



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RÔMULO IORIO FERREIRA DA COSTA

**APOSTILA DE INTERATIVIDADE ENTRE *SOFTWARES* MCAD E ECAD –
USO DO MÉTODO COM *ALTIUM DESIGNER* E *AUTODESK INVENTOR***

FORTALEZA

2019

SUMÁRIO

1	SOFTWARE ECAD UTILIZADO – ALTIUM DESIGNER.....	9
1.1	Características Gerais do Altium Designer.....	9
1.2	Noções Básicas de Criação de Projetos Eletrônicos	10
1.2.1	<i>Criação de Projetos.....</i>	10
1.2.2	<i>Bibliotecas</i>	11
1.2.3	<i>Esquemáticos.....</i>	23
1.2.4	<i>Templates.....</i>	31
1.2.5	<i>Placas de Circuito Impresso.....</i>	34
1.2.6	<i>Visualização 3D.....</i>	45
1.3	Limitações para o Desenvolvimento de Equipamentos Eletrônicos.....	46
1.3.1	<i>Criação de Modelos 3D e Interação no Ambiente de Visualização 3D....</i>	46
1.3.2	<i>Ausência de Simulação Térmica.....</i>	47
2	SOFTWARES MCAD UTILIZADOS – AUTODESK INVENTOR E INVENTOR NASTRAN	49
2.1	Características Gerais do Autodesk Inventor.....	49
2.2	Noções Básicas de Criação de Projetos Mecânicos	50
2.2.1	<i>Criação de Projetos.....</i>	50
2.2.2	<i>Criação de Peças.....</i>	52
2.2.3	<i>Criação de Montagens.....</i>	70
2.3	Simulação Térmica com o Inventor Nastran	80
3	INTERATIVIDADE MCAD E ECAD	89
3.1	Complementariedade Entre os Softwares	89
3.1.1	<i>Exportação de Modelos 3D para o Altium Designer</i>	89
3.1.2	<i>Montagem de PCI e Exportação para o Autodesk Inventor.....</i>	92
3.1.3	<i>Adequação dos Componentes via Análise Espacial.....</i>	93
3.1.4	<i>Alterações de Posições de Componentes no Altium Designer</i>	94
3.2	Vantagens do Uso Complementar dos Softwares.....	94
	REFERÊNCIAS.....	96

LISTA DE FÍGURAS

Figura 1 – Ambiente do <i>Altium Designer 19</i>	10
Figura 2 – Criação de projetos no <i>Altium Designer 19</i> . (a) Acesso através do <i>menu superior</i> ; (b) Janela de criação de projetos.	11
Figura 3 – Criação de biblioteca integrada.	12
Figura 4 – Criação de biblioteca de esquemático.	13
Figura 5 – Ambiente de criação de biblioteca de esquemático.....	14
Figura 6 – Barra de ferramentas para desenho de componentes.....	14
Figura 7 – Desenho do esquemático de um LED (a) Ferramenta de linha; (b) Ferramenta de polígono; (c) Ferramenta de linha.; (d) Ferramenta de linha e polígono; (e) Pinos.	15
Figura 8 – Propriedades do componente: gerais (<i>general</i>) e pinos (<i>pins</i>).....	17
Figura 9 – Criação da biblioteca de PCI	18
Figura 10 – Ambiente de criação de biblioteca de PCI.	19
Figura 11 – Barra de ferramentas para desenho de <i>footprints</i>	19
Figura 12 – Informações das medidas físicas de um LED de 5 mm segundo <i>datasheet</i>	20
Figura 13 – Desenho do <i>footprint</i> de um LED (a) Ferramenta de inserção de <i>pads</i> ; (b) Ferramenta de linha e de arco com qualquer ângulo;	21
Figura 14 – Detalhes de <i>pads</i> : furo e cobre ao redor do furo.	22
Figura 15 – Características gerais do componente da biblioteca de PCI.	22
Figura 16 – Criação de arquivo de esquemático.....	23
Figura 17 – Ambiente de esquemático.....	24
Figura 18 – Compilação de biblioteca integrada.	24
Figura 19 – Lista de bibliotecas instaladas no ambiente do <i>Altium Designer</i>	25
Figura 20 – Biblioteca criada e adicionada ao projeto.....	25

Figura 21 – Inserção de componente no esquemático. (a) Seleção de componente na biblioteca; (b) Escolha da posição do componente ; (c) Componentes inseridos no esquemático.	26
Figura 22 – Barra de navegação do ambiente de esquemático.....	27
Figura 23 – Funcionalidades novas da barra de navegação do ambiente de esquemático.	27
Figura 24 – Ligação dos componentes.	28
Figura 25 – Identificação de alimentação (VCC) e terra (GND).	28
Figura 26 – Identificação de demais pontos do circuito.....	28
Figura 27 – Ferramenta de anotação de esquemáticos.	29
Figura 28 –Utilização da ferramenta de anotação de esquemáticos. (a) Janela de anotação de esquemáticos; (b) Lista de mudanças; (c) Janela de execução de mudanças; (d) Mudanças executadas.	29
Figura 29 – Circuito com os designadores identificados.....	30
Figura 30 – Compilação do circuito.....	31
Figura 31 – Retorno do <i>software</i> sobre a compilação do circuito.	31
Figura 32 – Exemplo de <i>template</i>	32
Figura 33 – Texto dependente de parâmetro.	32
Figura 34 – Mudança no texto automaticamente de acordo com o parâmetro.	32
Figura 35 – Adicionar <i>template</i> a um projeto. (a) Acesso através do <i>menu</i> superior; (b) Seleção do <i>template</i> ; (c) Opções de inserção do <i>template</i>	33
Figura 36 – Projeto com o <i>template</i> adicionado e modificado ao preencher os parâmetros	34
Figura 37 – Criação de um arquivo de PCI.	34
Figura 38 – Ambiente de criação de PCIs.	35
Figura 39 – Barra de navegação do ambiente de PCI.....	35
Figura 40 – Funcionalidades novas da barra de navegação do ambiente de PCI. ...	35
Figura 41 – Acesso do modo de planejamento de placa.	36

Figura 42 – Ambiente do modo de planejamento de placa.....	36
Figura 43 – Menu de <i>design</i> do modo de planejamento de placa.....	37
Figura 44 – Menu de redefinição do ponto de origem do sistema de PCI.....	37
Figura 45 – Redefinição do ponto de origem da área central de desenho de PCI...38	
Figura 46 – Redefinição do tamanho e formato da PCI.	38
Figura 47 – Importação de mudanças dos esquemáticos. (a) Acesso através do menu; (b) Janela de execução de mudanças; (c) Resultado visto no ambiente de PCI.....	39
Figura 48 – Acesso ao menu de regras.....	41
Figura 49 – Visão geral do menu de regras.....	41
Figura 50 – Reposicionamento dos componentes através de coordenadas.	42
Figura 51 – Componentes reposicionados.	42
Figura 52 – Ligação entre os componentes.	43
Figura 53 – Utilização de vias para mudar a <i>layer</i> da trilha.	43
Figura 54 – Resultado do <i>layout</i> construído.....	43
Figura 55 – Acesso a verificação de regras de <i>design</i>	44
Figura 56 – Janela de verificação de regras de <i>design</i>	44
Figura 57 – Resultado da verificação de regras de <i>design</i>	45
Figura 58 – Ambiente de visualização 3D do <i>Altium Designer</i>	46
Figura 59 – Ambiente de criação de modelos 3D do <i>Altium</i>	47
Figura 60 – Ambiente de inicialização do <i>Autodesk Inventor</i>	50
Figura 61 – Ambiente de gerenciamento de projetos.....	51
Figura 62 – Criação de projeto no <i>Autodesk Inventor</i>	51
Figura 63 – Ambiente de gerenciamento de projetos com o novo projeto criado. ..	52
Figura 64 – Menu de projetos da tela inicial com o novo projeto.	52
Figura 65 – Criação de peça através do menu de criação de arquivos novos.....	52
Figura 66 – Criação de peça através da barra de ferramentas superior.....	53

Figura 67 – Ambiente de criação de peça do tipo padrão.....	54
Figura 68 – Barra superior do ambiente de criação de peça do tipo padrão.....	54
Figura 69 – Ambiente de criação de peça do tipo folha de metal.....	55
Figura 70 – Barra superior do ambiente de criação de peça do tipo folha de metal.	55
Figura 71 – Planos XY, YZ e XZ para criação de um esboço 2D.	56
Figura 72 – Criação de esboço 2D no plano XZ.....	56
Figura 74 – Descrição de um comando com o mouse sobre ele. Erro! Indicador não definido.	
Figura 73 – Aba esboço (<i>sketch</i>) da barra superior.....	57
Figura 74 – Descrição de um comando com o mouse sobre ele.....	58
Figura 75 – Informações das medidas físicas de um LED de 5 mm segundo <i>datasheet</i>	58
Figura 77 – Criação de esboço no plano paralelo ao XZ, distando de 1 mm.	59
Figura 78 – Esboço do corpo do LED, usando a ferramenta de círculo.....	60
Figura 79 – Esboço do pino positivo do LED, usando as ferramentas de círculo e de dimensão.	61
Figura 80 – Esboço do pino negativo do LED, usando projeção de geometria e espelhamento.	61
Figura 81 – Esboço do “caminho” pino positivo do LED, usando projeção de geometria e linha.....	62
Figura 82 – Esboço do “caminho” pino negativo do LED, usando projeção de geometria e linha.....	62
Figura 83 – Esboço do corpo do LED para a outra opção, utilizando projeção de geometria, retângulo e arredondamento.	63
Figura 84 – Resultado dos esboços 2D na visualização 3D e árvore de <i>design</i> com esboços nomeados.	63
Figura 85 – Aba modelo 3D (<i>3D model</i>) da barra superior.	65

Figura 86 – Extrusão da base do LED, usando o esboço “base”.....	65
Figura 87 – Árvore de <i>design</i> modificada com a extrusão criada e renomeada ao lado da visão atual da peça.....	65
Figura 88 – Revolução do corpo do LED, utilizando o esboço “corpo por revolução” e o eixo Y.....	66
Figura 89 – Curva baseada em perfil do pino positivo do LED, utilizando os esboços “pino negativo” e “caminho pino negativo”.....	67
Figura 90 – Modelo 3D final do LED e árvore de <i>design</i>	68
Figura 91 – Modelo 3D final do LED com aparências definidas.....	70
Figura 92 – Criação de montagem através do menu de criação de arquivos novos.	71
Figura 93 – Criação de montagem através da barra de ferramentas superior.	71
Figura 94 – Barra de ferramentas superior de montagem.	72
Figura 95 – Inserção do modelo 3D do LED na montagem (i).	73
Figura 96 – Inserção do modelo 3D do LED na montagem (ii).	73
Figura 97 – Edição de uma peça dentro da montagem.	74
Figura 98 – Montagem com os planos básicos da montagem e do LED visíveis.....	75
Figura 99 – Menu do comando de confinamento.....	76
Figura 100 – Tipos de comandos de confinamento.....	76
Figura 101 – Comando de conexão (<i>mate</i>).....	77
Figura 102 – LED no centro da montagem.	78
Figura 103 – Menu de parâmetros.....	79
Figura 104 – Exemplo de adaptabilidade.	80
Figura 105 – TIP42C com dissipador HS3520_20.....	80
Figura 106 – Menu de ambientes (<i>environments</i>), mostrando a extensão <i>Autodesk Inventor Nastran</i>	81
Figura 107 – Janela de criação de nova análise térmica.....	81

Figura 108 – Subitem materiais na árvore de <i>design</i>.	82
Figura 109 – Criação de novo material.	83
Figura 110 – Subitem materiais na árvore de <i>design</i> com novo material criado.....	83
Figura 111 – Criação de sólido.	84
Figura 112 – Criação de malhas.	85
Figura 113 – Criação de carga de geração de calor.....	86
Figura 114 – Criação de carga de convecção.	86
Figura 115 – Resultado da simulação térmica com dissipador de calor.....	87
Figura 116 – Resultado da simulação térmica sem dissipador de calor.....	88
Figura 117 – Exportação de um arquivo do <i>Inventor</i> em <i>.step</i>.	90
Figura 118 – Importação de um modelo 3D das dimensões e formato de uma PCI.	91
Figura 119 – Exportação de um modelo 3D de um componente.	91
Figura 120 – PCI montada no <i>Altium Designer</i>.	92
Figura 121 – Exportação de um modelo 3D de uma PCI em <i>.step</i> no <i>Altium Designer</i>.	92
Figura 122 – Importação da PCI com os componentes para o <i>Autodesk Inventor</i>.	93
Figura 123 – <i>Case</i> com PCI de exemplo encaixada.	94

1 SOFTWARE ECAD UTILIZADO – *ALTIUM DESIGNER*

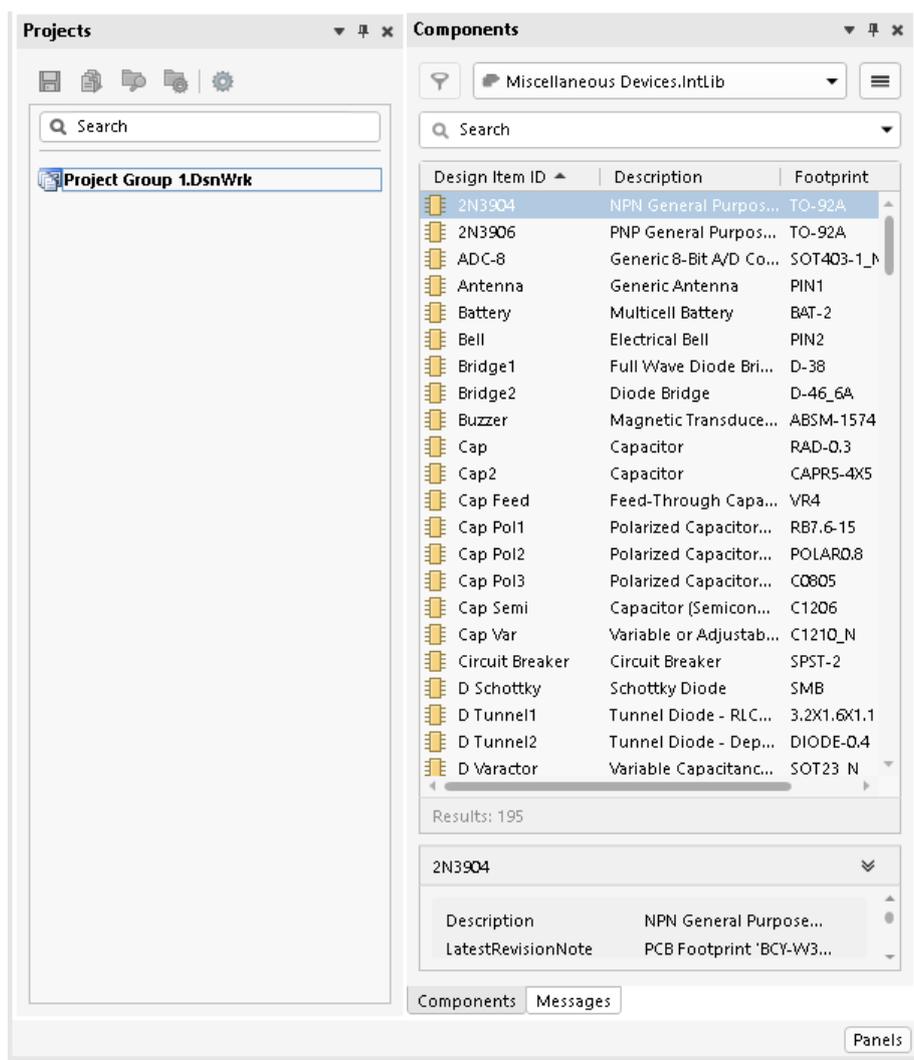
Nesta seção, é feita a análise do *Altium Designer*, destacando algumas funcionalidades básicas, necessárias ao desenvolvimento de equipamentos eletrônicos utilizando a interatividade MCAD e ECAD.

1.1 Características Gerais do *Altium Designer*

O *Altium Designer* é um *software* ECAD que permite a criação de projetos de PCIs, através da criação de esquemáticos nos quais são feitas as conexões entre os componentes do circuito e, posteriormente, da criação de um ou mais arquivos de PCB para desenvolvimento do *layout*, através dos circuitos dos arquivos de esquemáticos dos projetos. O *software* também possui a funcionalidade de criação de bibliotecas, nas quais pode ser feitos arquivos dos componentes do circuito, com arquivos de esquemático, no qual são criados os desenhos representativos dos componentes, e arquivos de PCB, no qual são criados os *footprints* dos componentes e os modelo 3D.

A Figura 1 mostra em detalhe as duas barras laterais do ambiente de inicialização *Altium Designer* 19. À esquerda, encontra-se o painel de projetos, onde pode-se ver os projetos já abertos e navegar entre eles. À direita, há o painel de componentes, através do qual pode-se ter acesso às bibliotecas, e adicionar componentes de uma determinada biblioteca aos esquemáticos dos projetos.



Figura 1 – Ambiente do *Altium Designer* 19.

Fonte: *Software Altium Designer*.

1.2 Noções Básicas de Criação de Projetos Eletrônicos

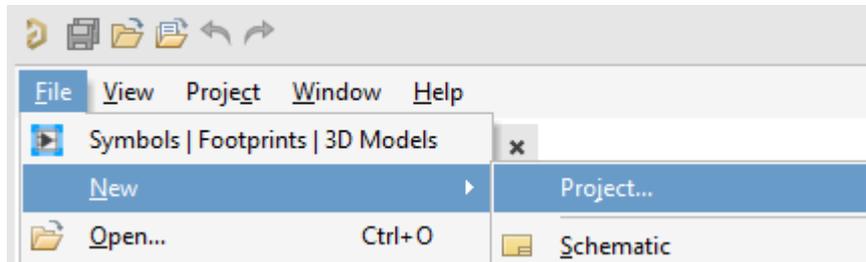
Nesta subseção são demonstradas e explicadas algumas noções e funcionalidade essenciais do *Altium Designer* para criação de projetos de equipamentos eletrônicos.

1.2.1 Criação de Projetos

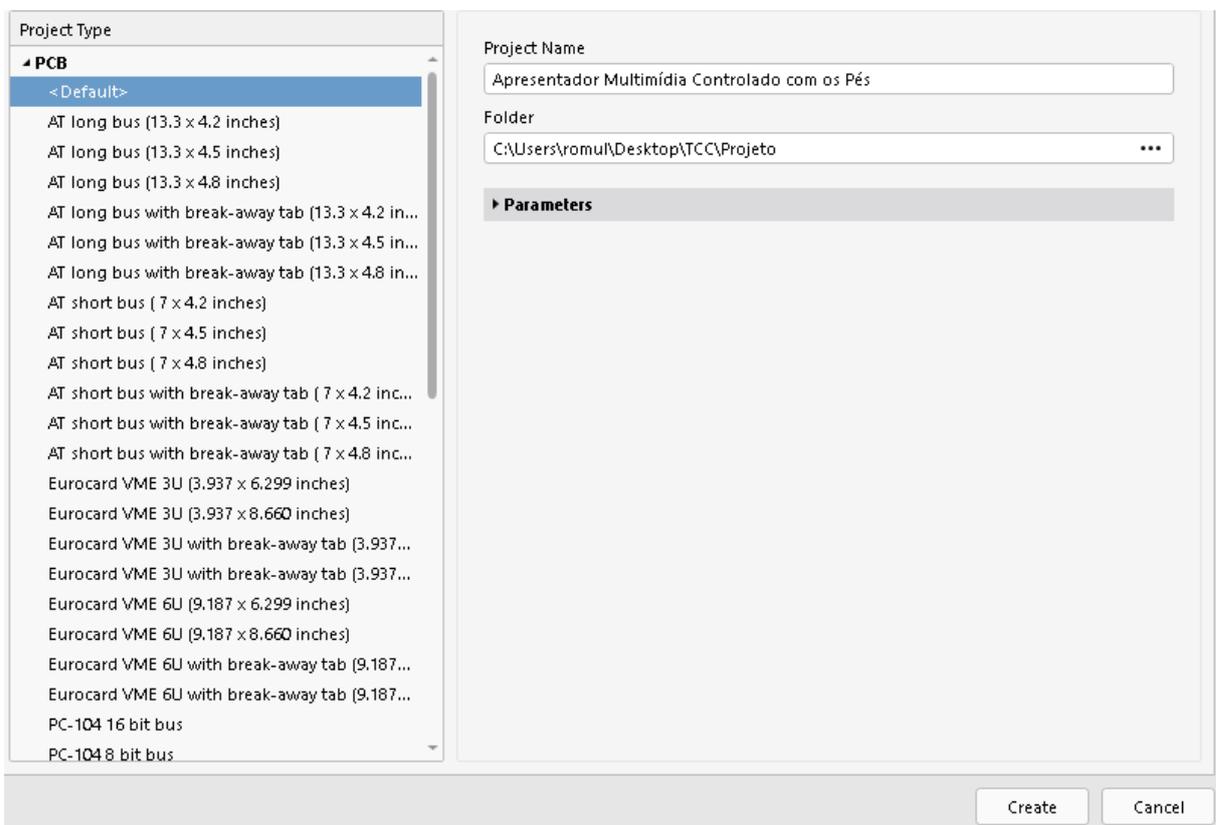
A Figura 2 mostra a funcionalidade criação de projetos no *Altium Designer*, através da qual pode-se selecionar um modelo de projeto ou partir de um modelo vazio, selecionar o local onde o projeto será salvo e o nome deste. A criação de projetos é uma funcionalidade essencial, pois permite a utilização de outras funcionalidades essenciais

para o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos, como a criação de esquemáticos e PCIs relacionados.

Figura 2 – Criação de projetos no *Altium Designer* 19. (a) Acesso através do *menu* superior; (b) Janela de criação de projetos.



(a)



(b)

Fonte: *Software Altium Designer*.

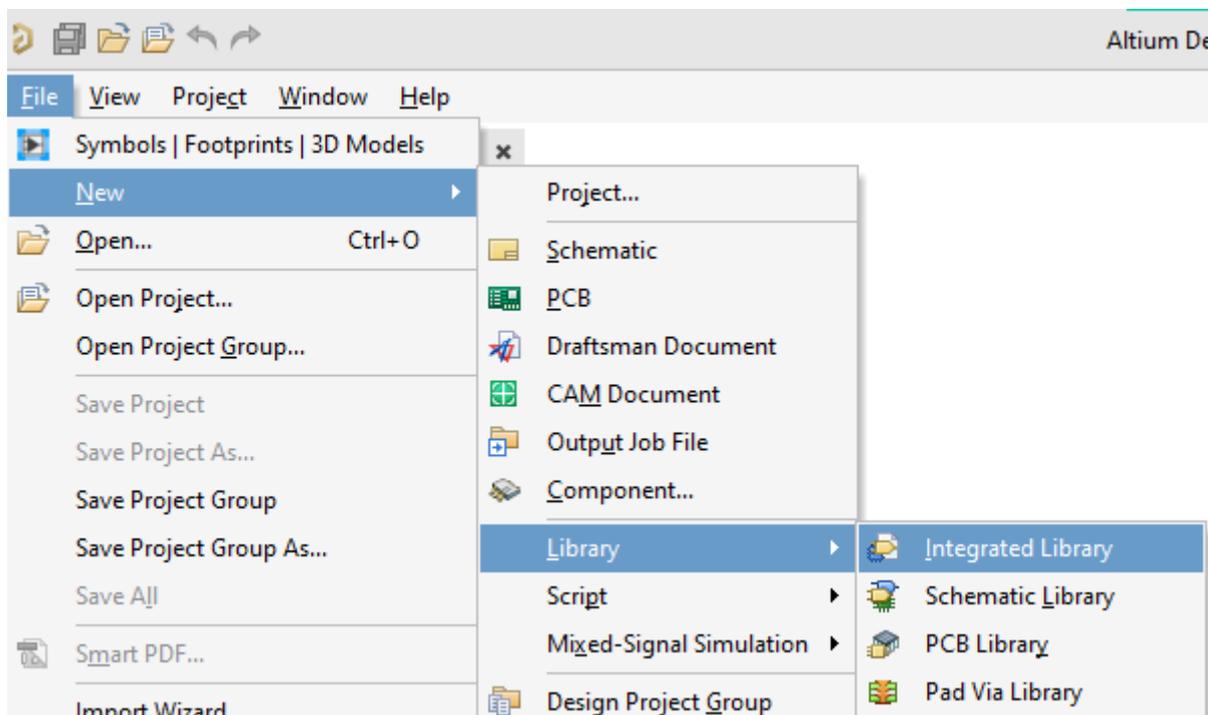
1.2.2 Bibliotecas

A criação de bibliotecas é uma funcionalidade essencial, pois permite ao projetista ter controle sobre os desenhos de esquemático e *footprints* de PCIs, possibilitando a



alteração e atualização, caso necessário, dos componentes do projeto. Além disso, é possível a criação de bibliotecas integradas de esquemático e PCB, que podem ser compartilhadas entre outros projetos, facilitando o desenvolvimento. A Figura 3 mostra a criação de um arquivo de biblioteca integrada.

Figura 3 – Criação de biblioteca integrada.



Fonte: *Software Altium Designer*.

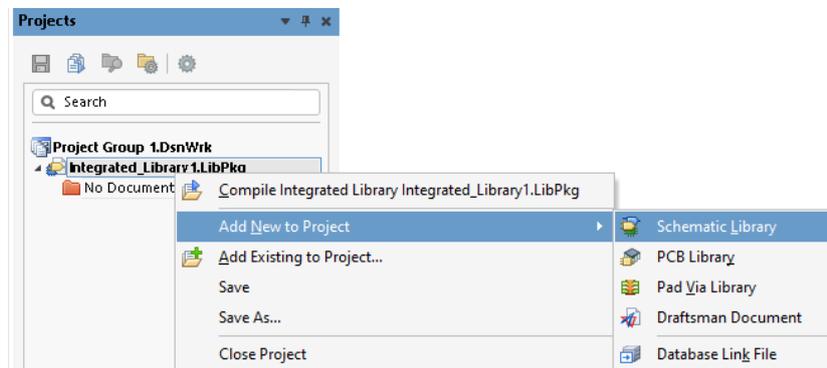
1.2.2.1 Bibliotecas de Esquemático

As bibliotecas de esquemático são compilados de componentes a serem adicionados em esquemáticos, onde pode ser definido o desenho do componente e pode ser associado o componente correspondente em uma biblioteca de PCB, afim de, quando o componente for adicionado no esquemático de um projeto, quando for criado o arquivo de PCB do projeto e importadas as conexões dos arquivos de esquemático, serão associado automaticamente os componentes pertencentes a biblioteca de PCB.

