



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção,
Administração e Economia



APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA ESCOLHA DE UM FORNECEDOR DE TESTES DE HIV EM UM LABORATÓRIO DE ANÁLISES CLÍNICAS

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAFAELA CARVALHO DE OLIVEIRA D'ANGELO

Ouro Preto – MG
Julho de 2019

RAFAELA CARVALHO DE OLIVEIRA D'ANGELO

**APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA
ESCOLHA DE UM FORNECEDOR DE TESTES
DE HIV EM UM LABORATÓRIO DE ANÁLISES
CLÍNICAS**

Monografia apresentada à banca examinadora do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de graduada em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Magno Silvério Campos

Ouro Preto – MG
Julho de 2019

D182a DAngelo, Rafaela Carvalho de Oliveira.
Aplicação do método AHP para escolha de um fornecedor de testes de HIV em um Laboratório de Análises Clínicas [manuscrito] / Rafaela Carvalho de Oliveira DAngelo. - 2019.

30f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Magno Silvério Campos.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Analytic Hierarchy Process (AHP). 2. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). 3. Fornecedor. 4. Testes de HIV . 5. Laboratório de Análises Clínicas. I. Campos, Magno Silvério . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 658.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas

Departamento Engenharia de Produção, Administração e Economia

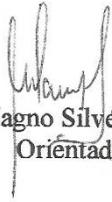
ATA DE DEFESA

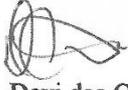
Aos dezesseis dias do mês de julho de dois mil e dezenove, às 12h30min, no auditório Fundação Gorceix do prédio da Escola de Minas - *Campus Morro do Cruzeiro*, foi realizada a defesa de Trabalho Final de Graduação - Monografia pela aluna **Rafaela Carvalho de Oliveira D'Angelo**, sendo a banca examinadora constituída pelos professores Magno Silvério Campos (orientador), Davi das Chagas Neves e Helton Cristiano Gomes. A aluna apresentou a monografia intitulada "*Aplicação do Método AHP para Escolha de um Fornecedor de Testes de HIV em um Laboratório de Análises Clínicas*". A banca examinadora deliberou, por unanimidade, pela

aprovação da aluna / reprovação da aluna,

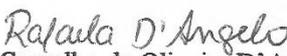
concedendo-lhe o prazo de quinze dias para incorporação ao texto final, das alterações sugeridas. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada pelos membros da banca examinadora e pela referida aluna.

Ouro Preto, 16 de julho de 2019.


Prof. Magno Silvério Campos
Orientador


Prof. Davi das Chagas Neves
Examinador


Prof. Helton Cristiano Gomes
Examinador


Rafaela Carvalho de Oliveira D'Angelo
Aluna

“Quality is never an accident. It is always the result of intelligent effort.”

John Ruskin

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me dar forças para continuar, por me fazer acreditar sempre que dias melhores virão e por dar sentido a tudo isso.

Ao meu pai, que sempre me incentivou, me aconselhou, cobrou quando necessário em toda a minha trajetória acadêmica e que me fez acreditar que a educação liberta.

À minha mãe, que nunca mediu esforços e sacrifícios para que eu realizasse meus sonhos. Tudo isso foi possível graças a ela, que nunca me deixou desistir e me guiou até aqui.

À minha irmã, por ser meu porto seguro, por sempre me escutar e me aconselhar nos momentos que eu mais precisei.

Ao Felipe por me motivar diariamente a ser melhor e me incentivar a seguir sonhos. Agradeço por todo amor, atenção, companheirismo e carinho.

À Jordana, que me acompanhou desde o início dessa trajetória e por ser minha irmã de alma. Gratidão por termos nos encontrado nessa vida.

À toda minha família Carvalho de Oliveira e D'Angelo pelo apoio incondicional, solicitude, orações e por sempre acreditarem em mim.

Aos amigos Mariana, Fernanda, Lucas, Andrey e demais do curso de Engenharia de Produção por estarem ao meu lado durante esse período e agora estarão para todo o sempre também. Orgulho da história que construímos!

Às primas/amigas Patricia, Priscila, Gabriela, Giovanna, Lívia, Lara, Mariana, Maria Clara e Raquel pela amizade eterna, aos amigos de Mariana (principalmente o Papa, Cida, Luís, Josiane, Zé Wallace, Tio Cadu, Tia Celinha, Cinthya, Mauro, Iara e Luiza) por tornarem isso possível e aos *DiviFriends* pela torcida.

À Projet e ao pessoal do estágio pela oportunidade de crescimento, transformação e por terem mudado a minha vida.

Ao Magno pelo apoio, orientação e pelas palavras de incentivo.

E por fim, à Escola de Minas e à Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino de qualidade e por me proporcionarem os conhecimentos que levarei para a minha vida inteira.

RESUMO

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método matemático de análise de decisão multicritério desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970. Esse método auxilia o tomador de decisão a escolher e a justificar a escolha com base em preferências subjetivas e pode ser aplicado em uma ampla variedade de situações (simples ou complexas).

Partindo desse pressuposto, o AHP foi adotado para escolher o fornecedor de testes para detectar o vírus HIV mais adequado para um laboratório de análises clínicas por considerar, em sua aplicação, aspectos subjetivos, qualitativos e quantitativos.

Em virtude dos fatos mencionados, através da revisão bibliográfica sobre o AHP e da aplicação do método dividido em quatro etapas (representação da hierarquia, comparação de pares, método do autovalor e agregação das prioridades), o fornecedor mais apropriado para o laboratório de análises clínicas foi escolhido.

Palavras-Chave: Analytic Hierarchy Process (AHP), Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), Fornecedor, Testes de HIV, Laboratório de Análises Clínicas.

ABSTRACT

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a multiple criteria decision-making mathematical method developed by Thomas Saaty in the 1970s. This method assists the decision maker to choose and justify the choice based on subjective preferences and can be applied in a wide range of situations (simple or complex).

