lista de Figuras

Figura 1: Procedimentos do Método SLP.....	9
Figura 2: Exemplo de Variáveis e Termos <i>Fuzzy</i>	14
Figura 3: Sistema <i>fuzzy</i> de tomada de decisões	19
Figura 4: Exemplo de posicionamento – CORELAP	40
Figura 5: <i>Layout</i> final CORELAP	42
Figura 6: Exemplo de <i>Layout</i> – MULTIPLE	44
Figura 7: Curvas de preenchimento do <i>layout</i> MULTIPLE	46
Figura 8: <i>Layouts</i> obtidos com o algoritmo MULTIPLE	47

Lista de Tabelas

Tabela 1: Áreas do RU-CT.....	2
Tabela 2: Intensidades de importância no AHP	24
Tabela 3: Matriz de importâncias entre variáveis.....	25
Tabela 4: Índice RI	26
Tabela 5: Valores da ferramenta AHP.....	26
Tabela 6: Regras IF-THEN.....	29
Tabela 7: Exemplo de Operação IF-THEN	31
Tabela 8: Exemplo de Índices Multiplicadores associados à operação IF-THEN	33
Tabela 9: Exemplo de Cálculo do valor de PC	35
Tabela 10: Numeração e Legenda das Áreas do RU-CT.....	39
Tabela 11: Avaliações dos <i>layouts</i> obtidos.....	49

Lista de Abreviaturas

UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
CORELAP	<i>Computerized Relationship Layout Planning</i>
MULTIPLE	<i>Multi-floor Plant Layout Evaluation</i>
RU-CT	Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia da UFRJ
SLP	<i>Sistematic Layout Planning</i>
FLP	<i>Facility Layout Problem</i>
CIP	Carta de Inter-relações Preferenciais
CRAFT	<i>Computerized Relative Allocation of Facilities Technique</i>
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
PQA	Problema Quadrático de Alocação
FMDS	Sistema <i>Fuzzy</i> de Tomada de Decisões
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
VNS	<i>Variable Neighborhood Search</i>
CI	Índice de Consistência
CR	Razão de Consistência
RI	Índice Aleatório
TCR	<i>Total Closeness Rating</i>
RP	<i>Rating</i> de Posicionamento
SFC	<i>Space-filling Curves</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O trabalho a seguir constitui-se de um estudo de caso do desenho de *layout* de um restaurante universitário. Sobre o estudo de caso, aplica-se um método baseado na lógica *fuzzy* para trabalhar com as variáveis quantitativas e qualitativas que envolvem um projeto de *layout*, seguido da utilização de dois algoritmos computacionais distintos – o CORELAP e o MULTIPLE - para a construção do *layout*. Com a aplicação de tal método, este projeto busca verificar a viabilidade da aplicação dos conceitos da lógica *fuzzy* no problema de *layout*.

O problema de *layout* é um tema abordado há bastante tempo pela engenharia, referente ao posicionamento das áreas e departamentos em uma planta industrial, e é visto por muitos como uma mistura de arte e ciência, pela visão tanto criativa quanto quantitativa que exige. A abordagem do tema através da recente lógica *fuzzy*, desenvolvida pela primeira vez em 1965 (Zadeh, 1965), pode apresentar resultados interessantes, devido à forma com que essa nova ciência trata aspectos tanto qualitativos como quantitativos e suas vaguezas.

O trabalho então realiza um breve enquadramento conceitual, seguido de uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, para então aplicar um método *fuzzy* no problema de *layout*, seguido de algoritmos computacionais para realizar o desenho do mesmo.

1.2 Objeto

O objeto de estudo do atual trabalho é a aplicação de um método *fuzzy* seguido da utilização de algoritmos de construção e melhoria de *layout*, para o problema de *layout* de bloco estático. Tal método será aplicado em cima de um estudo de caso do projeto de *layout* do Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia da UFRJ (RU-CT), realizado na disciplina de Planejamento das Instalações (Ottoni *et al.*, 2012). Para a aplicação do método *fuzzy*, será realizada, a priori, uma pesquisa bibliográfica sobre a aplicação da lógica *fuzzy* no problema de *layout*, a fim de encontrar o método mais adequado a ser aplicado no estudo de caso.

O caso estudado aplica a metodologia de *Systematic Layout Planning* (SLP) para projetar o *layout* do restaurante. Este trabalho visa utilizar os dados coletados no caso, também chamados de dados de entrada, além do fluxo de materiais e opinião dos especialistas sobre critérios qualitativos. Fica fora do escopo deste trabalho analisar ou modificar qualquer método, decisão ou resultado dessa coleta de dados realizada.

Outra restrição do trabalho se refere a não utilização de softwares pagos de métodos *fuzzy* ou construção de *layout*. Sendo assim, o único software utilizado no trabalho foi o Microsoft® Office Excel™ 2010, que, podendo ser programado em Visual Basic for Applications, foi utilizado nos cálculos e base para implementação dos algoritmos de *layout*.

1.2.1 O Restaurante Universitário

O Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia da UFRJ é uma das unidades dos Restaurantes Universitários que existem na UFRJ, que visam oferecer uma alimentação saudável e balanceada para os alunos da faculdade, por um preço acessível (Ottoni *et al.*, 2012). Para isso, o restaurante, sob gestão de uma equipe de nutricionistas da UFRJ, conta com o apoio de uma empresa terceirizada, responsável por preparar e servir as refeições aos alunos da UFRJ. O restaurante funciona de segunda a sexta-feira, das 11:00 às 14:00 servindo cerca de 900 refeições diárias nesse horário.

Em Ottoni *et al.* (2012), os autores, seguindo o método SLP, dividiram o restaurante em 18 áreas distintas, com cada uma dessas áreas, necessitando um espaço distinto, em metros quadrados, para um bom funcionamento. Essa definição foi realizada através da análise da planta baixa, do funcionamento do restaurante e de entrevistas com os gestores do restaurante.

Tabela 1: Áreas do RU-CT
Fonte: Adaptado de Ottoni *et al.* (2012)

Área	Espaço necessário (m ²)
Entrada de Clientes	18
Distribuição	32
Refeitório	168
Área de Funcionários	5
Vestiários	15

Recepção de Alimentos	35
Sala de Nutricionistas	9
Sala da Terceirizada	9
Área de Finalização	32
Armazém de Utensílios	10
Lixo Seco	4
Lixo Refrigerado	4
Higienização	30
Área Técnica	18
Estoque de Limpeza	4
Estoque de Gênero	4
Estoque de Descartáveis	4
Saída do Lixo	-

Para mapear o funcionamento do restaurante, os autores do caso estudado elaboraram um *blueprint*, representando os principais processos sob quatro visões distintas: atividades do cliente, interações *onstage*, interações *backstage* e processo de suporte. Esse *blueprint* pode ser encontrado em anexo A ao final do trabalho.

A fim de classificar a movimentação de pessoas e materiais entre as áreas do restaurante, o caso estudado utiliza um sistema de pesos para fazer a equivalência entre fluxos distintos, trazendo todos para uma mesma medida, em kg. Basicamente, utilizou-se uma ponderação de forma que a movimentação de um cliente equivalesse aproximadamente à movimentação de uma refeição (776g) mais os utensílios utilizados na mesma (1176g). Os pesos dos materiais (refeições, utensílios, lixo, etc.) não sofreram modificações. Com esse ajuste, pode-se construir a tabela de-para entre as áreas da movimentação de materiais (englobando a movimentação dos clientes) referente a um dia de funcionamento do restaurante. Tal tabela pode ser encontrada no Anexo B.

Além dessa tabela de movimentação de materiais, os autores do caso ainda passaram um questionário junto a especialistas do restaurante (nutricionistas da UFRJ e funcionários da empresa terceirizada). Nesse questionário, baseado em conceitos da lógica *fuzzy*, os entrevistados avaliaram a relação de proximidade ou distância desejada entre todos os pares de áreas do restaurante, através de 5 critérios distintos. Tal questionário pode ser encontrado no ANEXO C, e seu resultado analisado no capítulo 3 deste trabalho.

Ao final do caso estudado, os autores sugerem uma alternativa de *layout* para o restaurante, ainda em formato de *layout* de bloco (sem detalhamento do interior das áreas), que pode ser encontrado no ANEXO D.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral a aplicação de um método baseado nos conceitos da lógica *fuzzy*, seguido da utilização de algoritmos computacionais em um estudo de caso de desenho de *layout*.

1.3.2 Objetivo Específico

Como objetivo específico, este trabalho visa:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre a aplicação da lógica *fuzzy* no problema de *layout*;
- Dentre os métodos *fuzzy* estudados, selecionar um e aplicá-lo no estudo de caso do *layout* do RU-CT (Ottoni *et al.*, 2012), usando como dados de entrada os valores reportados no estudo de caso;
- Selecionar e aplicar ao menos um algoritmo computacional de construção de *layout* sobre os dados resultados do método *fuzzy* utilizado no estudo de caso;
- Analisar os resultados obtidos.

1.4 Justificativa

O problema de *layout* é conhecido por sua grande importância na eficiência de sistemas produtivos, por afetar diretamente variáveis essenciais ao sistema, tais como custos de produção, *lead-time*, *work in progress* entre outros. Segundo Tompkins (2003), um bom planejamento das instalações pode reduzir os custos de manuseio de materiais entre 10% e 30%, sendo o primeiro responsável por 20% a 50% dos custos totais de uma fábrica.

Diversas abordagens já foram desenvolvidas e testadas ao longo do tempo, mas o problema de *layout* geralmente é de grande complexidade, sendo considerado pela pesquisa operacional como um problema *NP-hard*¹, na maioria dos casos. Como consequência dessa grande importância, complexidade e impossibilidade computacional de trabalhar problemas *NP-hard* com diversas variáveis, diversos trabalhos científicos são publicados todos os anos, buscando resolver o problema de *layout* através de abordagens distintas.

Em muitos casos, o tipo de dado que afeta o problema de *layout* não são precisos, ou exatamente conhecidos. Dessa forma a lógica *fuzzy* é uma das abordagens que se destaca, pela capacidade de trabalhar com tais vaguezas e incertezas, e as novas possibilidades que tal método possibilita.

Outro fator que motivou o atual trabalho vem do fato de que, atualmente, uma solução computacional exata e ótima é inviável para o problema de *layout* com muitas variáveis (Sing, 2006). Dessa forma, diversos algoritmos, métodos e heurísticas foram desenvolvidos para abordar o problema. A aplicação de algoritmos que fazem uso da capacidade computacional que possuímos atualmente pode trazer ganhos significativos no desenho de *layout* sobre métodos simplesmente manuais ou intuitivos.

Dessa forma, o projeto busca realizar um estudo sobre a aplicação da lógica *fuzzy* nos problemas de *layout*, assim como uma simulação de uma aplicação, em cima de um problema com a classificação da pesquisa, de um método *fuzzy* seguido de algoritmos computacionais no projeto de *layout*.

1.5 Método

O método aplicado no trabalho pode ser resumido por uma pesquisa bibliográfica e uma aplicação de um método *fuzzy* seguido de algoritmos de *layout* em um estudo de caso de um restaurante universitário.

A pesquisa bibliográfica foi realizada através da busca de artigos acadêmicos em revistas internacionais relacionados ao assunto: aplicação da lógica *fuzzy* sobre o problema de *layout*. Tais artigos começam a ser publicados em 1986, e ainda que não

¹ *NP-Hard* refere-se a uma classe de problemas na pesquisa operacional de difícil resolução. Pode ser categorizada como um problema reduzido em tempo polinomial de um problema NP-Completo.

tenha sido feita uma busca extensiva sobre o assunto, foram analisados mais de 20 artigos publicados sobre o tema desde então.

A aplicação do método *fuzzy* é feita baseada em um dos artigos analisados na primeira etapa do trabalho, após escolha baseada em critérios listados posteriormente no trabalho. Dessa forma, o método *fuzzy* aplicado no trabalho possui embasamento acadêmico, e pode ser utilizado no estudo de caso com pequenas adaptações.

Dando continuidade ao método *fuzzy*, são selecionados, novamente através de critérios posteriormente apresentados no trabalho, algoritmos de construção de *layout*. Esses algoritmos utilizam como entrada o resultado do método *fuzzy* anteriormente aplicado e resultam em um *layout* que sugere o posicionamento das áreas do restaurante universitário.

Por fim o trabalho analisa os resultados obtidos, tanto pelo método *fuzzy* quanto pelos algoritmos utilizados, comparando-os também com o *layout* proposto originalmente no estudo de caso.

2 ENQUADRAMENTO CONCEITUAL

Este capítulo tem como objetivo realizar uma breve contextualização e enquadramento conceitual dos principais temas abordados no trabalho: o problema de *layout* e a lógica *fuzzy*. Ao final, aborda a interseção entre os temas, apresentando uma pesquisa bibliográfica sobre a aplicação da lógica *fuzzy* no problema de *layout*.

2.1 Problema de *layout*

2.1.1 *Introdução e histórico do tema*

Ainda que não haja um consenso ou definição exata sobre o termo, o tema problema de *layout*, *design* de *layout* ou simplesmente *layout*, refere-se, de forma genérica, ao arranjo físico das áreas e equipamentos dentro da instalação, buscando o arranjo mais efetivo de acordo com critérios e objetivos pré-estabelecidos. Uma possível definição do termo pode ser encontrada em Drira *et al.* (2007), que definem problema de *layout* como um problema de otimização que busca gerar *layouts* mais eficientes levando em consideração diversas interações entre departamentos e sistemas de manuseio de material enquanto projeto o *layout*.

A origem desse campo de estudo é antiga, e segundo Muther (1978), “O arranjo de áreas de trabalho nasceu com o comércio e com o artesanato, com a execução de trabalhos produtivos. Com o desenvolvimento do espaço produtivo, maior atenção passou a ser dada à utilização do espaço.” Percebe-se a importância e extensão do tema, abordado desde a época pré-revolução industrial, quando a produção era integralmente artesanal, até os dias de hoje, onde a produção ocorre basicamente em ambientes fabris. O conceito foi evoluindo ao longo dos períodos, e hoje em dia, aborda muito mais que somente fábricas, sendo aplicável também em uma grande variedade de instalações, tais como hospitais, aeroportos, centros de distribuições, e inúmeros outros.

Tompkins (2003) divide o problema em duas partes: o *layout* de bloco, e o *layout* detalhado. O *layout* de bloco refere-se ao posicionamento inicial e formato das áreas sem se preocupar com o detalhamento de seu interior. Esse detalhamento do interior das áreas, assim como ajustes para o desenho final do *layout* – desenho dos

corredores, portas, paredes, etc. – são realizados posteriormente, na fase do *layout* detalhado. Neste trabalho, somente será abordado o *layout* de bloco.

Do ponto de vista da pesquisa operacional, o problema de *layout* de bloco e a busca pelo melhor arranjo físico possível entre as áreas, também é conhecida como “*facility layout problem*” (FLP). De maneira genérica, esse problema pode ser formulado em como posicionar e definir o formato das áreas de uma instalação, sabendo o espaço mínimo requerido por cada uma delas, a relação entre as áreas, e os custos envolvidos com seus posicionamentos. Infelizmente, tal problema, é conhecido por ser um problema *NP-hard*, fazendo com que seja atualmente impossível solucioná-lo de forma matemática e computacionalmente em tempo hábil a partir de certo número de áreas. Sherali *et al.* (2003) soluciona de maneira ótima um problema com até 9 áreas.

Dessa forma, diversas pesquisas e autores tentaram ao longo dos anos abordar esse problema de outras maneiras, através de heurísticas, restrições ou situações mais específicas, que pudessem fazê-lo ser matemática e computacionalmente viável de ser solucionado. Em Drira *et al.* (2007) os autores realizam um levantamento de diversos trabalhos já publicados sobre o tema e classificam o FLP de acordo com diversos critérios, como formato das áreas, configurações de *layout*, tipos de dados, objetivos ou restrições. Ainda segundo Drira *et al.* (2007), uma das abordagens utilizadas é a lógica *fuzzy*, que trabalha com dados envolvendo vaguezas e/ou incertezas, enquanto outras abordagens envolvem a utilização de algoritmos computacionais e heurísticas que, apesar de não garantir o resultado ótimo global, geram um *layout* de maneira rápida e com bom desempenho.

2.1.2 Método SLP

O *Systematic Layout Planning* (SLP) foi desenvolvido por Richard Muther, em 1973, e consiste em uma série de etapas que um projetista deve seguir ao trabalhar em um projeto de *layout*. Tal método foi desenvolvido e testado de maneira empírica pelo autor e seus colaboradores em mais de mil projetos (Muther, 1978) e vem sendo utilizado como referência para projetos de *layout* desde então. As fases do SLP consistem na Localização, Arranjo Físico Geral, Arranjo Físico Detalhado e Implantação do projeto de *layout*. Como explicitado anteriormente, o atual projeto

envolve apenas o problema de *layout* de bloco, e, portanto, foca exclusivamente na segunda fase do SLP: o Arranjo Físico Geral.

Dentro do Arranjo Físico Geral (ou *layout* de bloco), Muther divide tal fase em uma série de 9 procedimentos, que vão desde a coleta dos dados de entrada até o desenho e seleção do *layout* de bloco da instalação.