Além disso, as bibliotecas de esquemáticos permitem adicionar parâmetros aos componentes, como informações de compra e preço, para geração de um arquivo do tipo

lista de materiais (do inglês, BOM, ou *Bill of Material*) A Figura 4 ilustra a criação de uma biblioteca de esquemático.

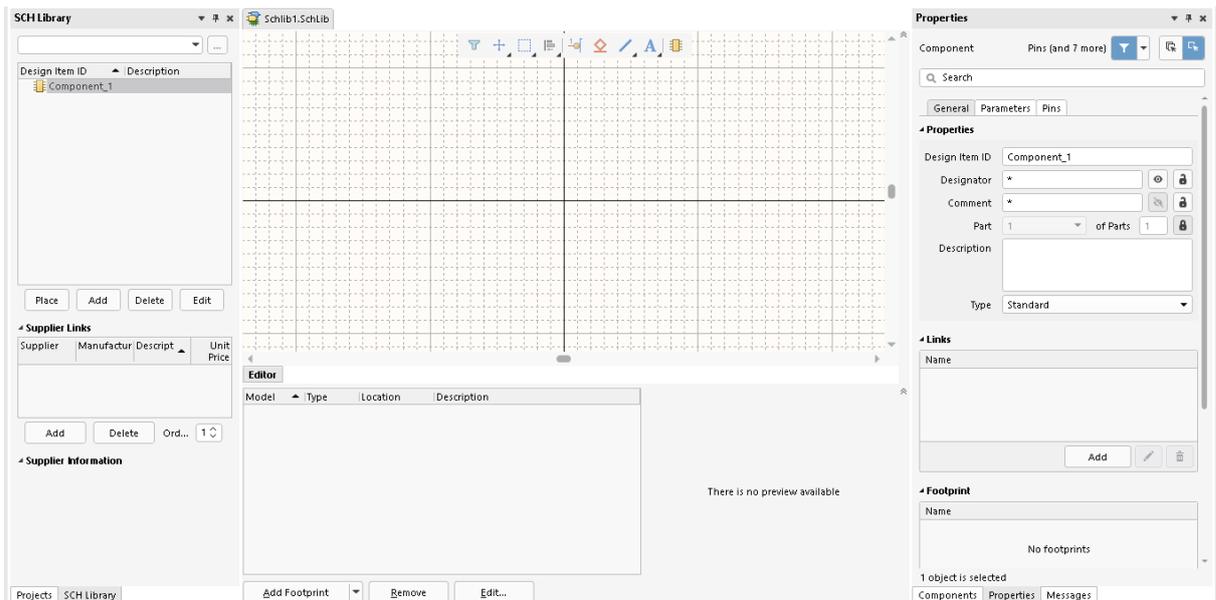
Figura 4 – Criação de biblioteca de esquemático.



Fonte: *Software Altium Designer*.

A Figura 5 mostra o ambiente de criação de bibliotecas de esquemático, que abre assim que se cria um arquivo desse tipo de biblioteca. Ao centro, há o ambiente de desenho, onde são desenhados os símbolos dos componentes. À esquerda, no painel chamado *SCH Library*, são mostrados os componentes da biblioteca, além de informação de fornecedor de cada componente. À direita, no painel *Properties*, são mostradas as propriedades do componente selecionado, divididas em geral (*general*), parâmetros (*parameters*) e pinos (*pins*). E abaixo, no menu editor (*editor*) é onde pode ser associado um componente de biblioteca de PCB a cada componente da biblioteca de esquemático. Na parte superior da tela central existe uma barra de navegação que contém os comandos que podem ser utilizados para desenhar os componentes.

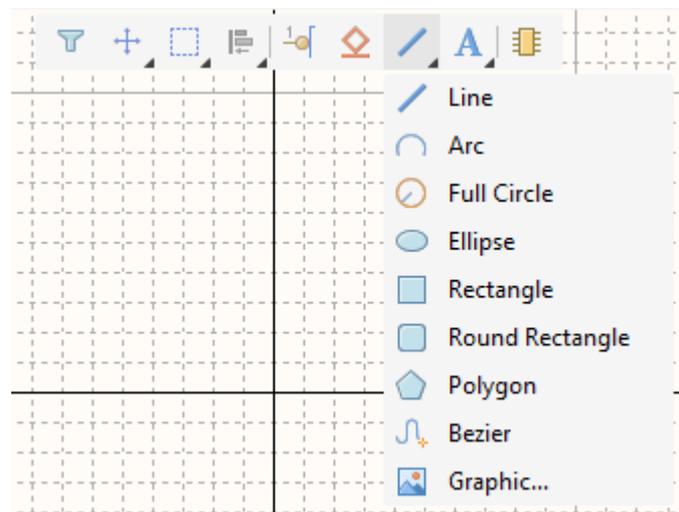
Figura 5 – Ambiente de criação de biblioteca de esquemático.



Fonte: *Software Altium Designer*.

A Figura 6 mostra a expansão da principal funcionalidade da barra de navegação que será utilizada, que é a de desenho de formas geométricas. À sua direita, respectivamente, há o comando de inserir texto, que pode vir a ser útil em alguns componentes, e o comando de adicionar outra parte, para componentes que tenham duas partes. À sua esquerda, respectivamente, há os comandos de adicionar símbolos IEEE, adicionar pinos, alinhar objetos, selecionar objetos, mover objetos e filtro de seleção.

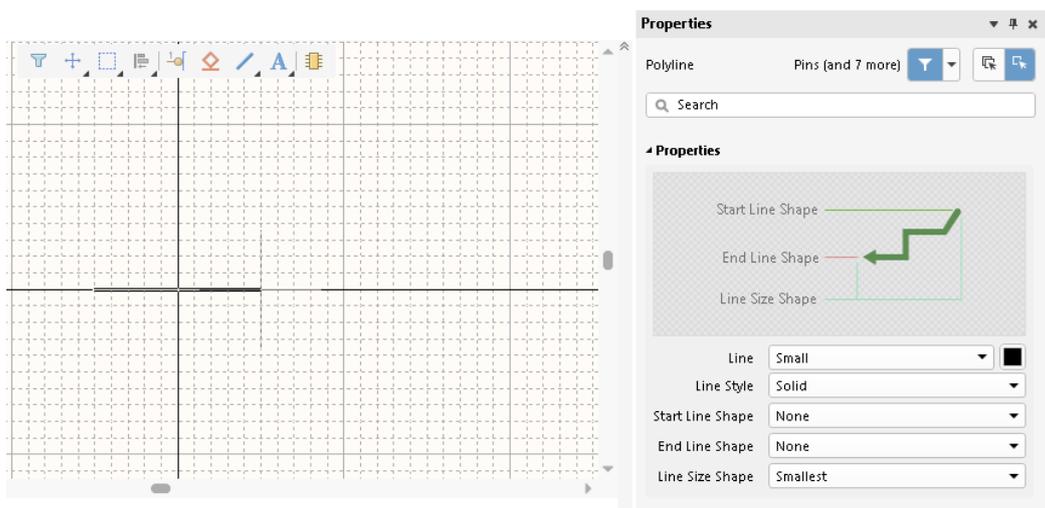
Figura 6 – Barra de ferramentas para desenho de componentes.



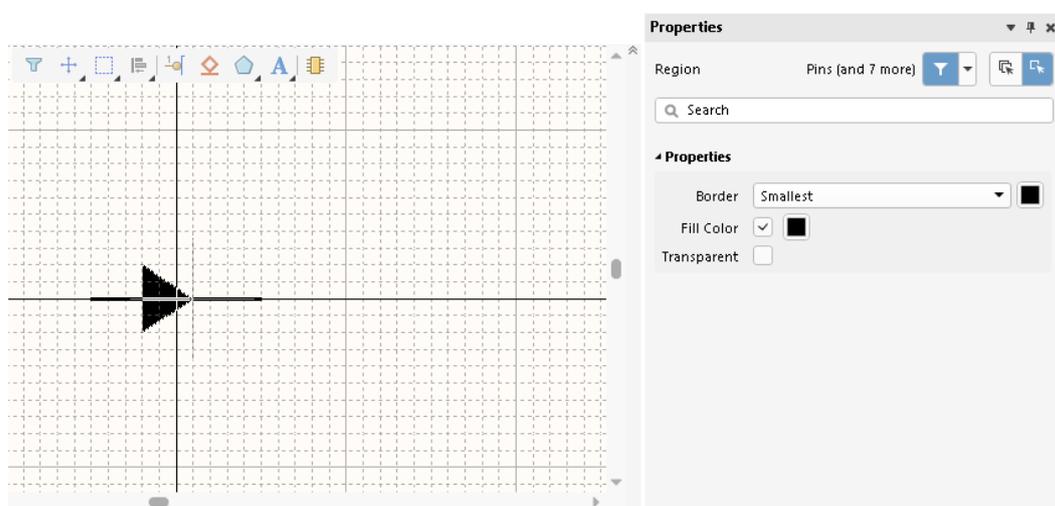
Fonte: *Software Altium Designer*.

A Figura 7 mostra como exemplo, o desenho do esquemático de um LED, através da utilização das ferramentas de linha e polígono. Na barra lateral, nessa Figura, é possível mudar características referentes a linha e ao polígono como cor, espessura, dentre outras características mais visuais. O passo mais importante é o da Figura 7 (e), que é a colocação dos pinos do componente. Na barra lateral, é possível modificar características visuais dos pinos, como tamanho, nome, visualização ou não de parâmetros, fonte, entre outros. Além disso, o mais importante, é a modificação na barra lateral da característica construtiva chamada designador (ou *designator*, do inglês), que é o “código” que vai referenciar este pino desse componente nas conexões do *software*.

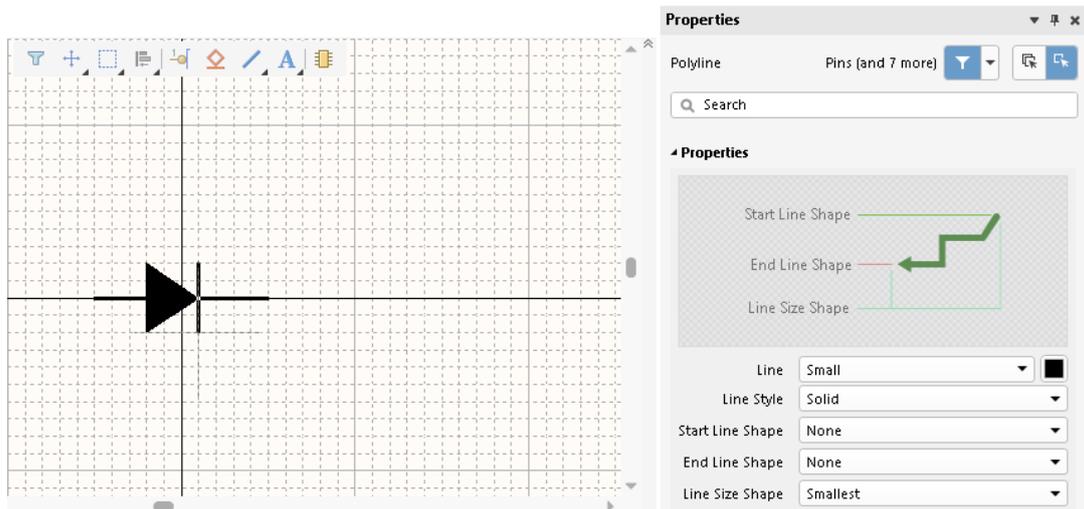
Figura 7 – Desenho do esquemático de um LED (a) Ferramenta de linha; (b) Ferramenta de polígono; (c) Ferramenta de linha.; (d) Ferramenta de linha e polígono; (e) Pinos.



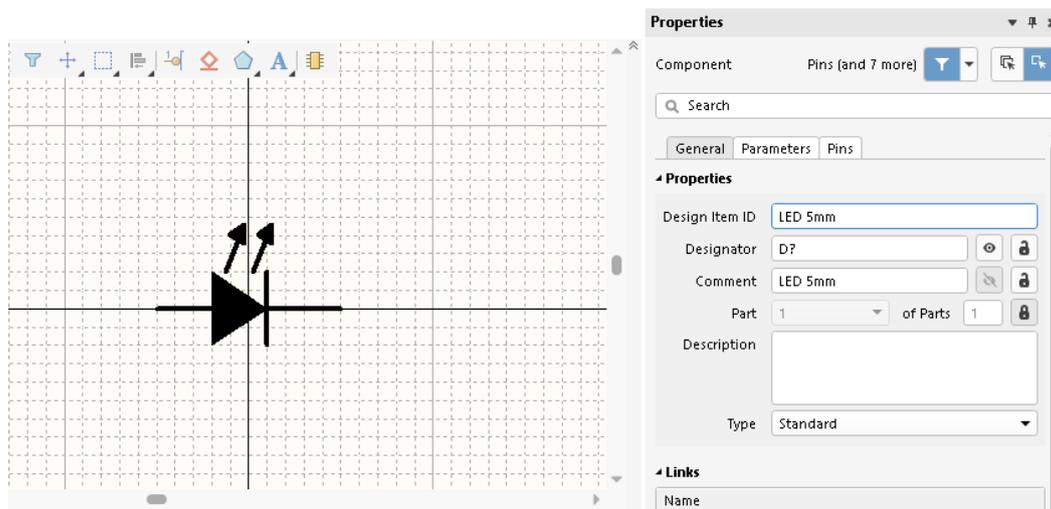
(a)



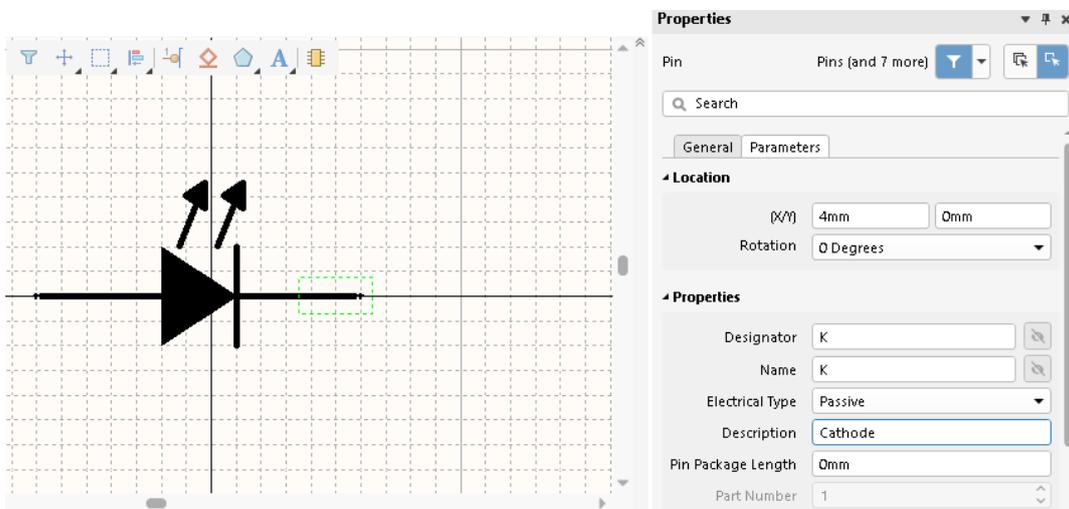
(b)



(c)



(d)

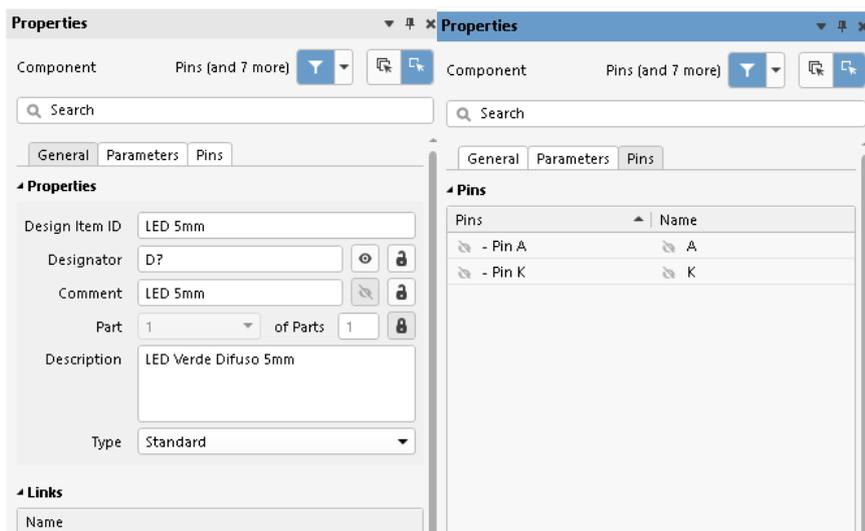


(e)

Fonte: Software Altium Designer.

A Figura 17 mostra a barra lateral de propriedades do componente que está sendo feito atualmente. À esquerda, há a barra de informações gerais do componente, onde pode ser colocado nome, *designator*, comentário, descrição e até *links* para compra. À direita, há a barra de pinos, permitindo analisar e alterar, se necessário, todos os pinos de uma vez. Esta funcionalidade se mostra muito prática no caso de componentes com grande quantidade de pinos, como microcontroladores, por exemplo. A barra de parâmetros também existe mas foi ocultada por estar vazia, mas nela podem ser adicionados parâmetros elétricos e/ou gerais do componente.

Figura 8 – Propriedades do componente: gerais (*general*) e pinos (*pins*).

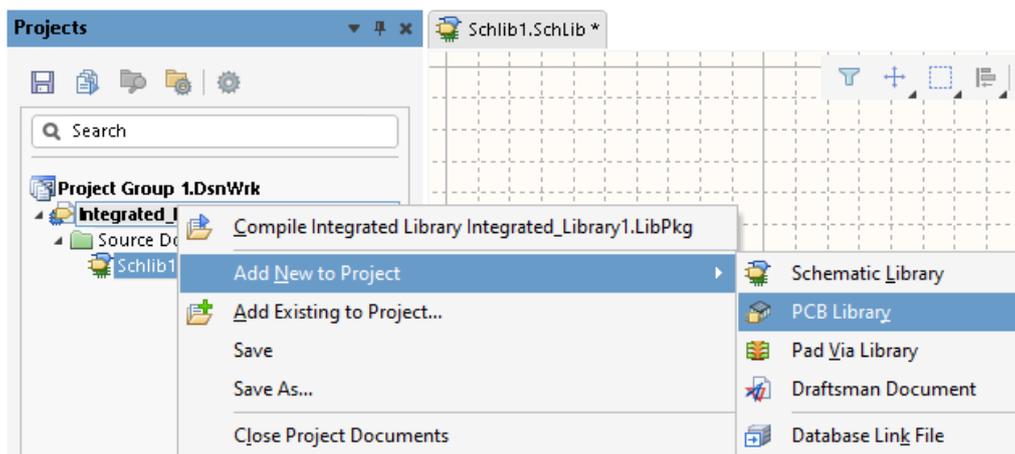


Fonte: *Software Altium Designer*.

1.2.2.2 Bibliotecas de PCI

As bibliotecas de PCI são compilados de componentes, assim como as de esquemático, porém, a serem adicionados em arquivos de PCI, onde é definido o *footprint* do componente, que corresponde aos furos para pinos e fixação dos componentes, ilhas de solda ao redor dos furos de pinos e a *silk*, que é o “contorno” do componente, que será colocado numa PCI industrial sobre a máscara, junto com os *designators*, a fim de identificar o componente. Nesses arquivos é que também é possível associar modelos 3D aos componentes, porém, de forma relativamente limitada. Também é possível o projeto muito simplificado de modelos 3D. A Figura 9 ilustra a criação de uma biblioteca de PCI.

Figura 9 – Criação da biblioteca de PCI

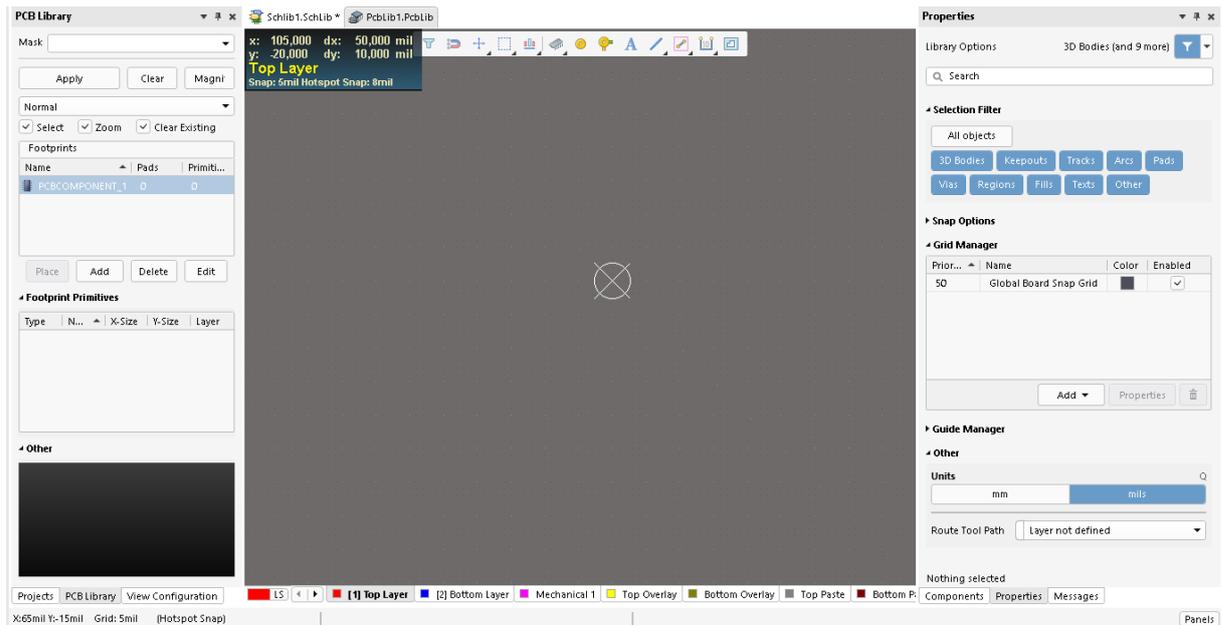


Fonte: *Software Altium Designer.*

A Figura 10 mostra o ambiente de criação de bibliotecas de PCI, que abre assim que se cria um arquivo desse tipo de biblioteca. À esquerda, no painel chamado *PCB Library*, são mostrados os componentes da biblioteca, além de quantos furos ou *pads* (ou primitivas, como o programa chama) o componente tem e abaixo, na seção *other*, há uma visão do *footprint* do componente em 2D. À direita, no painel *Properties*, são mostradas as propriedades do componente selecionado.

Uma diferença que aparece com relação às bibliotecas de esquemático, é que nas de PCI há uma possibilidade de seleção de abas, que correspondem às camadas (ou *layers*, do inglês) do *footprint* do componente, que influenciarão na montagem do arquivo de PCI. Além disso, também há uma barra de ferramentas na parte superior da área de desenho. Outra diferença é que, nessa biblioteca há uma janela na área superior esquerda da área de desenho que mostra a posição atual do cursor e a camada atual, facilitando a obtenção dessas informações por parte do usuário.

Figura 10 – Ambiente de criação de biblioteca de PCI.



Fonte: *Software Altium Designer.*

A Figura 11 mostra a barra de navegação que será utilizada. Da esquerda para a direita, temos, respectivamente as funcionalidades de: filtro; *snapping*, que é uma característica que, enquanto se move o *mouse* com algum objeto, ele não se move 100% livre, mas sim, de pontos em pontos, e, pode selecionar pontos preferenciais, como por exemplo: centro de outros objetos; mover objetos; selecionar objetos; alinhar componentes; comandos de modelos 3D; inserir *pad*, que é onde se solda os componentes, podendo ser com ou sem furo, dependendo do componente; inserção de via, que são as ligações feitas por anilhas metálicas de uma face a outra da placa, passando por dentro desta, em placas dupla face; inserção de texto; ferramentas geométricas; trilha de distância; medida de dimensão linear e região de corte. Nesse caso, as funcionalidades mais importantes são as de inserir *pad*, inserir vias, formas geométricas, modelos 3D e, às vezes, inserção de texto.

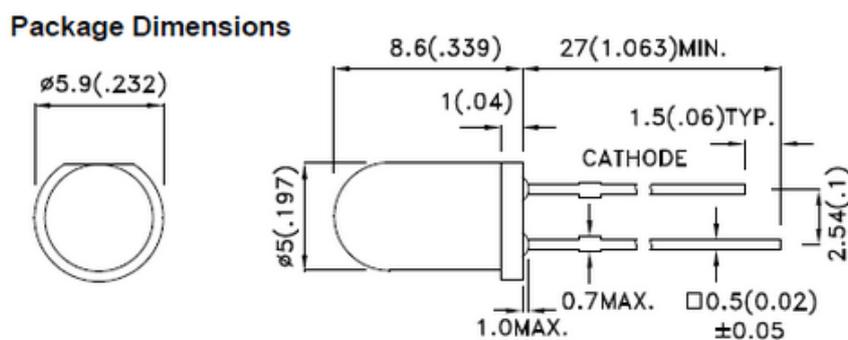
Figura 11 – Barra de ferramentas para desenho de *footprints*.

Fonte: *Software Altium Designer.*

Diferentemente da biblioteca de esquemático, que é mais visual, a criação da biblioteca de PCI não pode ser arbitrária, visto que haverá parâmetros desta que representam as dimensões físicas dos componentes. Ou seja, o tamanho dos furos,

distância entre eles e contorno devem ser decididos com base em medidas do componente feitas pelo usuário, com o uso de um paquímetro, ou com informações retiradas de *datasheets*. A opção de retirar informações de *datasheets* é mais provisória e deve sempre ser conferida por meio da medição com o paquímetro. Nesse caso, a fim de ilustração, a Figura 12 mostra as informações de medidas físicas de um LED retiradas do *datasheet*, a partir da qual é construído o *footprint*.