Based on this assumption, the AHP was adopted to choose the tests supplier to detect the most appropriate HIV virus for a clinical laboratory, for considering, in its application, subjective, qualitative and quantitative aspects.

Due to the mentioned facts, through the bibliographic review on the AHP and the method's application divided into four steps (hierarchy representation, pair comparison, eigenvalue method and priorities aggregation), the most appropriate supplier for the clinical analysis laboratory was chosen.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, AHP, Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), Supplier, HIV Tests, Laboratory of Clinical Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Interpretação dos resultados.....	5
Figura 2: Esquema de decisão hierárquico genérico	8
Figura 3: Hierarquia de decisão do problema da seleção de fornecedores.....	13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Entradas necessárias para a classificação do MCDA ou método de escolha.....	7
Tabela 2: Escala de comparação de pares do AHP.....	9
Tabela 3: ICAs em função da ordem da matriz.....	10
Tabela 4: Dados complementares	13
Tabela 5: Comparação entre critérios inicial	14
Tabela 6: Comparação entre critérios após a normalização	14
Tabela 7: Prioridades Relativas	14
Tabela 8: Variáveis para definição da consistência da matriz	15
Tabela 9: Matriz preferência e prioridades relativas do critério Custo.....	15
Tabela 10: Matriz preferência e prioridades relativas do critério Bula	16
Tabela 11: Matriz preferência e prioridades relativas do critério Relação com Fornecedor	16
Tabela 12: Matriz preferência e prioridades relativas do critério Alcance do Produto.....	16
Tabela 13: Prioridade relativa do Nível 2 (p2)	17
Tabela 14: Prioridade relativa do Nível (p3)	17
Tabela 15: Vetor resultado.....	17

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Motivações do estudo	2
1.2. Objetivo geral	2
1.3. Objetivos específicos	2
1.4. Organização do texto	3
2. Contextualização do estudo	3
2.1. A empresa	3
2.2. Características do sistema de produção	4
2.2.1. Procedimento Operacional Padrão para realização do exame para detectar o HIV.....	4
3. Fundamentação teórica	6
3.1. MCDA	6
3.2. AHP	7
3.2.1. Representação da hierarquia de decisão	8
3.2.2. Comparação de Pares	9
3.2.3. Método do Autovalor.....	9
3.2.4. Agregação das Prioridades e Escolha Final	10
4. Metodologia	11
4.1. Caracterização da pesquisa	11
5. Resultados	12
5.1. Construção da Estrutura Hierárquica	12
5.2. Construção das Matrizes de Preferência do Nível 2	13
5.3. Construção das Matrizes de Preferência do Nível 3	15
5.4. Agregação das prioridades dos Níveis 2 e 3	17
6. Considerações finais	18
7. Referências Bibliográficas	19

1. Introdução

Um laboratório de análises clínicas realiza exames a pedido de um médico com o objetivo que após a coleta de dados, se apontem diagnósticos a respeito da saúde do paciente. A emissão do laudo é feita através da análise do responsável técnico do laboratório sobre as amostras de materiais do paciente como urina, sangue, fezes ou outros. (SEBRAE, 2018)

Através de uma amostra de sangue é possível realizar um teste para detectar a presença do vírus HIV no paciente, que é o causador da *Acquired Immunodeficiency Syndrome* (AIDS) e ataca o sistema imunológico (responsável por defender o organismo de doenças). (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018)

No Brasil, segundo o Boletim Epidemiológico - HIV AIDS do ano de 2018 da Secretária de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde, de 2007 até junho de 2018 foram notificados no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan), 247.795 casos de infecção pelo HIV e só no ano de 2017, 42.420 casos foram notificados.

Ter o vírus HIV não é a mesma coisa que ter AIDS. Há muitos portadores do vírus que vivem anos sem apresentar sintomas e sem desenvolver a doença. De 1980 a junho de 2018, foram identificados 926.742 casos de AIDS no Brasil, sendo que o país tem registrado uma média de 40 mil novos casos de AIDS por ano nos últimos cinco anos. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018)

De acordo com o Ministério da Saúde, desde do início da epidemia da AIDS na década de 1980 até 2017, foram notificados no Brasil, 327.655 óbitos em que o HIV/AIDS foram a causa básica. O vírus pode ser transmitido para outras pessoas através de relações sexuais desprotegidas, pelo compartilhamento de seringas contaminadas ou de mãe para filho durante a gravidez e a amamentação, quando não tomam as devidas medidas de prevenção. Por isso, é muito importante fazer o teste do HIV o quanto antes para detectar a presença do vírus no paciente.

Um laboratório de análises clínicas na cidade de Mariana em Minas Gerais possui dois fornecedores diferentes para os testes que detectam o vírus HIV. O objetivo desse presente trabalho é aplicar o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para escolher o fornecedor mais adequado para o laboratório, já que esse método relaciona aspectos do problema que são estimados, exatos, subjetivos, tangíveis ou não.

De acordo com Colin (2007, p. 442), o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método matemático desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970 e é utilizado em situações de tomada de decisão. A aplicação desse método pode ser dividida em quatro

etapas: representação da hierarquia (com preferências qualitativas e quantitativas), comparações de pares, método do autovalor e agregação das prioridades.

1.1. Motivações do estudo

De acordo com o SEBRAE (2018), o segmento de laboratórios está cada vez mais desafiador. Os médicos solicitam exames cada vez mais sofisticados, exigindo mais investimento para aparelhos tecnológicos. Além disso, a concorrência reduz os preços dos exames com o objetivo de atrair mais clientes.

Dessa forma, encontrar o melhor custo-benefício entre os produtos de diferentes fornecedores é um bom caminho para diminuir os custos operacionais sem afetar a qualidade do exame e o prazo de entrega, tornando a empresa mais competitiva.

O método AHP, de acordo com Saaty (1986), procura ajudar o ser humano com as dificuldades em examinar várias ideias ao mesmo tempo (mesmo que sejam poucas) e segundo Colin (2007, p. 442) faz com que no processo de solução de um problema complexo pensemos em apenas um ou dois problemas menores ao mesmo tempo.