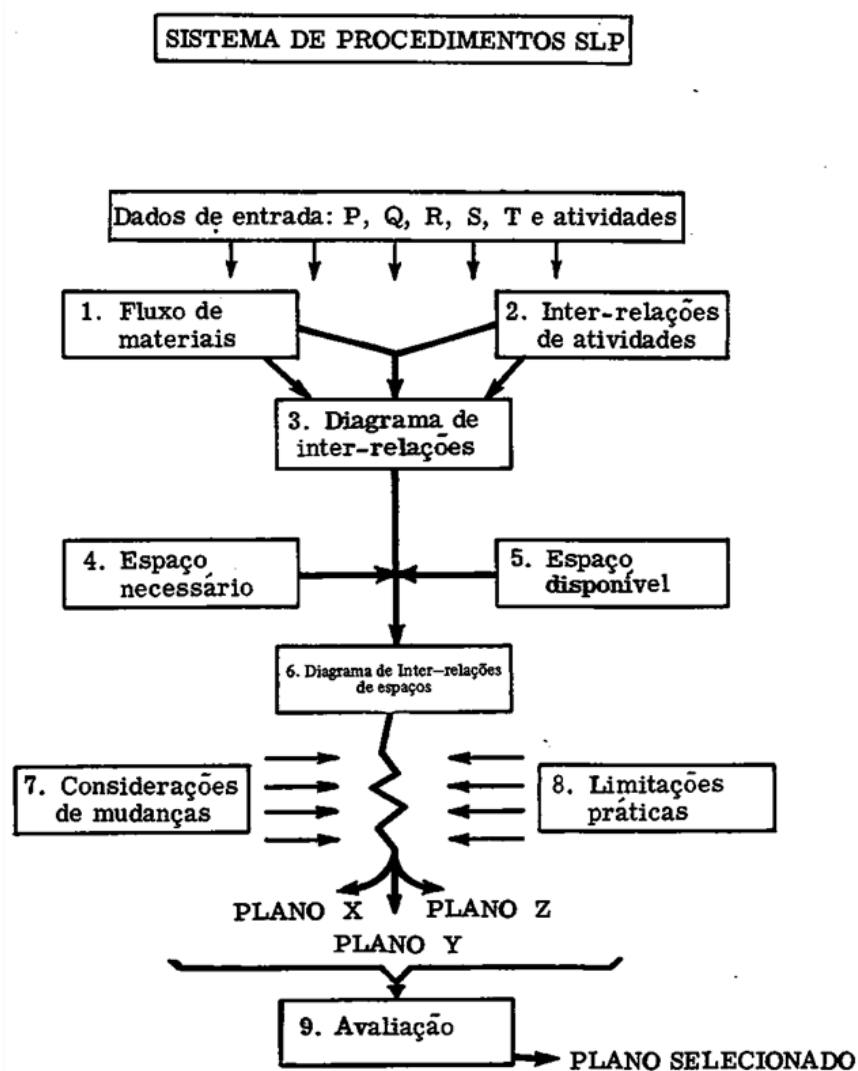


Figura 1: Procedimentos do Método SLP
Fonte: Muther (1978)

No SLP, através de uma série de dados de entrada, o projetista monta uma Matriz de Fluxo de Materiais, representando o processo produtivo da instalação, e uma Matriz de Inter-relações de Atividades, que representa uma relação qualitativa entre as áreas. A junção das duas gera a chamada Carta de Inter-relações Preferenciais (CIP),

que posteriormente irá gerar o Diagrama de Inter-relações. A relação desse diagrama com o Espaço Necessário – espaço necessário medido ou estimado para o funcionamento de cada área ou departamento da instalação – e o Espaço Disponível – espaço total disponível na instalação – forma o Diagrama de Inter-relações de Espaços.

Ao final, tal diagrama sofre influência das Considerações de Mudança do projetista e de Limitações Práticas, para gerar alternativas de *layout*. Essas serão avaliadas, e um plano será selecionado para dar continuidade ao método.

Os resultados referentes à CIP, ao Espaço Necessário e ao Espaço Disponível são os mais interessantes para este trabalho, por serem os dados de entrada do estudo de caso considerados ao longo do método e algoritmos utilizados, cabendo um maior detalhamento desses.

A CIP é uma matriz triangular que representa o grau de proximidade e o tipo de relação entre todas as áreas da instalação. A matriz é preenchida com letras, para representar a proximidade entre as áreas, podendo obter valores de A-E-I-O-U-X, onde a letra A representa o valor de maior proximidade necessária, proximidade essa que diminui até a letra U, que representa a inexistência de relação entre as áreas. A letra X representa uma relação de inconveniência da proximidade. Essa matriz CIP é construída pelo projetista utilizando os dados quantitativos do Fluxo de Materiais assim como os qualitativos da Matriz de Inter-relações de Atividades.

O Espaço Necessário pode ser representado por uma lista, com todas as áreas da instalação, e o espaço que cada uma dessas irá necessitar no *layout*. O cálculo desse espaço pode ser realizado de diversas maneiras, sendo sugeridos cinco métodos distintos para seu cálculo. Fica a cargo do projetista selecionar o método de cálculo que considere mais apropriado para a situação, desde que mantenha esse método para todas as áreas. De maneira geral, o Espaço Necessário já engloba, além do espaço que será realmente ocupado pela área, possíveis folgas para o posicionamento de corredores entre as áreas, de forma que o projetista não precise se preocupar com esses ao fazer o desenho do *layout* nesta fase.

O Espaço Disponível é o espaço total, seu formato e área, que a instalação pode ocupar. Ainda que se trate de um projeto de uma instalação não existente, é importante

ter essa etapa bem definida para possibilitar o desenho e comparação das alternativas de *layout* realizadas posteriormente.

2.1.3 Algoritmos e o uso da computação

“O posicionamento relativo de departamentos baseados em seus ‘índices de proximidade’ ou ‘intensidade do fluxo de materiais’ é um dos que pode ser reduzido a um processo de algoritmo” (Tompkins, 2003, p.309). De fato, a grande maioria dos algoritmos de *layout* utiliza como dados de entrada a relação entre as áreas da instalação, buscando um *layout* que posicione as áreas de forma a minimizar uma função de custo, de acordo com os dados de entrada recebidos.

Alguns algoritmos se baseiam unicamente no fluxo de materiais, buscando minimizar o custo de manuseio de materiais, o que muitas vezes é simplificado por reduzir o produto da distância pelo peso de material transportado na instalação. Com a possibilidade de simplificar uma CIP em valores numéricos, muitos algoritmos também aceitam a CIP como dados de entrada, enquanto o objetivo se torna reduzir o produto da distância pelos valores da CIP, para todos os pares de áreas da instalação.

Existem diversas outras categorias de algoritmos, visto que esses podem ser classificados por inúmeros critérios, sendo um deles, o tipo dos dados de entrada. Porém, aqueles que utilizam como dados de entrada a matriz de reação entre atividades (independente do formato dessa) parecem ser os mais adequados, por serem aqueles que consideram a maior quantidade de informação no desenho do *layout* (Tompkins, 2003).

Os algoritmos que utilizam tais dados geralmente possuem como objetivo uma minimização da função:

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} c_{ij} d_{ij}$$

Ou:

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_{ij} d_{ij}$$

onde f_{ij} representa o fluxo de materiais entre o departamento i e o departamento j , c_{ij} representa o custo de mover uma unidade do departamento i para o departamento j e d_{ij} representa a distância entre esses dois departamentos. O termo p_{ij} pode ser utilizado em algoritmos que utilizem como entrada uma matriz CIP ou uma matriz de proximidades genérica, onde p_{ij} representa o valor designado para a proximidade entre i e j nessa matriz.

Dependendo do algoritmo, a distância pode ser medida de diferentes formas, como a distância linear entre os centroides, a distância retangular entre os centroides ou a distância retangular entre os pontos mais próximos, por exemplo. E ainda dependendo do algoritmo, o termo $f_{ij}c_{ij}$ pode ser substituído por um valor numérico que representa a proximidade entre as áreas baseadas na CIP ou qualquer outra matriz de proximidades.

Um dos primeiros algoritmos computacionais a ser desenvolvido para o problema de *layout* foi o *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* – CRAFT. Introduzido em 1963, o CRAFT utiliza como entrada os dados de fluxo de materiais e custo de transporte desses visando minimizar os custos com transporte de materiais, conforme a primeira função objetivo explicada anteriormente. O CRAFT é um algoritmo de melhoria, ou seja, solicita como entrada também um *layout* inicial para então, verificar alterações que possam levar a melhorias desse *layout*. Para reduzir o custo desse *layout*, utiliza um método de troca entre par de áreas, realizando intercâmbios entre áreas adjacentes até encontrar um ponto onde não existem mais trocas que reduzam a função objetivo.

Percebe-se que o método não necessariamente leva ao melhor *layout* possível (ótimo global da função objetivo), visto que seu resultado depende do *layout* inicial proposto, atingindo somente o ótimo local.

Após o CRAFT, outros algoritmos foram desenvolvidos, em sua maioria, vendidos como softwares para auxiliar o projetista no desenho de *layout*, cada um trazendo melhorias sobre algoritmos antigos ou novas abordagens ao problema de *layout* que podem trazer resultados melhores, dependendo da situação.

Em 1967, foram desenvolvidos os algoritmos *Computerized Relationship Layout Planning* – CORELAP – e o *Automated Layout Design Program* – ALDEP.

Ambos considerados algoritmos de geração de *layout* (não necessitam de um *layout* inicial), esses programas para computadores de mainframe foram considerados durante muito tempo como benchmarking para a comparação com os outros algoritmos que surgiriam com o tempo, como BLOCPLAN, MULTPLE, LOGIC, entre outros.

O desenvolvimento de algoritmos para o problema de *layout* segue até os dias de hoje, com novos algoritmos buscando encontrar formas de encontrar as melhores soluções para uma gama cada vez maior de problemas, com um tempo de processamento cada vez mais reduzido.

2.2 Lógica Fuzzy

A teoria dos conjuntos *fuzzy* é apresentada pela primeira vez em 1965, quando o professor da Universidade da Califórnia Lofti Zadeh publica um artigo chamado de “*Fuzzy Sets*” (Zadeh, 1965), introduzindo os conceitos básicos daquela que viria então a ser conhecida como Lógica *Fuzzy*.

Segundo Tanaka (1997), “A Lógica *Fuzzy* é uma abrangente teoria que inclui a teoria dos conjuntos *fuzzy*, a lógica *fuzzy*, a medição *fuzzy*, entre outros. A teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma extensão da teoria dos conjuntos convencional. A lógica *fuzzy* é uma extensão da lógica (binária) convencional. A medição *fuzzy* é uma extensão da medição probabilística.”

A teoria *fuzzy* surge então, de forma a ir além das teorias tradicionais existentes, e abordar temas como a vagueza e imprecisão das informações, antes ignoradas pela lógica binária e determinística, também denominada de lógica e valores *crisp*. Para a *fuzzy*, a vagueza é propriedade intrínseca ao pensamento e comunicação humana, e tal fator deve ser abordado de forma matemática e científica, contribuindo para o resultado final obtido.

Para abordar de maneira satisfatória essa questão, a lógica *fuzzy* utiliza os conceitos desenvolvidos em suas diferentes áreas. Na teoria dos conjuntos *fuzzy*, um dado valor (*crisp*) pode pertencer a diversos conjuntos *fuzzy*, com uma função de pertinência (o quão pertencente àquele conjunto é esse valor) variando de 0 (não pertencente) a 1 (maior grau de pertinência) em cada um dos conjuntos. Uma variável linguística, ou, variável *fuzzy*, pode possuir diversos termos linguísticos, ou conjuntos

fuzzy. O conjunto *fuzzy* pode ser definido por um mapeamento dos graus de pertinência que esse possui nos elementos de um universo. Um número *fuzzy* é um conjunto específico *fuzzy* que contém algumas características: ser um conjunto convexo, possuir um único ponto com grau de pertinência igual a 1 e possuir função de pertinência contínua em um dado intervalo.

Utilizando um exemplo retirado de Tanaka (1997), observamos na figura 2 a variável linguística “altura” sendo representada por três termos linguísticos: “baixo”, “médio” e “alto”. No eixo vertical, situa-se o grau de pertinência de cada um dos conjuntos *fuzzy*, e no eixo horizontal, os valores crisp de altura. Dessa forma, mapeiam-se os graus de pertinência e, portanto, delimitam-se os conjuntos *fuzzy*.

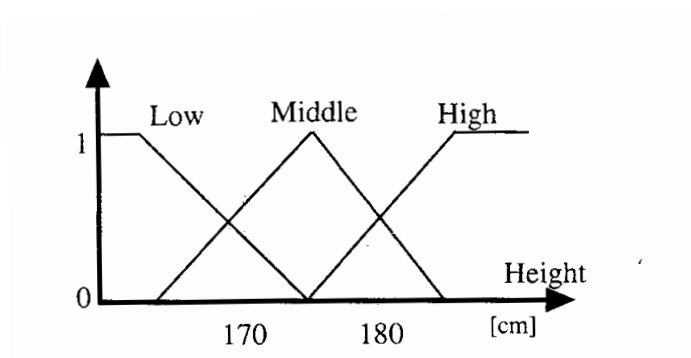


Figura 2: Exemplo de Variáveis e Termos Fuzzy
Fonte: Tanaka (1997)

No exemplo, diz-se que um indivíduo com 1,79m possui um grau de pertinência de 0,6 no conjunto *fuzzy* “alto”, e um grau de pertinência de 0,4 no conjunto “médio”, pertencendo então aos dois conjuntos *fuzzy*, com graus de pertinência distintos em cada um desses.

Junto com a teoria dos conjuntos *fuzzy*, diversas operações como de união, interseção, subtração, adição, multiplicação e divisão foram criadas (operações essas que muitas vezes divergem das operações tradicionais da lógica crisp). Além disso, diversos operadores lógicos e métodos para trabalhar e *defuzzyficar* valores *fuzzy* (transformar um conjunto *fuzzy* em um número crisp) foram desenvolvidos, permitindo a lógica *fuzzy* aplicar com seus conceitos em diversas situações reais.

2.3 Pesquisa Bibliográfica: A Lógica *Fuzzy* no Problema de *Layout*

Como o objetivo deste trabalho é a aplicação de um método *fuzzy* para lidar com o problema de *layout*, foi realizada, a priori, uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto. A pesquisa bibliográfica foi de grande relevância, pois, com a listagem daqueles já desenvolvidos, foi possível realizar a seleção e desenvolvimento do método *fuzzy* para sua aplicação no estudo de caso do Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia da UFRJ.

Karwowski e Evans (1986) publicam um artigo na revista *International Journal of Production Research*, apresentando as possibilidades de aplicações dos conceitos da lógica *fuzzy* na engenharia de produção. Os autores identificam o campo de estudo do planejamento das instalações, incluindo o desenho de *layout*, como um dos mais promissores com relação aos ganhos que a nova metodologia poderia trazer, por serem temas nos quais os modelos existentes apresentam grande imprecisão e vagueza, além da utilização de termos linguísticos.

No mesmo ano, Jerzy Grobelny publica um artigo sobre uma nova abordagem ao problema de *layout*. Em Grobelny (1986), o autor apresenta um método que envolve o uso de variáveis linguísticas junto ao método de *branch-and-bound*² para otimizar o *layout* de uma planta fabril. Nos dois anos seguintes, o mesmo autor publica mais três artigos (Grobelny, 1987a; Grobelny, 1987b; Grobelny, 1988), evoluindo e consolidando um método de utilização da lógica *fuzzy* no problema de *layout*, tendo como base os princípios do método SLP de Muther, porém utilizando os conceitos *fuzzy* de termos e variáveis linguísticas ao invés da tradicional classificação AEIOUX do SLP.

Simultaneamente, Karwowski e Evans seguem a pesquisa sobre possíveis aplicações da lógica *fuzzy* e desenvolvem, em Evans *et al.* (1987) uma heurística para o problema de *layout*, utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. No artigo, é apresentado um método *fuzzy* que substitui a tradicional classificação AEIOUX por duas variáveis linguísticas: proximidade e importância. Com uma matriz semelhante a CIP do método SLP, os autores propõem um método *fuzzy* para trabalhar com as proximidades e importâncias entre as áreas e utilizar uma heurística semelhante ao CORELAP para

² Algoritmo para buscar soluções ótimas em problemas de maximização ou minimização.

desenhar o *layout*. Ao final do *layout*, é calculado um índice que verifica a qualidade do *layout* gerado.

Nos anos seguintes, Rao e Rakshit (1991) utilizam a base fundada pelos trabalhos anteriores para propor novos métodos *fuzzy* para abordar o problema de *layout*. Os autores propõem um método que aborda diversos especialistas, critérios, e avaliações, resultando em uma matriz *fuzzy* de distância entre as áreas para ser utilizada em uma heurística de posicionamento das áreas. No artigo, os autores comparam o resultado do método proposto com os algoritmos CORELAP e ALDEP de dados crisp, porém, sem obter vantagens significativas sobre esses. Em Rao e Rakshit (1994) os autores trabalham com um método semelhante ao desenvolvido anteriormente, porém adaptado para o Problema Quadrático de Alocação (PQA), conseguindo obter as soluções ótimas nos diversos testes realizados com problemas de *benchmarking*.

Gen *et al.* (1995) apresentam uma resolução para o problema de *layout* de máquinas utilizando um algoritmo genético com dados *fuzzyificados*, obtendo bons resultados.

Contribuindo para a resolução do problema de *layout*, Badiru e Arif (1996) desenvolvem um sistema computacional, o “FLEXPERT”, que de forma semelhante ao apresentado por Rao e Rakshit (1991), obtém dados de diversos especialistas, critérios e importâncias e, através de uma série de operadores lógicos IF-THEN, obtém uma matriz CIP idêntica ao do método SLP. Com tal matriz, o sistema utiliza o programa BLOCPLAN para gerar alternativas de *layout*, que são avaliados pelo usuário do programa, até obter *layouts* satisfatórios.

Dweiri e Meier (1996) publicam uma metodologia baseada em um sistema *fuzzy* de tomada de decisões (FMDS). Após a aplicação da metodologia *Analytical Hierarchy Process* (AHP) para consolidar os diferentes critérios envolvidos na tomada de decisão, o método, com o suporte do programa computacional *FUZZY* (baseado no FMDS), gera as matrizes de proximidade entre áreas *fuzzyificadas*. Uma modificação do CORELAP, chamado de FZYCRLP, trabalha a matriz *fuzzy* e gera *layouts* de forma semelhante ao CORELAP, enquanto outro programa, também baseado no FMDS, o FELAP, avalia os *layouts* gerados através de termos linguísticos como excelente, bom,

fraco, entre outros. No final, o projetista seleciona qual seu critério para aceitar os *layouts* gerados.

Dweiri (1999) desenvolve o método anterior, e propõe um método para desenvolver uma matriz *crisp* de proximidade entre áreas, após trabalhar com as variáveis de entrada *fuzzy*. Segundo o autor, essa matriz *crisp* seria de grande utilidade pela possibilidade da sua utilização em diversos algoritmos já desenvolvidos que trabalham apenas com valores *crisp*.

Aiello e Enea (2001) publicam um método para encontrar um *layout* ótimo para o problema de *layout* de designação em linha única³ quando a demanda é incerta. Os autores consideram a demanda como uma variável *fuzzy* e desenvolvem um algoritmo que, aceitando restrições *fuzzy*, encontra uma solução para o problema, minimizando os custos de manuseio de material.

Em Deb e Bhattacharyya (2003) e Deb e Bhattacharyya (2005), um método semelhante ao desenvolvido por Dweiri e Meier (1996) e com o auxílio de um programa computacional, trabalha as variáveis *fuzzy* através do FMDS e as operações de IF-THEN, para obter a matriz de proximidades entre áreas. Ao final, gera-se o *layout* baseando-se em um algoritmo multicritério que seleciona uma ordem de entrada das áreas e verifica o melhor posicionamento das mesmas, considerando ainda seus pontos de entrada e saída de material. O método é baseado em um programa codificado em C++ e C+ apresentando bons resultados de redução de custos quando comparado com outros métodos e problemas de *benchmarking* na literatura.

Nos anos seguintes, a utilização de abordagens *fuzzy* para o problema de *layout* se populariza, com diversos trabalhos apresentando adaptações de algoritmos e problemas específicos para trabalhar com os conceitos da lógica *fuzzy*.