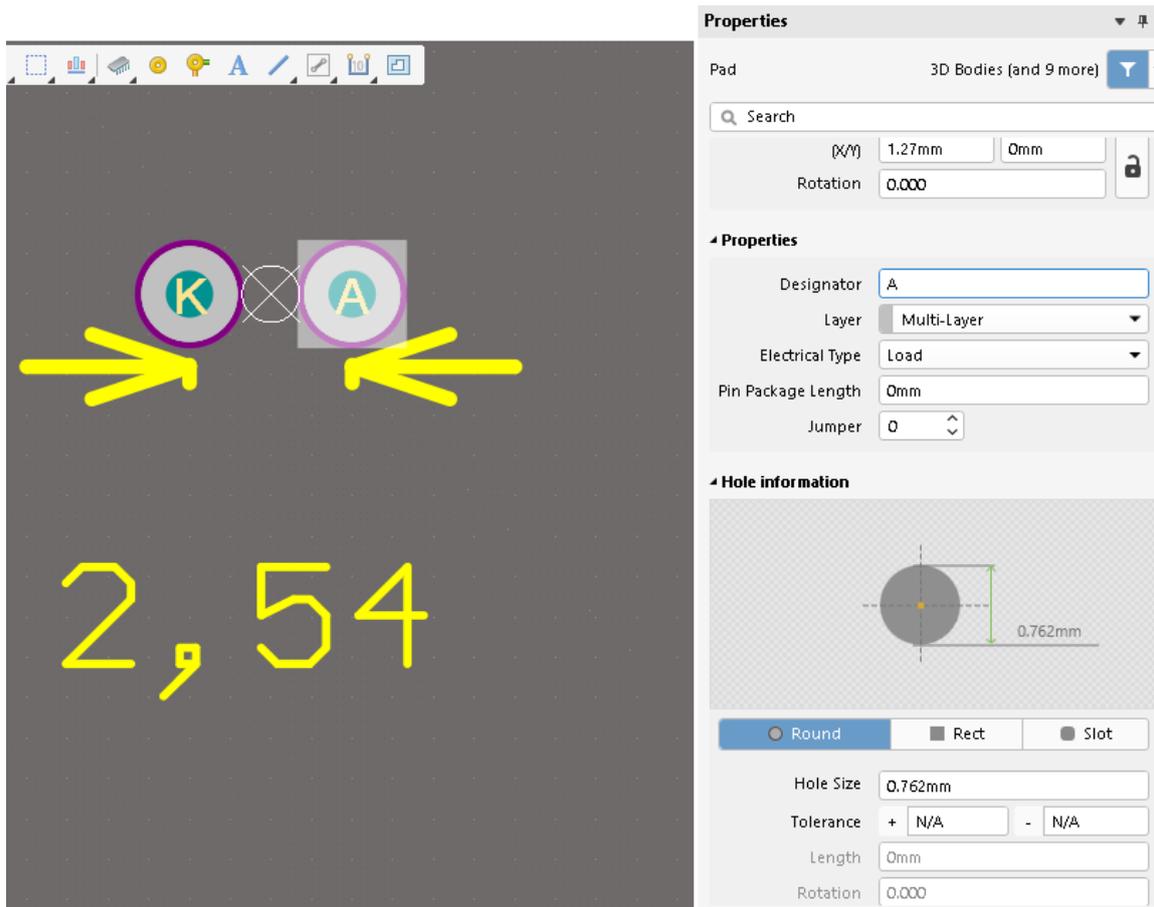
Figura 12 – Informações das medidas físicas de um LED de 5 mm segundo *datasheet*



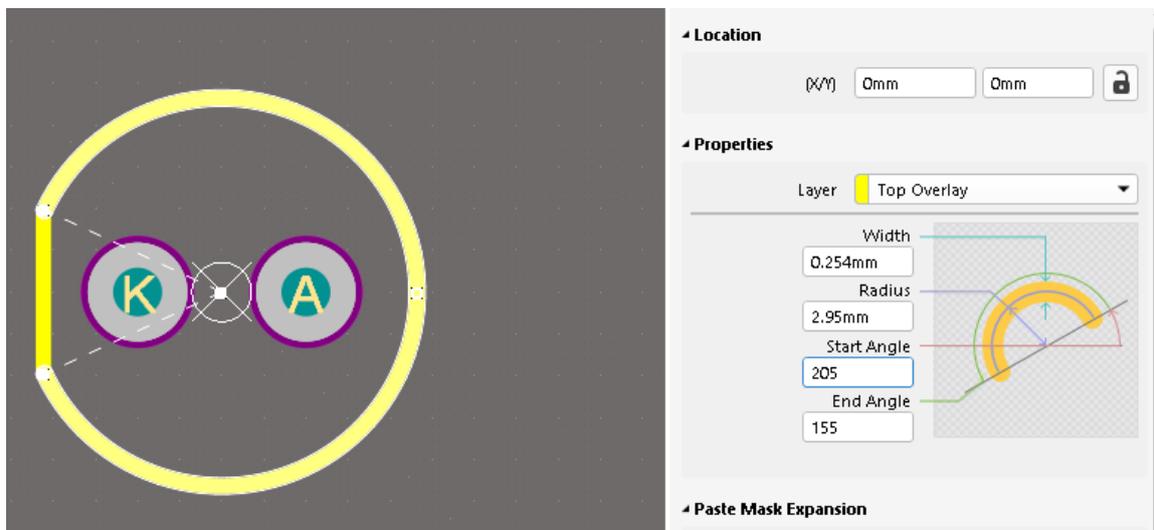
Fonte: *The LED Datasheet / All About LEDs / Adafruit Learning System*, 2019.

Com essas informações da Figura 12, é possível o desenho do *footprint* do componente, a ser mostrado na Figura 13. Uma funcionalidade muito importante que esse ambiente possui é o uso de coordenadas geométricas X e Y para posicionamento dos objetos. Por exemplo, no caso, precisamos que os *pads* distem de 2,54 mm, então, um pode estar em $X = -1,27$, $Y = 0$, e o outro em $X = 1,27$, $Y = 0$, o que melhora substancialmente a precisão. Ao inserir um *pad*, como na Figura 13, também se escolhe o tamanho do furo e do cobre ao redor do furo, onde será soldado o componente, bem como suas formas geométricas. Essas funcionalidades estão destacadas na Figura 14 onde, como de acordo com o *datasheet*, o LED possuía terminais de 0,5 mm de diâmetro, optou-se por usar furos de 0,75 mm e ilhas de cobre ao redor de 1,5 mm de diâmetro.

Figura 13 – Desenho do *footprint* de um LED (a) Ferramenta de inserção de *pads*; (b) Ferramenta de linha e de arco com qualquer ângulo;

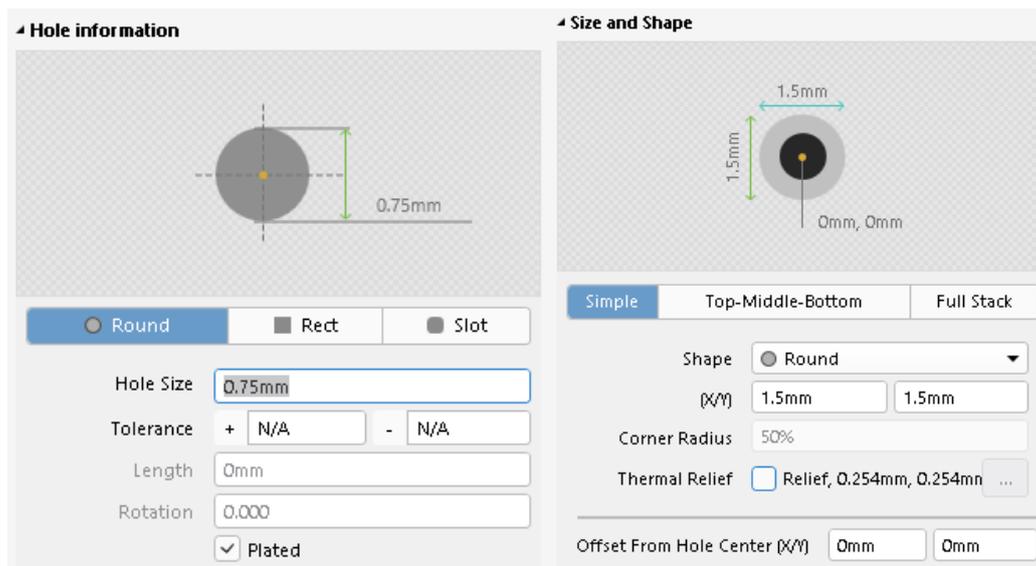


(a)



(b)

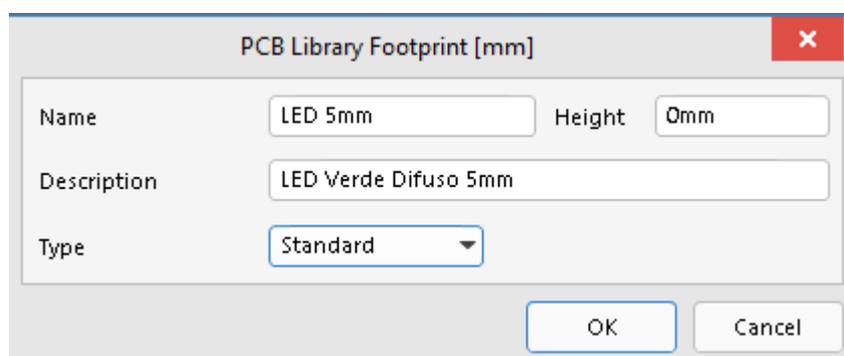
Figura 14 – Detalhes de *pads*: furo e cobre ao redor do furo.



Fonte: *Software Altium Designer*.

A Figura 15 mostra em detalhe a aba de características gerais do componente da biblioteca de PCI, que pode ser aberta ao clicar duas vezes no nome do componente na barra a esquerda. Além do nome e descrição, como havia na biblioteca de esquemático, há um novo parâmetro diferente: altura (*height*, do inglês), que corresponde a altura padrão que o modelo 3D desse componente deve ter, a fim de comparações no momento de projetar a PCI usando esse componente dessa biblioteca.

Figura 15 – Características gerais do componente da biblioteca de PCI.



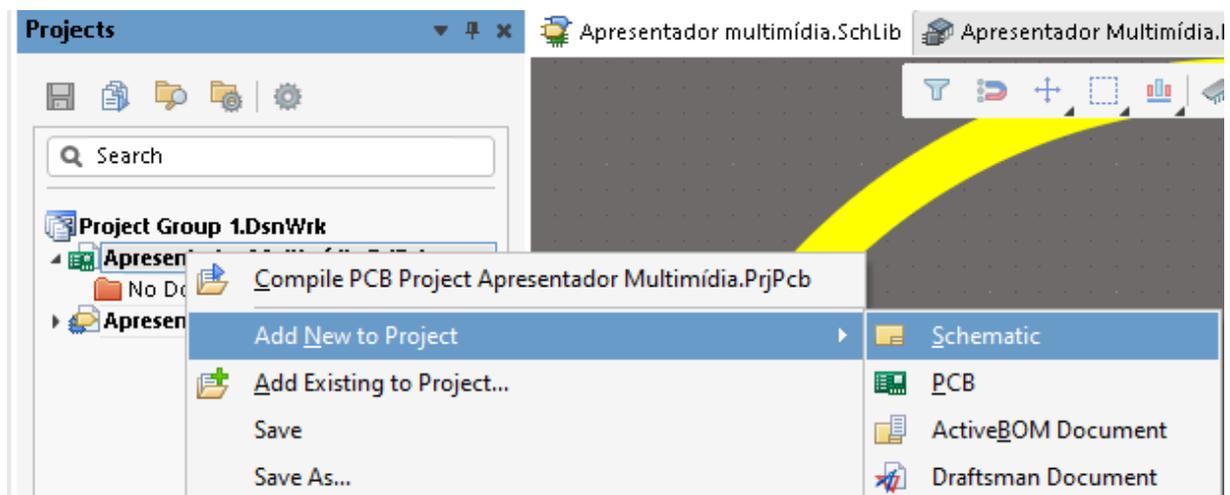
Fonte: *Software Altium Designer*.

1.2.3 Esquemáticos

Os esquemáticos são os arquivos de um projeto onde são colocados os componentes de bibliotecas de esquemático, como as feitas na seção 3.1.2.1, e são feitas as ligações entre esses componentes, montando os circuitos. Como exemplo, será montado um pequeno circuito com um botão para acender um LED. A Figura 16 à Figura 29 mostram o passo a passo para criação de um arquivo de esquemático, inserção de um componente de uma biblioteca no circuito, e ligação dos componentes do circuito e identificação de componentes e ligações

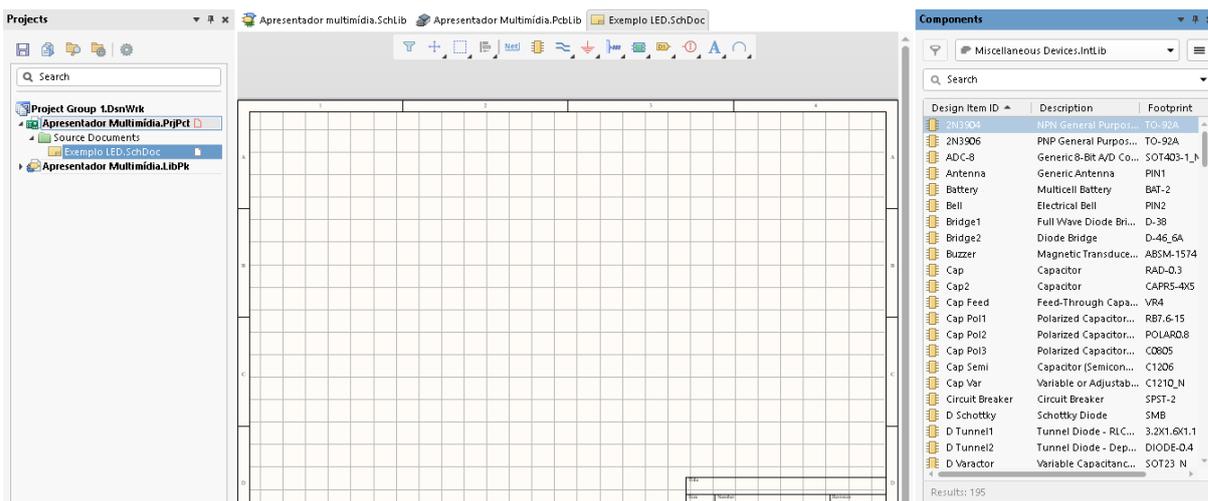
A Figura 16 mostra a criação de um arquivo de esquemático; a Figura 17 mostra o ambiente que abre assim que se cria um arquivo de esquemático, muito semelhante ao de bibliotecas de esquemático, mas com a diferença na barra de navegação na parte de cima do ambiente central de desenho, ausência de uma barra inferior e diferença na barra lateral direita, que agora mostra uma lista de componentes de uma biblioteca padrão, a *miscellaneous devices*, ou seja, dispositivos diversos. Também há na barra lateral direita a aba de propriedades, onde podem ser alteradas propriedades do arquivo de esquemático, funcionalidade que é melhor explicada em outro momento desta seção.

Figura 16 – Criação de arquivo de esquemático.



Fonte: Software Altium Designer.

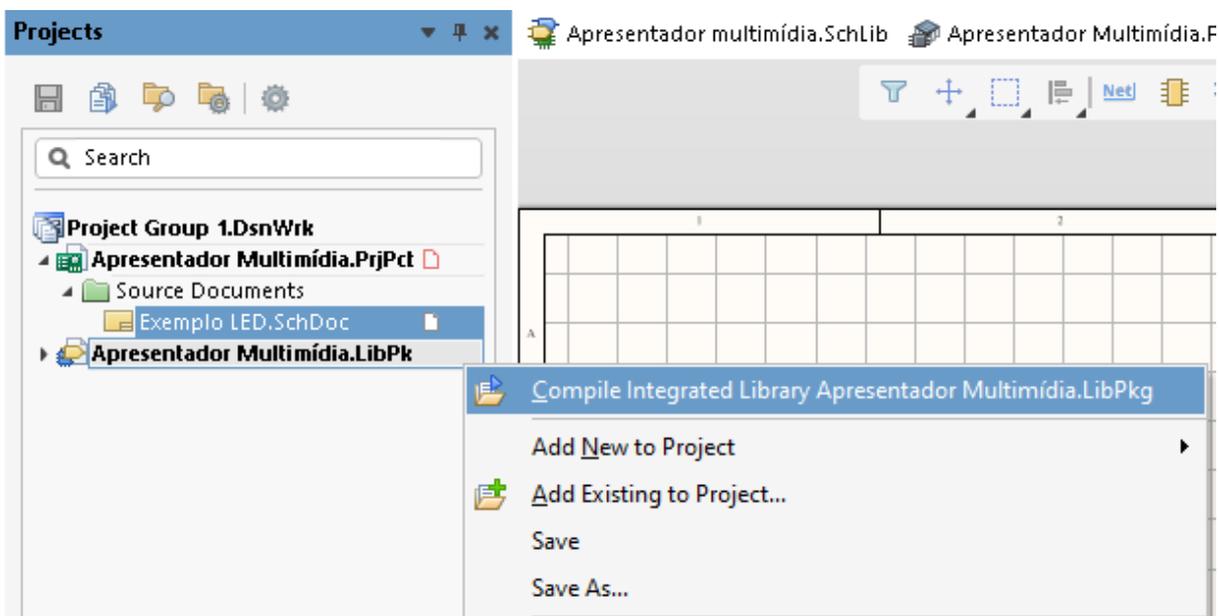
Figura 17 – Ambiente de esquemático.



Fonte: *Software Altium Designer.*

A Figura 18 mostra o processo de compilação de biblioteca integrada, ao clicar com o botão direito na biblioteca na barra lateral esquerda, que cria a biblioteca integrada e a adiciona nas bibliotecas disponíveis na barra lateral direita, mostradas em destaque na Figura 19, com o nome de “Apresentador Multimídia.intlib”. Na Figura 20, pode-se ver em destaque a biblioteca aberta, através da qual pode-se selecionar os componentes a serem adicionados no esquemático do projeto.

Figura 18 – Compilação de biblioteca integrada.



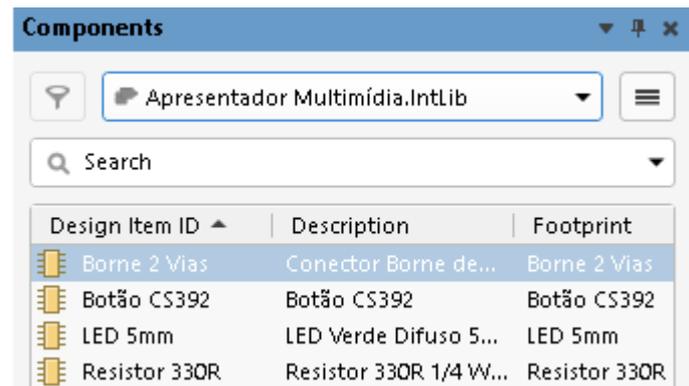
Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 19 – Lista de bibliotecas instaladas no ambiente do *Altium Designer*.



Fonte: *Software Altium Designer*.

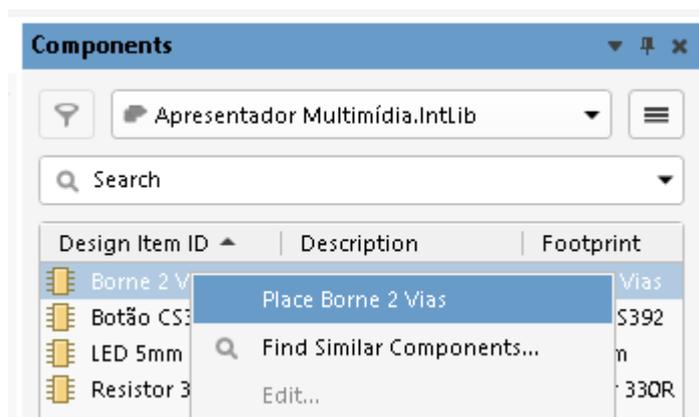
Figura 20 – Biblioteca criada e adicionada ao projeto.



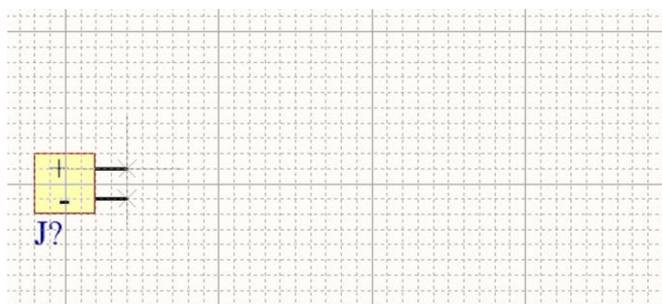
Fonte: *Software Altium Designer*.

Em seguida, é possível adicionar componentes ao esquemático criado clicando duas vezes nele na biblioteca, clicando com o botão direito e selecionando a opção colocar “nome do componente” (*place borne 2 vias*, no exemplo), como mostrado na Figura 21 (a) ou ainda clicando no nome do componente e arrastando para a região central de desenho. Ao realizar uma das opções descritas acima, na região central de desenho, é possível escolher a posição do componente, conforme mostrado na Figura 21 (b). Nesta etapa, apertar o botão “G” do teclado permite mudar a opção de *grid*, que é relativa ao *snapping*, já explicado anteriormente, do componente a ser inserido no quadriculado do desenho central, que pode ser de 1, 2,5 ou 5 mm. De forma análoga, são inseridos os outros componentes no esquemático, que fica conforme mostrado na Figura 21 (c).

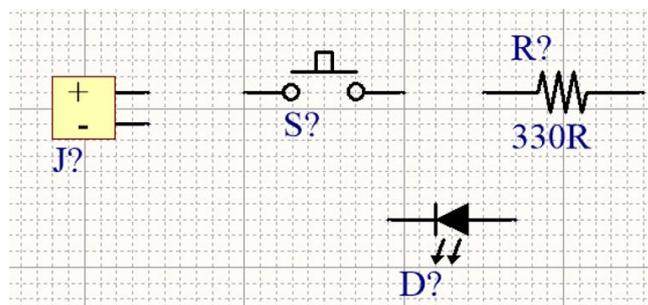
Figura 21 – Inserção de componente no esquemático. (a) Seleção de componente na biblioteca; (b) Escolha da posição do componente ; (c) Componentes inseridos no esquemático.



(a)



(b)



Fonte: *Software Altium Designer.*

Anteriormente a ligação dos componentes, é importante explicar a barra de navegação superior da região central de desenho, mostrada em destaque na Figura 22. É possível perceber que algumas funcionalidades de outras barras de navegação se mantiveram, como a de filtro, mover, selecionar e alinhar objetos, inserção de texto e de figuras geométricas.

Da esquerda para a direita, as funcionalidades novas, em destaque na Figura 23, são: inserir *net label*, que é a possibilidade de nomear pontos do circuito, afim de facilitar a interpretação; inserir componentes, que abre a barra lateral de bibliotecas, já explicada; inserir ligação e barramentos, com a qual é feita a conexão dos componentes, pode ser usado também o atalho *Control+W* no teclado; inserção de *ports* de potência, identificando de forma específica certos pontos do circuito, como o terra, alimentação, e outros; inserção de símbolos relacionados a sinal, para identificação do esquemático; inserção de símbolos, também para identificação; inserção de *ports*, que são identificações específicas de pontos de circuito, e permitem conectar circuitos de folhas de esquemático diferentes; e a inserção de parâmetros, também para identificação do esquemático.

Figura 22 – Barra de navegação do ambiente de esquemático.



Fonte: *Software Altium Designer*.

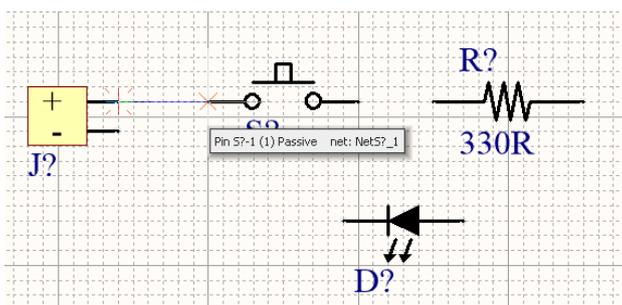
Figura 23 – Funcionalidades novas da barra de navegação do ambiente de esquemático.



Fonte: *Software Altium Designer*.

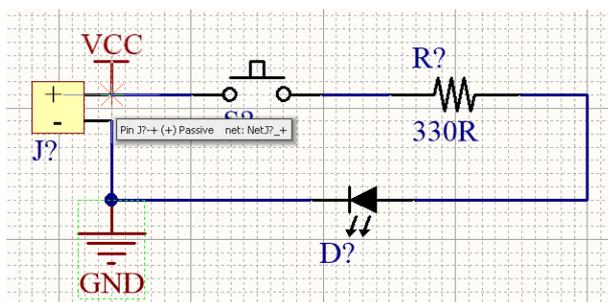
Então, é possível a conexão dos circuitos, utilizando a ferramenta de inserção de ligação, conforme mostrado na Figura 24, selecionando um pino de um componente e depois o de outro componente. De forma análoga, são feitas todas as ligações do circuito e é possível a identificação de alguns pontos do circuito como alimentação (VCC) e terra (GND), conforme mostrado na Figura 25, que é feita selecionando a identificação na barra de navegação e selecionando um ponto de alguma conexão. Também é possível, como mostrado na Figura 26, identificar outros nomes do circuito com um nome escolhido, afim de facilitar a identificação das conexões, algo que será muito útil durante o desenvolvimento da PCI.

Figura 24 – Ligação dos componentes.



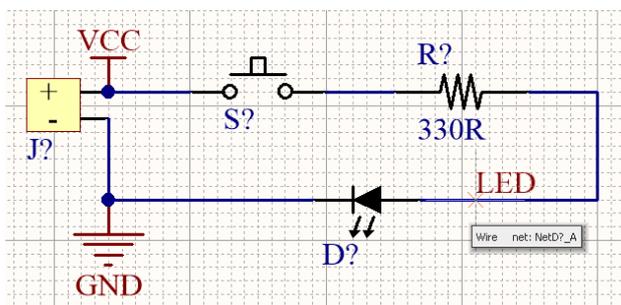
Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 25 – Identificação de alimentação (VCC) e terra (GND).