A escolha de fornecedores representa uma situação comum nas empresas e que visando a diminuição de custos de suas operações, optam por fornecedores que ofereçam preços mais baixos. Além disso, por “custo” ser uma característica quantitativa, a comparação entre fornecedores se torna mais fácil para o tomador de decisão. Aplicando o método AHP nessa situação, é possível quantificar outras características que o tomador de decisão deseja que o fornecedor ideal tenha, que sem a aplicação do AHP são consideradas imensuráveis por serem subjetivas e/ou qualitativas.

1.2. Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é identificar o fornecedor do teste do HIV mais adequado levando em consideração aspectos subjetivos, qualitativos e quantitativos utilizando o método AHP.

1.3. Objetivos específicos

Foram traçados os objetivos específicos seguintes:

- Fazer um levantamento dos aspectos considerados pelo laboratório como importantes em um fornecedor de testes para detectar o vírus HIV;
- Aplicar o método matemático AHP comparando dois fornecedores;
- Definir o fornecedor mais adequado;

1.4. Organização do texto

O presente trabalho é organizado em seis capítulos conforme descrito nos parágrafos seguintes.

O Capítulo 1 apresentou a introdução do trabalho, assim como os objetivos (gerais e específicos) e as principais motivações do estudo.

No Capítulo 2 é feita uma contextualização da empresa e explica o procedimento padrão para realizar o exame que detecta o vírus HIV.

O Capítulo 3 aborda a fundamentação teórica desse estudo, apresentando os conceitos dos métodos de análise de decisão multicritério e todas as etapas para a aplicação do método AHP.

No Capítulo 4, a metodologia da pesquisa é definida, assim como sua caracterização.

O Capítulo 5 apresenta a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), assim como a construção da estrutura hierárquica, das matrizes de preferência (no nível 2 e 3) e por último, a agregação das prioridades dos níveis 2 e 3.

No Capítulo 6, as considerações finais do trabalho são feitas e no Capítulo 7 as referências bibliográficas são apresentadas.

2. Contextualização do estudo

Nesse capítulo, será feita a contextualização da empresa e do seu sistema de produção, assim como o Procedimento Padrão para realização do exame para detectar o HIV.

2.1. A empresa

As informações desse tópico foram retiradas no *site* do laboratório.

A empresa do estudo de caso é um laboratório de análises clínicas situado em Mariana, Minas Gerais. Foi fundado no ano de 1989 e hoje possui a matriz e mais dois postos de coletas (um situado em Mariana e outro na cidade de Ouro Preto).

A missão do laboratório é oferecer serviços de análises clínicas e patológicas na região dos inconfidentes a todos aqueles que buscam excelência nos resultados de exames; ética e atendimento diferenciado no relacionamento com clientes.

O laboratório é membro e participa do Programa Nacional de Controle de Qualidade da Sociedade Brasileira de Análises Clínicas onde lhe foi conferido o

certificado Ouro significando concordância nos valores das amostras-controles do ensaio de proficiência desde do seu ingresso neste programa

2.2. Características do sistema de produção

De acordo com o Conselho Federal de Farmácia (CFF) (2011), um laboratório de análises clínicas é fundamentado em um processo dinâmico que se inicia na coleta do espécime diagnóstico (amostra biológica obtida adequadamente para fins de diagnóstico laboratorial) e termina com a emissão de um laudo.

Ainda segundo o CFF, o processo pode ser dividido em três fases: pré-analítica (consiste na preparação do paciente, coleta, manipulação e armazenamento do espécime diagnóstico, antes da determinação analítica. Ou seja, engloba todas as atividades que precedem o ensaio laboratorial, dentro ou fora do laboratório de análises clínicas), analítica (inicia-se com a validação do sistema analítico, através do controle da qualidade interno na amplitude normal e patológica, e se encerra, quando a determinação analítica gera um resultado) e pós-analítica (inicia-se, após a geração do resultado analítico, quantitativo e/ou qualitativo, sendo finalizada, após a entrega do laudo conforme legislação vigente).

2.2.1. Procedimento Operacional Padrão para realização do exame para detectar o HIV

As informações desse tópico foram retiradas do Procedimento Operacional Padrão (POP) do laboratório que é baseado nas bulas dos dois testes para detectar o vírus HIV estudados nesse trabalho.

A coleta do sangue do paciente para a realização desse exame deve ser feita pela manhã após jejum de 8 horas, salvo orientações médicas. As amostras utilizadas são soro, plasma ou sangue total e deverão ser usadas amostras livres de hemólise, lipemia e contaminação bacteriana e recomenda-se usar amostras frescas (se isto não for possível, as amostras devem ser conservadas em geladeira entre 2-8 graus *celsius* por 7 dias e caso necessita de um tempo maior, armazenar o soro e o plasma no freezer a -20 graus *celsius*).

O reagente utilizado é o criado pela Alere Medical Co. Ltda do Japão e deverá ser conservado em temperatura entre 2-30 graus *celsius*. O cartão de teste HIV, são revestidos com antígenos recombinantes de HIV (tipo 1 e 2) e peptídeos cinéticos.

Os reagentes são estáveis até o vencimento da data de validade impressa no rótulo do produto e na caixa quando conservados na temperatura recomendada, bem vedados e se evite a contaminação durante o uso.

O procedimento técnico manual deverá seguir as seguintes etapas:

1) remover a cobertura protetora de lâmina metálica de cada teste;

Para amostras de soro ou plasma:

2) aplicar 50 µL de amostra no cartão de amostra (marcado por símbolo de seta) e esperar no mínimo 15 minutos (até 60 minutos) e ler o resultado;

Para amostras de sangue total:

2) aplicar 50 µL de amostra no cartão de amostra (marcado por símbolo de seta), esperar um minuto e então aplicar uma gota de Chase Buffer no cartão de amostra e fazer a leitura dos resultados entre 15 e 60 minutos;

A leitura do teste consiste em verificar a presença de bandas vermelhas nas tiras reativas, barras do Paciente e de Controle (conforme mostrado na Figura 1). Caso o resultado seja positivo, aparecerão duas bandas vermelhas, uma na área do paciente (P) e outra na área do controle (C) e caso o resultado seja negativo, somente uma banda vermelha aparecerá na área do controle (C). O resultado será inválido, se não surgir nenhuma banda visível na área do paciente (P) e do controle (C) ou se não surgir banda na área do controle (C).