Enea *et al.* (2005) desenvolvem um método utilizando um algoritmo genético com dados *fuzzy* para obter um *layout* robusto (*layout* com boa performance em uma variedade de cenários de demanda). Yang e Feng (2006) apresentam um método matemático envolvendo a heurística de *tabu-search* para gerar *layouts* de armazéns com diversos andares. Liu e Abraham (2007) solucionam o PQA de *layout* através do

³ O *layout* de designação em linha única trabalha com um problema de sequenciamento das áreas em um *layout* em linha reta

algoritmo de *Particle Swarm Optimization* (PSO) e da meta heurística *Variable Neighborhood Search* (VNS).

Mais recentemente, evidenciam-se os trabalhos que abordam o problema de *layout* dinâmico, considerando que o *layout* pode se modificar ao longo do tempo. Azadeh *et al.* (2012) desenvolveram uma metodologia que aborda essa questão e utiliza a lógica *fuzzy* para solucionar o problema de programação linear multi-objetivo desenvolvido ao longo do trabalho.

Xu e Li (2012) também abordam o problema de *layout* dinâmico, utilizando um processo de tomada de decisão *fuzzy*, uma modelagem matemática multi-objetiva envolvendo variáveis *fuzzy* e trabalhando com um algoritmo PSO para encontrar as soluções do problema.

Drira *et al.* (2013) apresentam uma modelagem matemática com variáveis *fuzzy* e um algoritmo genético. Os autores consideram o problema de *layout* dinâmico como um PQA. De forma similar Samarghandi *et al.* (2013) descrevem o modelo como um PQA e expõem diversos algoritmos e heurísticas que podem tratar o problema de *layout* dinâmico com variáveis *fuzzy*.

Altuntas *et al.* (2014) utilizam o método *fuzzy* DEMATEL, um método com diversos especialistas para analisar e construir um modelo estrutural envolvendo relações causais entre fatores complexos, seguido de um algoritmo de localização para o problema de *layout* estático. Os autores apresentam a aplicação do método em um estudo de caso de distribuição de máquinas em um sistema produtivo.

3 O MÉTODO FUZZY

Após a pesquisa bibliográfica realizada, foi escolhido o método desenvolvido em Dweiri (1999) para ser aplicado no estudo de caso proposto. A escolha do método foi feita baseada nos seguintes critérios:

- Não requer o uso de nenhum *software* específico, o qual teria de ser comprado para a realização do projeto;
- Apresenta um método abrangente o suficiente para resolver o problema de *layout* do RU-CT;
- Possibilita a posterior aplicação em diversos algoritmos de construção de *layout*, como realizado em Deb e Bhattacharyya (2003) e Deb e Bhattacharyya (2005), indo ao encontro do objetivo do trabalho.

3.1 Sistema Fuzzy de Tomada de Decisões

O método proposto em Dweiri (1999) envolve um sistema *fuzzy* de tomada de decisões (FMDS), que consiste de quatro componentes principais, conforme ilustrado na figura abaixo:

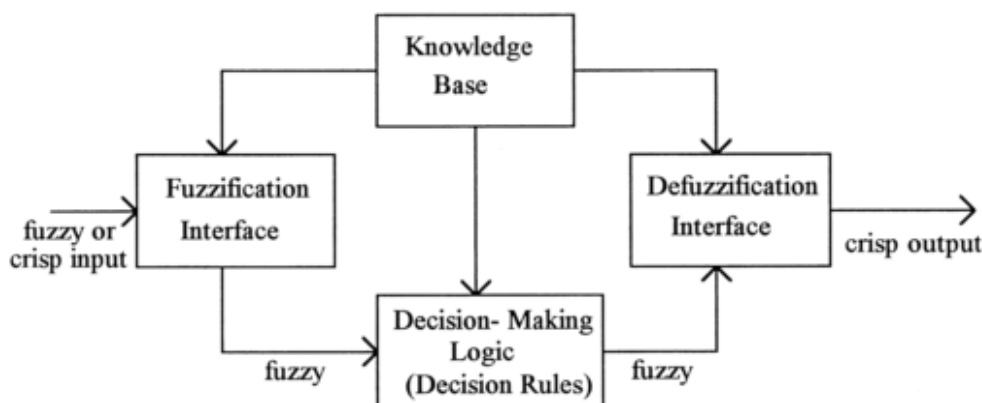


Figura 3: Sistema *fuzzy* de tomada de decisões
Fonte: Dweiri (1999)

O primeiro quadro, a esquerda da figura 3, se refere à *Interface* de *Fuzzyficação* e envolve a transformação dos dados de entrada, que podem ser *fuzzy* ou *crisp*, em variáveis linguísticas *fuzzy*. Mais acima situa-se o segundo quadro, a Base de Conhecimento, representando a interferência do projetista e dos especialistas em todos

os outros quadros, como na definição dos conjuntos *fuzzy*, nas regras de decisão lógicas e nos critérios de *defuzzyficação* utilizados. O quadro mais abaixo é a Lógica de Tomada de Decisão (ou Regras de Decisão) e representa o conjunto de operações *fuzzy* que serão realizadas sobre os dados de entrada. O último quadro, a Interface de *Defuzzyficação* representa o conjunto de regras e critérios utilizados para *defuzzyficar* os dados resultados das Regras de Decisão e transformá-los em uma saída de dados em formato crisp.

3.2 Interface de *Fuzzyficação*

Um projeto de *layout* geralmente possui diversos fatores que interferem no posicionamento das áreas. Em conjunto com os especialistas, o projetista deve listar todas as variáveis que interferem no projeto de *layout* em desenvolvimento. O método *fuzzy* de abordagem mostra vantagem em relação aos tradicionais devido a sua capacidade de trabalhar com o grande número e complexidade dos fatores que podem ser envolvidos neste processo.

Em Dweiri (1999), o autor trabalha somente com a entrada de dados crisp, para posterior *fuzzyficação* dos mesmos. Porém, cita a possibilidade da utilização de dados de entrada também já em formato *fuzzy*, e, como indicado por diversos trabalhos estudados (Grobelny, 1987; Evans, 1987; Rao e Rakshit, 1991), podemos adotar a diretamente a opinião dos especialistas para tal.

No presente estudo de caso, os fatores selecionados pelos projetistas e especialistas foram:

- Movimentação de material (MM);
- Movimentação de pessoal (MP);
- Questões de higiene (H);
- Questões térmicas (T);
- Comunicação e supervisão (C&S);
- Questões de acústica e odor (A&O).

Dos 6 fatores selecionados, apenas o primeiro, movimentação de material entre as áreas do restaurante, era em formato crisp, representando um valor equivalente referente ao fluxo de clientes e materiais mapeados previamente em um *blueprint* do

serviço. Os outros cinco foram obtidos com questionários junto aos especialistas, que para cada par de áreas do restaurante respondiam a proximidade desejada de acordo com cada critério.

3.2.1 Critérios Crisp: Movimentação de Material

Procedendo de acordo com Dweiri (1999), o processo de *fuzzyficação* da variável movimentação de material se deu através da definição dos conjuntos de termos linguísticos de proximidade entre áreas relacionados com o valor equivalente do fluxo de materiais. No eixo x apresentamos os valores crisp do fluxo de materiais, e no eixo y o grau de pertinência dos diversos termos linguísticos desenhados para classificar a proximidade desejada. Observa-se que um determinado valor de fluxo de materiais pertence a pelo menos um termo linguístico de proximidade desejada, com um grau de pertinência nesse conjunto variando de zero a um.

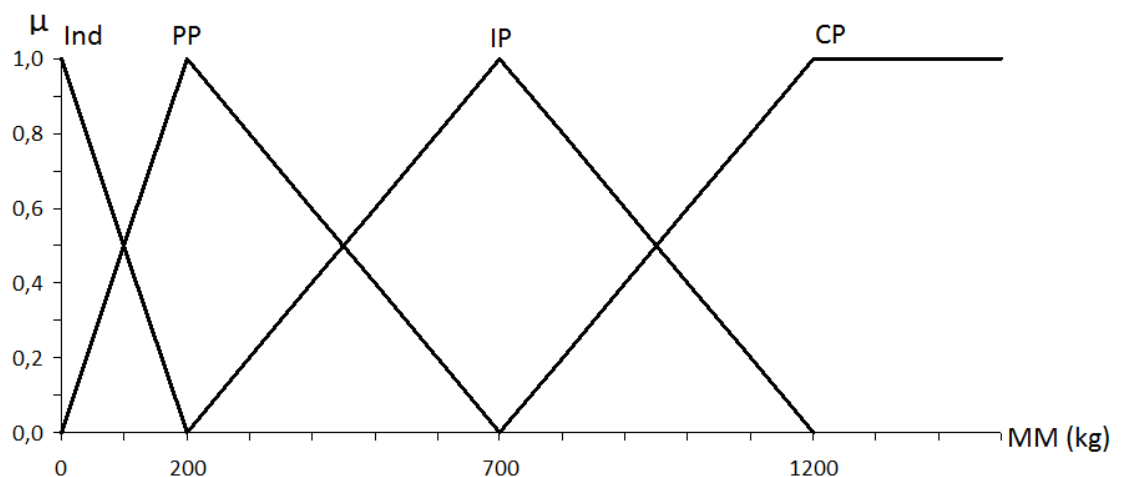


Gráfico 1: Proximidade desejada vs fluxo de materiais

Fonte: Autoria própria

Ainda que não seja estritamente necessário, os termos linguísticos utilizados de proximidade utilizados foram os mesmos do questionário passado junto aos especialistas.

- CD: Criticamente Distante;
- PD: Preferencialmente Distante;
- Ind: Indiferente;
- PP: Preferencialmente Próxima;

- IP: Importantemente Próxima;
- CP: Criticamente Próxima.

. Porém, não há motivos para um fluxo de materiais (que é sempre positivo) ser uma causa de distância entre áreas. Dessa forma, somente os termos linguísticos que indicavam proximidade ou indiferença foram utilizados. Esses termos, em formato de números *fuzzy* triangulares apresentados no gráfico anterior (Gráfico 1: Proximidade desejada vs fluxo de materiais), possuem as seguintes funções de pertinência:

Indiferente:

$$f_p = -\frac{x}{200} + 1 \quad 0 \leq x \leq 200$$

Preferencialmente Próximo:

$$f_p = \begin{cases} \frac{x}{200} & 0 \leq x \leq 200 \\ -\frac{x}{500} + 1,4 & 200 \leq x \leq 700 \end{cases}$$

Importantemente Próximo:

$$f_p = \begin{cases} \frac{x}{500} - 0,4 & 200 \leq x \leq 700 \\ -\frac{x}{500} + 2,4 & 700 \leq x \leq 1200 \end{cases}$$

Criticamente Próximo:

$$f_p = \begin{cases} \frac{x}{500} - 1,4 & 700 \leq x \leq 1200 \\ 1 & x > 1200 \end{cases}$$

A utilização de termos semelhantes para todos os critérios foi uma solução para reduzir o número de regras IF-THEN, utilizadas na etapa de Regras de Decisão do FMDS. Além disso, os conjuntos foram desenhados de forma que, independente do valor de fluxo de materiais existente, a soma dos graus de pertinência dos termos linguísticos relacionados seja sempre igual a um. Essa regra foi especialmente útil para evitar distorções nos cálculos realizados posteriormente.

Os valores do fluxo de materiais utilizado nesta etapa de *fuzzyficação* foram obtidos no próprio estudo de caso, através de uma matriz de-para entre as áreas do restaurante. Tal matriz encontra-se no anexo B.

Para exemplificar a *fuzzyficação* descrita acima, tomemos o caso da movimentação de materiais entre o refeitório e a higienização. Segundo a matriz de-para, a MM apresenta um valor de 1062 kg. Utilizando as funções de pertinência, verifica-se que o mesmo pertence ao conjunto IP com um grau de pertinência de 0,276 e pertence ao conjunto CP com um grau de pertinência de 0,724.

3.2.2 Critérios Fuzzy: Opinião dos Especialistas

Os outros critérios influenciadores do *layout* foram obtidos no estudo de caso através de questionários com especialistas do RU-CT. Para cada par de áreas n , o especialista respondia o grau de proximidade desejado de acordo com cada critério c envolvido. Com $n \times (n - 1) / 2$ representando o total do número de par de áreas distintas em uma instalação com n atividades, o questionário final possuía um número de respostas igual a:

$$\frac{n \times (n - 1)}{2} \times c$$

No caso, com 18 áreas e 5 critérios, o questionário contava com 765 respostas para cada especialista. No estudo de caso, foram consideradas as respostas de apenas um questionário, em razão de os autores acreditarem que este representava melhor a opinião dos especialistas envolvidos.

No questionário, os especialistas respondiam de acordo com os termos linguísticos apresentados anteriormente (Criticamente Distante, Preferencialmente Distante, Indiferente, Preferencialmente Próximo, Importantemente Próximo ou Criticamente Próximo). As respostas, portanto, representam a opinião dos especialistas e os valores de cada um dos critérios *fuzzy* para todos os 153 pares de áreas. Em anexo é encontrada a tabela com esses valores.

Com a utilização das opiniões dos especialistas para os 5 critérios *fuzzy* de entrada, assim como a *fuzzyficação* do único critério *crisp*, o método prossegue para o próximo passo.

3.3 Lógica de Tomada de Decisão

Para cada par de áreas existem 6 critérios, com seus respectivos valores *fuzzy*. O passo seguinte no método de Dweiri (1999) é a aplicação da ferramenta *Analytical Hierarchy Process* (AHP), para definir a importância de cada um desses critérios no processo de tomada de decisão. O AHP é um método desenvolvido em 1980 por Thomas L. Saaty, e desde então vem sendo utilizado em diversas áreas da engenharia, em processos de tomada de decisão com diversas variáveis. Uma das vantagens do método desenvolvido por Saaty é a verificação da consistência nas comparações entre variáveis do projetista.

3.3.1 *Analytical Hierarchy Process*

O método consiste na avaliação da importância entre cada par de critérios, onde o projetista indica a relação de importância a_{ij} do critério i sobre o critério j através de uma tabela numérica com valores de 1 a 9. O valor da intensidade de importância a_{ji} da variável j sobre a variável i é igual ao inverso da intensidade de importância da variável i sobre a variável j . $a_{ji} = 1/a_{ij}$

Tabela 2: Intensidades de importância no AHP
Fonte: Dweiri (1999)

Intensidade da importância a_{ij}	Definição da comparação
1	Importância igual entre i e j
2	Entre igual e fraca importância entre i e j
3	Fraca importância de i sobre j
4	Entre fraca e forte importância de i sobre j
5	Forte importância de i sobre j
6	Entre forte e demonstrada importância de i sobre j
7	Demonstrada importância de i sobre j
8	Entre demonstrada e absoluta importância de i sobre j
9	Absoluta importância de i sobre j

Dessa maneira, com n critérios o projetista deve preencher uma matriz superior $n \times n$ com os valores de a_{ij} . A diagonal será sempre igual a 1 e a parte inferior da matriz é calculada para a_{ji} . No caso estudado pelo trabalho, obteve-se a seguinte matriz:

Tabela 3: Matriz de importâncias entre variáveis
Fonte: Autoria Própria

	Movimentação de Materiais	Movimentação de Pessoal	Higiene	Questões Térmicas	Comunicação/ Supervisão	Acústica/ Odor
Movimentação de Materiais	1,00	4,00	5,00	9,00	8,00	9,00
Movimentação de Pessoal	0,25	1,00	2,00	7,00	5,00	8,00
Higiene	0,20	0,50	1,00	6,00	5,00	7,00
Questões Térmicas	0,11	0,14	0,17	1,00	0,33	2,00
Comunicação/ Supervisão	0,13	0,20	0,20	3,00	1,00	4,00
Acústica/ Odor	0,11	0,13	0,14	0,50	0,25	1,00

Para calcular a prioridade dos fatores e a razão de consistência da matriz, são realizados alguns procedimentos específicos, encontrados em Dweiri (1999).

O valor do índice de prioridades das variáveis P_i representa a média geométrica normalizada dos valores de a_{ij} . Isso significa que, em cada linha, multiplicam-se os n valores de a_{ij} (X_i) designados, para depois extrair a n -ésima raiz desse número (Y_i). Para normalizar os valores de Y divide-se cada um dos Y_i encontrados pela soma de todos os Y_i . O resultado de cada linha representa o índice de prioridades P_i .

Para encontrar a razão de consistência (CR), primeiramente calcula-se o vetor F_i multiplicando a matriz de intensidades de importância $A_{n \times n}$ por P_i . Em seguida, divide-se o vetor F_i por P_i para encontrar o vetor Z_i . A média dos valores de Z_i é chamada de auto-valor (λ). O índice de consistência (CI) é igual a $(\lambda - n)/(n - 1)$, e a razão de consistência (CR) é igual à CI/RI , onde RI é chamado de índice aleatório e retirado de uma tabela que relaciona o índice RI com o número de variáveis n que está

sendo utilizado no AHP. Uma razão de consistência CR inferior a 0,1 é considerada satisfatória em termos de consistência do projetista.

Tabela 4: Índice RI
Fonte: Dweiri (1999)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,58

Abaixo se encontra a tabela com os índices calculados para obter os valores de P_i para cada um dos fatores, assim como a razão de consistência.

Tabela 5: Valores da ferramenta AHP
Fonte: Autoria Própria

	Movimentação de Materiais	Movimentação de Pessoal	Higiene	Questões Térmicas	Comunicação/ Supervisão	Acústica/ Odor	X_i	Y_i	P_i	F_i	Z_i
Movimentação de Materiais	1,00	4,00	5,00	9,00	8,00	9,00	12960	4,8466	0,4842	3,2623	6,7380
Movimentação de Pessoal	0,25	1,00	2,00	7,00	5,00	8,00	140	2,2787	0,2276	1,4365	6,3102
Higiene	0,20	0,50	1,00	6,00	5,00	7,00	21	1,6610	0,1659	1,0727	6,4649
Questões Térmicas	0,11	0,14	0,17	1,00	0,33	2,00	0,0018	0,3476	0,0347	0,2196	6,3245
Comunicação/ Supervisão	0,13	0,20	0,20	3,00	1,00	4,00	0,06	0,6257	0,0625	0,4061	6,4966
Acústica/ Odor	0,11	0,13	0,14	0,50	0,25	1,00	0,0002	0,2507	0,0250	0,1640	6,5488

λ 6,4805

CI 0,0961

CR 0,0775

Para finalizar a utilização da ferramenta AHP é necessário transformar os valores crisp de P_i em valores *fuzzy* de importância da variável. Dessa forma, Dweiri (1999) sugere a adoção de termos linguísticos para representar a variável *fuzzy*

“importância do critério”. A modelagem de cada um desses termos fica sob responsabilidade do projetista, já que dependendo do número de variáveis utilizadas no AHP um valor de P pode ser considerado alto ou baixo (por exemplo, um valor de P igual a 0,2 pode ser considerado baixo para um caso de 3 variáveis, porém alto para um caso com 10 variáveis).