Fonte: *Software Altium Designer.*

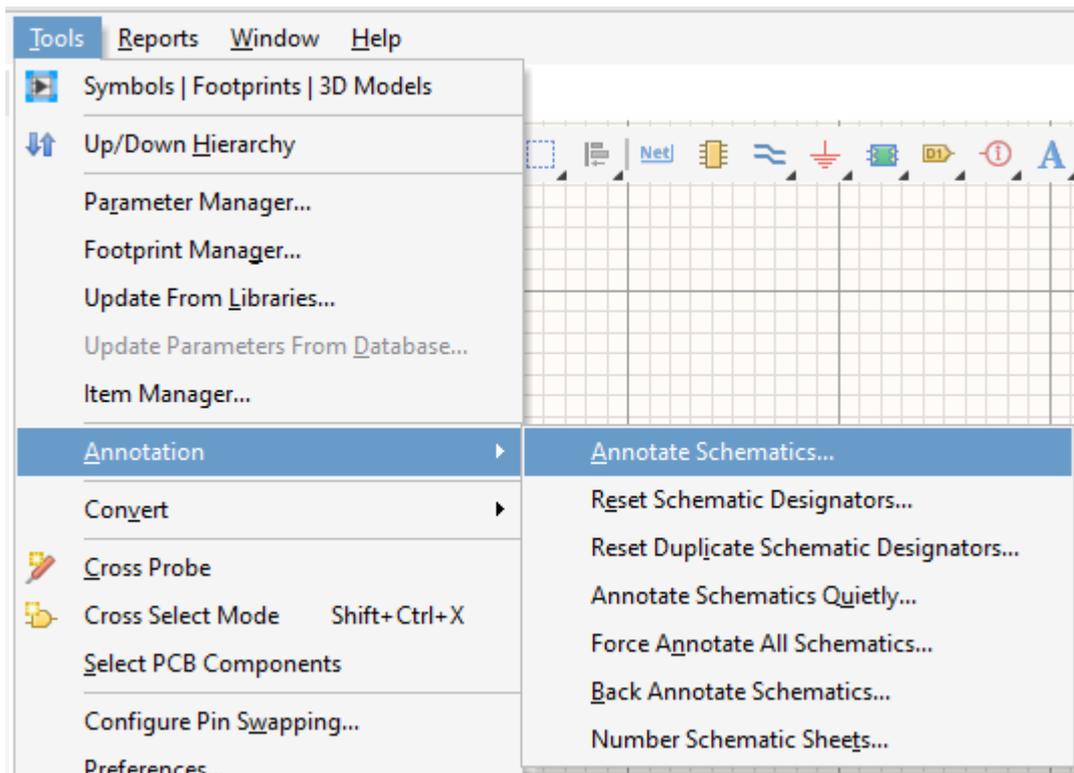
Figura 26 – Identificação de demais pontos do circuito.



Fonte: *Software Altium Designer.*

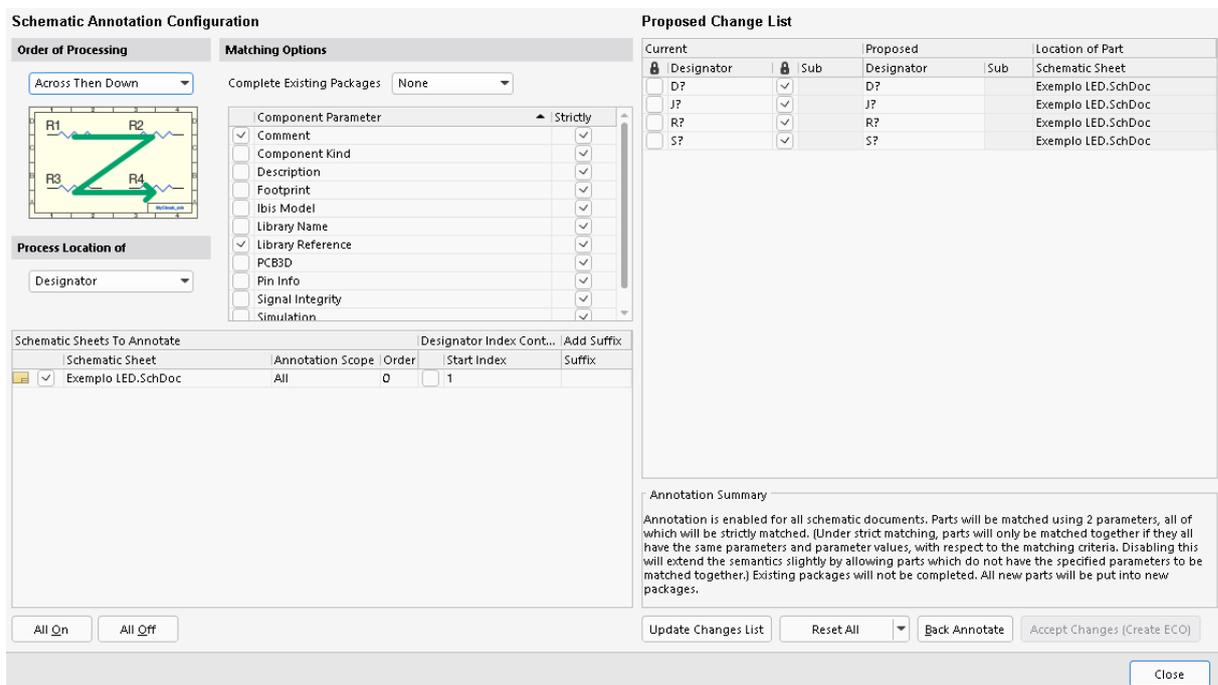
Em seguida, é necessária a identificação dos designadores dos componentes, que pode ser feita manualmente, alterando o parâmetro, ou através da ferramenta anotar esquemáticos (*Annotate schematics*), mostrada em destaque na Figura 27. Na Figura 28 é mostrado o passo a passo de utilização da ferramenta, selecionando, em sequência, atualizar lista de mudanças (*update changes list*), aceitar mudanças (*accept changes*) e executar mudanças (*execute changes*). A Figura 29 mostra o circuito com os componentes com os designadores identificados.

Figura 27 – Ferramenta de anotação de esquemáticos.



Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 28 –Utilização da ferramenta de anotação de esquemáticos. (a) Janela de anotação de esquemáticos; (b) Lista de mudanças; (c) Janela de execução de mudanças; (d) Mudanças executadas.

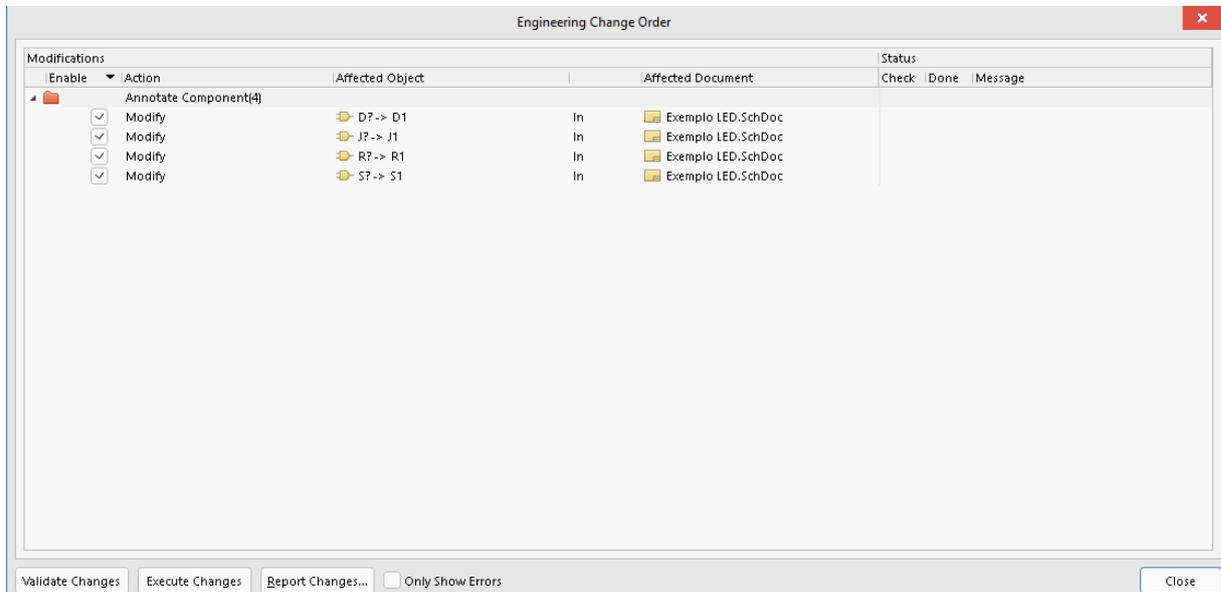


(a)

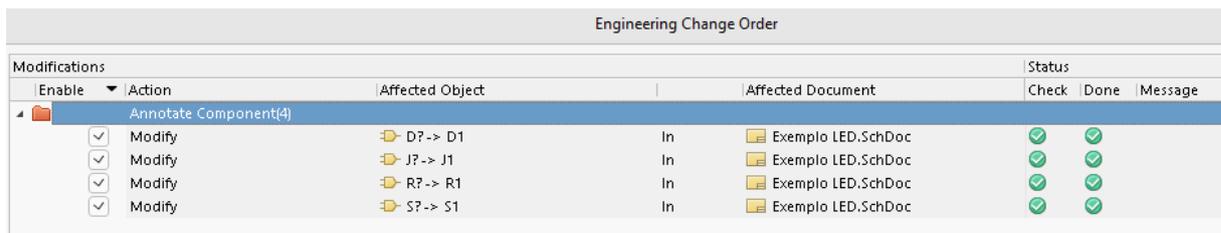
Proposed Change List

Current		Proposed		Location of Part
Designator	Sub	Designator	Sub	Schematic Sheet
D?	▼	D1		Exemplo LED.SchDoc
J?	▼	J1		Exemplo LED.SchDoc
R?	▼	R1		Exemplo LED.SchDoc
S?	▼	S1		Exemplo LED.SchDoc

(b)



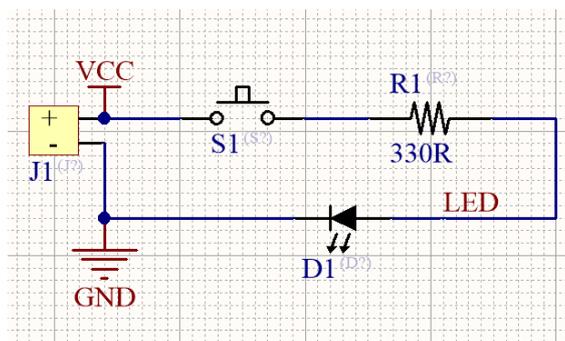
(c)



(d)

Fonte: *Software Altium Designer.*

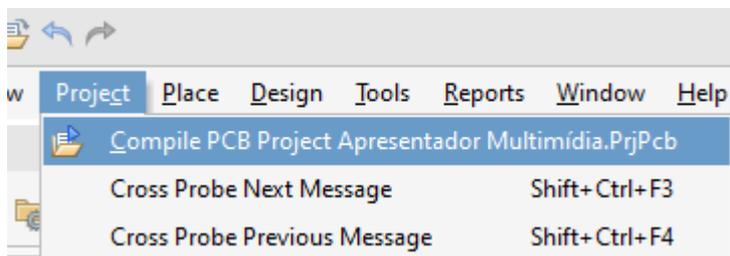
Figura 29 – Circuito com os designadores identificados.



Fonte: *Software Altium Designer.*

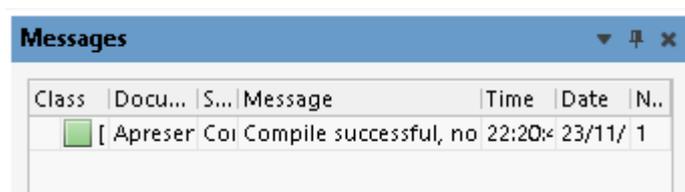
Por fim, é importante realizar a compilação do circuito, funcionalidade mostrada na Figura 30, através do qual o *software* verifica se há algum erro no projeto, e informa através da aba de mensagens, na barra lateral direita, mostrada na Figura 31.

Figura 30 – Compilação do circuito.



Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 31 – Retorno do *software* sobre a compilação do circuito.

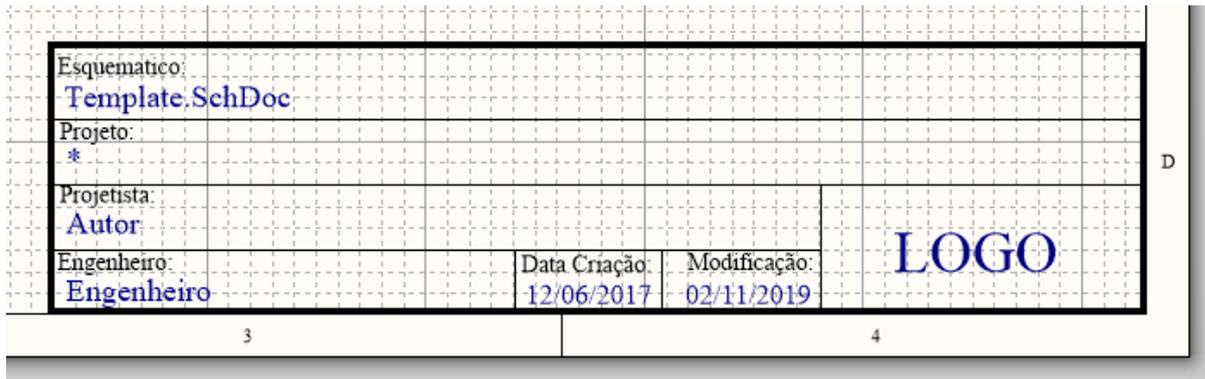


Fonte: *Software Altium Designer*.

1.2.4 Templates

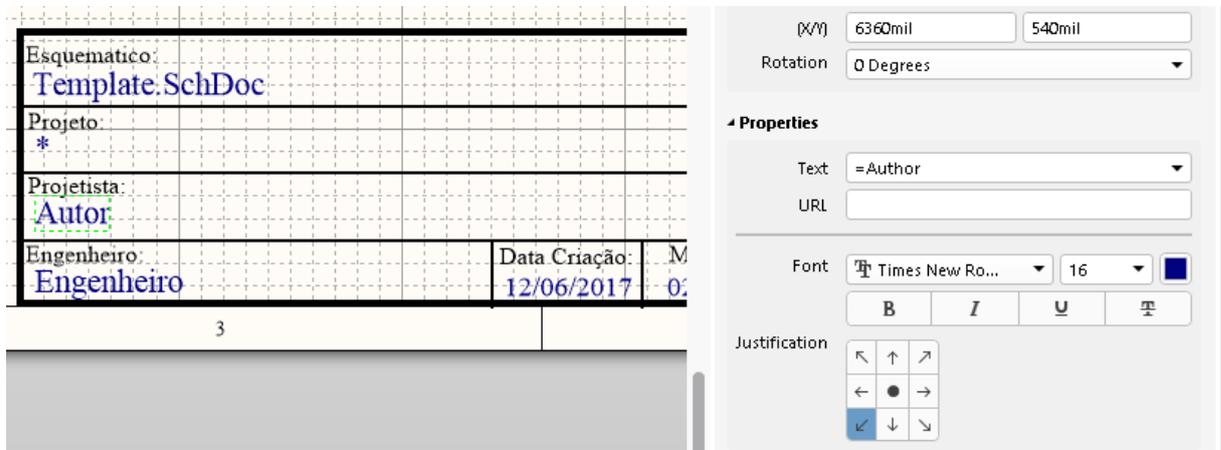
Outra funcionalidade importante para os esquemáticos de um projeto é a utilização de *templates*, que permite a identificação do projeto, com logo da empresa, nome do projetista, data de aprovação, entre outros. O *template* é criado como um arquivo de esquemático vazio, no qual serão adicionados as informações do *template*, utilizando formas geométricas e ferramentas de inserção de texto. Também é importante a inserção de ferramentas de inserção de texto dependente de parâmetros, que são as que serão modificadas em cada arquivo de esquemático ao qual o *template* for adicionado, de acordo com os parâmetros.

Na Figura 32 é mostrado o exemplo de um *template* em destaque. A Figura 33 mostra a utilização de texto dependente de parâmetro, onde é selecionado qual parâmetro vai ser inserido naquele texto. Já a Figura 34 mostra como o texto muda automaticamente de acordo com o parâmetro modificado na barra lateral direita.

Figura 32 – Exemplo de *template*.

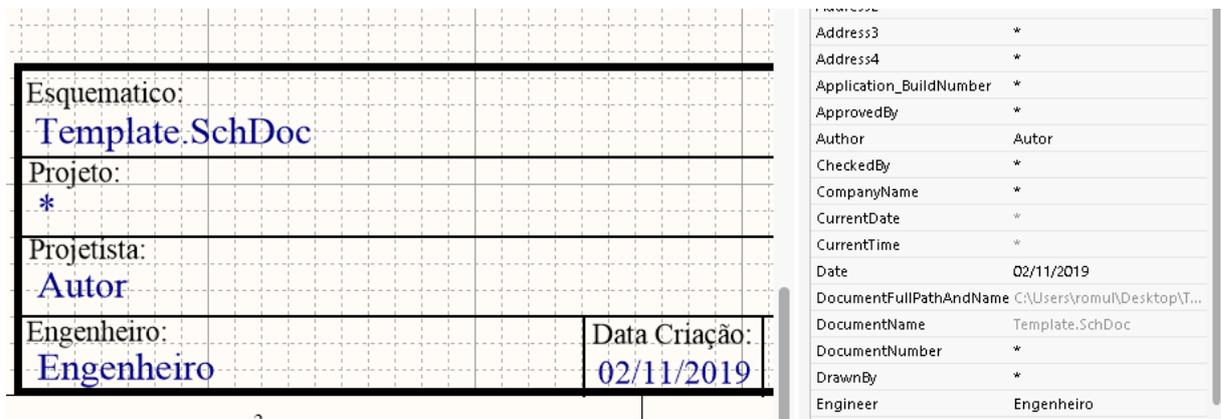
Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 33 – Texto dependente de parâmetro.



Fonte: *Software Altium Designer*.

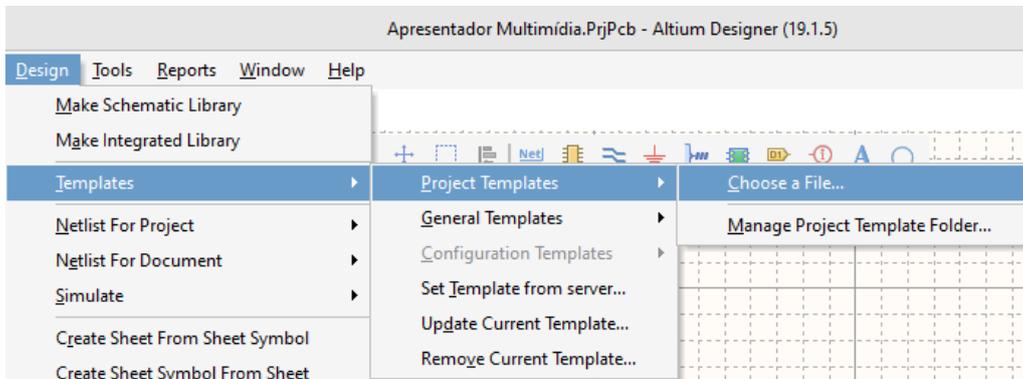
Figura 34 – Mudança no texto automaticamente de acordo com o parâmetro.



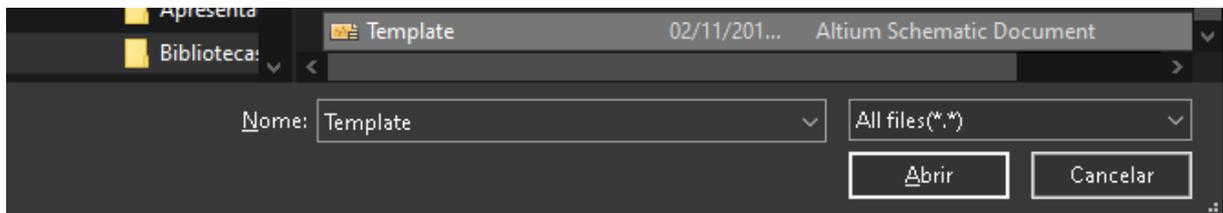
Fonte: *Software Altium Designer*.

Como exemplo, adiciona-se *template* criado ao projeto através do passo a passo listado nas Figura 35 a Figura 36. Primeiro escolhe-se o arquivo e adiciona-se como *template* a todos os esquemáticos do projeto. Em seguida, modifica-se os parâmetros para atualização automática do *template*.

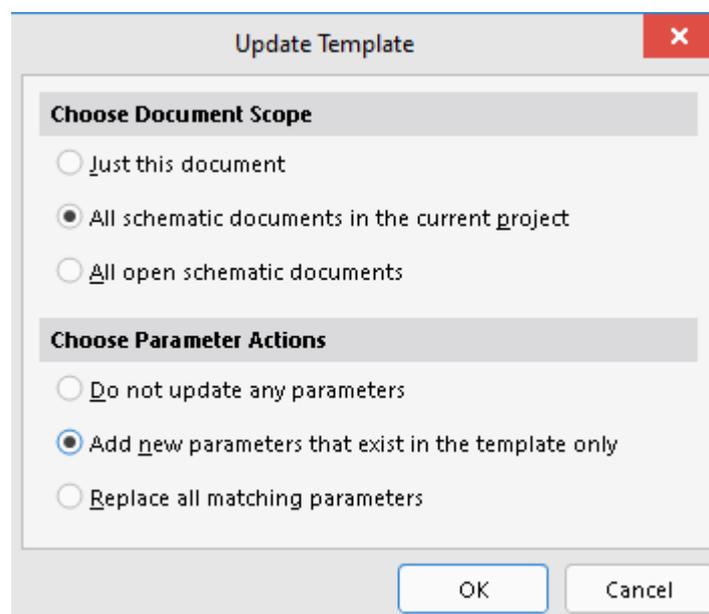
Figura 35 – Adicionar *template* a um projeto. (a) Acesso através do *menu* superior; (b) Seleção do *template*; (c) Opções de inserção do *template*.



(a)



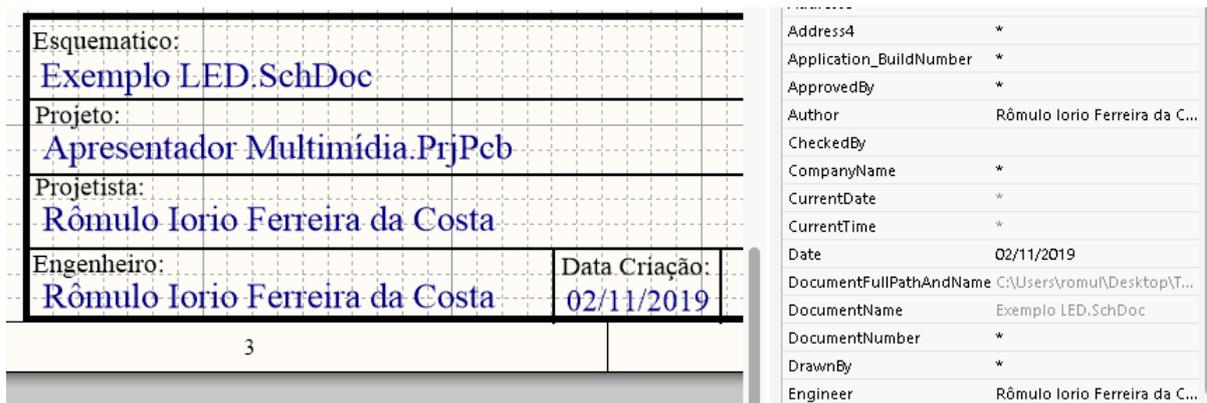
(b)



(c)

Fonte: Software Altium Designer.

Figura 36 – Projeto com o *template* adicionado e modificado ao preencher os parâmetros

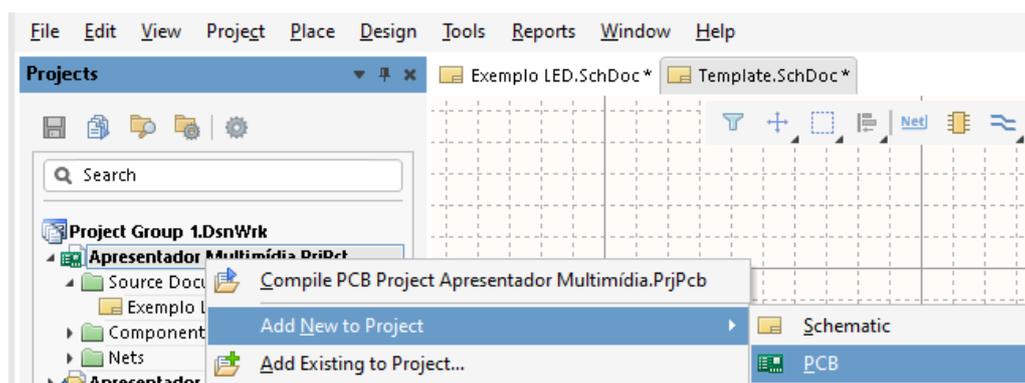


Fonte: *Software Altium Designer.*

1.2.5 Placas de Circuito Impresso

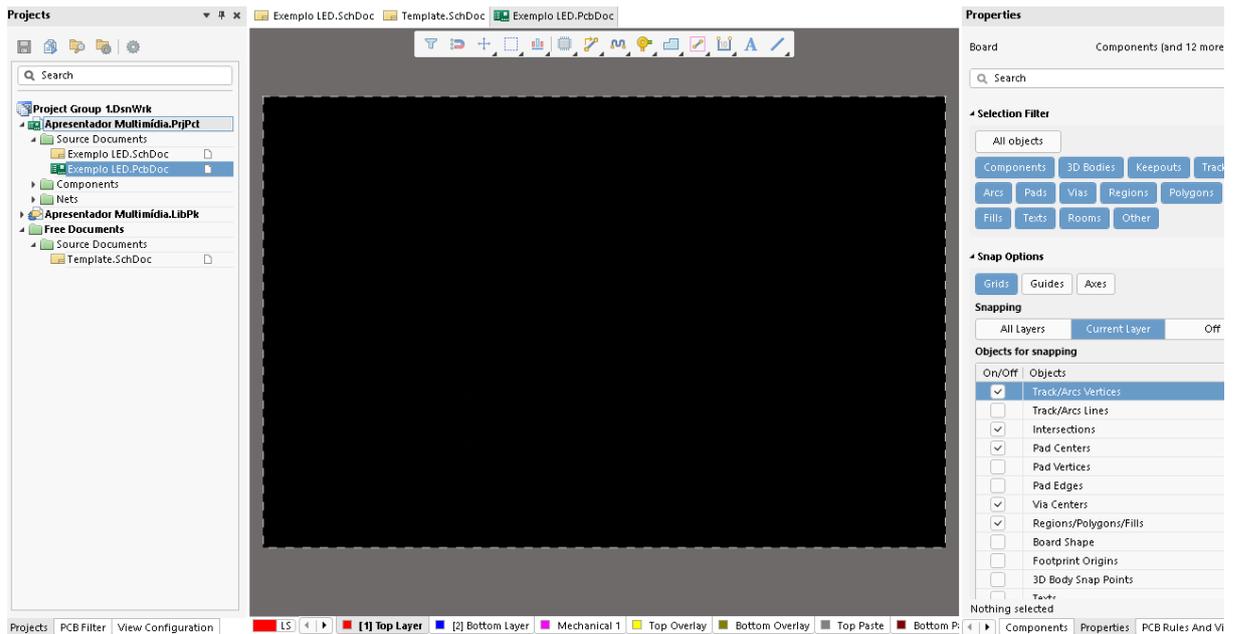
Os arquivos de PCI são os arquivos em que são organizados os componentes em um determinado *layout* e feita a conexão desses componentes através de trilhas, sendo possível escolher a posição do componente e das trilhas na PCI, bem como em que face dela estes se localizam. Como exemplo, será continuado o projeto anterior. Primeiramente, é criado o arquivo de PCI, conforme a Figura 37. Em seguida, automaticamente há a abertura do ambiente mostrado na Figura 38, parecido com o ambiente de criação de bibliotecas de PCI, inclusive quanto às barras laterais, às abas inferiores e ao sistema de posicionamento baseado em coordenadas, sempre mostrando no canto superior esquerdo da área central de desenho as coordenadas X e Y e a camada atual.