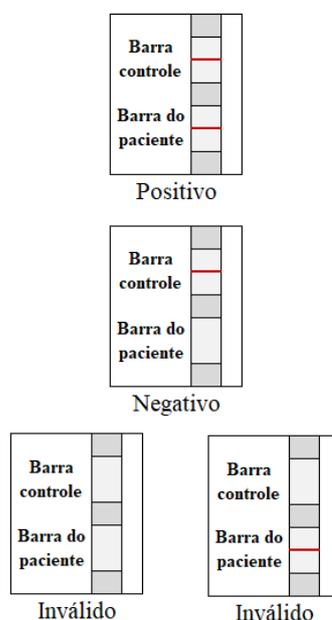


Figura 1 – Interpretação dos resultados

Fonte: Adaptado pela autora da bula que acompanha teste de HIV de um fornecedor (2019)

A Portaria 59/MS/SVS de 28/01/2003 estabelece que o diagnóstico laboratorial da infecção pelo HIV em indivíduos acima de 2 anos tem que ser realizado com cumprimento rigoroso dos seguintes procedimentos sequenciados:

Etapa I - Triagem sorológica

Etapa II - Confirmação sorológica por meio da realização de um segundo imunoenensaio em paralelo ao teste de imunofluorescência indireta para HIV-1 (IFI/HIV-1) ou ao teste de Imunoblot para HIV.

Etapa III - Confirmação sorológica por meio da realização do teste de Western Blot para HIV-1 (WB/HIV-1).

A Portaria 34/SVS/MS de 28/07/2005 estabelece que somente em casos especiais os testes rápidos podem ser utilizados como única metodologia para diagnóstico da infecção pelo HIV.

Resultados positivos obtidos com o kit de HIV-EIC (teste de triagem) devem ser confirmados através de outra metodologia empregando imunofluorescência indireta ou Western Blot.

Considerando que a produção de anticorpos anti-HIV pode demorar de 3 a 12 semanas após a exposição inicial, resultados negativos obtidos com o kit de HIV 1/2 (teste de triagem) não devem ser considerados como evidência conclusiva de que o paciente não tenha sido exposto ou infectado pelo HIV.

3. Fundamentação teórica

Neste capítulo são abordados os seguintes assuntos: MCDA, AHP e todas as condições para sua aplicação.

3.1. MCDA

O *Analytic Hierarchy Process*, de acordo com o Ishizaka (2013) (p. 13), é um dos *Multi-criteria decision analysis* (MCDA), que foi desenvolvido para apoiar o tomador de decisão no processo para encontrar a melhor solução. Os MCDA (métodos de análise de decisão multicritério), não são métodos automatizáveis que levam à mesma solução para todos os tomadores de decisão pois incorporam informações subjetivas e engloba conceitos de matemática, gestão, informática, psicologia, ciências sociais e economia.

A aplicação dos MCDA é muito ampla, pois pode ser usada para resolver qualquer problema em que uma decisão significativa precisa ser tomada. As decisões podem ser

táticas ou estratégicas, dependendo da perspectiva que o tomador de decisão tenha. (ISHIZAKA, 2013, p. 13)

Abaixo, a Tabela 1 mostra os tipos de métodos que são MCDA, qual método mais adequado para a situação considerando as entradas do problema de decisão, o esforço para obtenção de entradas e qual é o tipo de saída de cada método.

Tabela 1 - Entradas necessárias para a classificação do MCDA ou método de escolha.

Classificação/Problema de decisão	Entradas	Esforço de entradas	Método MCDA	Saídas	
		Função de utilidade	Muito alto	MAUT	Classificação completa com pontuações
	Comparações pareadas em uma escala de razão e interdependências	↑ ↓	ANP	Classificação completa com pontuações	
	Comparações pareadas em um intervalo escala		MACBETH	Classificação completa com pontuações	
	Comparações pareadas em uma escala de razão		AHP	Classificação completa com pontuações	
	Indiferença, preferência e veto limiares		ELECTRE	Classificação parcial e completa (graus de superação emparelhados)	
	Indiferença e limiares de preferência		PROMETHEE	Classificação parcial e completa (graus de preferência e pontuações em pares)	
	Opção ideal e restrições		Programação de Metas (<i>Goal programming</i>)	Solução viável com pontuação de desvio	
	Opção ideal e não-ideal		TOPSIS	Classificação completa com pontuação de proximidade	
	Sem entradas subjetivas necessárias		Muito baixo	DEA	Classificação parcial com pontuação de eficácia

Fonte: Adaptado pela autora de ISHIZAKA, 2013 (p. 18)

O AHP foi o método escolhido para aplicação no processo de escolha no estudo de caso desse trabalho, pois dentre os métodos que geram classificação completa com pontuações, o AHP é o que requer menor esforço para obtenção de entradas.

3.2. AHP

Segundo Ishizaka (2013) (p. 22), o AHP foi desenvolvido por Thomas Saaty (1977, 1980) e é um método particularmente útil quando o tomador de decisão é incapaz de construir uma Função de Utilidade (que na Microeconomia representa uma relação de preferência e requer o maior esforço para obtenção de entradas), caso contrário, o método MAUT é recomendado.