Para o estudo de caso do RU-CT, os termos linguísticos de importância do critério foram modelados da seguinte forma:

Muito Baixa (MB):

$$f_p = -\frac{x}{0,075} + 1 \quad 0 \leq x \leq 0,075$$

Baixa (B):

$$f_p = \begin{cases} \frac{x}{0,075} & 0 \leq x \leq 0,075 \\ -\frac{x}{0,075} + 2 & 0,075 \leq x \leq 0,15 \end{cases}$$

Moderada (M):

$$f_p = \begin{cases} \frac{x}{0,075} - 1 & 0,075 \leq x \leq 0,15 \\ -10x + 2,5 & 0,15 \leq x \leq 0,25 \end{cases}$$

Alta (A):

$$f_p = \begin{cases} 10x - 1,5 & 0,15 \leq x \leq 0,25 \\ -10x + 3,5 & 0,25 \leq x \leq 0,35 \end{cases}$$

Muito Alta (MA):

$$f_p = \begin{cases} 10x - 2,5 & 0,25 \leq x \leq 0,35 \\ 1 & x > 0,35 \end{cases}$$

Graficamente, obtêm-se os seguintes conjuntos:

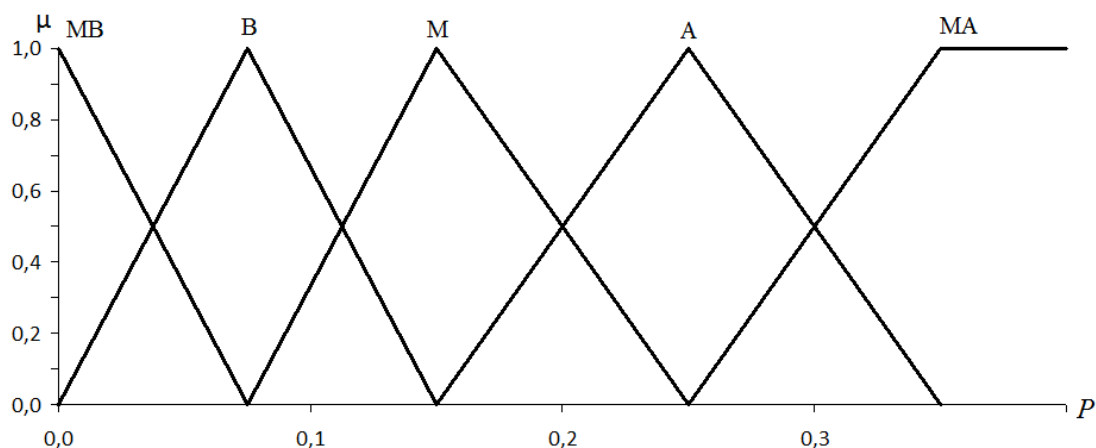


Gráfico 2: Grau de pertinência da importância das variáveis
Fonte: Autoria Própria

Dessa forma, cada um dos 6 critérios envolvidos na construção do *layout* (MM, MP, H, T, C&S e A&O) possuem um grau de importância *fuzzy* representado pelos seus graus de pertinência nos termos linguísticos de importância descritos anteriormente. Assim como nos termos linguísticos utilizados no processo de *fuzzyficação* dos valores crisp de movimentação de material, é preferível modelar os conjuntos *fuzzy* de forma que, para qualquer valor de P selecionado, a soma dos graus de pertinência dos seus termos linguísticos seja igual a um.

Tomando como exemplo o critério Movimentação de Pessoal, que obteve um valor de $P = 0,2276$ e, portanto, pertence ao conjunto de importância Alta com grau de pertinência de 0,776 e ao conjunto de importância média com um grau de pertinência de 0,224.

3.3.2 Operação IF-THEN

O próximo passo do método *fuzzy* proposto por Dweiri (1999) envolve a utilização de operadores lógicos das regras IF-THEN para relacionar os valores dos critérios significativos para o projeto de *layout*, com a importância de cada um deles.

Para cada critério listado no início do projeto, monta-se uma matriz relacionando seus possíveis termos de **proximidade desejada** com os possíveis valores de **importância do critério** analisada (IF), resultando em um valor final de **proximidade ótima** (THEN). Essa nova variável “proximidade ótima” agrega todas as

outras variáveis, e seus termos linguísticos precisam ser definidos pelo projetista para a utilização da regra IF-THEN.

O número total de regras necessárias, em um caso com c critérios, cada um com i termos linguísticos possíveis e j graus de importância, são de $c \times i \times j$ regras IF-THEN. Essa definição de regras deve ser realizada pelo projetista em conjunto com os especialistas.

No caso estudado, foi preferível utilizar sempre os mesmos termos linguísticos para todos os critérios. Dessa forma o número total de regras reduziu de 180 (6 critérios, com 6 termos de proximidade desejada cada e 5 termos linguísticos de importância) para 30 regras (6 termos de proximidade desejada que englobam todos os critérios e 5 termos linguísticos de importância). Ao final da construção das 30 regras IF-THEN, obteve-se a seguinte matriz:

Tabela 6: Regras IF-THEN
Fonte: Autoria Própria

Proximidade Desejada	Importância				
	MB	B	M	A	MA
CD	PD	PD-CD	CD	CD	CD
PD	Ind	Ind-PD	PD	PD-CD	PD-CD
Ind	Ind	Ind	Ind	Ind	Ind
PP	Ind	Ind-PP	PP	IP	IP-CP
IP	Ind-PP	PP-IP	IP	IP-CP	CP
CP	PP	IP	IP-CP	CP	CP

Na matriz acima, as regras de IF são os termos de proximidade no eixo vertical (CD, PD, Ind etc.) em conjunto como os termos de importância do eixo horizontal (MB, B, M etc.). Os resultados THEN são os valores chamados de proximidade ótima, situados na parte central da matriz (CP, IP-CP, IP etc.)

É importante ressaltar que os valores da variável linguística “proximidade ótima” apresentam termos linguísticos semelhantes aos da “proximidade desejada”,

visto que ambos tratam do conceito de proximidade. Ainda assim, essas são duas variáveis distintas, visto que a primeira é resultado de uma operação lógica IF-THEN da “proximidade desejada” com a “importância do critério”.

Os valores da proximidade ótima foram definidos pelos seguintes termos linguísticos:

- Criticamente Distante (CD);
- Entre Preferencialmente Distante e Criticamente Distante (PD-CD);
- Preferencialmente Distante (PD);
- Entre Indiferente e Preferencialmente Distante (Ind-PD);
- Indiferente (Ind);
- Entre Indiferente e Preferencialmente Próximo (Ind-PP);
- Preferencialmente Próximo (PP);
- Entre Preferencialmente Próximo e Importantemente Próximo (PP-IP);
- Importantemente Próximo (IP);
- Entre Importantemente Próximo e Criticamente Próximo (IP-CP);
- Criticamente Próximo (CP).

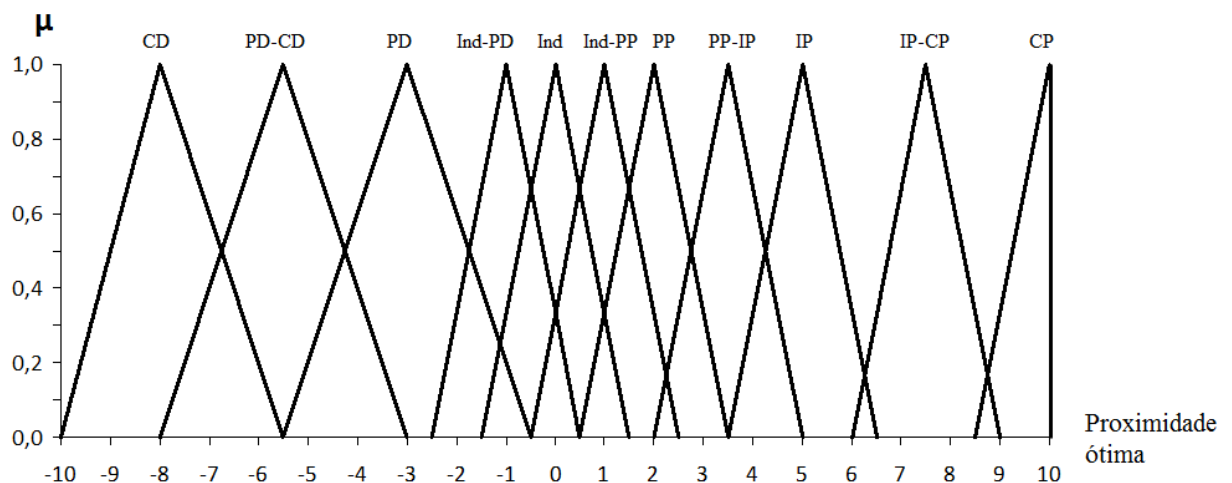


Gráfico 3: Graus de pertinência da proximidade ótima
Fonte: Autoria Própria

Como pode acontecer de certo critério e sua importância serem representados por mais de um número *fuzzy* (independente do grau de pertinência em cada um desses),

muitas vezes é necessário montar uma matriz $p \times q$ para verificar os diferentes resultados da operação lógica, onde existem p valores de “proximidade desejada” e q valores de “importância do critério”. A representação de tal matriz é ainda de grande utilidade na etapa seguinte de *defuzzyficação*

Um exemplo de aplicação pode ser feito com a relação entre as áreas do refeitório e higienização. Segundo o critério Movimentação de Material, a proximidade desejada entre as duas áreas foi classificada como IP, com um grau de pertinência de 0,276 e CP, com um grau de pertinência de 0,724. A importância do critério MM é Muito Alta, com grau de pertinência igual a 1 nesse conjunto. Porém, para ilustrar melhor o exemplo, consideremos esse critério como de importância Média, com pertinência de 0,25 e Alta, com pertinência 0,75. Montando a matriz abaixo, vemos que existem 4 operações com a regra IF-THEN: se uma proximidade desejada é igual a IP e a importância igual a M, a proximidade ótima é IP, e se a proximidade desejada é igual CP e a importância igual a M, a proximidade ótima também é IP-CP, etc.

Tabela 7: Exemplo de Operação IF-THEN
Fonte: Autoria Própria

Refeitório – Higienização MM		Importância	
		M	A
Proximidade Desejada	IP	IP	IP-CP
	CP	IP-CP	CP

3.4 Interface de *Defuzzyficação*

A última etapa do método envolve a *defuzzyficação* dos valores de “proximidade ótima” encontrados na etapa anterior. Essa etapa difere ligeiramente do método apresentado em Dweiri (1999) por ter sido constatado que o método proposto pelo autor gerava valores inconsistentes em alguns casos específicos.

Ao final da etapa anterior, o método utilizado gera, através da operação de IF-THEN, valores *fuzzy* para cada um dos critérios envolvidos no *layout*, para cada par de áreas existente. A abordagem de *defuzzyficação* desses critérios envolve um conjunto de operador multiplicador, operador máximo e soma dos valores até gerar a saída desejada,

uma matriz $n \times n$, com os valores crisp de proximidade entre as n áreas da instalação, semelhante à CIP do método SLP.

3.4.1 Operação de Multiplicação

Como um determinado critério e sua importância podem apresentar variados graus de pertinência em mais de um conjunto *fuzzy*, é necessário adotar uma estratégia para trabalhar com esses valores junto da regra IF-THEN proposta.

O método sugerido neste trabalho varia ligeiramente do apresentado em Dweiri (1999). No artigo, é sugerida uma abordagem que envolve os operadores *fuzzy* de minimização e maximização em sequência. Tal abordagem, porém, demonstrou algumas inconsistências, em casos específicos, quando pares de áreas com menor relação de proximidade apresentavam valores crisp maiores após o processo de *defuzzificação* sugerido. Dessa forma, este projeto utiliza uma variação do método sugerido por Dweiri, utilizando inicialmente uma operação de multiplicação para trabalhar com os diversos valores encontrados no operador lógico de IF-THEN.

O operação de multiplicação sugerida consiste em multiplicar os graus de pertinência dos diferentes números *fuzzy* existentes para um critério e par de áreas selecionado, pelos graus de pertinência dos números *fuzzy* da variável “importância do critério”. Essa multiplicação, realizada para cada um dos p valores *fuzzy* do critério/par analisado, por cada um dos q números *fuzzy* referentes ao peso daquele critério gera uma matriz $p \times q$, cujos resultados são valores crisp denominados de **índices multiplicadores** (Im_{pq}). Essas matrizes $p \times q$ são correspondente e complementam as matrizes geradas no operador lógico IF-THEN.

Utilizando o mesmo exemplo anterior, vemos que a proximidade desejada, com um grau de pertinência $\mu = 0,276$ em IP, e uma importância M de $\mu = 0,25$ gera um índice multiplicador $Im = 0,069$, para o valor de “proximidade ótima” IP (termo esse obtido pela operação lógica IF-THEN).

Tabela 8: Exemplo de Índices Multiplicadores associados à operação IF-THEN
Fonte: Autoria Própria

Refeitório – Higieneização MM		Importância	
		M $\mu = 0,25$	A $\mu = 0,75$
Proximidade Desejada	IP $\mu = 0,276$	IP $Im = 0,069$	IP-CP $Im = 0,207$
	CP $\mu = 0,724$	IP-CP $Im = 0,181$	CP $Im = 0,543$

3.4.2 Operador Máximo

O passo seguinte no processo de *defuzzificação* envolve o operador máximo, que será associado ao Índice Multiplicador previamente calculado. Para cada valor de “proximidade ótima” obtido, realiza-se a operação *fuzzy* de máximo, para obter o valor crisp (no eixo x) para qual o grau de pertinência daquele conjunto *fuzzy* é máximo, ou seja, igual a 1.

No caso estudado, os operadores máximos de cada termo de proximidade ótima resultam nos seguintes valores crisp, que serão chamados de VP_{pq} (Valor de Proximidade).

- Criticamente Distante (CD): -8;
- Entre Preferencialmente Distante e Criticamente Distante (PD-CD): -5,5;
- Preferencialmente Distante (PD): -3;
- Entre Indiferente e Preferencialmente Distante (Ind-PD): -1;
- Indiferente (Ind): 0;
- Entre Indiferente e Preferencialmente Próximo (Ind-PP): 1;
- Preferencialmente Próximo (PP): 2;
- Entre Preferencialmente Próximo e Importantemente Próximo (PP-IP): 3,5;
- Importantemente Próximo (IP): 5;
- Entre Importantemente Próximo e Criticamente Próximo (IP-CP): 7,5;
- Criticamente Próximo (CP): 10.

3.4.3 Multiplicação dos Índices e Soma dos Critérios

A última etapa do processo de *defuzzificação* consiste em agregar todos os valores, já em formato crisp, em um único número. Nesta etapa, o projetista deve estar lidando com:

- $(n \times (n - 1))/2$ pares de áreas n dentro da instalação;
- c critérios que interferem no *layout*
- $c \times (n \times n - 1)/2$ matrizes de “distância ótima”, uma para cada par de áreas x critérios
- Cada matriz com $p \times q$ índices multiplicadores Im e $p \times q$ valores de distância ótima *defuzzificado*, sendo p as linhas da matriz (valores de proximidade desejada) e q as colunas (valores de importância do critério)

Para consolidar todos esses dados em uma matriz $n \times n$ triangular, opera-se da seguinte maneira:

- Multiplica-se o valor de Im_{pq} pelo VP_{pq} , obtido pelo operador máximo;
- Para cada matriz, somam-se todos os valores das multiplicações realizadas, em um único valor crisp, que representa a proximidade entre duas áreas, para um único critério. Podemos chamar esse valor de Proximidade do Critério (PC_{cij}), que possuirá um valor para cada critério c de cada par de atividade ij .
- Para cada par de áreas ij , somam-se os valores obtidos em cada critério de PC_{cij} . Essa soma é o resultado final da proximidade a ser utilizada na matriz crisp.

Caso tenha sido seguida a sugestão de modelar os números *fuzzy* de forma que, para qualquer ponto do eixo x selecionado a soma dos graus de pertinência dos conjuntos a que esse pertence seja igual a 1, o valor de PC_{cij} irá variar exatamente entre

os valores extremos de VP (no caso, de -8,5 a 10). Esse artifício facilita a leitura e interpretação dos resultados obtidos.

Matematicamente, pode-se se dizer que o resultado final é uma matriz triangular A ($n \times n$), com componentes a_{ij} , onde $a_{ij} = a_{ji}$. O valor de a_{ij} é calculado pelos seguintes somatórios:

$$PC_{cij} = \sum_{q=1}^{Q_{cij}} \sum_{p=1}^{P_{cij}} Im_{pq} \times VP_{pq} \quad \forall c \in C, \forall i \in n, \forall j \in n$$

$$a_{ij} = \sum_{c=1}^C PC_{cij}$$

Onde C é o conjunto de critérios que influenciam o *layout*, e n é o conjunto de áreas da instalação estudada.

Exemplificando o modelo acima, podemos continuar o exemplo fictício (não foram usados os valores reais do estudo de caso para obter um exemplo mais completo) do refeitório e higienização.

Com a soma da multiplicação dos valores de VP_{pq} (obtido pelo operador máximo) e Im_{pq} (obtido pelo operador multiplicador) obtemos o valor de Proximidade do Critério com o auxílio da tabela abaixo:

Tabela 9: Exemplo de Cálculo do valor de PC
Fonte: Autoria Própria

Refeitório – Higienização MM		Importância	
		M $\mu = 0,25$	A $\mu = 0,75$
Proximidade Desejada	IP $\mu = 0,276$	$5 \times 0,069 =$ 0,345	$7,5 \times 0,207 =$ 1,5525
	CP $\mu = 0,724$	$7,5 \times 0,181 =$ 1,3575	$10 \times 0,543 =$ 5,43
		PC	8,685

Realizando essa operação para todos os 6 critérios envolvidos no estudo de caso, e somando-os, obteríamos o valor final de a_{ij} utilizado na matriz de distâncias. A matriz final, resultado do método descrito neste capítulo encontra-se em apêndice.

4 ALGORITMOS DE LAYOUT

Conforme sugerido por Dwieiri (1999), e utilizado por Deb e Bhattacharyya (2003) e Deb e Bhattacharyya (2005), segue ao método *fuzzy* realizado no capítulo anterior a aplicação dos dados obtidos em algoritmos de construção e melhoria de *layout*.

Tompkins (2003) fornece uma classificação e detalhamento dos principais algoritmos existentes para os processos de construção de melhoria de *layout*, e com base nesse, podemos selecionar os algoritmos a serem utilizados no trabalho. Novamente, uma das principais limitações foi na escolha de um algoritmo foi a não necessidade da compra de um software específico para sua utilização. Outras limitações se relacionavam com a aplicabilidade do algoritmo no atual estudo de caso.