Figura 37 – Criação de um arquivo de PCI.



Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 38 – Ambiente de criação de PCIs.



Fonte: *Software Altium Designer.*

Assim como no ambiente de criação de esquemáticos, a barra de navegação no canto superior da área central de desenho apresenta diferenças quanto à barra de navegação de criação de bibliotecas de PCI. A Figura 39 mostra a barra de navegação completa do ambiente de PCI, com alguns ícones já explicados. Na Figura 40, são mostrados as novas funcionalidades, que são inserção de componente; inserção de trilhas; modificação interativa de largura de trilhas; inserção de *pads* e vias; e inserção de malhas.

Figura 39 – Barra de navegação do ambiente de PCI.



Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 40 – Funcionalidades novas da barra de navegação do ambiente de PCI.

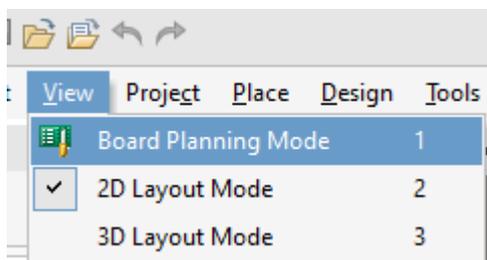


Fonte: *Software Altium Designer.*

Na criação de PCIs, existe uma nova funcionalidade, o modo de planejamento de placa (*board planning mode*), que é a edição das medidas físicas e formato da PCI, que pode ser acessada apertando a tecla “1” no teclado (acima das letras, não no teclado

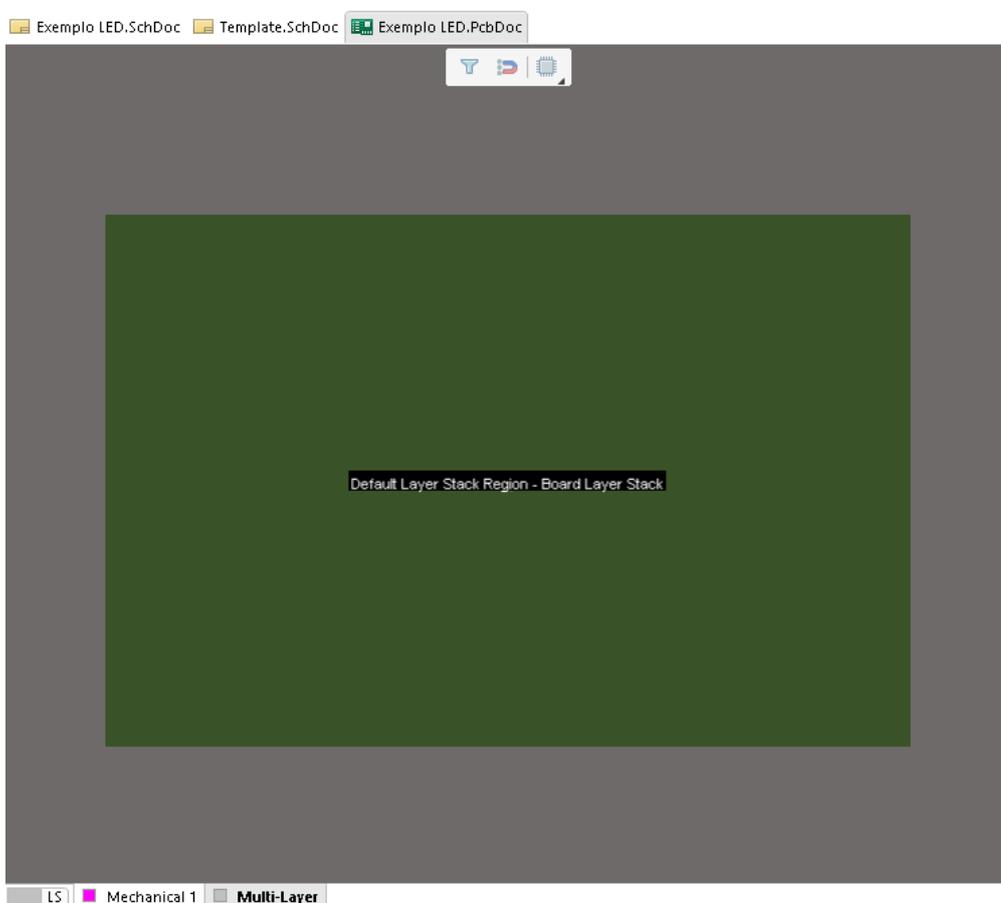
numérico) ou acessando através do menu em destaque mostrado na Figura 41. Então, o ambiente ficará como mostrado na Figura 42, com a placa em verde. Através do menu de *design*, conforme mostrado na Figura 43, é possível fazer mudanças no formato e nas medidas da PCI.

Figura 41 – Acesso do modo de planejamento de placa.



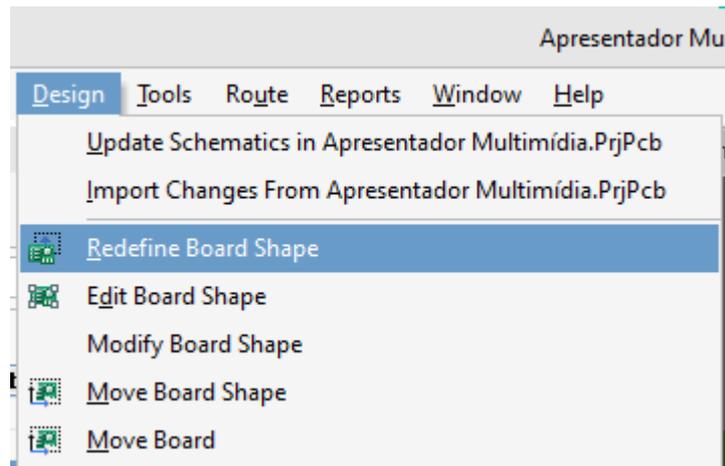
Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 42 – Ambiente do modo de planejamento de placa.



Fonte: *Software Altium Designer*.

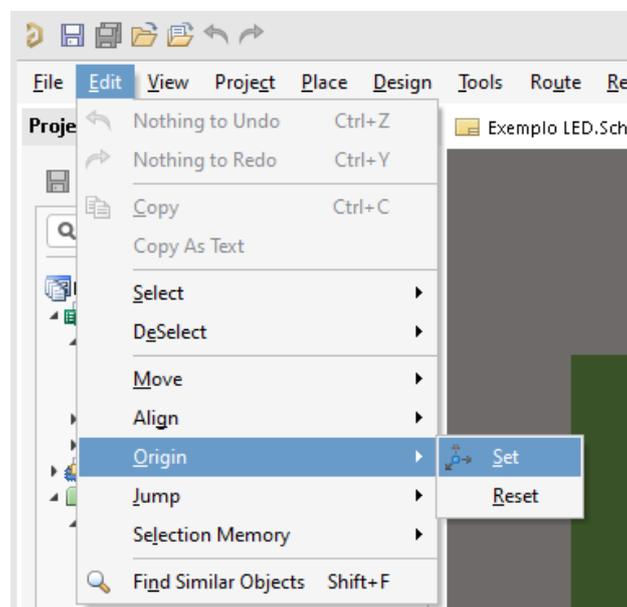
Figura 43 – Menu de *design* do modo de planejamento de placa.



Fonte: *Software Altium Designer*.

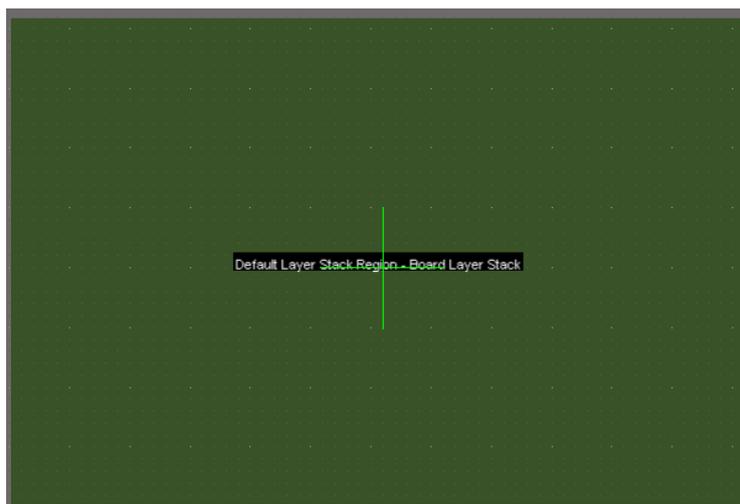
Antes de redefinir o tamanho da PCI, é possível redefinir a origem para o ponto central da PCI, afim de melhorar a utilização do sistema de coordenadas, através do menu de edição, conforme mostrado na Figura 44. Então, a origem é redefinida para o centro do área, conforme mostrado na Figura 45. Então, é feito a redefinição do formato e tamanho da PCI, usando o comando selecionado na Figura 43. Como o projeto de exemplo é pequeno, é escolhido usar um tamanho de placa 50 x 50 mm, com as bordas cortadas, conforme mostrado na Figura 46. Ao fim, é apertado o botão direito do mouse para deixar a PCI naquele formato.

Figura 44 – Menu de redefinição do ponto de origem do sistema de PCI



Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 45 – Redefinição do ponto de origem da área central de desenho de PCI



Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 46 – Redefinição do tamanho e formato da PCI.

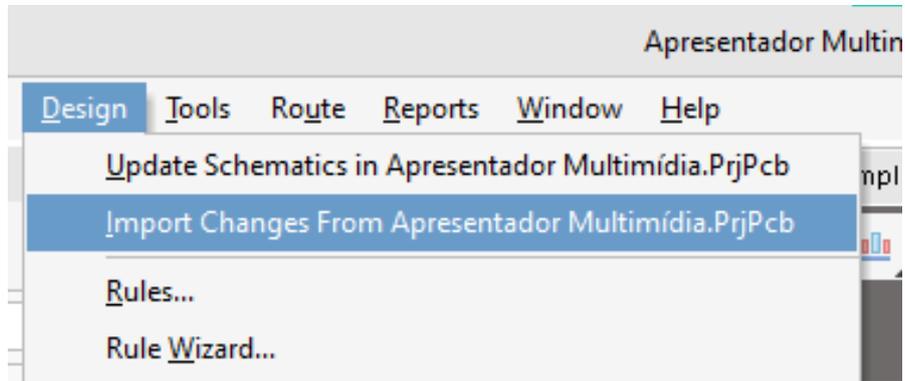


Fonte: *Software Altium Designer*.

Após redefinir o tamanho e formato da PCI, é possível voltar para o modo de *layout 2D*, através do mesmo menu da Figura 41, ou apertando o botão “2” do teclado. A tela mostrada na Figura 47 (b) abrirá, na qual desmarca-se as opções adicionar classe de componentes (*add component classes*) e adicionar regiões (*add rooms*), pois servem apenas para organizar os componentes de cada esquemático numa mesma região, porém, como temos apenas um esquemático, não são necessárias. Após essa alteração, pode-se clicar em executar mudanças (*execute changes*) e fechar essa janela. Então, são importadas as mudanças dos arquivos do esquemático, importando os componentes do

circuito e suas conexões, que aparecerão ao lado da placa, conforme mostrado na Figura 47 (c).

Figura 47 – Importação de mudanças dos esquemáticos. (a) Acesso através do menu; (b) Janela de execução de mudanças; (c) Resultado visto no ambiente de PCI.

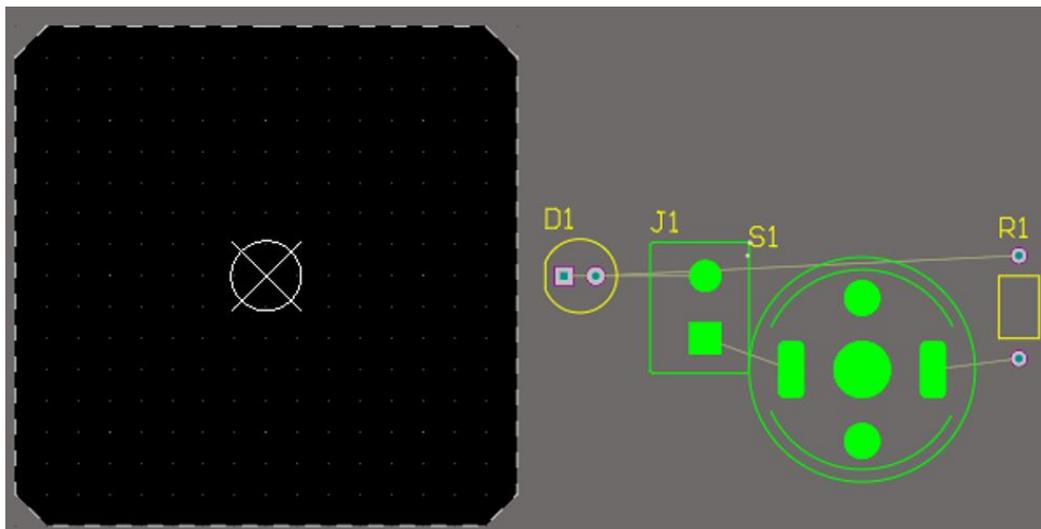


(a)

Modifications					Status		
Enable	Action	Affected Object		Affected Document	Check	Done	Message
Add Components(4)							
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	D1	To	Exemplo LED.PcbDoc			
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	J1	To	Exemplo LED.PcbDoc			
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	R1	To	Exemplo LED.PcbDoc			
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	S1	To	Exemplo LED.PcbDoc			
Add Nets(4)							
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	GND	To	Exemplo LED.PcbDoc			
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	NetD1_A	To	Exemplo LED.PcbDoc			
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	NetU1_+	To	Exemplo LED.PcbDoc			
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	NetR1_1	To	Exemplo LED.PcbDoc			

Buttons at the bottom: Validate Changes, Execute Changes, Report Changes..., Only Show Errors (checkbox).

(b)



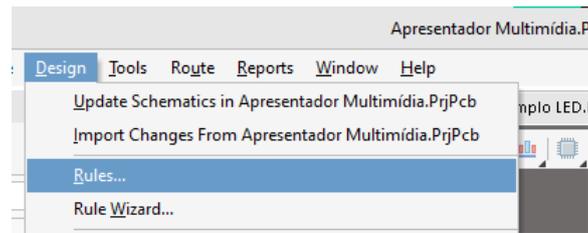
(c)

Fonte: *Software Altium Designer*.

Os componentes verdes significam que há conflito entre eles. Os conflitos dependem das regras, que serão explicadas a seguir, e devem ser, sempre que possível, resolvidos. Apenas no caso de um conflito que seja muito dispendioso sua resolução, por exemplo, numa placa muito grande que já esteja quase pronta, e que o projetista saiba que esses conflitos não apresentarão problema, uma regra pode ser alterada para resolver o conflito. É recomendado definir as regras antes de projetar o *layout*, de acordo com o projeto, e não modificadas durante a execução deste, visto que elas servem justamente para verificação de erros ou problemas.

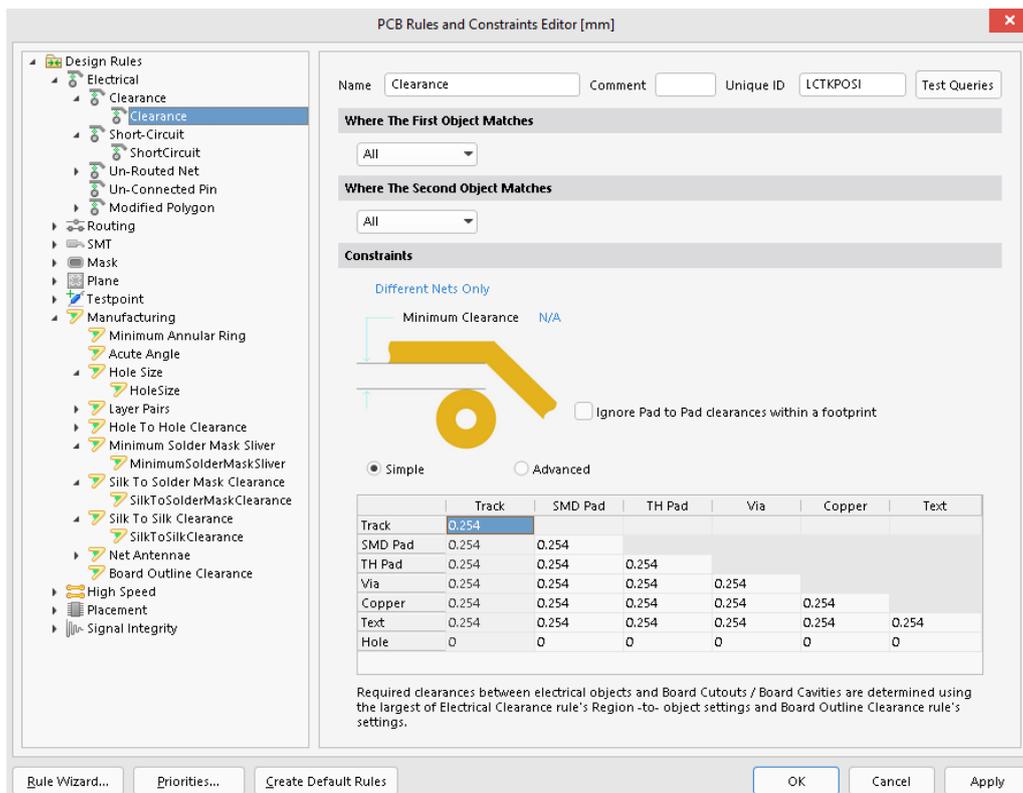
A Figura 48 mostra como acessar o menu de regras, através do menu superior de *design*, e a Figura 49 mostra o menu de regras aberto. Como pode ser visto na região esquerda da Figura 49, a quantidade de regras existente é bem extensa, e foge ao escopo deste trabalho aprofundamento neste assunto. O interesse é apenas mostrar a existência dessas regras e explicar a utilidade dessa funcionalidade. Algumas regras importantes são as de largura de trilhas e de distância entre objetos do circuito, como componentes, trilhas, *pads* e vias. Ademais, o menu de regras se mostra, de forma geral, bem autoexplicativo, caso o usuário queira se aprofundar mais. Porém, caso seja necessário, também existem tutoriais mais detalhados na internet que abordam a fundo esta funcionalidade.

Figura 48 – Acesso ao menu de regras.



Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 49 – Visão geral do menu de regras.



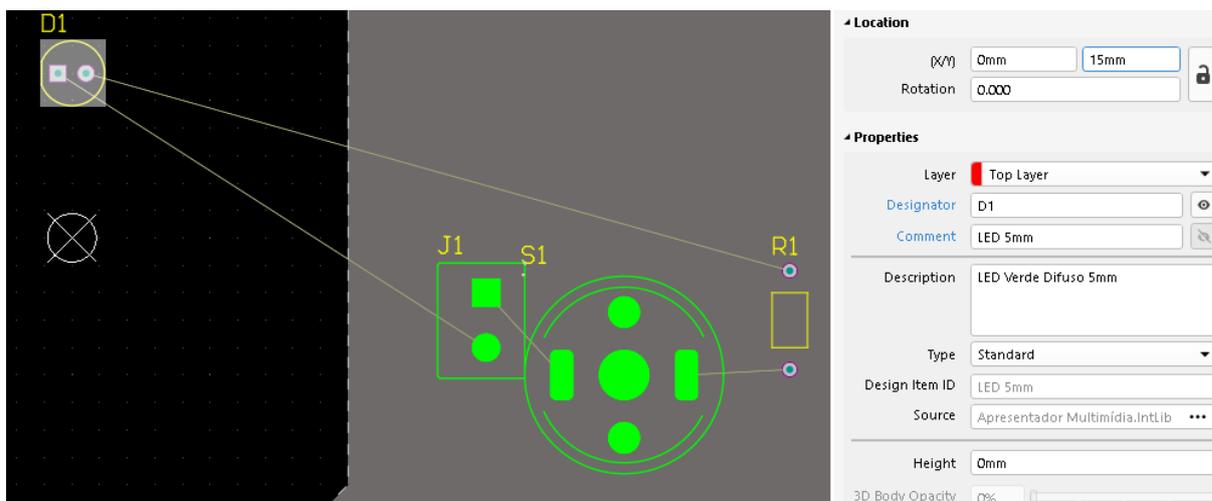
Fonte: *Software Altium Designer.*

Após conhecer o menu de regras, mostra-se que é possível reorganizar os componentes, seja clicando neles e arrastando ao ponto desejado, ou escolhendo, manualmente, as coordenadas X e Y, do componente, conforme mostra a Figura 50, prática que costuma fornecer melhor exatidão aos projetos. De forma análoga, são repositionados todos os componentes para as posições desejadas, obtendo o resultado mostrado na Figura 51. Então, é possível fazer a ligação entre os componentes utilizando trilhas, previamente selecionando a *layer* em que se deseja fazer as trilhas nas abas inferiores e então, desenhando-as de um componente a outro, conforme mostra a Figura

44.

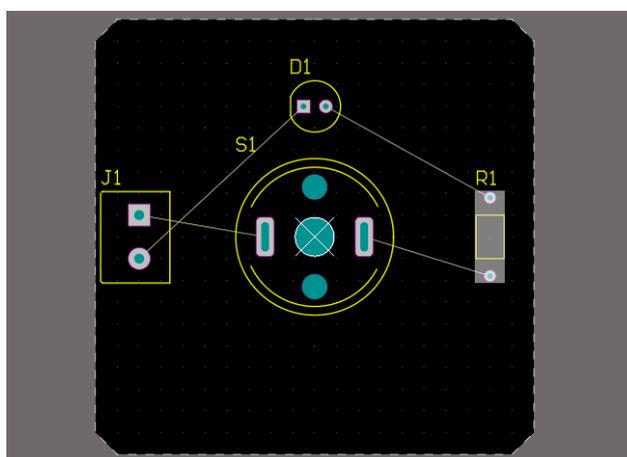
A Figura 53 mostra a possibilidade de mudança da *layer* atual em que se está desenhando as trilhas. É comum os componentes estarem todos de um mesmo lado da PCI e as trilhas no lado oposto, sendo utilizadas trilhas no mesmo lado dos componentes apenas quando necessário. Nesse projeto de exemplo, embora não há necessidade de trilhas dos dois lados, foi escolhido fazê-lo para exemplificar a possibilidade. O resultado do *layout* do circuito pode ser visto na Figura 54. Quanto da construção de trilhas, é recomendado evitar ângulos de 90° ou maiores, devido a propriedade física conhecida como “poder das pontas”, que causa a acumulação de cargas em regiões pontiagudas, o que pode causar interferência.

Figura 50 – Reposicionamento dos componentes através de coordenadas.



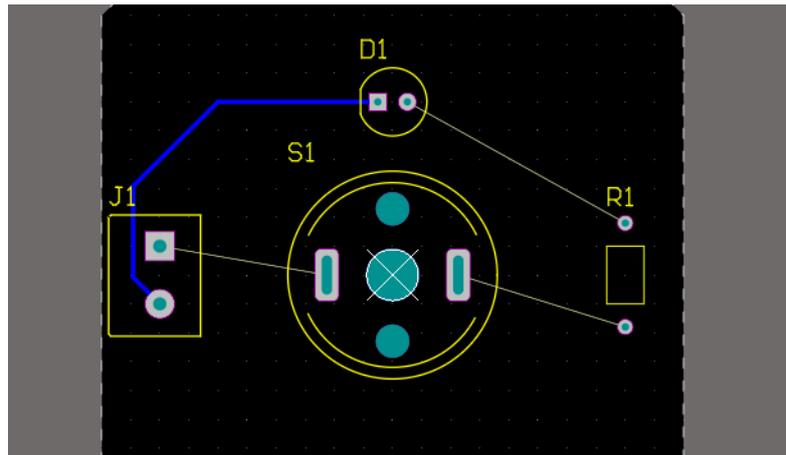
Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 51 – Componentes reposicionados.

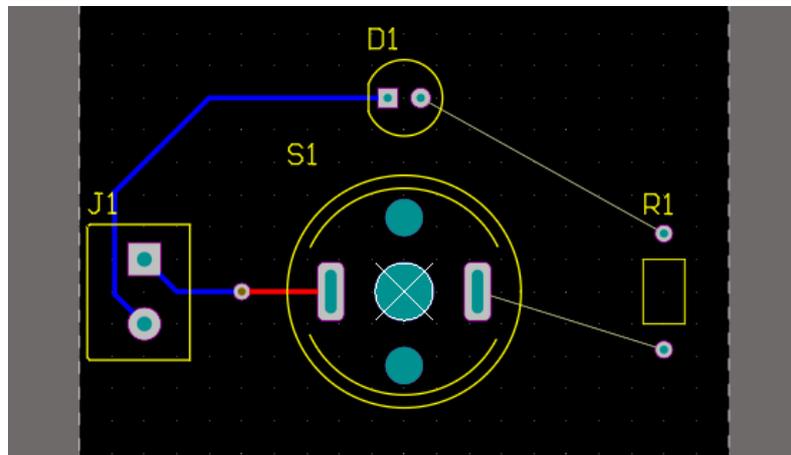


Fonte: *Software Altium Designer*.