Esse método sugere a construção de hierarquias para se fazerem julgamentos subjetivos e é dividido em quatro partes. São essas: a representação de hierarquia (em que se constrói a hierarquia de decisão associada aos vários níveis de elementos inter-relacionados), as comparações de pares (a avaliação de preferências em relação a cada elemento de decisão é feita em um nível de hierarquia), método do autovalor (em que

estima-se os pesos relativos desses elementos de decisão em um nível e avalia a consistência dessas preferências nas comparações de pares) e por último a agregação das prioridades (avalia o resultado referente ao objetivo). (COLIN, 2007, p. 442)

De acordo com Ishizaka (2013) (p. 27), há duas etapas adicionais que podem também ser executadas: uma verificação de consistência e uma análise de sensibilidade. Ambas as etapas são opcionais, mas são recomendadas como confirmação da robustez dos resultados. A verificação de consistência é comum em todos os métodos baseados em comparações pareadas, como o AHP.

Nos próximos tópicos, as etapas serão explicadas detalhadamente.

3.2.1. Representação da hierarquia de decisão

A famosa frase “*Dividir para conquistar*” adaptada do Sun Tzu, autor do livro Arte da Guerra do ano de 510 A.C., representa muito bem esse método. Pois no AHP, problemas complexos podem ser simplificados se forem divididos em diferentes níveis hierárquicos. (COLIN, 2007, p. 443)

De acordo com o mesmo autor, essa hierarquia deve ser construída de uma forma que os elementos do mesmo nível hierárquico devem estar relacionados com os elementos no próximo nível. Essa hierarquia do problema é composta pelo objetivo, os fatores de decisão relevantes e as alternativas de decisão. A Figura 2 abaixo representa o esquema de decisão hierárquico genérico associado ao AHP em que a principal decisão fica no Nível 1 da hierarquia (que pode ter k níveis, em que $k \geq 3$ em geral) e no Nível k possui as alternativas de decisão no seu nível mais básico.

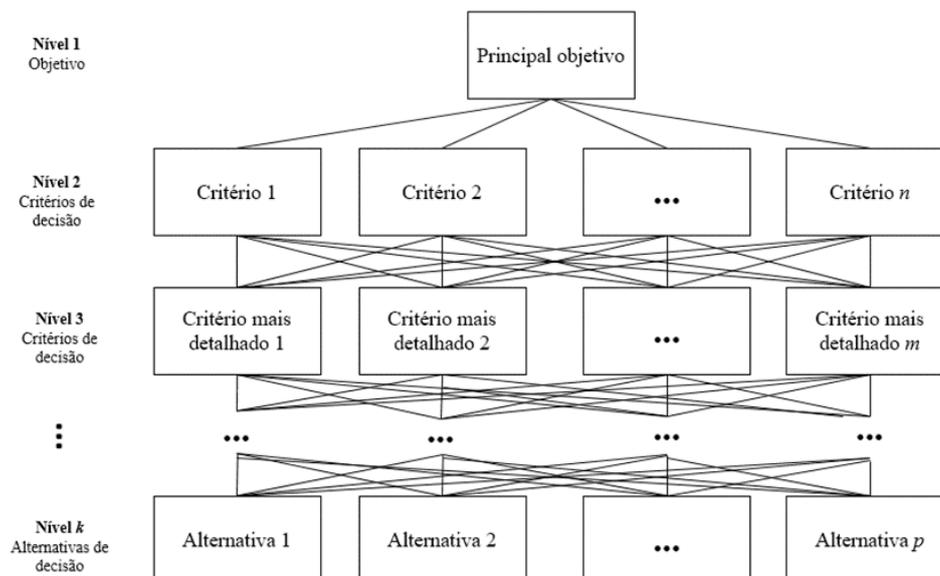


Figura 2 – Esquema de decisão hierárquico genérico.

Fonte: Adaptado pela autora de COLIN, 2007 (p. 443)

3.2.2. Comparação de Pares

Após definir a hierarquia do problema, o tomador de decisões deve especificar a importância dos fatores de decisão em cada um dos níveis de hierarquia, usando a escala (Tabela 2) que vai de 1 a 9 para avaliar as preferências do tomador de decisão de um nível com o nível imediatamente superior a ele. (COLIN, 2007, p. 444)

Tabela 2 – Escala de comparação de pares do AHP

Índice	O primeiro fator é ... ao segundo fator
1	Igualmente preferível
2	Igualmente a moderadamente preferível
3	Moderadamente preferível
4	Moderadamente a fortemente preferível
5	Fortemente preferível
6	Fortemente a muito fortemente preferível
7	Muito fortemente preferível
8	Muito fortemente a extremamente preferível
9	Extremamente preferível

Fonte: Adaptado pela autora de COLIN, 2007 (p. 444)

Ainda de acordo com o mesmo autor, para um certo nível de hierarquia, com os valores dessa escala de comparação de pares são feitas matrizes com o objetivo de comparar a importância de um em relação ao outro. Assim, os critérios são avaliados um por vez e deverão ser consistentes, por exemplo, o critério A é preferível a B, B é preferível a C, A deve ser preferível a C.

3.2.3. Método do Autovalor

Segundo Colin (2007) (p. 445), nessa fase as matrizes construídas no item anterior são manipuladas para que se obtenha as prioridades relativas (deverão ser números entre 0 e 1 e a soma das colunas deverá ser 1 para cada um dos critérios). A matriz de comparação dos pares deve ser igual a A, em que w_i é o peso relativo do critério i .

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Dessa forma, os pesos relativos são obtidos de qualquer uma das n linhas pois

$$\mathbf{Aw} = n\mathbf{w} \quad (1)$$

Para $\mathbf{w} = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n)^T$ (2). E para a álgebra linear n é autovalor e \mathbf{w} é autovetor direito da matriz \mathbf{A} .