Após a leitura dos algoritmos detalhados em Tompkins (2003), foram escolhidos dois algoritmos para serem implementados no trabalho: o CORELAP (*Computerized Relationship Layout Planning*) e o MULTIPLE (*Multi-floor Plant Layout Evaluation*). Os dois algoritmos foram escolhidos pela possibilidade de replicar seus procedimentos no software Microsoft® Office Excel™ 2010, além de serem algoritmos que trabalham com métodos distintos entre si.

4.1 CORELAP

O CORELAP é um algoritmo computacional de construção de *layout* desenvolvido em 1967, pouco depois do primeiro algoritmo computacional de *layout* ter sido desenvolvido (CRAFT, em 1963). Esse algoritmo foi desenvolvido para ser comercializado como softwares de computadores mainframe, e hoje em dia, não são mais vendidos. Ainda assim, com a descrição detalhada de seus procedimentos encontrada em Tompkins (2003) possibilita a replicação dos métodos e assim, a utilização do algoritmo no estudo de caso do RU-CT.

4.1.1 Sequenciamento das áreas

A primeira etapa do método envolve a definição da ordem de entrada das áreas (ou departamentos) no desenho do *layout*. Para isso, o algoritmo possui uma série de procedimento que, seguidos corretamente levam a essa sequência de departamentos.

Originalmente, o algoritmo possui como entrada dados no formato de CIP, utilizada no método SLP. Com uma leve modificação, pode-se utilizá-lo também para valores crisp da matriz de proximidade.

O procedimento para definição da sequência de áreas a entrar no *layout* pode ser descrito da seguinte maneira:

1. Calcula-se o TCR (*Total Closeness Rating*) de cada área, somando os valores da matriz das linhas da matriz de proximidade.
2. A primeira área da sequência será aquela com maior TCR
3. Ainda na matriz de proximidades, considerando apenas as linhas i das áreas já selecionadas e ordenadas no início da sequência (as áreas selecionadas para entrar no final da sequência não são consideradas nesta etapa):
 - a. Encontrar valor mais negativo (o maior valor em módulo dos números negativos) das relações inter-departamentais (a_{ij}) cuja área j ainda não esteja sequenciada. Posicionar essa área j na última posição disponível do sequenciamento. Caso não exista tal área, passar ao passo b;
 - b. Encontrar valor mais positivo (o maior valor em módulo dos números positivos) das relações inter-departamentais (a_{ij}) cuja área j ainda não esteja sequenciada. Posicionar essa área j na primeira posição disponível do sequenciamento.
4. Caso exista alguma área ainda não sequenciada, voltar ao passo 3.

O procedimento termina com todas as áreas posicionadas em uma sequência que será usada no próximo passo do algoritmo.

No caso estudado, cada área foi relacionada com uma sigla e um número i , para simplificar os procedimentos e explicação dos algoritmos e o espaço necessário foi retirado diretamente do caso estudado. No caso específico da saída do lixo, não existe um espaço em m^2 específico, por não se tratar exatamente de uma área ou departamento, mas sim de um corredor de saída para o lixo.

Tabela 10: Numeração e Legenda das Áreas do RU-CT
Fonte: Autoria Própria

Área	Número da área	Sigla	Espaço necessário (m ²)
Entrada de Clientes	1	C	18
Distribuição	2	D	32
Refeitório	3	R	168
Área de Funcionários	4	Fu	5
Vestiários	5	V	15
Recepção de Alimentos	6	RA	35
Sala de Nutricionistas	7	N	9
Sala da Terceirizada	8	T	9
Área de Finalização	9	F	32
Armazém de Utensílios	10	U	10
Lixo Seco	11	LS	4
Lixo Refrigerado	12	LR	4
Higienização	13	H	30
Área Técnica	14	AT	18
Estoque de Limpeza	15	L	4
Estoque de Gênero	16	GE	4
Estoque de Descartáveis	17	DE	4
Saída do Lixo	18	SL	-

Dessa maneira, foi realizado o procedimento de sequenciamento das áreas, com o auxílio do software Microsoft® Office ExcelTM 2010. Observando a matriz de proximidades (Apêndice A), a área com maior TCR é a área de finalização (9), com um TCR = 34,9. A área com o valor de a_{ij} mais negativo com relação à área 9 foi a saída do lixo (18), com $a_{9;18} = -20,7$. A área com maior valor de a_{ij} foi a distribuição, com $a_{9;2} = 27,6$. O procedimento se repete, levando em consideração agora as linhas 9 e 2, e encontrando o a_{ij} mais negativo com a área técnica (14) ($a_{2;14} = -24,9$) e o mais positivo com o refeitório (3) ($a_{2;3} = 27,8$). O procedimento continua até que todas as áreas tenham sido sequenciadas, e a ordem obtida ao final foi a seguinte:

9 – 2 – 3 – 6 – 13 – 10 – 1 – 7 – 8 -17 -16 – 15 – 4 – 11 – 5 – 12 – 14 – 18

4.1.2 Posicionamento das Áreas

O posicionamento das áreas no CORELAP se dá em um plano espacial discreto (onde as áreas podem ser posicionadas em um grid de 1m x 1m, por não apresentarem

valores de comprimento ou largura decimais) e segue a sequência definida previamente e um índice chamado de *rating* de posicionamento (RP), de forma que ao adicionar uma nova área no *layout*, esta seja posicionada de forma a maximizar o *rating* de posicionamento. Esse *rating* é calculado verificando as áreas adjacentes ao posicionamento selecionado e seus valores de proximidade a_{ij} . Ao posicionar uma área i , somam-se os *rating* a_{ij} de todas as outras áreas j já posicionadas que possuem alguma fronteira com a primeira. O valor dessa soma é o RP.

O CORELAP busca maximizar o RP e verifica qual posicionamento para a nova área que deve ser inserida no *layout* no qual o RP seria máximo. Encontrando esse posicionamento, o algoritmo posiciona a área no local, e repete o procedimento para a próxima área do sequenciamento, até que todas as áreas estejam posicionadas.

No exemplo abaixo, retirado de Tompkins (2003), deseja-se posicionar a área 2 e as relações de proximidades com as áreas já posicionadas são $a_{2,1} = 64$ e $a_{2,7} = 16$. Verifica-se o exemplo que o melhor posicionamento envolve a adjacência com ambas as áreas, sendo a alternativa d a selecionada por possuir maior RP.

		2 2		
1 1 1		1 1 1	Placing	
1 1 1 7 7 7		1 1 1 7 7 7	rating = 64	
(a)		(b)		
1 1 1	2 2	Placing	1 1 1 2 2	Placing
1 1 1 7 7 7	rating = 16		1 1 1 7 7 7	rating = 80
(c)			(d)	

Figura 4: Exemplo de posicionamento – CORELAP
Fonte: Tompkins (2003)

Entretanto, uma das deficiências desse método reside no fato do procedimento de posicionamento gerar *layouts* que não levam em consideração o espaço físico disponível da instalação. Assim, ao final do algoritmo, ainda cabe ao projetista adaptar o resultado obtido, ao formato real do espaço físico disponível.

No caso do RU-CT, essa etapa de posicionamento das áreas foi realizada de maneira manual, com o auxílio do Microsoft® Office Excel™ 2010 apenas para o desenho do *layout*. Como esse posicionamento já foi realizado manualmente pelo

projetista, pode-se evitar o problema da não consideração do espaço físico disponível, e montar um *layout* para o formato atual do restaurante.

As áreas foram posicionadas de acordo com o sequenciamento previamente definido e, para manter as áreas dentro do espaço físico delimitado, foi assumida uma consideração de que o formato das áreas já posicionadas poderia ser alterado posteriormente, desde que não interferisse com as relações de adjacência consideradas no momento de seu posicionamento.

Vale ressaltar que, devido ao fato da área técnica ser atualmente exterior ao espaço físico do restaurante, caso o espaço físico dessa seja considerado, a soma dos espaços necessários para as áreas ultrapassa o espaço físico do restaurante. Esse problema foi contornado posicionando a área técnica em um espaço exterior ao restaurante, como acontece na realidade. Com a exclusão da área técnica, o espaço físico do restaurante ultrapassa a soma dos espaços necessários das demais áreas, possibilitando espaços vazios ou folgas, no desenho do *layout*. Tais espaços foram utilizados para separar as áreas de lixo seco, lixo refrigerado e a saída do lixo das outras áreas do restaurante.

Por fim, uma última vantagem do posicionamento ter sido realizado manualmente foi o fato do projetista poder tomar algumas decisões sobre o *layout* de características específicas de algumas áreas que não são abordadas nem no método *fuzzy* nem no algoritmo de *layout*. Essas considerações foram a respeito das áreas de entrada, de pessoas ou material, que precisam necessariamente estar posicionadas em alguma das extremidades do restaurante.

O resultado do algoritmo pode ser visto na figura a seguir, e encontrada com maior detalhe em apêndice.

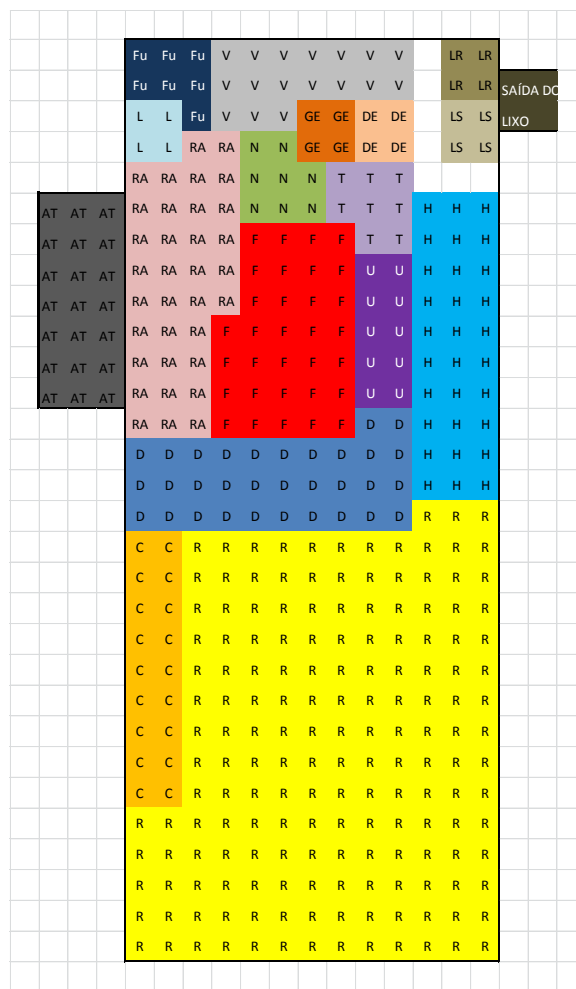


Figura 5: Layout final CORELAP
Fonte: Autoria Própria

4.2 MULTIPLE

Desenvolvido em 1994, o MULTIPLE é um algoritmo semelhante ao CRAFT, porém, com algumas melhorias no método. Assim como seu antecessor, trabalha com um espaço discreto, utiliza como dados de entrada uma matriz de-para com os fluxos de materiais entre as áreas e tem como função objetivo, a redução do esforço de transporte desse fluxo (minimiza a soma da multiplicação entre a distância dos centroides das áreas pelos seus respectivos fluxos de materiais). De forma semelhante ao CRAFT, o MULTIPLE também é um algoritmo de melhoria de *layout*, utilizando um *layout* inicial especificado pelo projetista.

O método trabalha com trocas entre pares de áreas do *layout*, com cada interação realizando a troca que levará a maior redução na função objetivo. Esse método

também é chamado de método de descida mais íngreme, atingindo sempre um valor ótimo local, que pode variar dependendo do *layout* inicial selecionado.

A principal diferença entre os dois métodos reside na propriedade do MULTIPLE de poder trocar quaisquer 2 áreas do *layout*, adjacentes ou não, enquanto o CRAFT possuía a limitação da troca apenas entre áreas adjacentes. Dessa forma, o MULTIPLE possui a mesma flexibilidade e abrangência do CRAFT, porém com um ganho no relaxamento da restrição imposta pelo anterior quanto a troca de áreas.

Esse benefício é possível devido à utilização das “*Space-filling Curves*” (SFC) ou Curvas de Preenchimento Espacial. Originalmente desenvolvidas pelo matemático italiano Giuseppe Peano uma SFC é uma curva que preencha totalmente um espaço multidimensional de unidades quadradas ou cúbicas, transformando o espaço multidimensional em um mapeamento unidimensional (pontos da curva). Dentre essas, as curvas mais conhecidas são a Curva de Peano e a Curva de Hilbert. Através da curva, que pode ser gerada automaticamente pelo algoritmo, é possível trocar duas áreas de local, ainda que não sejam adjacentes nem do mesmo tamanho.

Isso se deve ao procedimento do algoritmo para o desenho do *layout*. Tendo como informação a SFC que preenche todo o espaço da instalação com um início e fim pré-estabelecidos, o algoritmo posiciona as áreas utilizando uma sequência pré-determinada, que preenche o espaço gradativamente ao longo da curva, de acordo com os espaços necessários por cada área. A troca de posição entre as áreas é realizada com a troca da sequência em que essas serão posicionadas.

Uma alternativa às SFCs é o desenho manual de uma curva de preenchimento, que apesar de não ser considerada uma SFC, é utilizada pelo algoritmo da mesma maneira. Essa alternativa é especialmente útil para casos onde o *layout* não apresenta um formato regular, áreas fixas ou obstáculos.

No exemplo abaixo (Tompkins, 2003) podemos observar o desenho de um *layout* com 6 áreas, segundo a Curva de Hilbert e um vetor inicial (Figura 4.a). Na figura 4.b, realiza-se a troca de posicionamento entre as áreas 1 e 5, gerando um novo *layout*.

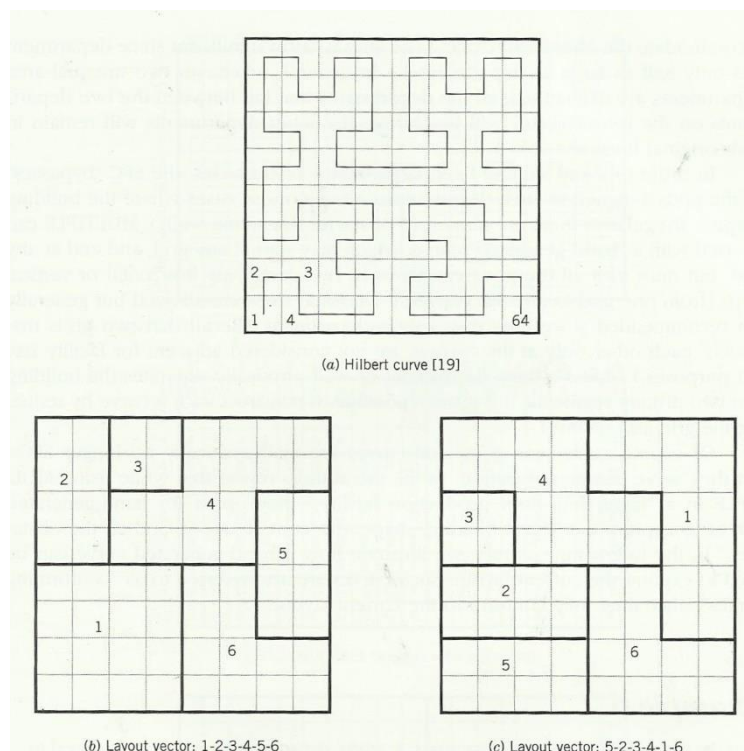


Figura 6: Exemplo de *Layout* – MULTIPLE
Fonte: Fonte: Autoria Própria

Com uma sequência inicial de áreas a serem posicionadas, o algoritmo inicia seu processo de troca de áreas em pares. Visando sempre alcançar com cada troca a máxima redução da função objetivo, o algoritmo é finalizado quando chega a um ótimo local, onde não exista mais nenhum par de áreas que, ao ser trocado, gere uma redução na função objetivo.

No estudo de caso, foram feitas duas considerações para possibilitar a utilização do algoritmo. Primeiramente, foram desconsideradas as áreas de “Saída do Lixo” e “Área Técnica”, por serem áreas exteriores ao espaço do restaurante, e que, portanto, dificilmente seriam mapeadas corretamente com o algoritmo. Com a exclusão da Área Técnica, de número 14, as áreas 15, 16 e 17, respectivamente Estoque de Gêneros, Estoque de Limpeza e Estoque de Descartáveis, foram reduzidas em 1 número cada, sendo consideradas como as áreas 14, 15 e 16 (a área 18 era a Saída do Lixo que também foi excluída).

Em seguida, algumas áreas tiveram seu espaço necessário ajustado para que a soma dos espaços necessários das áreas fosse exatamente igual ao espaço disponível do restaurante. Como o espaço do restaurante excedia em 7 m² o espaço necessário pelas

áreas, foram acrescidas as áreas de “Distribuição”, “Refeitório” e “Vestiários” em respectivamente 2, 4 e 1 metros quadrados.

Após as devidas considerações, foi desenvolvido no software Microsoft® Office Excel™ 2010 o procedimento do algoritmo MULTIPLE para o caso do restaurante universitário. É importante ressaltar que a função objetivo do algoritmo foi adaptada para levar em consideração não somente o fluxo de materiais, mas sim a matriz de proximidades obtida com a aplicação do método *fuzzy* descrito no capítulo anterior.

Levando em consideração que o desenho da curva de preenchimento e a sequência inicial de áreas interferem no resultado do algoritmo, foram geradas 2 curvas de preenchimento e 3 sequências de áreas iniciais distintas. Com isso, o algoritmo foi aplicado 6 vezes, gerando 6 *layouts* distintos.

As sequências iniciais S1 e S2 utilizadas foram baseadas na mesma sequência obtida no algoritmo CORELAP. A primeira sequência representa exatamente a sequência utilizada naquele algoritmo, porém sem as áreas excluídas (Saída do Lixo e Área Técnica), enquanto para a segunda foi realizado um novo procedimento de sequenciamento, semelhante ao CORELAP, porém sem essas áreas na matriz de proximidades. A sequência S3 foi gerada manualmente, em uma tentativa de utilizar o *layout* obtido no CORELAP como *layout* inicial do MULTIPLE.

- S1: 2 – 3 – 9 – 6 – 13 – 10 – 7 – 8 – 14 – 16 – 15 – 1 – 11 – 4 – 12 – 5
- S2: 9 – 2 – 3 – 6 – 13 – 10 – 1 – 7 – 8 – 16 – 15 – 14 – 4 – 11 – 5 – 12
- S3: 3 – 1 – 2 – 13 – 10 – 9 – 6 – 7 – 8 – 15 – 16 – 11 – 12 – 5 – 4 – 14

As curvas de preenchimento foram desenhadas de formas distintas, uma utilizando procedimento específico e outra manualmente. A primeira curva, representando uma SFC, foi construída utilizando o procedimento apresentado em Wang *et al.* (2005), onde o projetista divide o *layout* em um número específico de bandas e orientação para varredura, no caso, bandas de 3 metros e orientação vertical. A segunda, desenhada de forma manual, foi feita visando obter uma curva com menos sequências retas. Para isso, foi desenhada utilizando uma sequência de curvas de Hilbert de segunda interação. O desenho das curvas pode ser observado na figura a seguir.