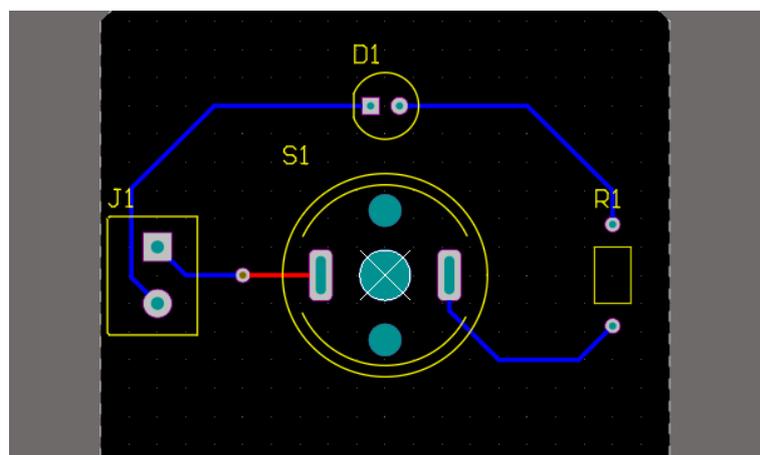
Figura 52 – Ligação entre os componentes.



Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 53 – Utilização de vias para mudar a *layer* da trilha.

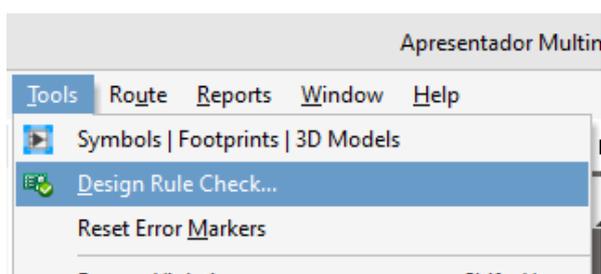
Fonte: *Software Altium Designer.*

Figura 54 – Resultado do *layout* construído.

Fonte: *Software Altium Designer.*

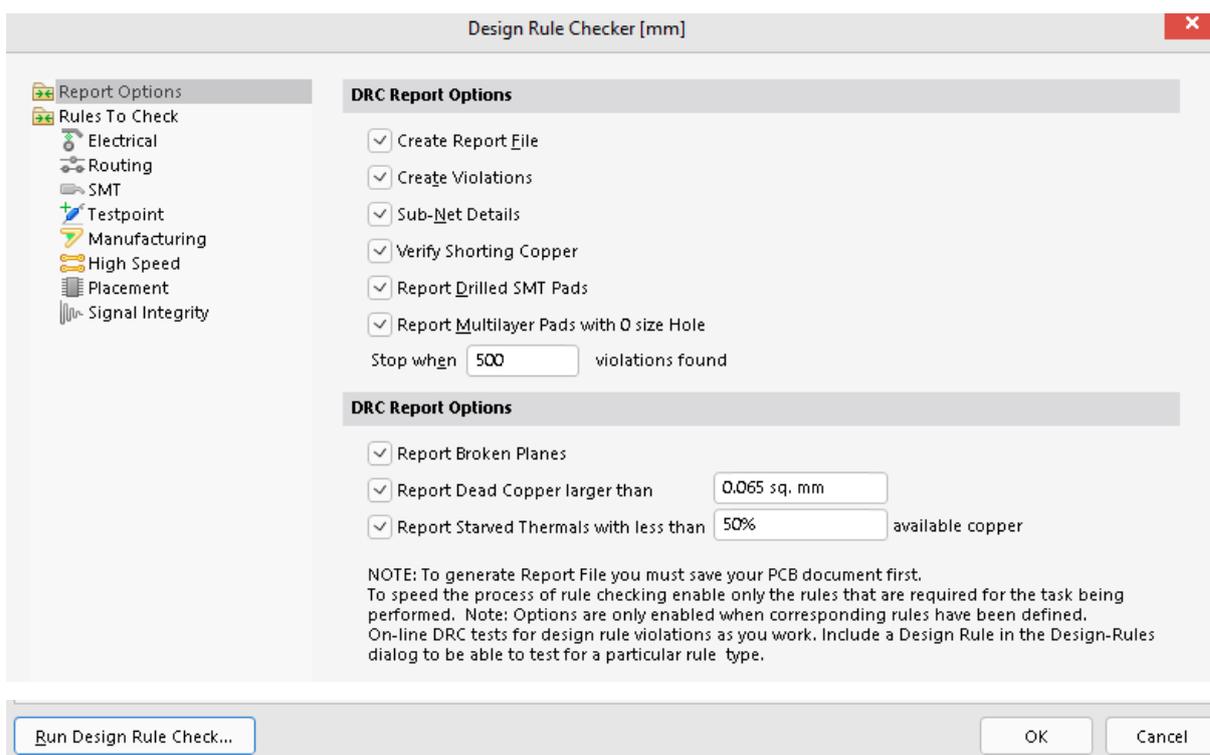
Com o *layout* finalizado, assim como a compilação das ferramentas de esquemático, existe uma ferramenta de verificação de erros, a verificação de regras de *design* (*design rules check*), através do menu de ferramentas (*tools*) mostrada na Figura 55. A Figura 56 mostra a janela desse modo em detalhe, no qual, deve-se clicar no canto inferior esquerdo, em executar verificação de regras de *design* (*run design rules check*). A Figura 57 mostra a página de resultado, onde a ferramenta lista o número de possíveis problemas, os separa possíveis em diferentes tipos e depois descreve cada um, separado pelos tipos

Figura 55 – Acesso a verificação de regras de *design*.

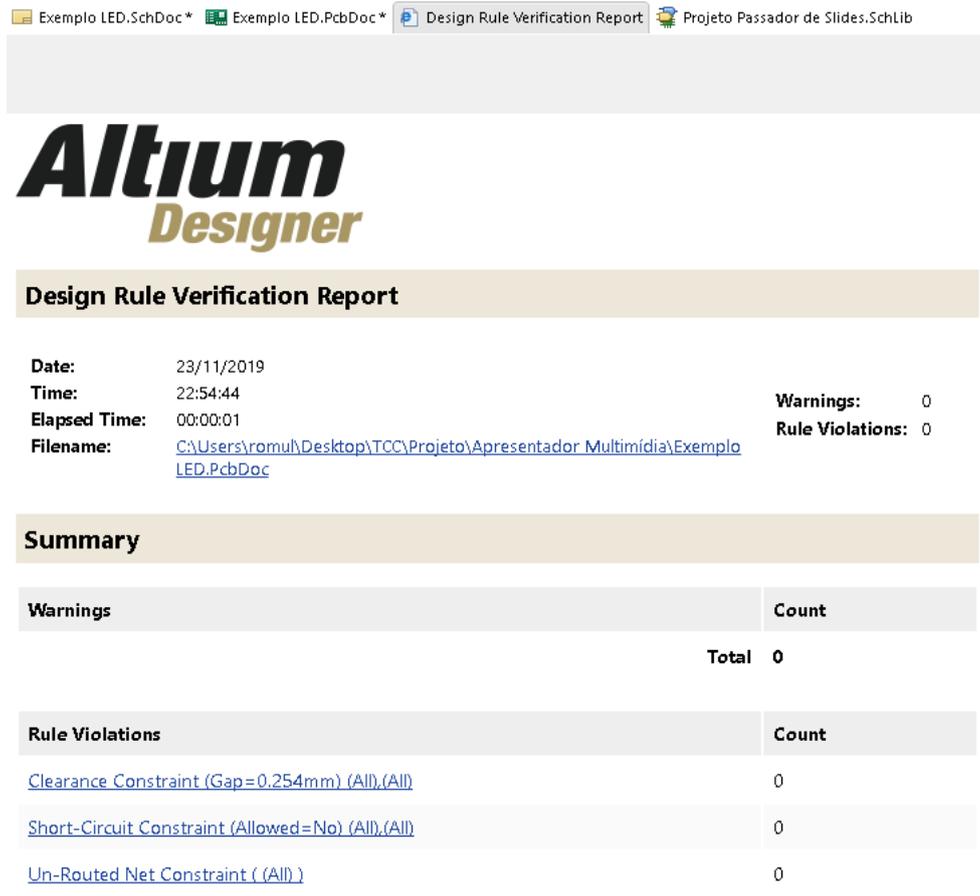


Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 56 – Janela de verificação de regras de *design*.



Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 57 – Resultado da verificação de regras de *design*.


Exemplo LED.SchDoc * Exemplo LED.PcbDoc * Design Rule Verification Report Projeto Passador de Slides.SchLib

Altium Designer

Design Rule Verification Report

Date: 23/11/2019
Time: 22:54:44
Elapsed Time: 00:00:01
Filename: [C:\Users\romul\Desktop\TCC\Projeto\Apresentador_Multimidia\Exemplo LED.PcbDoc](#)

Warnings: 0
Rule Violations: 0

Summary

Warnings	Count
Total	0

Rule Violations	Count
Clearance Constraint (Gap=0.254mm) (All),(All)	0
Short-Circuit Constraint (Allowed=No) (All),(All)	0
Un-Routed Net Constraint (All)	0

Fonte: *Software Altium Designer*.

Como não há nenhum erro, significa que o *layout* está bom, e pode ser produzido. Com esse *layout*, é possível gerar o arquivo *Gerber* e arquivo de furações, para produção da placa em fresadeiras, ou o arquivo pdf, para impressão e produção manual. O link Gerando *Gerber* no *Altium Designer* (2015), da empresa Micropress, fornece um bom tutorial para geração do arquivo *Gerber* e as furações.

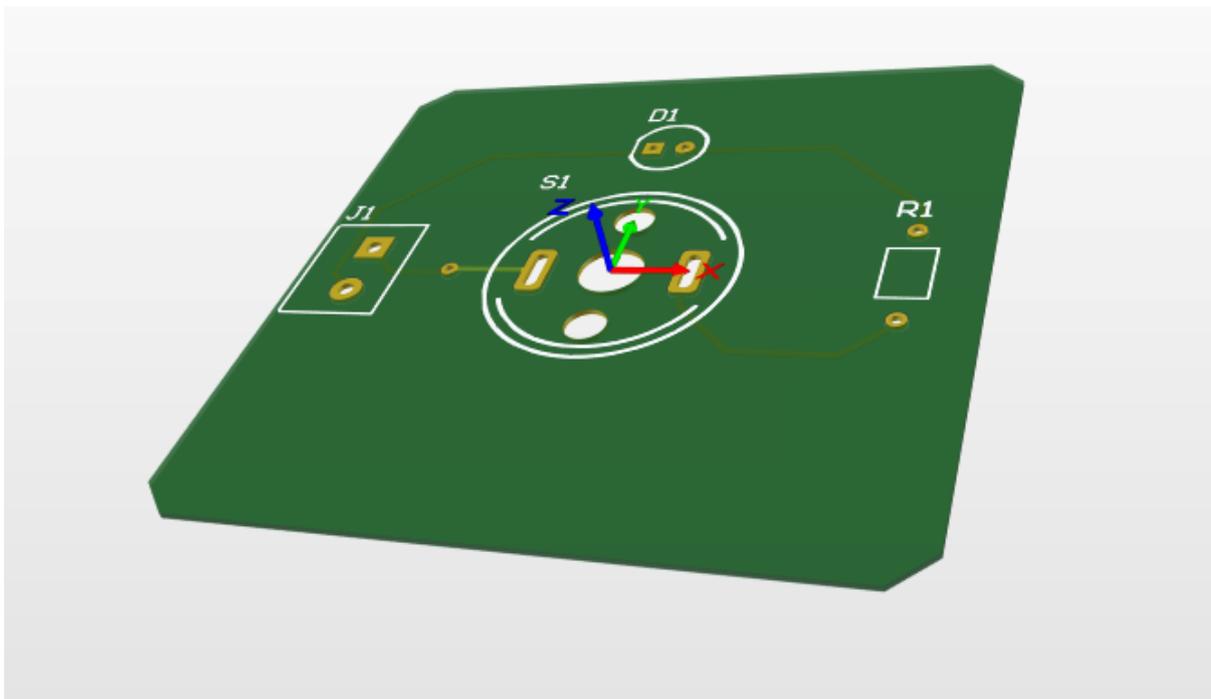
1.2.6 Visualização 3D

O *software* também possui, no ambiente de criação de PCIs, um ambiente de visualização 3D, que pode ser acessado através do mesmo menu da Figura 41 ou apertando a tecla “3” no teclado. Embora limitado, conforme mostrado na Figura 58, o ambiente permite a visualização da PCI montada. Não há nenhum componente, pois os modelos 3D de componentes não foram adicionados na biblioteca. Porém, em outra



seção, esse ambiente será novamente abordado, relacionado com a interação MCAD e ECAD.

Figura 58 – Ambiente de visualização 3D do *Altium Designer*.



Fonte: *Software Altium Designer*.

1.3 Limitações para o Desenvolvimento de Equipamentos Eletrônicos

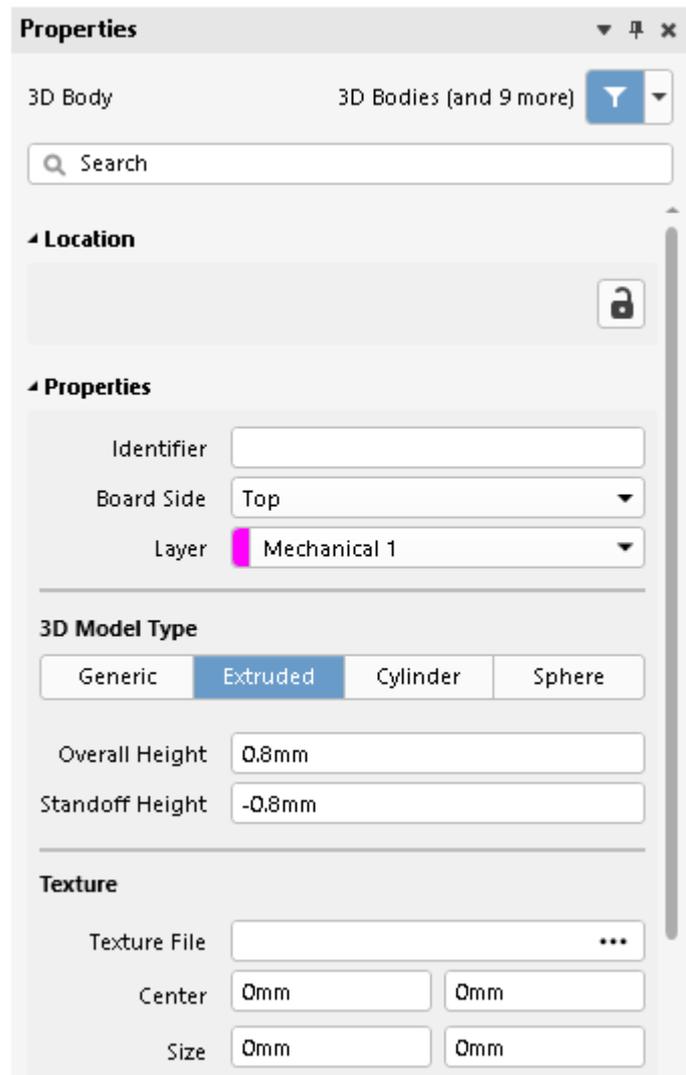
Como citado na seção 3.1.2.6, o *software* possui um ambiente de visualização 3D. Porém, observou-se que ele possui algumas limitações, que são discutidas nesta seção.

1.3.1 Criação de Modelos 3D e Interação no Ambiente de Visualização 3D

O *Altium Designer*, durante a criação de bibliotecas de PCI, permite a criação de modelos 3D através de formas geométricas básicas, conforme mostra a Figura 59. Porém, esse ambiente não possui ferramentas de modelagem 3D mais complexas, como pode ser visto em outras seções que o *Autodesk Inventor* possui. E também, outra funcionalidade limitada do *Altium designer* é o posicionamento e movimentação dos modelos 3D, que, mesmo podendo ser feito por coordenadas, não é muito intuitivo e não possui ferramentas de criação de relações, que permitem posicionar os componentes com funções em relação a planos, eixos, ou outros componentes. Essas características, não muito comuns em

softwares ECAD, como o *Altium Designer*, podem ser supridas pelos *softwares* MCAD, como o *Autodesk Inventor*, visto que são funcionalidades básicas destes.

Figura 59 – Ambiente de criação de modelos 3D do *Altium*.



Fonte: *Software Altium Designer*.

1.3.2 Ausência de Simulação Térmica

Outra funcionalidade possuída por *softwares* MCAD e que os *softwares* ECAD, como o *Altium Designer* não costumam possuir, é a análise por elementos finitos, visto que é um cálculo mais voltado para a engenharia mecânica. Porém, um tipo de análise por elementos finitos que possui grande importância para a engenharia eletrônica e projetos de equipamentos eletrônicos, é a simulação térmica, visto que a temperatura e

dissipação de calor influencia o funcionamento dos componentes eletrônicos. Logo, essa é uma limitação do *Altium Designer* que será suprida utilizando o *Inventor Nastran*.

2 SOFTWARES MCAD UTILIZADOS – AUTODESK INVENTOR E INVENTOR NASTRAN

Nesta seção, é feita a análise do *Autodesk Inventor* e do *Inventor Nastran*, que funciona como uma extensão ao *Inventor*, destacando algumas funcionalidades básicas, necessárias ao desenvolvimento de equipamentos eletrônicos utilizando a colaboração MCAD e ECAD. Esta seção é focada nas funcionalidades destes *softwares* que são importante para suprir as limitações dos *softwares* ECAD, levantadas na subseção 1.3.

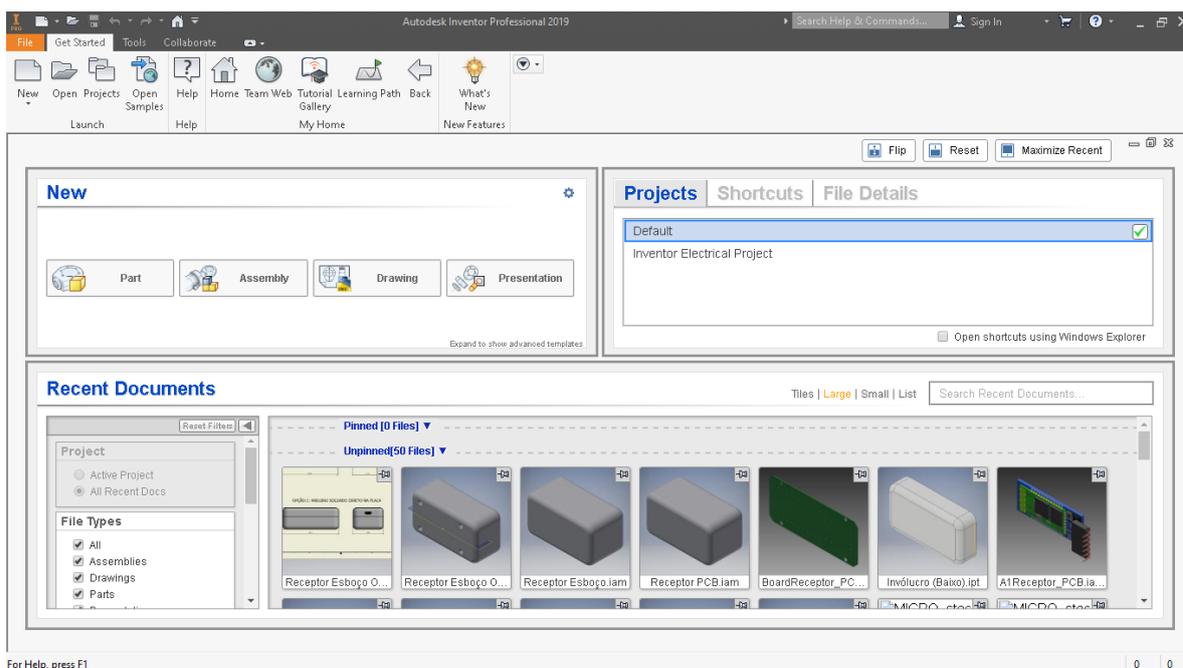
2.1 Características Gerais do Autodesk Inventor

O *Autodesk Inventor* é um *software* MCAD que permite a criação de projetos mecânicos em 3D, através da criação de peças (*parts*) e de montagens (*assemblies*), que são arquivos com mais de uma peça conectadas entre si em pontos específicos. O *software* também possui a funcionalidade de cálculos de tensões, esforços e outras análises mecânicas, através de cálculos por análise por elementos finitos. E a utilização do *Inventor Nastran* como extensão fornece ainda mais possibilidades de cálculos por elementos finitos, como as análises térmicas, que são interessantes para os projetos de equipamentos eletrônicos.

A Figura 60 mostra o ambiente de inicialização do *Autodesk Inventor*. À esquerda, no centro, existe o menu atalho de criação de novos arquivos, que, da direita pra esquerda são: peças (*parts*), montagens (*assemblies*), desenho 2D (*drawing*) e apresentação (*presentation*). À sua direita, existem os menus de projetos, atalhos e detalhes de arquivos. Abaixo, há o menu de documentos recentes, facilitando o acesso a estes. Acima, há uma barra de ferramentas onde da direita para a esquerda, respectivamente, tem-se os botões de: criação de novos arquivos; abrir arquivos; projetos; abrir exemplos; ajuda; voltar ao menu inicial (o da Figura 60); página da internet; galeria de tutoriais; tutoriais sequenciais; voltar; e verificação de novas funcionalidades.



Figura 60 – Ambiente de inicialização do Autodesk Inventor.



Fonte: Software Autodesk Inventor.

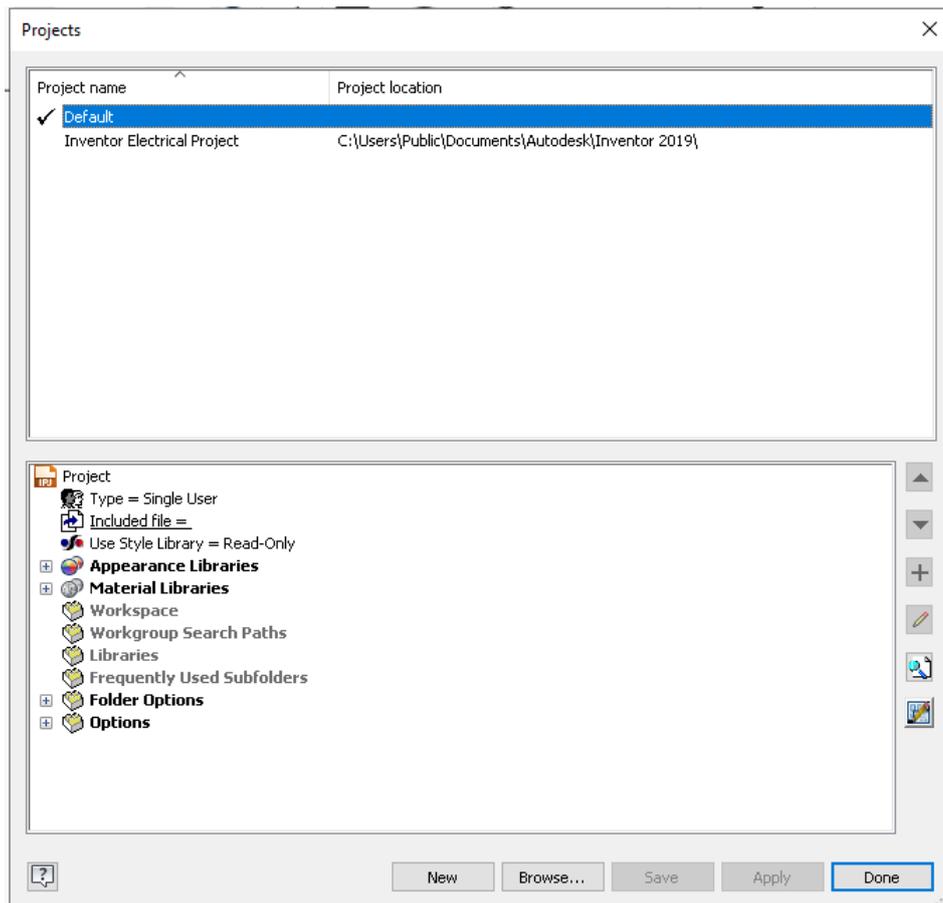
2.2 Noções Básicas de Criação de Projetos Mecânicos

Nesta subsecção são demonstradas e explicadas algumas noções e funcionalidades essenciais do Autodesk Inventor para criação de projetos mecânico.

1.2.1 Criação de Projetos

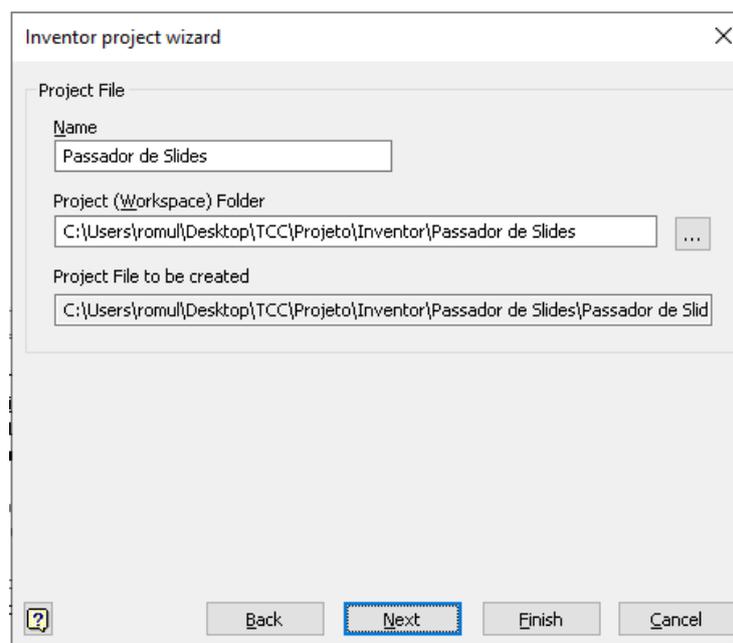
A Figura 61 mostra o ambiente de criação de projetos, que pode ser aberto através do botão projetos (*projects*), na barra de ferramentas superior dessa Figura. É possível a criação de um novo projeto clicando no botão novo (*new*) no canto inferior esquerdo da janela. Abrirá uma janela perguntando o tipo de projeto, pode-se criar um projeto de usuário único ou compartilhado. Em seguida, ao clicar em próximo (*next*), abre a janela da Figura 62, na qual é possível escolher o nome e a pasta a ser salvo o projeto. Em seguida, pode-se clicar em terminar (*finish*) e o projeto já aparecerá no ambiente de gerenciamento de projetos, como mostrado na Figura 63. Então, ao fechar a aba de projetos, na tela inicial pode-se ver o novo projeto criado no menu de projetos, conforme a Figura 64.