Estima-se w de acordo com a equação abaixo:

$$\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{w}} = \lambda_{max}\hat{\mathbf{w}} \quad (3)$$

Sendo $\hat{\mathbf{A}}$ a matriz de comparações observada, λ_{max} é o maior autovalor de $\hat{\mathbf{A}}$ e $\hat{\mathbf{w}}$ é o seu autovetor direito. O valor de λ_{max} será maior que o número de fatores do nível em análise representado por n , sendo que quanto mais o valor de λ_{max} se aproximar do número de fatores, maior a consistência da matriz $\hat{\mathbf{A}}$ que faz a comparação de pares. Assim, essa propriedade, permite o uso de um índice de consistência representado por IC e pode ser calculado segundo a fórmula abaixo:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

E a fórmula do quociente de consistência QC é calculado como:

$$QC = \frac{IC}{ICA} \quad (5)$$

Sendo que o ICA é o índice de consistência aleatório e é obtido fazendo comparações aleatórias. O valor aceitável de QC é ser menor ou igual a 0,1, se for maior que 0,1 é recomendado a reavaliação das comparações de pares da matriz $\hat{\mathbf{A}}$, pois caso isso aconteça elas estão inconsistentes.

Para matriz de ordem n , os $ICAs$ em função da ordem da matriz $\hat{\mathbf{A}}$ são definidos de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3 – $ICAs$ em função da ordem da matriz

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado pela autora de COLIN, 2007 (pág.446)

3.2.4. Agregação das Prioridades e Escolha Final

Segundo Colin (2007) (p.447), nessa fase “*agrega as prioridades relativas dos níveis obtidos no item anterior com o objetivo de produzir um vetor de prioridades*”

compostas que serve como prioridades das alternativas de decisão na busca do principal objetivo do problema". Dessa forma, são criadas outras matrizes de comparações para cada uma das alternativas de decisão no nível $i + 1$ com relação a todos os critérios do nível i . Após a criação dessas matrizes, o tomador de decisões deve agregar as prioridades resultantes com as prioridades encontradas no nível i de modo a obter a melhor solução para o problema levantado.

Dessa forma, multiplicando as matrizes de prioridade dos níveis $i + 1$ e i , as prioridades compostas das alternativas de decisão são calculadas. Para p_i e P_{i+1} , o vetor de prioridades relativas ao nível i e a matriz de prioridades do nível $i + 1$ é definido por p_c :

$$p_c = P_{i+1} p_i \quad (6)$$

Sendo que a solução será a alternativa que tiver o maior valor em p_c .

4. Metodologia

Segundo Gil (1991, p. 8), pesquisa é definida como o procedimento racional e sistemático com finalidade de alcançar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requisitada quando não há à disposição informação suficiente para se responder ao problema ou quando há um desordenamento na informação disponível em que essa não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

4.1. Caracterização da pesquisa

Gil (1991, p. 25) classifica as pesquisas com base em seus objetivos gerais. São esses: pesquisas exploratórias (em que o objetivo principal é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições), pesquisas descritivas (têm o objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno) e por último, as pesquisas explicativas (têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos).

De acordo com a classificação de Gil (1991, p. 25), a presente pesquisa é classificada como exploratória, pois é o tipo de pesquisa que têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo mais explícito, além de assumir a forma de um estudo de caso. Dessa forma será feito um levantamento bibliográfico do método AHP antes de aplicá-lo a uma situação real de escolha de fornecedores.

Em relação à abordagem, Gerhardt (2009, p. 31) classifica as pesquisas como qualitativas (em que não se preocupa com a representatividade numérica e sim com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização e etc.) e quantitativas (em que os resultados são descritos em linguagem matemática, ou seja, podem ter quantificados). No presente trabalho há utilização combinada das duas abordagens, pois segundo Miguel (2012, p. 57, apud Creswell e Clark, 2006) é uma forma de “ajudar a responder a questões que não podem ser respondidas por abordagem separadamente” e o método AHP transforma questões subjetivas, qualitativas e também quantitativas em elementos exclusivamente quantitativos.

Quanto à natureza da pesquisa, Gerhardt (2009, p. 34) descreve dois tipos: a pesquisa básica e a pesquisa aplicada. Esse estudo é definido como pesquisa aplicada pois tem o objetivo de elaborar conhecimentos com aplicação prática guiados à solução de um problema específico.

Nesse trabalho, é escolhida uma situação real em que se aplica uma ferramenta da pesquisa operacional para escolher o melhor fornecedor de testes para detectar o vírus HIV em um laboratório de análises clínicas, dessa forma é uma pesquisa-ação pois segundo Gerhardt (2009, p. 40, apud Fonseca, 2002, p. 35), há uma participação do pesquisador no problema em questão ao propor a melhor solução. Para isso há a participação da líder e das responsáveis técnicas para a coleta de todas as informações que serão quantificadas pelo AHP.

5. Resultados

Este capítulo apresenta a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com o objetivo de encontrar o melhor fornecedor de testes para detectar o vírus HIV em um laboratório de análises clínicas.

5.1. Construção da Estrutura Hierárquica

Após definição do problema, com o auxílio da administradora do laboratório, a Tabela 4 abaixo foi montada com informações complementares comparando os dois fornecedores e definindo os critérios de decisão, sendo eles: o custo por teste em reais, a qualidade das informações contidas na bula (com informações completas sobre os procedimentos necessários para o teste, sensibilidade das amostras testadas, bibliografia e figuras explicativas), a relação com o fornecedor (fornecedor mais antigo, fidelidade ao fornecedor, capacidade de negociação e promoção até mesmo na compra de outros

produtos) e por último, o alcance do produto (levando em consideração a quantidade de testes verificados a nível nacional, continental e mundial).