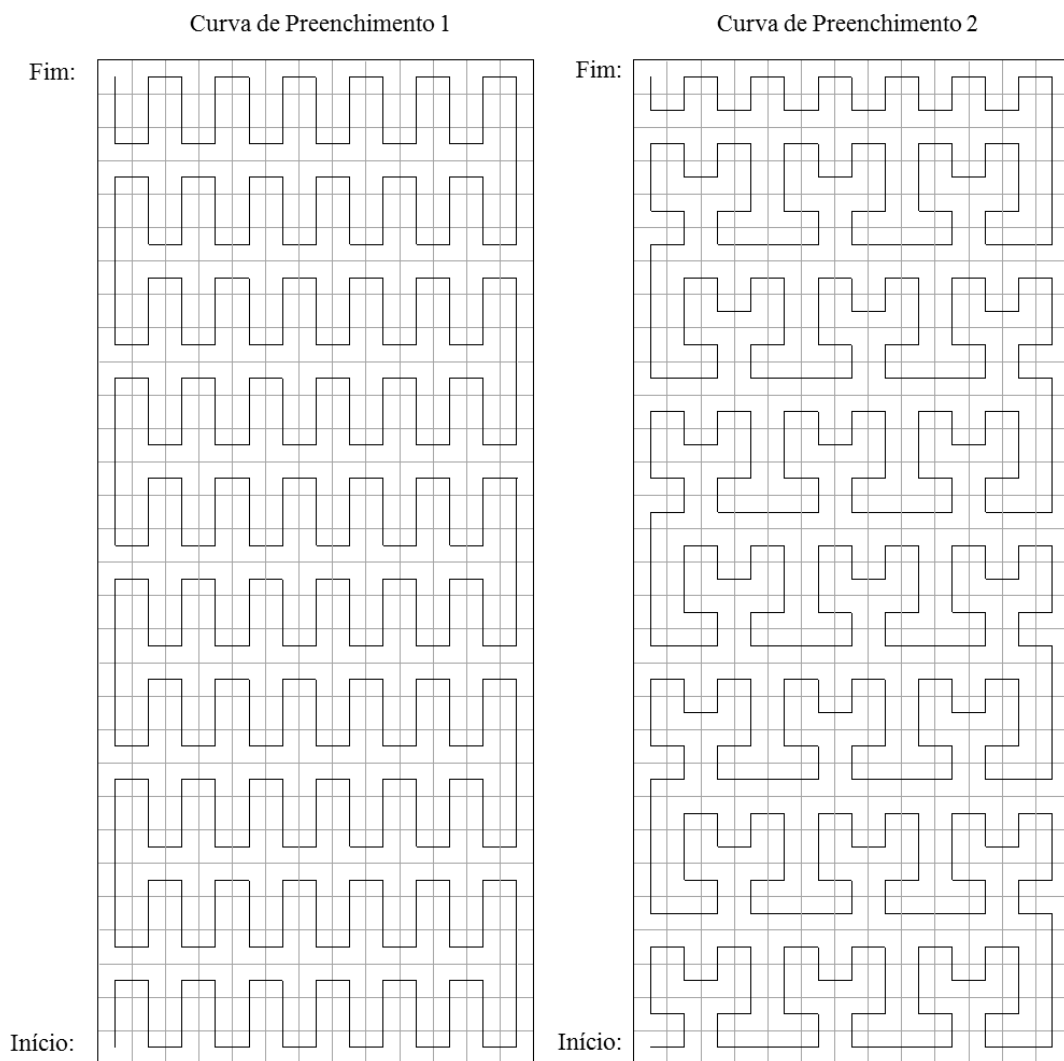


Figura 7: Curvas de preenchimento do *layout* MULTIPLE
Fonte: Autoria Própria

Com as duas curvas de preenchimento e as três sequências iniciais de áreas, foram obtidos seis *layouts*, com distintos valores para a função objetivo do algoritmo. Os *layouts* a seguir também se encontram em apêndice com maior detalhamento.

[illegible][illegible]

L	V	V	V	V	V	V	Fu	Fu	LS	LS	R	R
L	V	V	V	V	V	V	Fu	LR	LR	LS	R	R
L	L	V	V	V	V	V	Fu	Fu	LR	LR	LS	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	R	R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	R	R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	R	R	R
H	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	U	U
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	U
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	U
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	U	U
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	U	U
RA	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	U	U
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	C	C
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	C	C
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	C	C
DE	DE	T	T	T	T	N	N	C	C	C	C	C
DE	GE	GE	T	T	T	N	N	N	C	C	C	C
DE	GE	GE	T	T	T	N	N	N	C	C	C	C

L	L	V	V	V	V	V	V	V	V	LR	LR	LS
L	L	V	V	V	V	V	V	V	V	LR	LR	LS
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	LS
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	LS
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	Fu	Fu	Fu
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	Fu	Fu	Fu
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H	H
C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H
C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H	H
C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H	H
C	C	C	N	N	F	F	F	F	F	F	F	F
C	C	N	N	N	F	F	F	F	F	F	F	F
C	C	C	N	N	F	F	F	F	F	F	F	F
C	C	C	N	N	F	F	F	F	F	F	F	F
T	T	T	T	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA
T	T	T	T	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA
DE	DE	GE	T	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA
DE	DE	GE	GE	GE	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA

[illegible]

L	L	V	V	V	V	V	V	V	LR	LR	LS
L	L	V	V	V	V	V	V	V	LR	LR	LS
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	LS
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	LS
R	R	R	R	R	R	R	R	R	Fu	R	Fu
R	R	R	R	R	R	R	R	R	Fu	Fu	Fu
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
R	R	R	R	R	R	R	R	R			
RA	RA	D	D	D	D	D	D	D	H	H	H
RA	D	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H
RA	RA	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H
RA	RA	D	D	D	D	D	D	D	D	H	H
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	F	F	F	F	F
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	F	F	F	F	F
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	F	F	F	F	F
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	F	F	F	F	F
T	T	T	T	C	C	C	N	N	N	N	N
T	T	T	T	C	C	C	N	N	N	N	N
DE	DE	GE	T	C	C	C	N	C	F	F	F
DE	DE	GE	GE	GE	C	C	C	C	F	F	F

Fonte: Autoria Própria

5 RESULTADOS OBTIDOS

Ao final da aplicação do algoritmo, foram obtidos 7 *layouts*, 1 referente ao CORELAP e 6 referentes ao MULTIPLE. O maior número de *layouts* gerados pelo MULTIPLE se deve a dois fatores: a obtenção de um *layout* distinto para cada curva ou sequência inicial utilizada e à automatização e facilidade de gerar novos *layouts* no algoritmo (cada *layout* demorava entre 10 a 20 minutos para ser gerado). Por utilizar um método manual de posicionamento de áreas, o CORELAP exigiu um pouco mais de trabalho e demorou consideravelmente mais para gerar um *layout*.

Entretanto, observando os *layouts* de maneira subjetiva e com o conhecimento pessoal do autor deste trabalho sobre o funcionamento do restaurante universitário, acredita-se que dificilmente os *layouts* gerados pelo MULTIPLE seriam aplicáveis, enquanto o *layout* do CORELAP apresentaria boa funcionalidade.

Essa opinião é baseada na observação de alguns aspectos fundamentais do funcionamento do restaurante, quanto ao posicionamento de algumas áreas. A Entrada de Clientes pode ser um bom exemplo, pois a mesma deve situar-se, preferencialmente, ao lado da Distribuição, pela sequência processual do serviço. Entretanto, em dois *layouts* gerados pelo MULTIPLE isso não acontece. Ainda que na matriz de proximidade as áreas apresentem uma forte relação de proximidade (22,1), ao gerar o *layout*, o algoritmo MULTIPLE pode não priorizar tal relação em face às inúmeras outras relações que também leva em consideração. Ainda que tenham sido gerados 6 *layouts* distintos, ao menos uma vez em cada existem situações semelhantes que dificultariam bastante o bom funcionamento do restaurante.

Uma das explicações para esse melhor desempenho do *layout* gerado pelo CORELAP possa ser a interferência do projetista, que, ainda que seguindo estritamente os procedimentos do algoritmo, possuiu alguma liberdade no posicionamento das áreas, e pôde levar em consideração alguns fatores que não foram bem abordados no método anterior. Muitos desses fatores podem ser peculiares o suficiente para serem de natureza distinta ao método e algoritmo utilizados, e, portanto, somente a interferência de um projetista que as conheça possa contorná-las. Um exemplo de tal situação: preferencialmente a Entrada de Clientes, Recepção de Alimentos e Área de Funcionários devem situar-se junto a uma das bordas à esquerda ou à direita do *layout*,

por serem os locais de maior facilidade para a implantação de um ponto de entrada no *layout*.

Essas avaliações sobre os *layouts* são majoritariamente subjetivas e representam opinião do autor, com base em seu conhecimento no problema estudado. Para uma avaliação mais objetiva dos *layouts* gerados, foram utilizados também dois métodos distintos:

- O primeiro seguindo o critério de avaliação do MULTIPLE e avaliando a soma do produto dos valores da matriz de proximidades pela respectiva distancia (retangular) entre os centroides das áreas;
- O segundo seguindo o critério do CORELAP e avaliando a soma dos valores da matriz de proximidades para as áreas adjacentes.

Logicamente, para o primeiro critério, quanto menor o valor melhor o *layout*, enquanto para o segundo, quanto maior o valor, melhor o *layout*. A tabela abaixo sumariza os valores obtidos pelos diferentes *layouts* e critérios de avaliação, inclusive o *layout* sugerido pelo caso estudado (desenhado segundo o método SLP).

Tabela 11: Avaliações dos *layouts* obtidos
Fonte: Autoria Própria

		Primeiro Critério	Segundo Critério
<i>Layout</i> sugerido no caso estudado		-9.403	185,2
<i>Layout</i> CORELAP		-10.449	233,2
<i>Layout</i> MULTIPLE	Curva 1 - Sequência 1	-18.003	136,0
	Curva 1 - Sequência 2	-18.867	117,1
	Curva 1 - Sequência 3	-18.004	113,2
	Curva 2 - Sequência 1	-18.870	151,2
	Curva 2 - Sequência 2	-19.121	170,4
	Curva 2 - Sequência 3	-18.710	42,8

Vale ressaltar que, para possibilitar a comparação justa entre todos os *layouts*, foram desconsideradas as relações que envolvem “Área Técnica” e “Saída do Lixo”, por essas não existirem nos *layouts* obtidos no MULTIPLE.

Pelos critérios objetivos explicitados no quadro acima, percebe-se que, segundo o primeiro critério, o melhor *layout* é encontrado no MULTIPLE, utilizando a curva de preenchimento 2 e a sequência inicial 2. Nesse critério observa-se a uma grande diferença dos *layouts* gerados pelo MULTIPLE com relação ao *layout* obtido pelo CORELAP ou o *layout* original do estudo de caso. Segundo esse critério, a diferença entre o pior *layout* gerado pelo MULTIPLE e o gerado pelo CORELAP é de 7.554 unidades, podendo-se dizer que o pior *layout* do MULTIPLE obtém um valor 72,3% superior ao valor do CORELAP. Analisando os *layouts* gerados exclusivamente pelo MULTIPLE, observa-se uma pequena diferença nos valores obtidos, com o melhor *layout* apresentando uma vantagem de apenas 6,2% sobre o pior.

Ao analisarmos os *layouts* através do segundo critério, observa-se que o melhor *layout* é gerado pelo CORELAP, seguido do *layout* original do estudo de caso e do *layout* do MULTIPLE gerado pela curva 2 com a sequência 2. Porém, as diferenças são menos discrepantes que no primeiro critério e o resultado obtido pelo CORELAP apresenta um valor 36,3% superior ao melhor *layout* obtido no MULTIPLE e de 25,4% superior ao sugerido no estudo de caso.

A vantagem do MULTIPLE no primeiro critério e do CORELAP no segundo era esperada, visto que o primeiro critério é a mesma função objetiva utilizada no MULTIPLE, enquanto o segundo é a consolidação dos ratings de posicionamento utilizados no CORELAP.

A principal diferença entre os critérios está no fato do primeiro não levar em consideração as adjacências entre as áreas, enquanto o segundo, somente leva esse fator em consideração. O projetista deve estar ciente dos métodos utilizados por cada algoritmo para poder selecionar aquele que melhor se encaixa na situação.

Por fim, os *layouts* gerados pelo MULTIPLE, apesar de não apresentarem resultados satisfatórios na opinião do autor e projetista, estão embasados em procedimentos e critérios matemáticos bem desenvolvidos. Uma das causas dessa distorção (entre um bom resultado, do ponto de vista matemático, para um mal

resultado, do ponto de vista do projetista) pode estar na matriz de proximidades gerada pelo método *fuzzy*. Nessa, observa-se uma grande predominância de valores negativos, representando uma necessidade de distancia entre as áreas. Talvez, essas necessidades de distância tenham sido superestimadas e estejam interferindo com os valores que foram melhor quantificados. Nessa situação, o projetista sempre pode retornar um passo no método e ajustar alguns valores para obter resultados mais realistas, como por exemplo, reavaliando os pesos dados a cada critério no método AHP, ou reavaliando os questionários com a opinião dos especialistas.

Ainda assim, o bom resultado gerado pelo CORELAP, único a estar à frente do *layout* originalmente proposto em ambos os critérios, mostra que o método teve um bom funcionamento, e apresentou um bom resultado ao final. Foi visto que a interferência do especialista no método e nos algoritmos reduzem a rapidez e praticidade dos mesmos, mas podem ser de grande utilidade em alguns casos, pelo conhecimento tácito que esse adquire ao longo do projeto e que muitas vezes não é transmitido ao algoritmo. Por fim, acredita-se que algumas das distorções nos resultados do MULTIPLE poderiam ter sido corrigidas sem maiores dificuldade, caso o trabalho não se tratasse de um projeto acadêmico, e o projetista contasse com maior tempo para realizar essas correções.

6 CONCLUSÃO

O projeto de *layout* segue sendo um tema bastante estudado no universo da engenharia de produção, e sem ainda uma resposta ou método definitivo. O trabalho buscou aprofundar-se no tema e aplicar um método que utilizasse os conceitos da lógica *fuzzy*, capaz de abordar a complexidade, vaguezas e imprecisões desse tipo de projeto. A utilização de algoritmos computacionais pôde exemplificar o uso da computação e de procedimentos matemáticos na etapa de geração de *layout*.

Utilizando conceitos e métodos academicamente consolidados, foi possível implementar com sucesso um método *fuzzy* que abordasse os diversos fatores, quantitativos e qualitativos, que interferem em um projeto de *layout*. A aplicação do método se seguiu de dois algoritmos computacionais, que gerou resultados bastante distintos para o *layout* de bloco do estudo de caso. Ainda que o algoritmo CORELAP tenha apresentado melhor resultado que o MULTIPLE, ambos foram aplicados com sucesso no caso do RU-CT, e posteriormente analisados segundo critérios objetivos e subjetivos. Dessa forma, todos os objetivos propostos inicialmente foram atingidos de maneira satisfatória.

As futuras pesquisas no assunto seguirão avançando no uso da tecnologia para abordar o problema de *layout*. Independente da abordagem utilizada pelo projetista, fica cada vez mais clara a importância do suporte computacional na geração de *layouts*. Diversos algoritmos e softwares de simulação já foram desenvolvidos, mas, ainda sem obter um resultado ótimo, independente do caso em que se aplica, ainda há bastante espaço para novas pesquisas e descobertas na área.

A utilização da lógica *fuzzy* como nova forma de abordagem, principalmente quando atrelada a heurísticas e algoritmos computacionais, parece promissora, e também possui bastante espaço para desenvolver-se.

7 BIBLIOGRAFIA

AIELLO, G.; ENEA, M. Fuzzy approach to the robust facility layout in uncertain production environments. *International Journal of Production Research*, vol. 39, p. 4089–4101, 2001.

ALTUNTAS, S.; SELIM, H.; & DERELI, T. A fuzzy DEMATEL-based solution approach for facility layout problem: a case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 73, p. 749–771, 2014.

AZADEH, A. *et al.* An integrated fuzzy simulation-fuzzy data envelopment analysis algorithm for job-shop layout optimization: The case of injection process with ambiguous data. *European Journal of Operational Research*, vol. 214, n. 3, p. 768–779, 2012.

BADIRU, A. B.; ARIF, A. FLEXPART: facility layout expert system using fuzzy linguistic relationship codes. *IIE Transactions*, vol. 28, p. 295–308, 1996.

DEB, S. K.; BHATTACHARYYA, B. Facilities layout planning based on Fuzzy multiple criteria decision-making methodology. *International Journal of Production Research*, vol. 41, p. 4487–4504, 2003.

DEB, S. K.; BHATTACHARYYA, B. Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning. *Decision Support Systems*, vol. 40, p. 305–314, 2005.

DRIRA, A. *et al.* Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), p. 255–267, 2007.

DRIRA, A.; PIERREVAL, H.; HAJRI-GABOUJ, S. Design of a robust layout with information uncertainty increasing over time: A fuzzy evolutionary approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 26, n. 3, p. 1052–1060, 2013.

DWEIRI, F.; MEIER, F. A. Application of fuzzy decision-making in facilities layout planning. *International Journal of Production Research*, vol. 34, p. 3207–3225, 1996.

DWEIRI, F. Fuzzy development of crisp activity relationship charts for facilities layout. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 36, p. 1–16, 1999.

ENEA, M.; GALANTE, G.; PANASCIA, E. The facility layout problem approached using a fuzzy model and a genetic search. *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol.16, p. 303–316, 2005.

EVANS, G. W.; WILHELM, M. R.; KARWOWSKI, W. A layout design heuristic employing the theory of fuzzy sets. *International Journal of Production Research*, p. 37–41, 1987.

GEN, M.; IDA, K.; CHENG, C.. Multirow Machine Layout Problem in Fuzzy Environment Using Genetic Algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 29, p. 519–523, 1995.

GROBELNY, J. The simple ‘linguistic’ approach to optimization of a plant layout by branch and bound. *Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies*, 1986.

GROBELNY, J. The fuzzy approach to facility layout problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 23, p. 175–190, 1987a.

GROBELNY, J. On one possible ‘fuzzy’ approach to facilities layout problems. *International Journal of Production Research*, 1987b.

GROBELNY, J. The “linguistic pattern” method for a workstation layout analysis. *International Journal of Production Research*, 1779–1798, 1988.

KARWOWSKI, W.; EVANS, G. W. Fuzzy concepts in production management research – a review. *International Journal of Production Research*, 1986.

LIU, H.; ABRAHAM, A. An Hybrid Fuzzy Variable Neighborhood Particle Swarm Optimization Algorithm for Solving Quadratic Assignment. *Journal of Universal Computer Science*, vol. 13, n. 9, p. 1309–1331, 2007.