Figura 61 – Ambiente de gerenciamento de projetos.



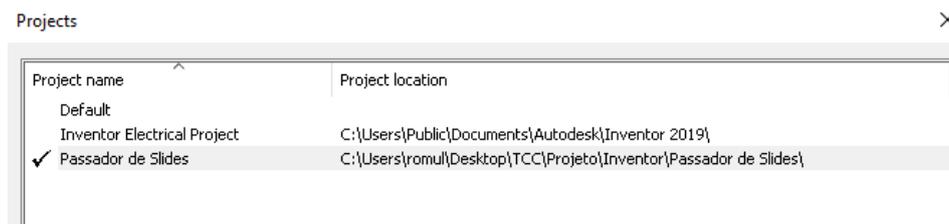
Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 62 – Criação de projeto no Autodesk Inventor.



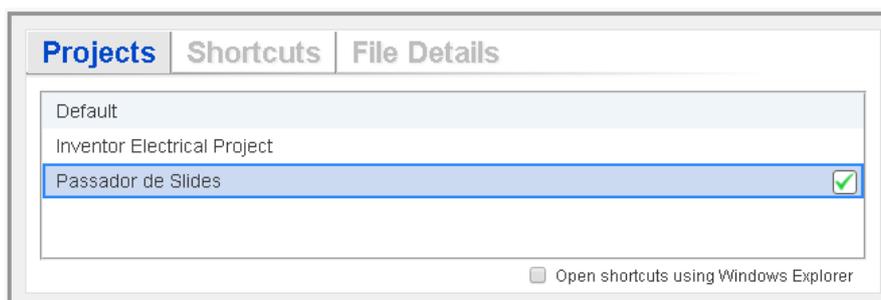
Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 63 – Ambiente de gerenciamento de projetos com o novo projeto criado.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 64 – Menu de projetos da tela inicial com o novo projeto.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

2.2.2 Criação de Peças

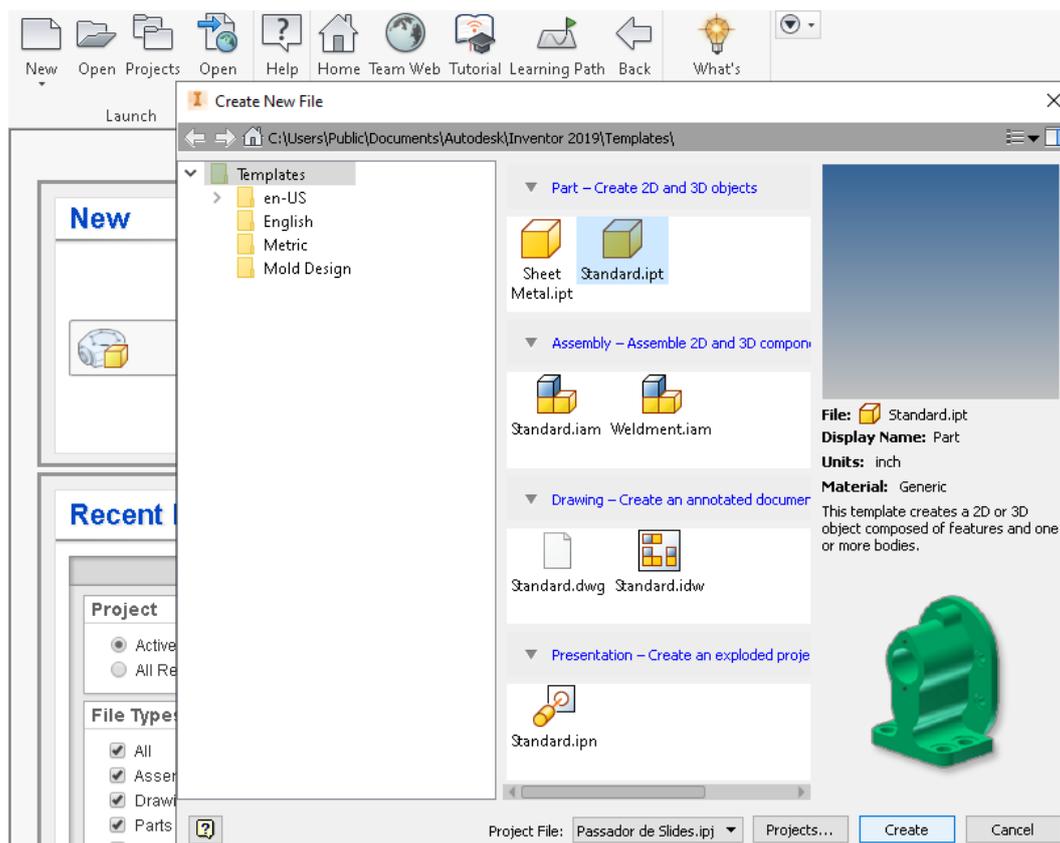
Nesta seção é abordada a criação de peças, que pode ser feita através do menu de criação de arquivos novos, clicando em peças (*parts*), conforme mostrado na Figura 65, ou apertando o botão novo (*new*) na barra de ferramentas superior e escolhendo o tipo de arquivo novo, conforme a Figura 66, na qual é possível ver que existem dois tipos de peças, padrão e folha de metal (*sheet metal*). A diferença é que as peças do tipo padrão são feitas por injeção de material, fundição ou impressão 3D, já as peças do tipo folha de metal são feitas com folhas de metal dobradas.

Figura 65 – Criação de peça através do menu de criação de arquivos novos.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

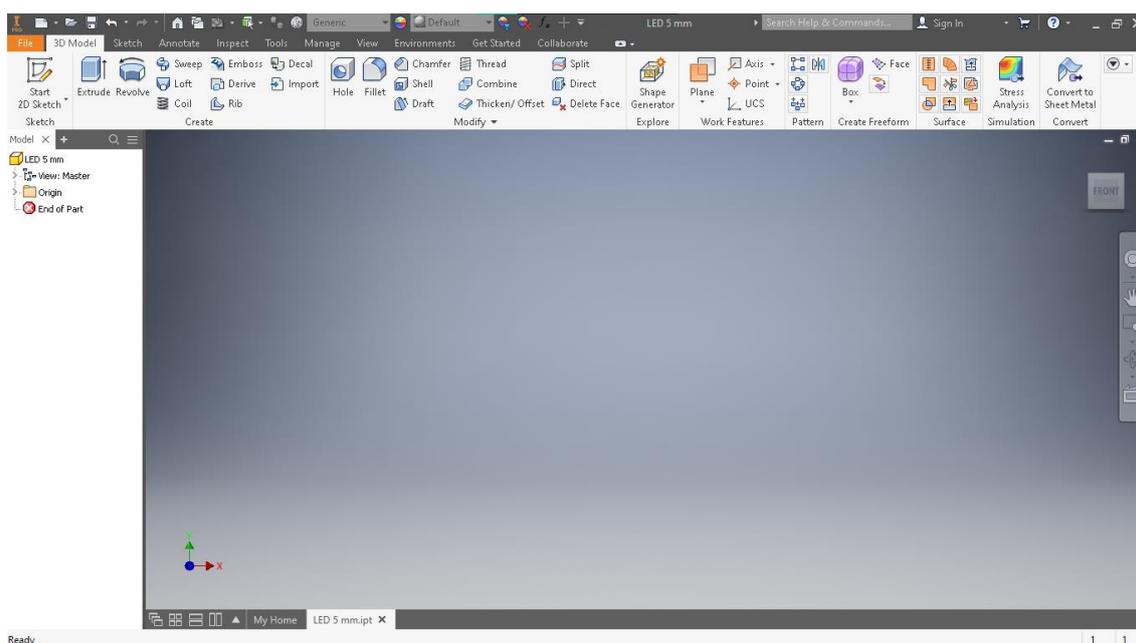
Figura 66 – Criação de peça através da barra de ferramentas superior.



Fonte: Software Autodesk Inventor.

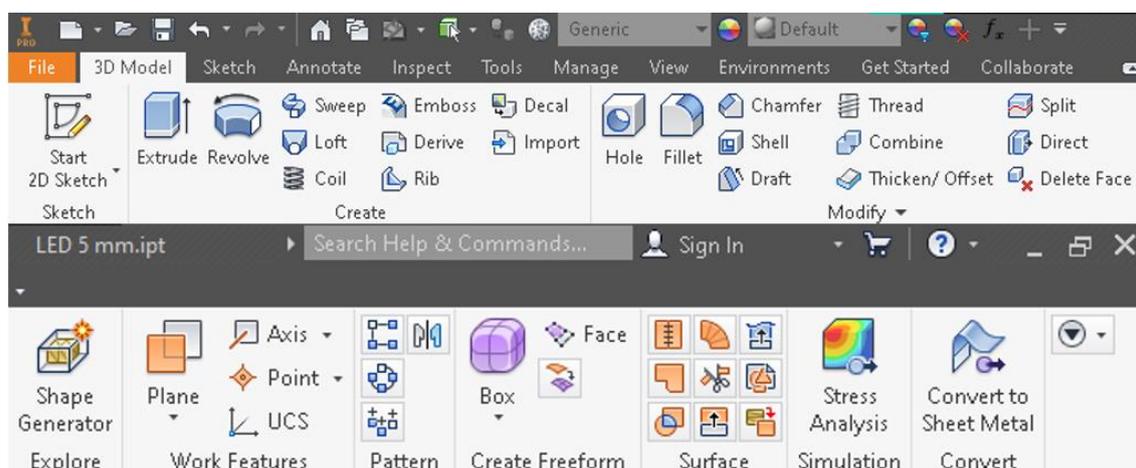
A Figura 67 mostra o ambiente de criação de peça do tipo padrão. A barra lateral esquerda mostra a árvore de *design* (*design tree*), onde aparecem os comandos que foram utilizados para modelar uma peça. Acima, há várias abas, como pode-se ver em destaque na Figura 68. Como há muitas abas, e foge ao escopo desse trabalho, pois não será utilizado, serão explicadas apenas as duas primeiras, da direita para a esquerda, respectivamente, a de modelo 3D (*3D Model*), que possui diversas funcionalidades para construções de estruturas 3D, e o de esboço (*sketch*), que é utilizado para desenho dos esboços 2D que servem de base para os comandos de modelo 3D.

Figura 67 – Ambiente de criação de peça do tipo padrão.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

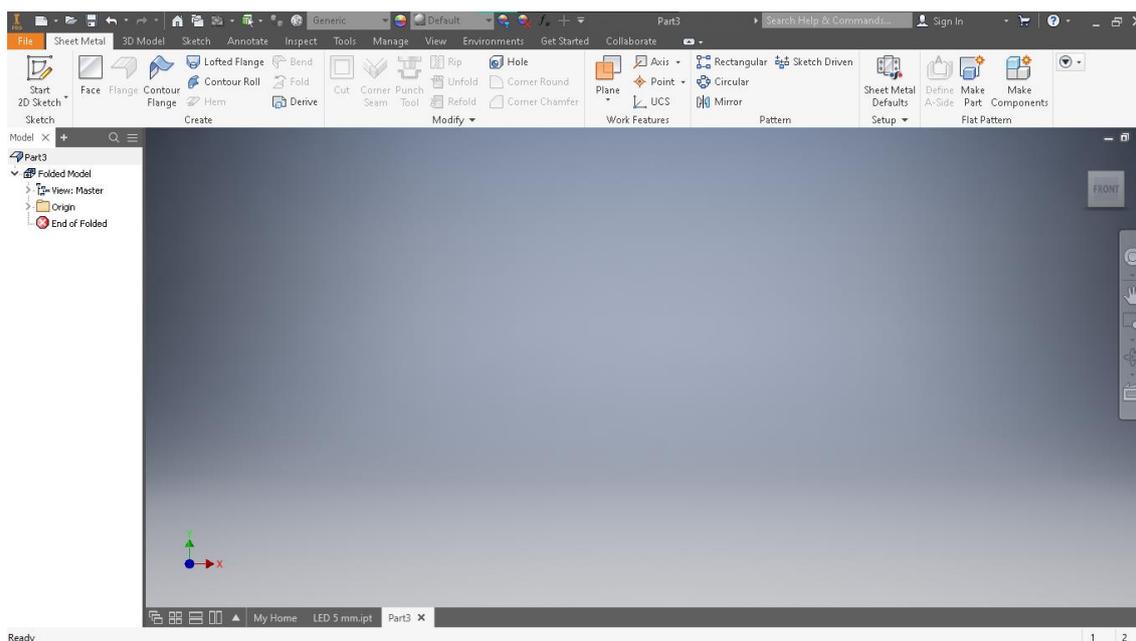
Figura 68 – Barra superior do ambiente de criação de peça do tipo padrão.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

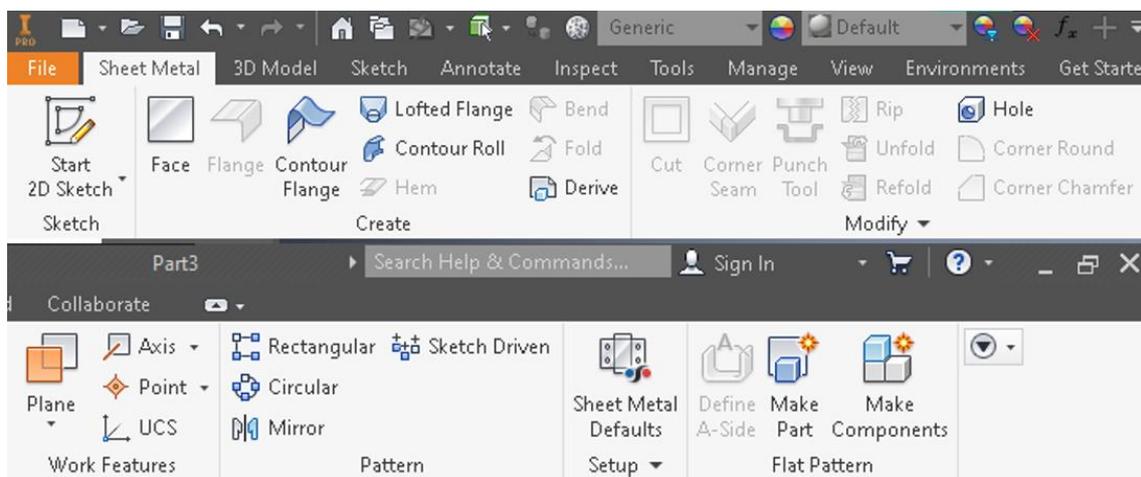
A Figura 69 mostra o ambiente de criação de peça de folha de metal, que é muito semelhante ao de ambiente de peça padrão. A diferença é que há a adição de uma nova aba, a aba de folha de metal, conforme mostrado na Figura 70, onde há comandos para criação de modelos 3D baseados em folhas de metal, como criação de dobras, espessura da folha, dentre outros, também baseados em esboços 2D. Porém, nesse tipo de peça, também é possível a utilização dos comandos de modelo 3D das peças do tipo padrão.

Figura 69 – Ambiente de criação de peça do tipo folha de metal.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 70 – Barra superior do ambiente de criação de peça do tipo folha de metal.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

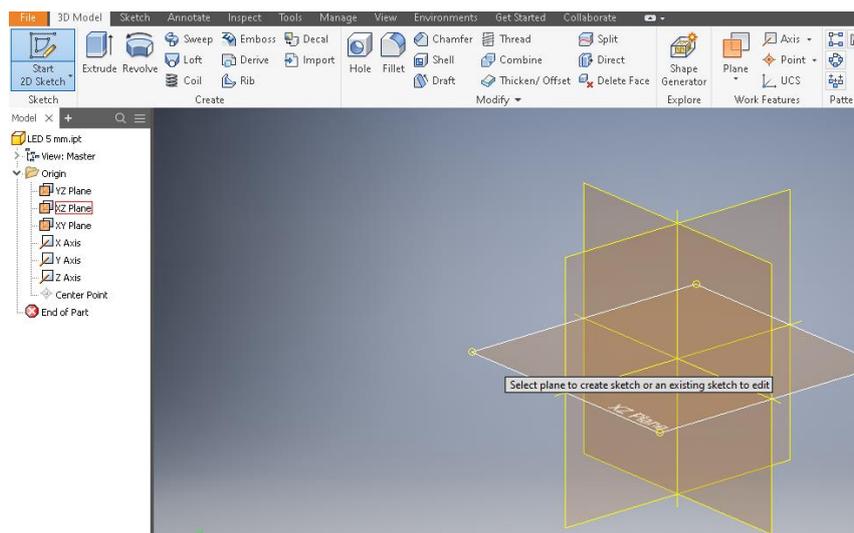
2.2.2.1 Esboços 2D

Os esboços 2D são partes fundamentais da criação de qualquer peça, visto que os modelos 3D são construídos em função de esboços 2D, interagindo com eles de diversas formas, discutidas na próxima subseção. Esta seção é dedicada a criação de modelos 2D, explicação das funcionalidades e exemplificação. Primeiramente, para o uso dos esboços 2D, deve ser criado um esboço 2D em algum plano.



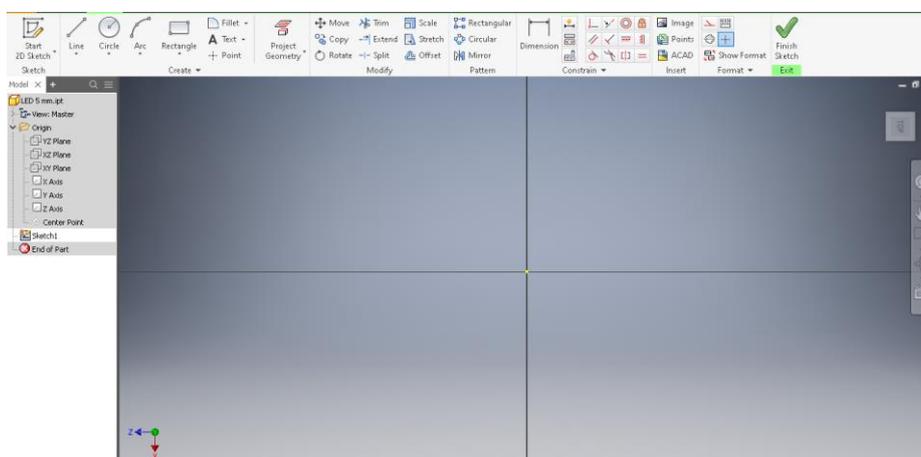
Ao criar o primeiro esboço 2D da peça, normalmente não há nenhum plano visível, então ao clicar na funcionalidade criar esboço 2D (*start 2D sketch*), são mostrados os 3 planos básicos da peça, XY, YZ e XZ, conforme a Figura 71. Seleciona-se um dos planos para começar o esboço, é selecionado o plano XZ, e então, ele é colocado em destaque e numa visualização 2D, conforme a Figura 72. É possível perceber a esquerda da Figura 72, que a árvore de *design* está toda cinza, exceto o “*Sketch1*”, que é a característica que acabou de ser criada e está atualmente aberta e editável

Figura 71 – Planos XY, YZ e XZ para criação de um esboço 2D.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

Figura 72 – Criação de esboço 2D no plano XZ.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

Então, percebe-se que a aba superior de esboço (*sketch*) é selecionada automaticamente e está destacada, conforme a Figura 73. Essa aba possui várias funções de manipulação do esboço 2D, divididas em 6 espaços: criar (*create*); modificar (*modify*); padrões (*pattern*); confinamento (*constraints*); inserir (*insert*); e formato (*format*). As usadas são as quatro primeiras. Uma funcionalidade útil do *software* é que se você posicionar o mouse sobre um comando e esperar, ele descreve o comando por escrito e mostra uma figura de exemplo, conforme a Figura 74, o que melhora o aprendizado e utilização deste.

O espaço de criar permite criar diferentes formas geométricas, criar arredondamentos (*fillets*), inserção de texto, criação de pontos e projeção de geometria, que é o “aproveitamento” de um traço que já existe na peça e projeção deste neste esboço 2D, que não pode ser visto nesse momento pois a peça está vazia. O de modificar, como o nome sugere, possui funcionalidades que modificam o desenho já feito, movendo, copiando, rotacionando, cortando, estendendo, dividindo, aumentando ou diminuindo com base em escala, esticando, ou duplicando com um certo *offset*.

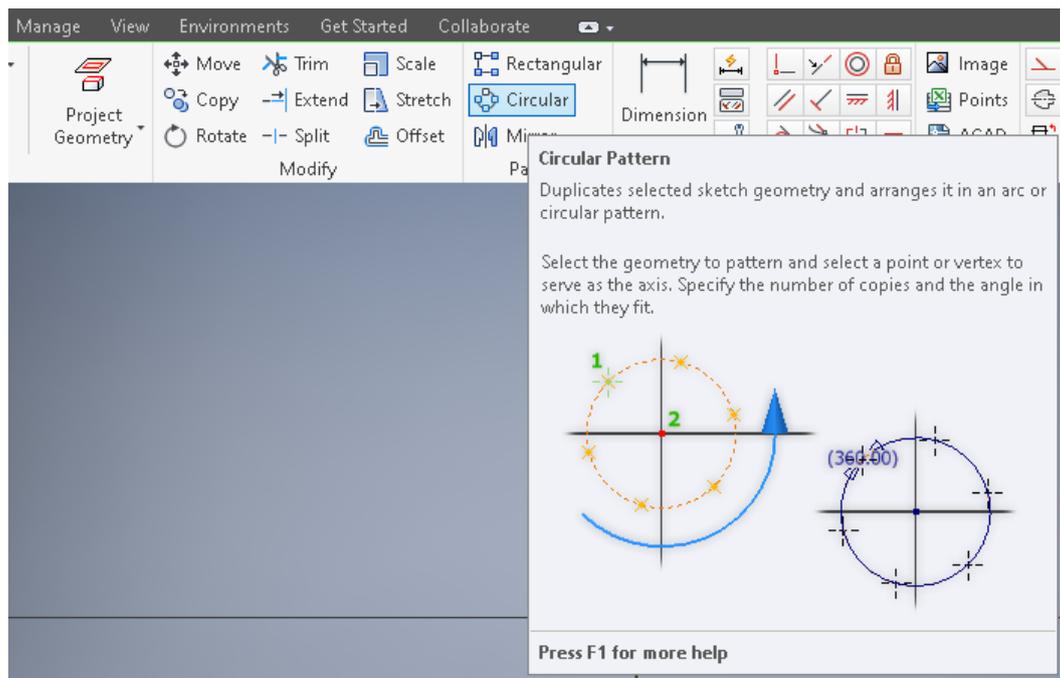
O espaço denominado padrões é utilizado para replicação de desenhos selecionados em padrões, sejam eles retangulares, se estendendo por um ou dois eixos, tantas vezes, a cada uma distância escolhida, circulares, em relação a um ponto, um certo número de vezes, dentro de um certo ângulo, ou espelhados, em relação a um eixo escolhido. Já o de relações permite fixar formas geométricas com relação a outras de diferentes formas, seja através de uma determinada dimensão, determinando que as duas formas devem ser coincidentes, tangentes, dentre outras.

Figura 73 – Aba esboço (*sketch*) da barra superior.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

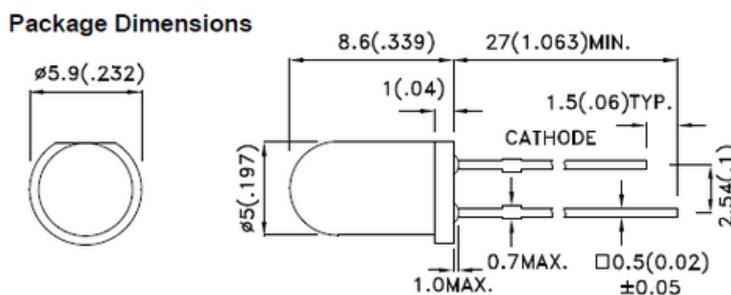
Figura 74 – Descrição de um comando com o mouse sobre ele.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

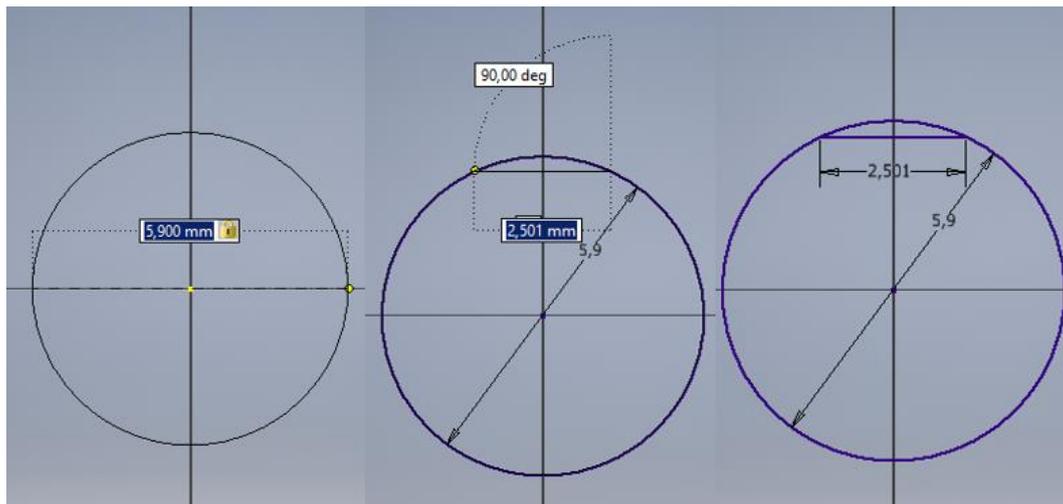
Como exemplo, são desenhados os esboços para desenho do modelo 3D de um LED, de acordo com as medidas da Figura 75 (Igual a Figura 12, repetida apenas para facilitar a visualização e leitura do trabalho). A Figura 75 mostra o esboço da base do LED, feita utilizando primeiro a ferramenta de círculo, depois a de linha, para marcar o chanfro do LED, e a de dimensão para limitar a linha, que foi selecionada arbitrariamente, visto que não estava disponível na Figura 75 e não é uma dimensão de grande importância. Para a criação de outro esboço 2D da base do LED, é necessário criá-lo em um plano paralelo ao XZ, distando de 1 mm, o que pode ser feito clicando no plano XZ e arrastando, e posteriormente digitando a dimensão, conforme a Figura 77.