Tabela 4 – Dados complementares

Critérios	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Custo por teste (reais)	3,7	3,43
Bula	Ruim	Muito boa
Relação com o fornecedor	Muito boa	Boa
Alcance do produto	Baixa	Alta

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Dessa forma, é possível construir a estrutura hierárquica em três níveis conforme a Figura 3 abaixo:

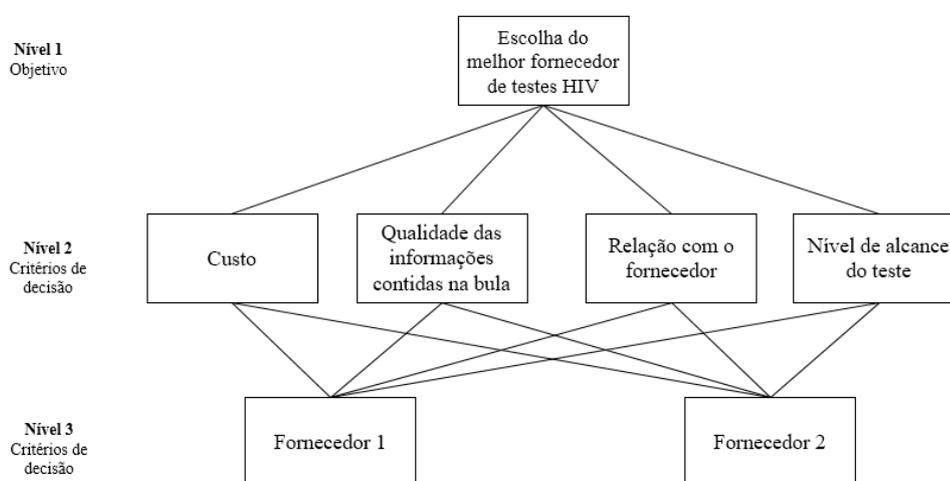


Figura 3 – Hierarquia de decisão do problema da seleção de fornecedores

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

5.2. Construção das Matrizes de Preferência do Nível 2

Após a definição da hierarquia de decisão do problema, faz-se uma comparação (par a par) dos critérios no Nível 2 usando a escala fundamental definida por Saaty (1991) para o AHP que varia de 1 a 9, como mostrado na Tabela 5.

Quando um critério é comparado a ele mesmo, a escala utilizada é 1, pois ambos são igualmente preferíveis. A responsável pelo laboratório definiu, por exemplo, que o custo é muito fortemente a extremamente preferível a bula, sendo assim a escala 8 é utilizada quando há a comparação entre custo e bula. Da mesma forma, quando se compara bula e custo, a escala 1/8 é utilizada pois se faz a comparação inversa. É possível observar que o lado inferior da diagonal 1 da matriz é um “inverso” do lado superior da mesma diagonal.

Tabela 5 – Comparação entre critérios inicial

Fatores	Custo	Bula	Relação com fornecedor	Alcance do produto
Custo	1	8	2	2
Bula	1/8	1	3	1/5
Relação com fornecedor	1/2	1/3	1	1/4
Alcance do produto	1/2	5	4	1

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

O próximo passo consiste em normalizar a matriz inicial, dividindo cada elemento da matriz pela soma da coluna a que ele pertence, dessa forma a soma de todos os elementos da coluna após a normalização é igual a 1. A Tabela 6 mostra a matriz de comparação de critérios (D) após a normalização.

Tabela 6 – Comparação entre critérios após a normalização

	Custo	Bula	Relação com fornecedor	Alcance do produto
Custo	0,4706	0,5581	0,2000	0,5797
Bula	0,0588	0,0698	0,3000	0,0580
Relação com fornecedor	0,2353	0,0233	0,1000	0,0725
Alcance do produto	0,2353	0,3488	0,4000	0,2899
Soma da coluna	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Nessa etapa, é preciso definir o vetor de prioridade relativa (W), que é a média dos elementos de cada linha da matriz. Segundo Jordão (2006) (p. 11), como a matriz acima tem dimensão de 4x4 (com dimensão maior ou igual a 3x3), deve-se determinar a consistência da matriz e para isso calcula-se o produto vetorial entre o autovetor da prioridade relativa (W) com as linhas da matriz (D) acima. Dessa forma, é possível obter o λ de cada critério que é o produto de D e W, dividido por W (Tabela 7).

Tabela 7 – Prioridades Relativas

		Prioridade relativa (Média) (W)	Produto vetorial entre autovetor e linhas da matriz (D*W)	λ (D*W/W)
Prioridades relativas	Custo	0,4521	0,4868	1,0768
	Bula	0,1216	0,0859	0,7059
	Relação com fornecedor	0,1078	0,1431	1,3277
	Alcance do produto	0,3185	0,2842	0,8924
	Soma da coluna	1,0000		

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Ainda determinando a consistência da matriz, calcula-se o $\lambda_{\text{máx}}$ que é a média do λ dos critérios. Com o auxílio da tabela dos ICAs em função da ordem da matriz que é 4, o valor do quociente de consistência (QC) é encontrado. Nesse presente caso, a matriz de preferências no Nível 2 é consistente pois QC é menor que 0,1, como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Variáveis para definição da consistência da matriz

Parâmetro	n	4
Variáveis	$\lambda_{\text{máx}}$ (média)	1,0007
	IC	-1,74982213
	QC	-1,96609228

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

5.3. Construção das Matrizes de Preferência do Nível 3

Para a construção das matrizes de preferência no Nível 3 da hierarquia, o primeiro passo é fazer a comparação (par a par), usando a escala fundamental definida por Saaty (1991) para o AHP que varia de 1 a 9, com cada um dos quatro critérios definidos. Assim, como no item 5.2, deve-se normalizar cada uma das matrizes de modo que a soma de todos os elementos da coluna sejam igual a 1, como mostrado nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 abaixo. Como as quatro matrizes abaixo têm a dimensão de 2x2, são menores e não são iguais a 3x3, não é necessário determinar as consistências das matrizes.