MUTHER, R. (1973). *Planejamento do layout : sistema SLP*, São Paulo: Edgard Blücher, 1978.

OTTONI, G. P. et al. *Trabalho de Planejamento das Instalações no Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro*. 2012. Planejamento das Instalações – Curso de Engenharia de Produção, UFRJ.

- RAOOT, A. D.; RAKSHIT, A. A “fuzzy” approach to facilities lay-out planning. *International Journal of Production Research*, p. 835–857, 1991.
- RAOOT, A. D.; RAKSHIT, A. A “fuzzy” heuristic for the quadratic assignment formulation to the facility layout problem. *International Journal of Production Research*, p. 563–581, 1994.
- SAMARGHANDI, H.; TAABAYAN, P.; BEHROOZI, M. Metaheuristics for fuzzy dynamic facility layout problem with unequal area constraints and closeness ratings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 67, p. 2701–2715, 2013.
- SHAYAN, E; CHITTILAPPILLY, A. Genetic algorithm for facilities layout problems based on slicing tree structure. *International Journal of Production Research*, 42(19), p. 4055–4067, 2004.
- SINGH, S. P.; SHARMA, R. R. K. A review of different approaches to the facility layout problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 30, p. 425–433, 2006.
- TANAKA, K (1991). *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*, Springer, 1997.
- TOMPKINS, J. A. (1984). *Facilities Planning*, 3^a edição. John Wiley & Sons, 2003.
- WANG, M. J., HU, M. H., & KU, M. Y. A solution to the unequal area facilities layout problem by genetic algorithm. *Computers in Industry*, vol. 56, p. 207–220, 2005.
- XU, J.; LI, Z. Multi-Objective Dynamic Construction Site Layout Planning in Fuzzy Random Environment. *Automation in Construction*, vol. 27, p. 155–169, 2012.
- YANG, L.; FENG, Y. Fuzzy multi-level warehouse layout problem: New model and algorithm. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, vol. 15, p. 493–503, 2006.
- ZADEH, L. A.; Fuzzy Sets. *Information and Control*, vol. 8, p. 338–353, 1965

8 APÊNDICES

8.1 Apêndice A – Matriz de Proximidades

Tabela 11: Matriz de Proximidades
Fonte: Autoria Própria

	Entrada de Clientes	Distribuição	Refeitório	Área de Funcionários	Vestiários	Recepção de Alimentos	Sala de Nutricionistas	Sala da Terceirizada	Área de Finalização	Armazém de Utensílios	Lixo Seco	Lixo Refrigerado	Higienização	Área Técnica	Estoque de Limpeza	Estoque de Gênero	Estoque de Descartáveis	Saída do Lixo
Entrada de Clientes		22,1	13,1	-19,8	-17,2	-17,2	-1,2	-1,2	-12,9	-0,8	-20,7	-20,7	-13,8	-8,9	-17,3	-17,3	-8,7	-19,8
Distribuição	22,1		27,8	-16,3	-19,0	20,1	11,1	6,2	27,6	21,2	-16,0	-15,1	17,5	-24,9	-8,0	-2,1	-2,1	-17,2
Refeitório	13,1	27,8		-20,7	-20,7	-13,3	2,7	0,8	-8,3	6,3	-14,6	-21,0	22,7	-20,7	-12,6	-12,6	-12,6	-16,3
Área de Funcionários	-19,8	-16,3	-20,7		22,3	-7,2	0,8	-0,8	0,3	-0,8	-1,2	-1,2	-0,8	0,0	-11,4	-11,4	-11,4	-19,8
Vestiários	-17,2	-19,0	-20,7	22,3		-19,8	-3,0	-3,8	-19,8	-8,0	-19,8	-19,8	-11,8	-8,0	-8,3	-15,2	-11,7	-19,8
Recepção de Alimentos	-17,2	20,1	-13,3	-7,2	-19,8		8,1	6,9	26,8	-3,6	-19,8	-19,8	-4,9	-8,0	0,0	0,0	-0,8	-16,0
Sala de Nutricionistas	-1,2	11,1	2,7	0,8	-3,0	8,1		7,8	18,5	0,8	-19,8	-19,8	0,8	0,8	-7,5	-7,5	-7,5	-14,8
Sala da Terceirizada	-1,2	6,2	0,8	-0,8	-3,8	6,9	7,8		17,3	0,0	-19,8	-16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-19,8
Área de Finalização	-12,9	27,6	-8,3	0,3	-19,8	26,8	18,5	17,3		0,8	-8,3	-0,1	13,6	0,0	-15,2	7,6	7,6	-20,7
Armazém de Utensílios	-0,8	21,2	6,3	-0,8	-8,0	-3,6	0,8	0,0	0,8		-3,8	-3,8	26,5	-16,0	0,8	-16,0	-16,0	0,8
Lixo Seco	-20,7	-16,0	-14,6	-1,2	-19,8	-19,8	-19,8	-19,8	-8,3	-3,8		12,7	-24,0	-8,3	-19,8	-19,8	-19,8	7,6
Lixo Refrigerado	-20,7	-15,1	-21,0	-1,2	-19,8	-19,8	-19,8	-16,0	-0,1	-3,8	12,7		7,3	-8,0	-19,8	-19,8	-19,8	16,8
Higienização	-13,8	17,5	22,7	-0,8	-11,8	-4,9	0,8	0,0	13,6	26,5	-24,0	7,3		-8,0	-16,0	-16,0	-16,0	-2,9
Área Técnica	-8,9	-24,9	-20,7	0,0	-8,0	-8,0	0,8	0,0	0,0	-16,0	-8,3	-8,0	-8,0		0,0	0,0	0,0	0,0
Estoque de Limpeza	-17,3	-8,0	-12,6	-11,4	-8,3	0,0	-7,5	0,0	-15,2	0,8	-19,8	-19,8	-16,0	0,0		-11,4	-11,4	-19,8
Estoque de Gênero	-17,3	-2,1	-12,6	-11,4	-15,2	0,0	-7,5	0,0	7,6	-16,0	-19,8	-19,8	-16,0	0,0	-11,4		4,3	-19,8
Estoque de Descartáveis	-8,7	-2,1	-12,6	-11,4	-11,7	-0,8	-7,5	0,0	7,6	-16,0	-19,8	-19,8	-16,0	0,0	-11,4	4,3		-19,8
Saída do Lixo	-19,8	-17,2	-16,3	-19,8	-19,8	-16,0	-14,8	-19,8	-20,7	0,8	7,6	16,8	-2,9	0,0	-19,8	-19,8	-19,8	

8.2 Apêndice B – Layout Final CORELAP

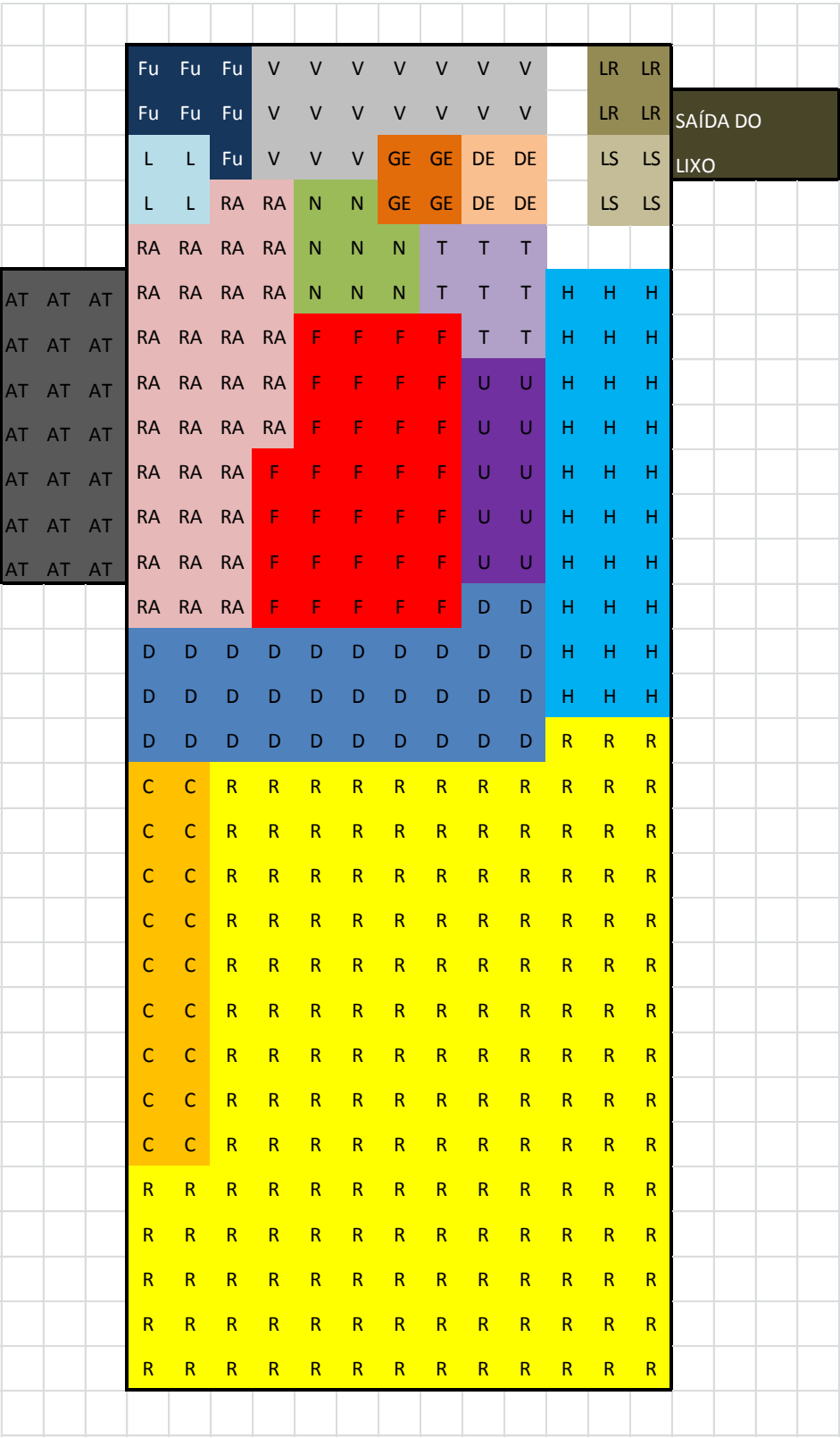


Figura 5: Layout final CORELAP
Fonte: Autoria Própria

8.3 Apêndice C – Layout MULTIPLE: Curva 1 – Sequência 1

Layout Final: Curva 1 – Sequência 1
Função Objetivo: - 18.003

LS	LR	LR	Fu	Fu	V	V	V	V	L	L	R	R
LS	LR	LR	Fu		V	V	V	V	V	L	R	R
LS	LS		Fu	Fu	V	V	V	V	V	L	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H		R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H		R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H			R	R
H	U	U		N	N	N	N	T	T	C	C	C
U	U	U	U		N	N	N	T	T	T	C	C
U	U	U	U		N	N		T	T	T	C	C
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		C	C
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		C	C
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	C	C
D	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA
D	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA
D	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	DE
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	GE	DE
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	GE	DE
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	GE	DE

Figura 9: Layout Multiple: Curva 1 – Sequência 1
Fonte: Autoria Própria

8.4 Apêndice D – *Layout* MULTIPLE: Curva 1 – Sequência 2

Layout Final: Curva 1 – Sequência 2

Função Objetivo: -18.867

[illegible]

Figura 10: *Layout Multiple*: Curva 1 – Sequência 2
Fonte: Autoria Própria

8.5 Apêndice E – Layout MULTIPLE: Curva 1 – Sequência 3

Layout Final: Curva 1 – Sequência 3
Função Objetivo: -18.004

L	V	V	V	V	V	V	Fu	Fu	LS	LS	R	R
L	V	V	V	V	V	V	Fu	LR	LR	LS	R	R
L	L	V	V	V	V	V	Fu	Fu	LR	LR	LS	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	R	R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	R	R	R
H	H	H	H	H	H	H	H	H	R	R	R	R
H	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	U	U
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	U
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	U
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	U	U
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	U	U
RA	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	U	U
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	C	C
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	C	C
RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	C	C
DE	DE	T	T	T	T	N	N	C	C	C	C	C
DE	GE	GE	T	T	T	N	N	N	C	C	C	C
DE	GE	GE	T	T	N	N	N	N	C	C	C	C

Figura 11: Layout Multiple: Curva 1 – Sequência 3
Fonte: Autoria Própria

8.6 Apêndice F – Layout MULTIPLE: Curva 2 – Sequência 1

Layout Final: Curva 2 – Sequência 1

Função Objetivo: - 18.870

[illegible]

Figura 12: *Layout* Multiple: Curva 2 – Sequência 1
Fonte: Autoria Própria

8.7 Apêndice G – Layout MULTIPLE: Curva 2 – Sequência 2

Layout Final: Curva 2 – Sequência 2
Função Objetivo: -19.121

V	V	V	V	V	V	V	V	Fu	Fu	Fu	LS	LS
V	V	V	V	V	V	V	V	Fu	Fu	LS	LS	LR
R	R	H	H	H	H	H	H	H	U	U	LR	
R	R	R	H	H	H	H	H	H	U	U	U	LR
R	R	H	H	H	H	H	H	H	U	U	U	LR
R	R	H	H	H	H	H	H	H	U	U	U	
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	R
C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R
C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	R
C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	R	R	R
C	N	N	N	N	F	F	F	F	F	F	F	F
C	N	N	N	N	T	F	F	F	F	F	F	F
C	N	C	T	T	T	T	F	F	F	F	F	F
C	C	C	T	T	T	T	F	F	F	F	F	F
GE	GE	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	F
GE	GE	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	L	F
DE	DE	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	L	L	F
DE	DE	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	L	F	F

Figura 13: Layout Multiple: Curva 2 – Sequência 2
Fonte: Autoria Própria

8.8 Apêndice H – *Layout* MULTIPLE: Curva 2 – Sequência 3

Layout Final: Curva 2 – Sequência 3

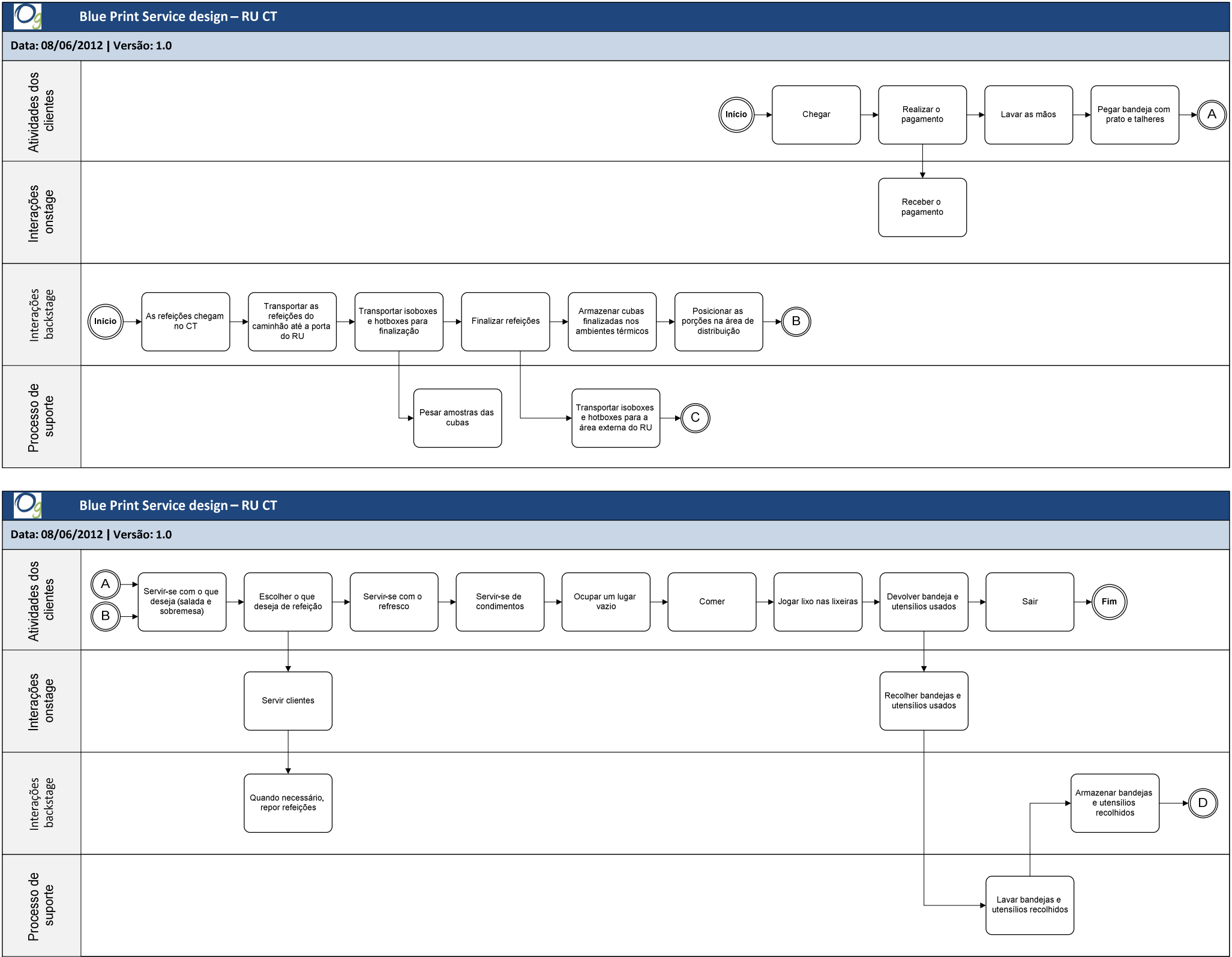
Função Objetivo: -18.710

[illegible]