Tabela 9 – Matriz preferência e prioridades relativas do critério Custo

		Custo	
		Fornecedor 1	Fornecedor 2
Valores Calculados	Fornecedor 1	1	1/4
	Fornecedor 2	4	1
	Soma da coluna	5,00	1,25
Prioridades relativas	Fornecedor 1	0,20	0,20
	Fornecedor 2	0,80	0,80
	Soma da coluna	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Tabela 10 – Matriz preferência e prioridades relativas do critério Bula

		Bula	
		Fornecedor 1	Fornecedor 2
Valores Calculados	Fornecedor 1	1	1/7
	Fornecedor 2	7	1
	Soma da coluna	8,00	1,14
Prioridades relativas	Fornecedor 1	0,13	0,13
	Fornecedor 2	0,88	0,88
	Soma da coluna	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Tabela 11 – Matriz preferência e prioridades relativas do critério Relação com Fornecedor

		Relação com fornecedor	
		Fornecedor 1	Fornecedor 2
Valores Calculados	Fornecedor 1	1	4
	Fornecedor 2	1/4	1
	Soma da coluna	1,25	5,00
Prioridades relativas	Fornecedor 1	0,80	0,80
	Fornecedor 2	0,20	0,20
	Soma da coluna	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Tabela 12 – Matriz preferência e prioridades relativas do critério Alcance do Produto

		Alcance do produto	
		Fornecedor 1	Fornecedor 2
Valores Calculados	Fornecedor 1	1	1/8
	Fornecedor 2	8	1
	Soma da coluna	9,00	1,13
Prioridades relativas	Fornecedor 1	0,11	0,11
	Fornecedor 2	0,89	0,89
	Soma da coluna	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

5.4. Agregação das prioridades dos Níveis 2 e 3

O último passo desse método consiste em multiplicar o vetor de prioridade relativa do Nível 2 (p₂) (Tabela 13) pela matriz de prioridade relativa do Nível 3 (p₃) (Tabela 14), essa última construída através das tabelas do item 5.3.

Tabela 13 – Prioridade relativa do Nível 2 (p₂)

Nível 2		Prioridade relativa (Média) (W)
p ₂	Custo	0,4521
	Bula	0,1216
	Relação com fornecedor	0,1078
	Alcance do produto	0,3185

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Tabela 14 – Prioridade relativa do Nível 3 (p₃)

Nível 3		Prioridade relativa (Média) (W)			
		Custo	Bula	Relação com fornecedor	Alcance do produto
p ₃	Fornecedor 1	0,2000	0,1250	0,8000	0,1111
	Fornecedor 2	0,8000	0,8750	0,2000	0,8889

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

O resultado final, será um vetor (como mostrado na Tabela 15) que contém a quantificação final de cada uma das alternativas para fornecedor. Dessa forma, no presente caso, o Fornecedor 2 possui resultado numérico (0,7728) maior que do Fornecedor 1 (0,2272), sendo assim a melhor alternativa para o laboratório de análises clínicas.

Tabela 15 – Vetor resultado

	Resultado
Fornecedor 1	0,2272
Fornecedor 2	0,7728

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

6. Considerações Finais

Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método excelente para justificar a escolha em uma tomada de decisão, além de resolver das situações mais complexas às mais simples (podendo ser situações pessoais ou ambientadas em empresas e pesquisas).

Após aplicação do método no caso proposto, o objetivo de escolher o fornecedor de testes de HIV mais adequado, usando aspectos subjetivos, qualitativos e quantitativos em um laboratório de análises clínicas, foi atingido.

No decorrer desse trabalho, foi possível perceber, que durante a escolha dos critérios e na comparação entre os dois fornecedores, pode haver uma certa indução por parte do decisor e seus objetivos dentro da empresa podem influenciar bastante na decisão final. Por isso, em casos que impactam mais de uma pessoa, o ideal seria a formação de uma equipe multidisciplinar para a construção da hierarquia e das matrizes de preferência de forma que a escolha final seja mais adequada e compatível com a realidade.

Além disso, o AHP analisa e compara mais de um critério. Neste trabalho, por exemplo, a administradora do laboratório que em muitas outras situações de tomadas de decisão costuma definir o “custo” como critério de maior relevância, mostrou na construção das matrizes de preferência que critérios como o “alcance dos testes” e “relação com o fornecedor” são tão importantes quanto.

Um fato muito interessante sobre o uso do AHP por empresas, é que o arquivamento devido de uma escolha por esse método poderá vir a ser uma importante forma de cogestão e auxiliar processos de decisão no futuro até por diferentes pessoas.

Levando em consideração todos esses aspectos, o AHP é uma importante ferramenta para o mundo atual que auxilia tomadas de decisão em situações em que há aspectos subjetivos e qualitativos que devem ser levados em consideração e a escolha final é a quantificação da melhor alternativa.

7 . Referências Bibliográficas

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Livros Técnicos e Científicos, 2007.

CFF, Análises Clínicas. **Gestão da Qualidade Laboratorial: é preciso entender as variáveis para controlar o processo e garantir a segurança do paciente**, 2011. Disponível em:

<http://www.cff.org.br/sistemas/geral/revista/pdf/132/encarte_analises_clinicas.pdf>.

Acesso em: 5 de jun. de 2019.

CRESWELL, J. W. et al. **How interpretive qualitative research extends mixed methods research**. Research in the Schools, 2006.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 2002.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1 ed. Porto Alegre: Plageder, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. John Wiley & Sons, 2013.

JORDÃO, B. M. C.; PEREIRA, S. R. **A Análise Multicritério na Tomada de Decisão - O Método Analítico Hierárquico de TL Saaty: Desenvolvimento do método com recurso à análise de um caso prático explicado ponto a ponto**, 2006.

MIGUEL, P. A. C. (Coor.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Departamento de Condições Crônicas e Infecções Sexualmente Transmissíveis. **Boletim Epidemiológico HIV/AIDS**, 2018. Disponível em: <<http://www.aids.gov.br/pt-br/pub/2018/boletim-epidemiologico-hivaids-2018>>.

Acesso em: 5 de jun. de 2019.

SAATY, T. L. An exposition of the AHP in reply to the paper “remarks on the analytic hierarchy process”. **Management science**, v. 36, n. 3, p. 259-268, 1990.

SAATY, T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management science**, v. 32, n. 7, p. 841-855, 1986.

SEBRAE, Laboratório de análises clínicas. **Ideias de Negócio**, 2018. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-laboratorio-de-analises-clinicas,2ce87a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. **Acesso em:** 5 de jun. de 2019.