Figura 14: *Layout* Multiple: Curva 2 – Sequência 3
Fonte: Autoria Própria

9 ANEXOS

9.1 Anexo A – Blueprints do Funcionamento do RU-CT



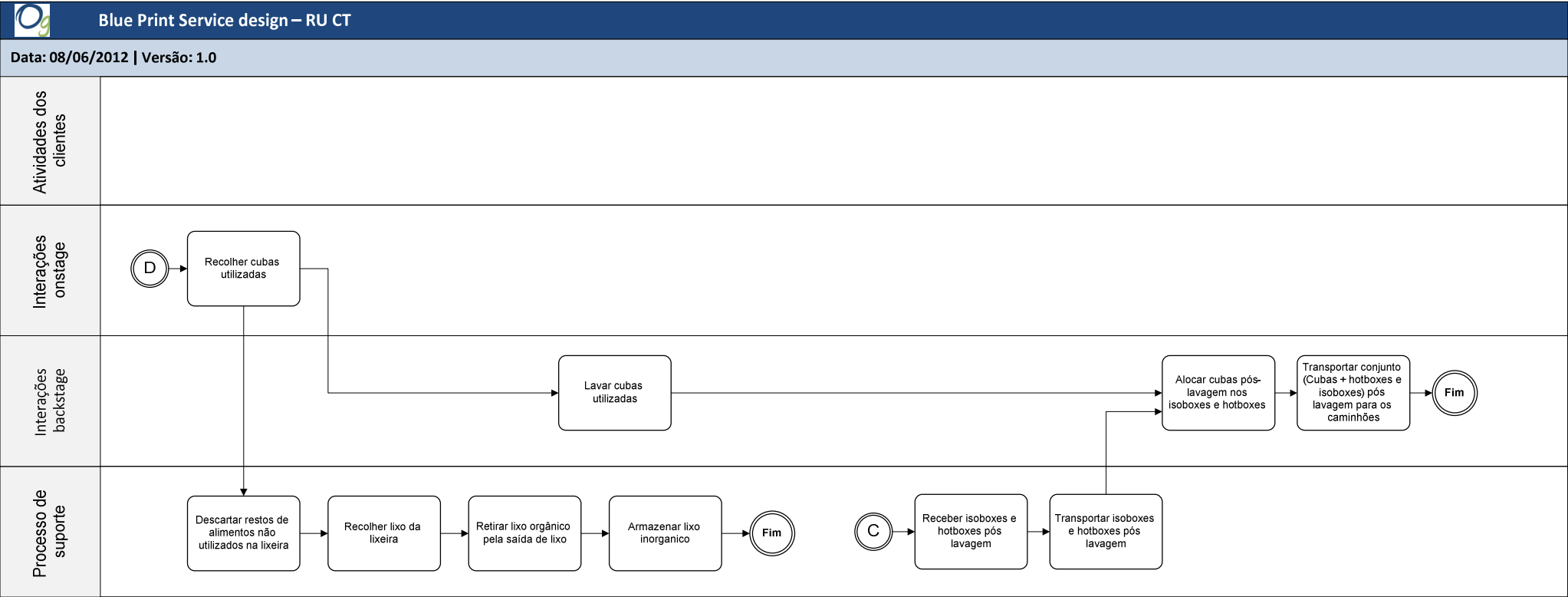


Figura 15: *Blueprints* do Funcionamento do RU-CT
Fonte: Ottoni *et al.*(2012)

9.2 Anexo A – Matriz De-Para do Fluxo de Materiais

Tabela 11: Matriz De-Para do Fluxo de Materiais
Fonte: Ottoni *et al.* (2012)

DE \ PARA	Distribuição	Refeitório	Área de Finalização	Higienização	Armazém de Utensílios	Lixo Refrigerado	Lixo Seco	Saída do Lixo
Entrada de Clientes	1764	0	0	0	0	0	0	0
Distribuição	0	3528	0	0	0	43	0	0
Refeitório	0	0	0	1062	0	10	10	0
Recepção de Alimentos	0	0	750	0	0	0	0	0
Área de Finalização	750	0	0	0	0	0	0	0
Higienização	0	0	0	0	1062	0	0	0
Armazém de Utensílios	1062	0	0	0	0	0	0	0
Lixo Refrigerado	0	0	0	0	0	0	0	43
Lixo Seco	0	0	0	0	0	0	0	10

9.3 Anexo C – Respostas do Questionário com Especialista

Tabela 12: Respostas do Questionário com Especialista
Fonte: Ottoni *et al.* (2012)

			Movimentação de Pessoal	Higiene	Questões Térmicas	Comunicação/ Supervisão	Acústica/ Odor
Entrada de Clientes	x	Distribuição	PP	CP	PD	I	PP
Entrada de Clientes	x	Refeitório	IP	PP	CP	I	PP
Entrada de Clientes	x	Área de Funcionários	CD	CD	I	I	CD
Entrada de Clientes	x	Vestiários	CD	CD	I	PD	PD
Entrada de Clientes	x	Recepção de Alimentos	CD	CD	I	PD	PD
Entrada de Clientes	x	Sala de Nutricionistas	I	I	I	PD	PD
Entrada de Clientes	x	Sala da Terceirizada	I	I	I	PD	PD
Entrada de Clientes	x	Área de Finalização	CD	CD	I	IP	I
Entrada de Clientes	x	Armazém de Utensílios	I	I	I	PD	I
Entrada de Clientes	x	Lixo Seco	CD	CD	I	PD	CD
Entrada de Clientes	x	Lixo Refrigerado	CD	CD	I	PD	CD
Entrada de Clientes	x	Higienização	PD	PD	I	CD	PD
Entrada de Clientes	x	Área Técnica	I	I	I	CD	CD
Entrada de Clientes	x	Estoque de Limpeza	PD	PD	I	CD	CD
Entrada de Clientes	x	Estoque de Gênero	PD	PD	I	CD	CD
Entrada de Clientes	x	Estoque de Descartáveis	PD	PD	I	I	PD
Entrada de Clientes	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	CD
Distribuição	x	Refeitório	IP	CP	PD	IP	PP
Distribuição	x	Área de Funcionários	CD	CD	I	I	PD
Distribuição	x	Vestiários	CD	CD	I	PP	CD
Distribuição	x	Recepção de Alimentos	CP	CP	I	IP	PD
Distribuição	x	Sala de Nutricionistas	IP	I	I	CP	PD
Distribuição	x	Sala da Terceirizada	IP	I	I	IP	CD
Distribuição	x	Área de Finalização	IP	IP	IP	IP	I
Distribuição	x	Armazém de Utensílios	IP	IP	I	PD	PD
Distribuição	x	Lixo Seco	CD	CD	I	I	I
Distribuição	x	Lixo Refrigerado	CD	CD	I	IP	CD
Distribuição	x	Higienização	CP	IP	I	PP	IP
Distribuição	x	Área Técnica	CD	CD	I	CD	CD
Distribuição	x	Estoque de Limpeza	PP	PD	I	CD	CD
Distribuição	x	Estoque de Gênero	PP	PP	I	CD	CD
Distribuição	x	Estoque de Descartáveis	PP	PP	I	CD	CD
Distribuição	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	PD	PD
Refeitório	x	Área de Funcionários	CD	CD	I	CD	PP
Refeitório	x	Vestiários	CD	CD	I	CD	PP
Refeitório	x	Recepção de Alimentos	PD	CD	I	I	PD
Refeitório	x	Sala de Nutricionistas	I	I	I	PP	IP
Refeitório	x	Sala da Terceirizada	I	I	I	PP	I

Refeitório	x	Área de Finalização	PD	PD	I	I	I
Refeitório	x	Armazém de Utensílios	PP	PP	I	PD	PP
Refeitório	x	Lixo Seco	CD	CD	I	PD	IP
Refeitório	x	Lixo Refrigerado	CD	CD	I	CD	PD
Refeitório	x	Higienização	CP	CP	I	PD	CD
Refeitório	x	Área Técnica	CD	CD	I	PD	CD
Refeitório	x	Estoque de Limpeza	CD	PD	I	PD	PD
Refeitório	x	Estoque de Gênero	CD	PD	I	PD	PD
Refeitório	x	Estoque de Descartáveis	CD	PD	I	PD	PD
Refeitório	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	PD
Área de Funcionários	x	Vestiários	CP	CP	I	IP	IP
Área de Funcionários	x	Recepção de Alimentos	PD	PD	I	PP	PP
Área de Funcionários	x	Sala de Nutricionistas	I	I	I	PP	I
Área de Funcionários	x	Sala da Terceirizada	I	I	I	PD	I
Área de Funcionários	x	Área de Finalização	I	I	I	I	PP
Área de Funcionários	x	Armazém de Utensílios	I	I	I	PD	I
Área de Funcionários	x	Lixo Seco	I	I	I	PD	PD
Área de Funcionários	x	Lixo Refrigerado	I	I	I	PD	PD
Área de Funcionários	x	Higienização	I	I	I	PD	I
Área de Funcionários	x	Área Técnica	I	I	I	I	I
Área de Funcionários	x	Estoque de Limpeza	CD	PD	I	I	I
Área de Funcionários	x	Estoque de Gênero	CD	PD	I	I	I
Área de Funcionários	x	Estoque de Descartáveis	CD	PD	I	I	I
Área de Funcionários	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	CD
Vestiários	x	Recepção de Alimentos	CD	CD	I	I	CD
Vestiários	x	Sala de Nutricionistas	I	I	I	PP	CD
Vestiários	x	Sala da Terceirizada	I	I	I	I	CD
Vestiários	x	Área de Finalização	CD	CD	I	I	CD
Vestiários	x	Armazém de Utensílios	I	CD	I	I	I
Vestiários	x	Lixo Seco	CD	CD	I	I	CD
Vestiários	x	Lixo Refrigerado	CD	CD	I	I	CD
Vestiários	x	Higienização	I	CD	I	I	CD
Vestiários	x	Área Técnica	I	CD	I	I	I
Vestiários	x	Estoque de Limpeza	CD	I	I	I	PD
Vestiários	x	Estoque de Gênero	CD	PD	I	I	CD
Vestiários	x	Estoque de Descartáveis	CD	PD	I	I	PD
Vestiários	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	CD
Recepção de Alimentos	x	Sala de Nutricionistas	IP	I	I	PP	PP
Recepção de Alimentos	x	Sala da Terceirizada	IP	I	I	I	I
Recepção de Alimentos	x	Área de Finalização	CP	PP	I	CP	PP
Recepção de Alimentos	x	Armazém de Utensílios	PD	I	PP	PP	I
Recepção de Alimentos	x	Lixo Seco	CD	CD	I	I	CD

Recepção de Alimentos	x	Lixo Refrigerado	CD	CD	I	I	CD
Recepção de Alimentos	x	Higienização	PD	I	I	I	I
Recepção de Alimentos	x	Área Técnica	I	CD	I	I	I
Recepção de Alimentos	x	Estoque de Limpeza	I	I	I	I	I
Recepção de Alimentos	x	Estoque de Gênero	I	I	I	I	I
Recepção de Alimentos	x	Estoque de Descartáveis	I	I	I	PD	I
Recepção de Alimentos	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	I
Sala de Nutricionistas	x	Sala da Terceirizada	IP	I	I	PP	I
Sala de Nutricionistas	x	Área de Finalização	CP	CP	I	PP	PP
Sala de Nutricionistas	x	Armazém de Utensílios	I	I	I	PP	I
Sala de Nutricionistas	x	Lixo Seco	CD	CD	I	I	CD
Sala de Nutricionistas	x	Lixo Refrigerado	CD	CD	I	I	CD
Sala de Nutricionistas	x	Higienização	I	I	I	PP	I
Sala de Nutricionistas	x	Área Técnica	I	I	I	PP	I
Sala de Nutricionistas	x	Estoque de Limpeza	PD	PD	I	PP	I
Sala de Nutricionistas	x	Estoque de Gênero	PD	PD	I	PP	I
Sala de Nutricionistas	x	Estoque de Descartáveis	PD	PD	I	PP	I
Sala de Nutricionistas	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	PP	PP
Sala da Terceirizada	x	Área de Finalização	CP	CP	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Armazém de Utensílios	I	I	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Lixo Seco	CD	CD	I	I	CD
Sala da Terceirizada	x	Lixo Refrigerado	CD	CD	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Higienização	I	I	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Área Técnica	I	I	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Estoque de Limpeza	I	I	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Estoque de Gênero	I	I	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Estoque de Descartáveis	I	I	I	I	I
Sala da Terceirizada	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	CD
Área de Finalização	x	Armazém de Utensílios	I	I	I	PP	I
Área de Finalização	x	Lixo Seco	PD	PD	I	I	I
Área de Finalização	x	Lixo Refrigerado	CD	CP	I	I	I
Área de Finalização	x	Higienização	IP	IP	PP	PP	I
Área de Finalização	x	Área Técnica	I	I	I	I	I
Área de Finalização	x	Estoque de Limpeza	CD	CD	I	PP	I
Área de Finalização	x	Estoque de Gênero	PP	PP	I	PP	I
Área de Finalização	x	Estoque de Descartáveis	PP	PP	I	PP	I
Área de Finalização	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	PD	CD
Armazém de Utensílios	x	Lixo Seco	I	I	I	I	CD
Armazém de Utensílios	x	Lixo Refrigerado	I	I	I	I	CD
Armazém de	x	Higienização	CP	IP	PP	PP	PP

Utensílios							
Armazém de Utensílios	x	Área Técnica	CD	CD	I	I	I
Armazém de Utensílios	x	Estoque de Limpeza	I	I	I	PP	I
Armazém de Utensílios	x	Estoque de Gênero	CD	CD	I	I	I
Armazém de Utensílios	x	Estoque de Descartáveis	CD	CD	I	I	I
Armazém de Utensílios	x	Saída do Lixo	I	I	I	PP	I
Lixo Seco	x	Lixo Refrigerado	IP	IP	I	I	PP
Lixo Seco	x	Higienização	CD	CD	CD	I	CD
Lixo Seco	x	Área Técnica	CD	I	I	I	PD
Lixo Seco	x	Estoque de Limpeza	CD	CD	I	I	CD
Lixo Seco	x	Estoque de Gênero	CD	CD	I	I	CD
Lixo Seco	x	Estoque de Descartáveis	CD	CD	I	I	CD
Lixo Seco	x	Saída do Lixo	PP	IP	PP	PP	CD
Lixo Refrigerado	x	Higienização	PP	PP	PP	I	I
Lixo Refrigerado	x	Área Técnica	CD	I	I	I	I
Lixo Refrigerado	x	Estoque de Limpeza	CD	CD	I	I	CD
Lixo Refrigerado	x	Estoque de Gênero	CD	CD	I	I	CD
Lixo Refrigerado	x	Estoque de Descartáveis	CD	CD	I	I	CD
Lixo Refrigerado	x	Saída do Lixo	IP	CP	I	I	PP
Higienização	x	Área Técnica	CD	I	I	I	I
Higienização	x	Estoque de Limpeza	CD	CD	I	I	I
Higienização	x	Estoque de Gênero	CD	CD	I	I	I
Higienização	x	Estoque de Descartáveis	CD	CD	I	I	I
Higienização	x	Saída do Lixo	PP	PD	I	I	CD
Área Técnica	x	Estoque de Limpeza	I	I	I	I	I
Área Técnica	x	Estoque de Gênero	I	I	I	I	I
Área Técnica	x	Estoque de Descartáveis	I	I	I	I	I
Área Técnica	x	Saída do Lixo	I	I	I	I	I
Estoque de Limpeza	x	Estoque de Gênero	CD	PD	I	I	I
Estoque de Limpeza	x	Estoque de Descartáveis	CD	PD	I	I	I
Estoque de Limpeza	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	CD
Estoque de Gênero	x	Estoque de Descartáveis	PP	I	I	I	I
Estoque de Gênero	x	Saída do Lixo	CD	CD	I	I	CD
Saída do Lixo	x	Estoque de Descartáveis	CD	CD	I	I	CD

9.4 Anexo D: Layout Sugerido pelo Caso Estudado

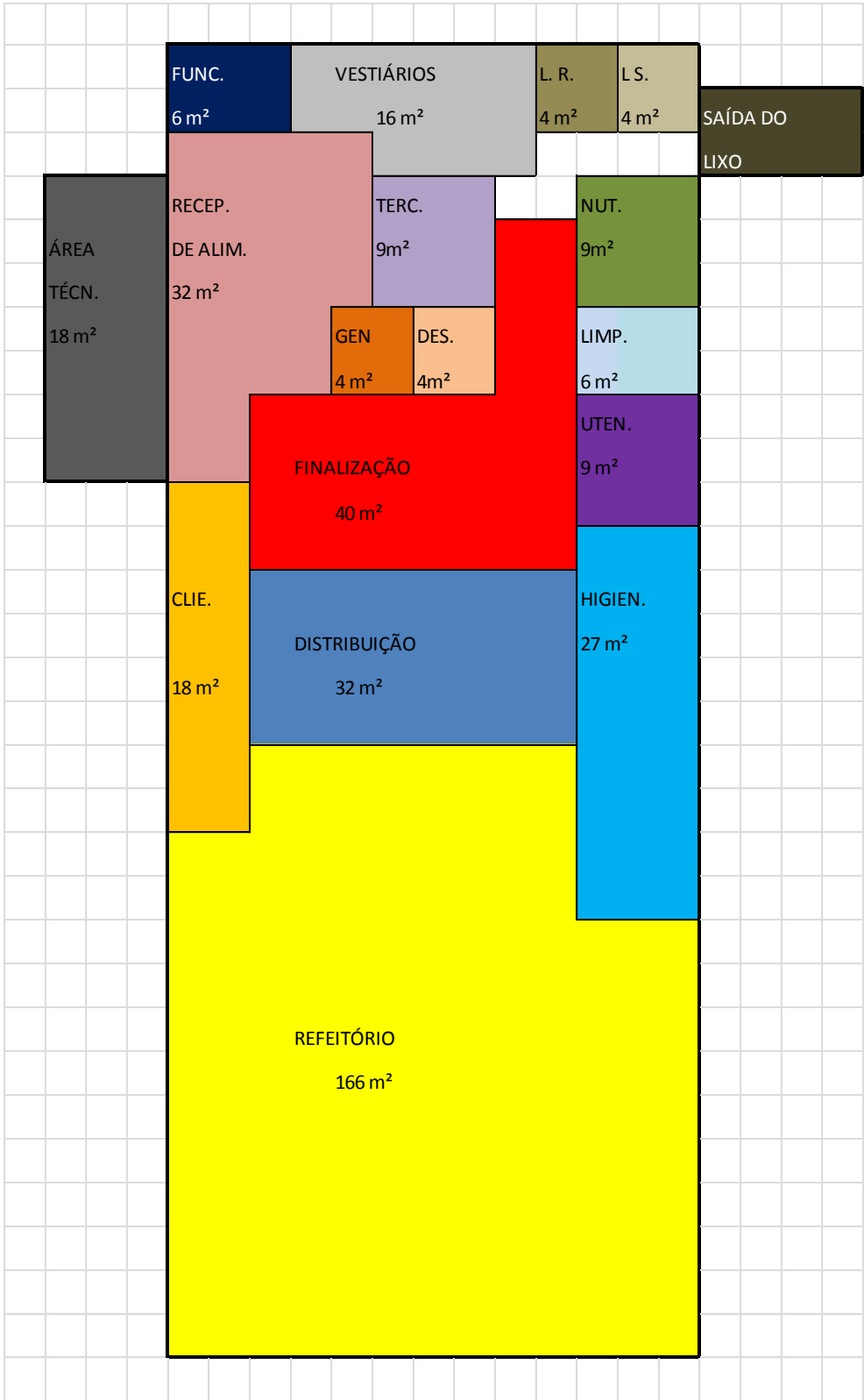


Figura 16: Layout Sugerido pelo Estudo de Caso
Fonte: Ottoni et al.(2012)