Figura 75 – Informações das medidas físicas de um LED de 5 mm segundo *datasheet*.



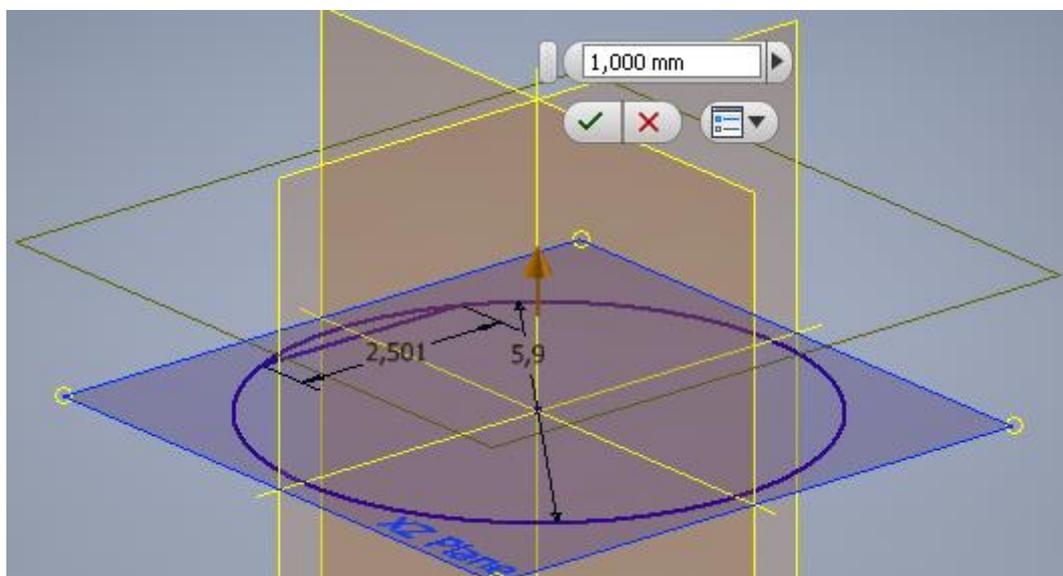
The LED Datasheet | All About LEDs | Adafruit Learning System, 2019.

Figura 76 – Esboço da base do LED, usando a ferramenta de círculo, linha e dimensão



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 77 – Criação de esboço no plano paralelo ao XZ, distando de 1 mm.



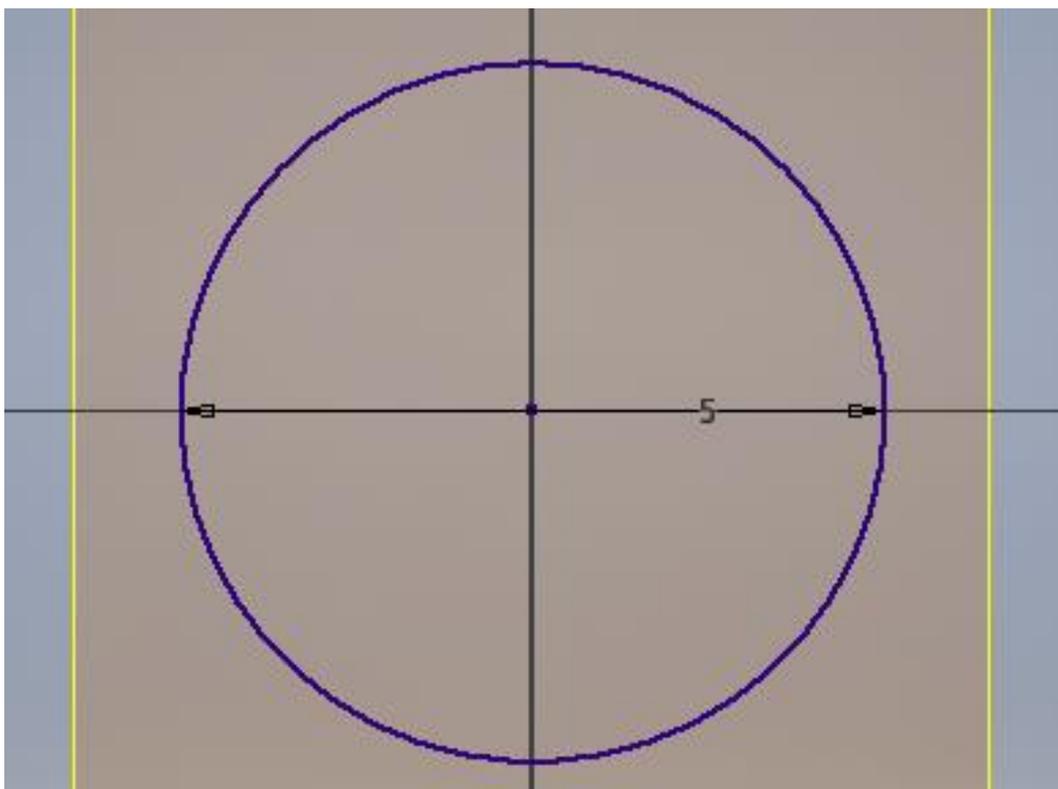
Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

A Figura 78 mostra o esboço do corpo do LED, criado em outro plano, conforme já explicado. Em seguida, são feitos os esboços para os pinos do LED, no plano XZ, conforme a Figura 79 e a Figura 80. Como o LED tem pinos de tamanhos diferentes, é necessário fazer dois esboços diferentes, em que um é o espelhamento do outro, mas com uma dimensão maior. Por isso, no pino negativo, é feita uma projeção de geometria do pino positivo e do eixo Z, para ser o eixo de espelhamento, e retirada a visibilidade desses, para ser possível ver a geometria projetada, em amarelo, na Figura 80.

A fim de explorar outra funcionalidade do *software*, a de curva baseada em perfil (*sweep*), também são feitos dois esboços no plano XY que representam o “caminho” dos pinos do LED, ou seja, uma projeção nesse plano do eixo central de cada pino, conforme mostrados na Figura 81 e na Figura 82. Também para explorar outra funcionalidade do *software*, a de revolução (*revolve*), é feito o esboço mostrado na Figura 83, utilizando a projeção de geometria para definir o limite inferior do corpo do LED, a ferramenta de retângulo e a de arredondamento (*fillet*).

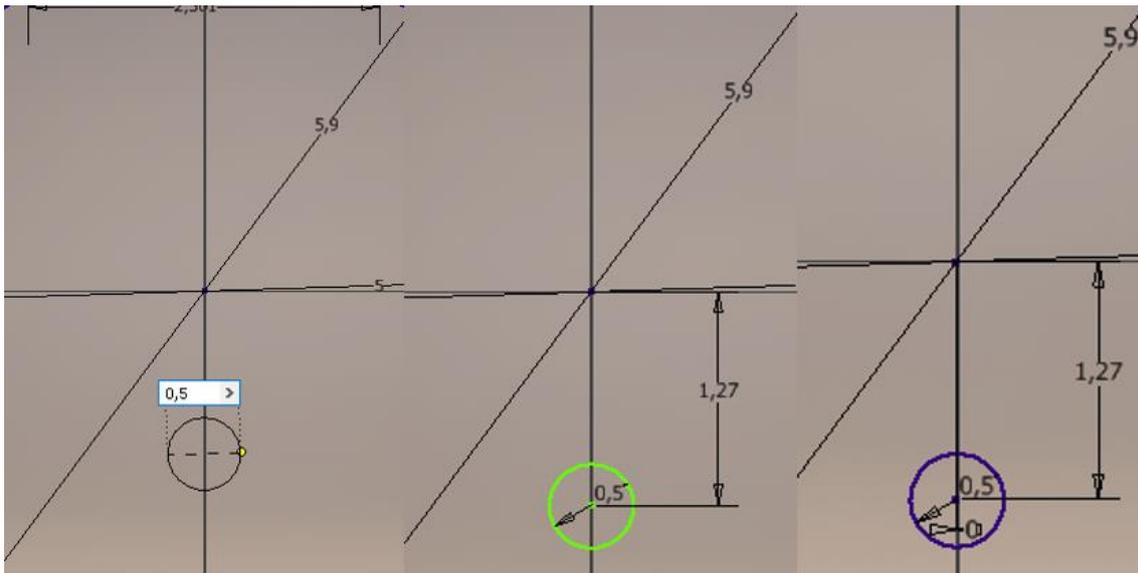
A Figura 84 mostra o resultado final do desenho de todos os esboços 2D feitos, na visualização 3D e, além disso, mostra a árvore de *design* com todos os esboços feitos até agora nomeados. A funcionalidade de nomear os itens da árvore de *design* não é obrigatória, mas pode ser útil ao projetista em algumas situações, por exemplo, projetos muito grandes. Nos primeiros momentos de utilização do *software*, em específico, essa funcionalidade pode ser bem útil, pois é possível se orientar melhor pela árvore de *design* a utilizando. Porém, com o tempo e prática, a medida que o projetista se acostuma com o *software*, ela pode não mais trazer vantagens tão perceptíveis.

Figura 78 – Esboço do corpo do LED, usando a ferramenta de círculo.



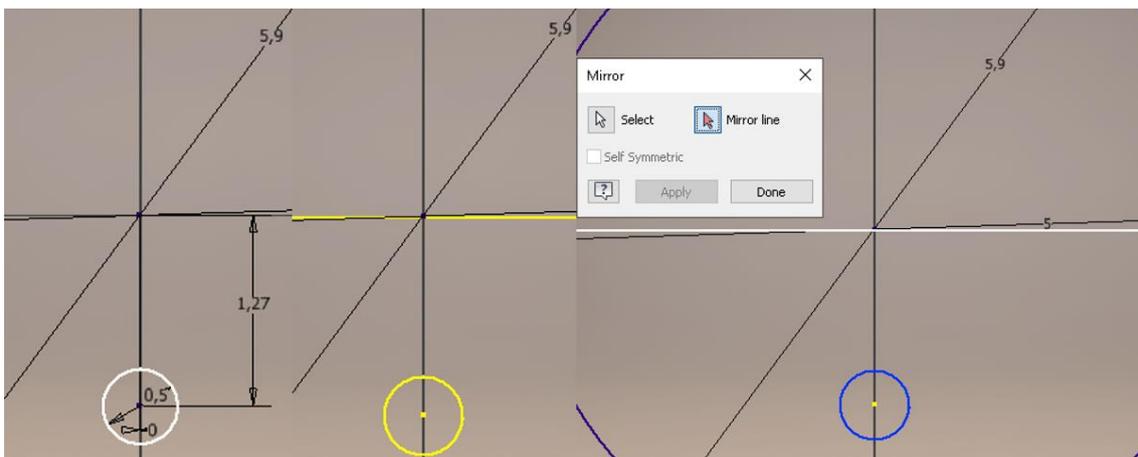
Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

Figura 79 – Esboço do pino positivo do LED, usando as ferramentas de círculo e de dimensão.



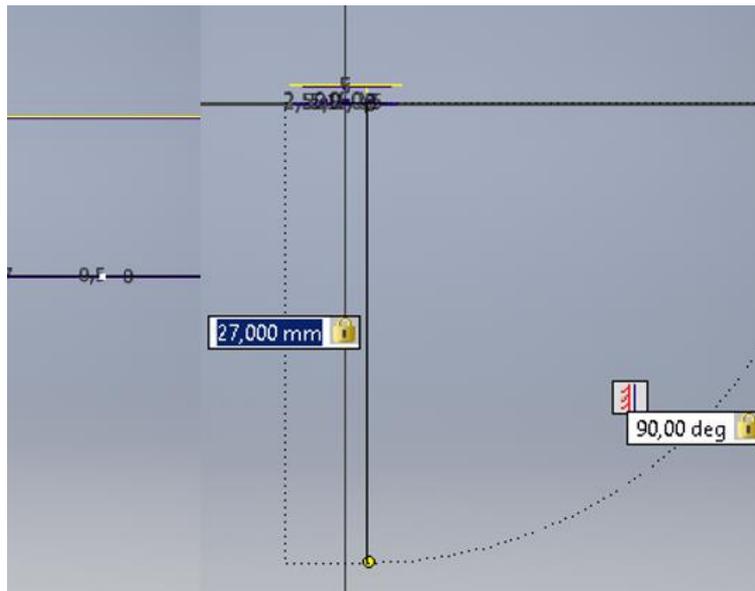
Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 80 – Esboço do pino negativo do LED, usando projeção de geometria e espelhamento.



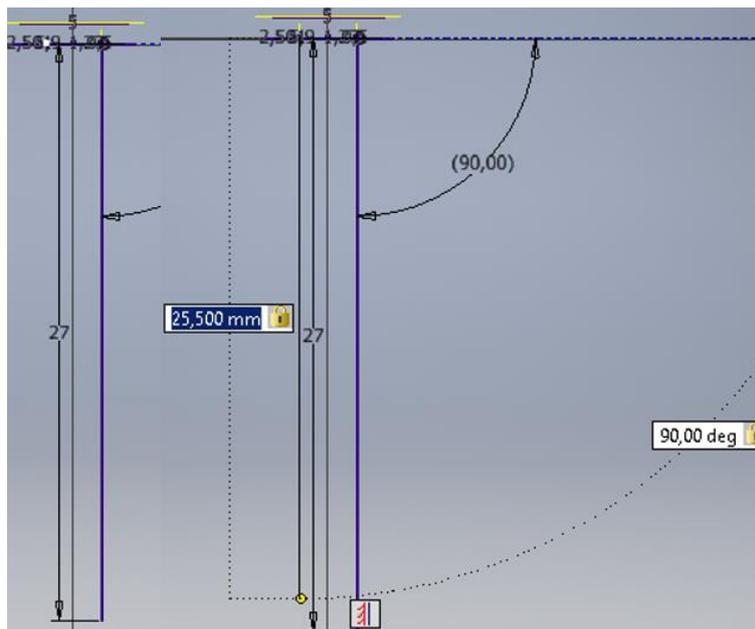
Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 81 – Esboço do “caminho” pino positivo do LED, usando projeção de geometria e linha.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 82 – Esboço do “caminho” pino negativo do LED, usando projeção de geometria e linha.



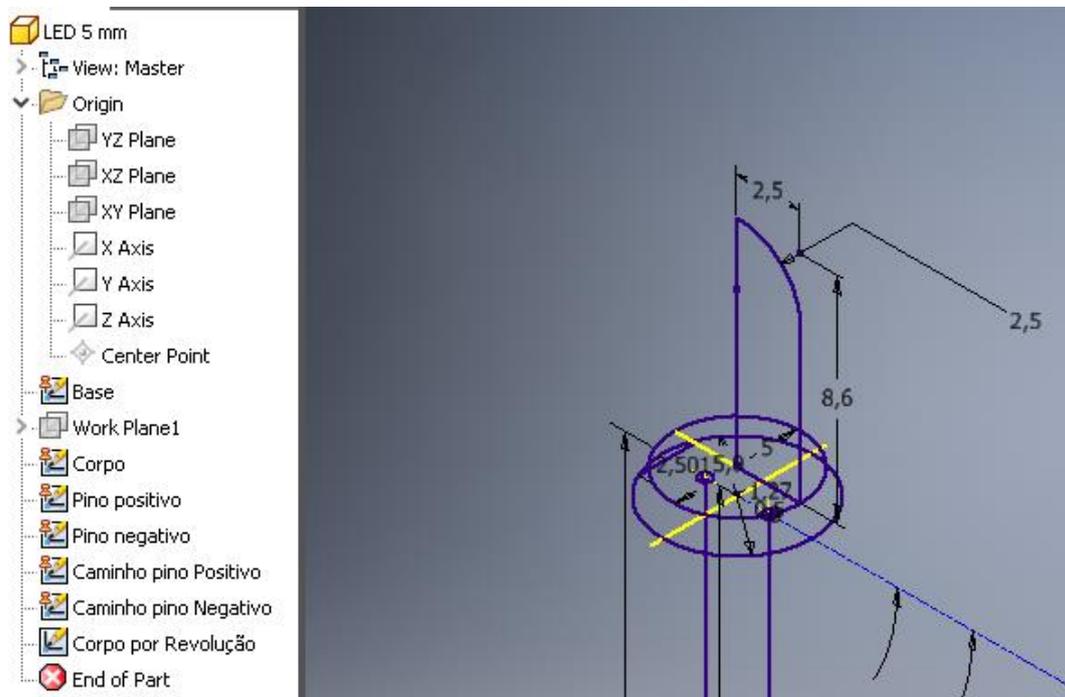
Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 83 – Esboço do corpo do LED para a outra opção, utilizando projeção de geometria, retângulo e arredondamento.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 84 – Resultado dos esboços 2D na visualização 3D e árvore de *design* com esboços nomeados.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

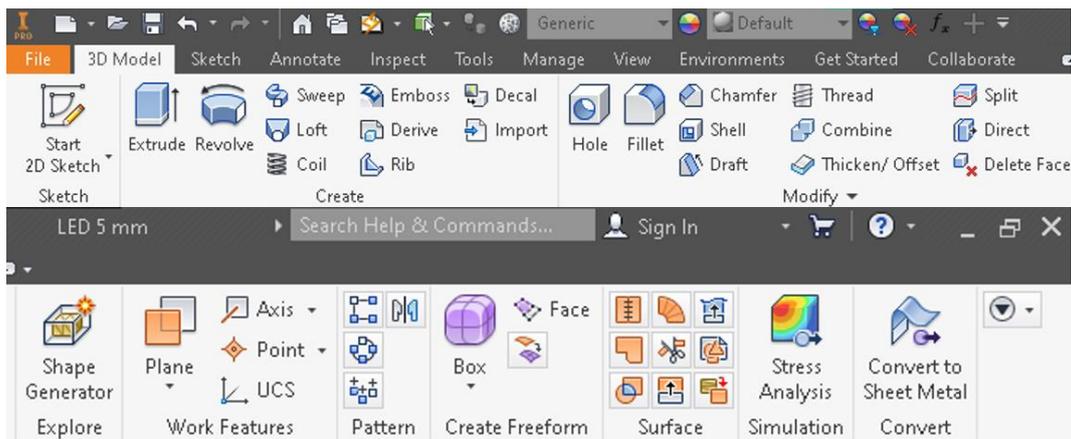
2.2.2.2 Comandos Básicos de Modelo 3D

Nesta subseção, são utilizados os esboços 2D feitos na seção anterior para construção de um modelo 3D, através dos comandos de modelo 3D, que, assim como os comandos de esboço 2D, são divididos em espaços, no caso, 10 espaços, esboço, criar, modificar, explorar, características de trabalho, padrões, criar forma livre, superfície, simulação e converter. Os utilizados serão o de esboço, criar, modificar e características de trabalho. Embora o de padrões também seja muito útil, não é necessário para este trabalho. Assim como nos esboços 2D, é possível saber o que um comando faz passando o cursor do *mouse* sobre ele, esperando e aparecerá uma descrição do comando e uma imagem de exemplo.

O espaço de esboço serve para a criação de esboço em um determinado plano desejado, abrindo a aba de esboço, já discutida na seção anterior. O espaço de criar possui diversos comandos para criação de modelos 3D baseados em esboços 2D, que são discutidos a seguir. Extrusão (*extrusion*), que é basicamente adicionar espessura a um esboço 2D, na direção perpendicular ao plano em que ele foi criado, conforme mostrado na Figura 86. Ao criar uma extrusão, seleciona-se um perfil interior a um esboço, que precisa ser uma curva fechada, no exemplo, a região de interseção entre o círculo e a linha, formando a peça cilíndrica com um chanfro na parte da linha.

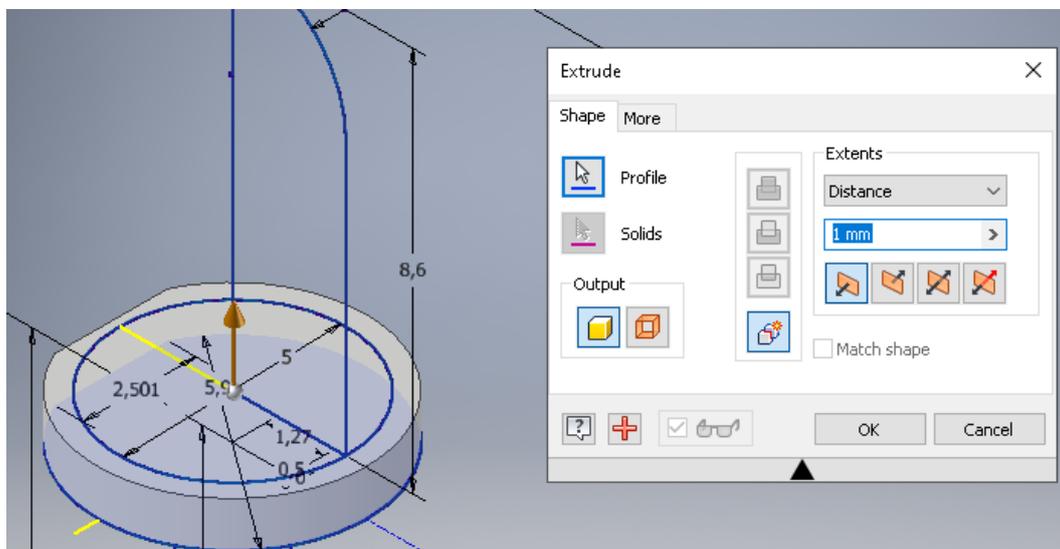
Além disso, escolhe-se o tipo de extrusão que pode ser de adição de material, corte, interseção ou criação de novo sólido, e os limites da extrusão, que podem ser: distância específica, em 4 direções possíveis, anterior ou posterior ao plano, anterior e posterior simétrica e anterior e posterior assimétrica (determinam-se as duas dimensões); do plano do esboço até um certo plano escolhido; entre dois planos escolhidos; e até uma distância específica de alguma face ou plano. Realizada a extrusão (ou qualquer outra ferramenta de modelo 3D), há uma mudança na árvore de *design*, surge um novo item na árvore, correspondente a extrusão (ou outra ferramenta), que pode ser renomeado, e o (s) esboço (s) utilizado (s) se torna interno (s) a ela, podendo ser acessados expandindo esse item da árvore, como mostrado na Figura 87.

Figura 85 – Aba modelo 3D (3D model) da barra superior.



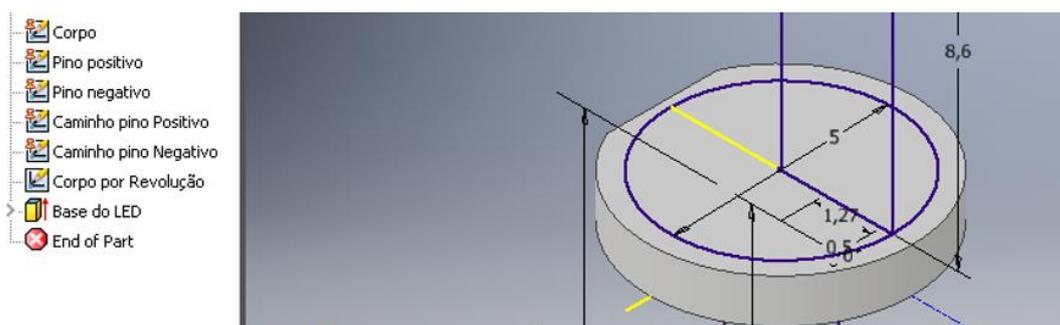
Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 86 – Extrusão da base do LED, usando o esboço “base”.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 87 – Árvore de *design* modificada com a extrusão criada e renomeada ao lado da visão atual da peça.

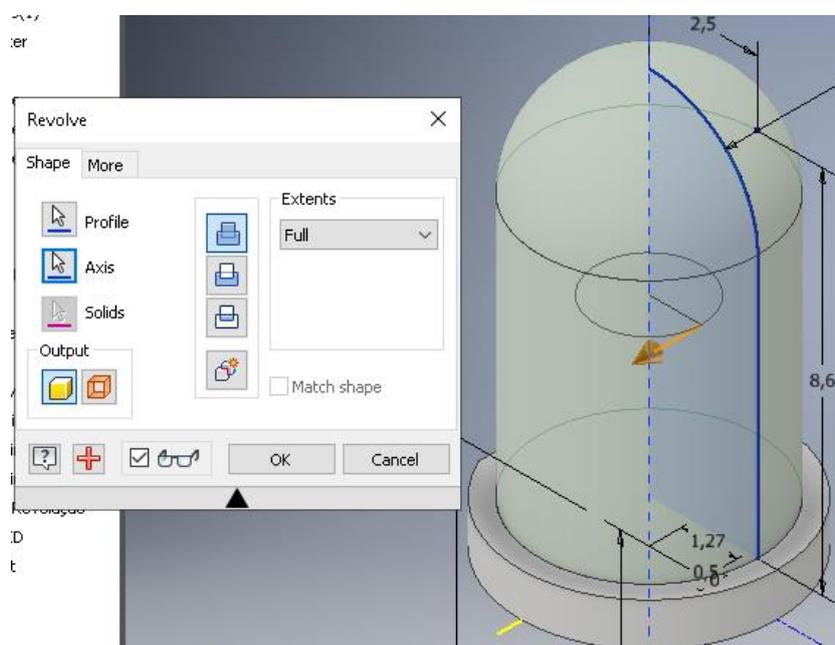


Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

O próximo comando é o de revolução (*revolution*), em que se seleciona um perfil, que novamente corresponde a uma curva fechada, de um esboço 2D, e um eixo em torno do qual será feita a revolução daquele perfil, formando um sólido tridimensional, que pode também ser chamado de sólido de revolução, ao ser criado por este processo, conforme mostrado na Figura 88. Como o corpo do LED foi criado por revolução, a fim de exemplificar este comando, o esboço “corpo” não será utilizado, e pode ser deixado invisível, clicando com o botão direito nele e selecionando a opção visibilidade (*visibility*), que deve ficar desmarcada após este procedimento.

Assim como a extrusão, existem os parâmetros a ser definidos neste comando além dos básicos, que são perfil e eixo de revolução. Pode-se determinar se é uma revolução de adição, corte, interseção ou criação de novo sólido, e os limites da revolução, que podem ser: completo, 360° ; um ângulo determinado e a direção dele em relação ao plano, semelhante ao de extrusão; do plano até um certo plano; do plano até próximo de uma região escolhida; e entre dois planos. Assim como na extrusão, também há mudança na árvore de *design*, adicionando o novo item referente a revolução e “consumindo” o esboço, ou seja, este passa a ser um subitem da revolução.

Figura 88 – Revolução do corpo do LED, utilizando o esboço “corpo por revolução” e o eixo Y.

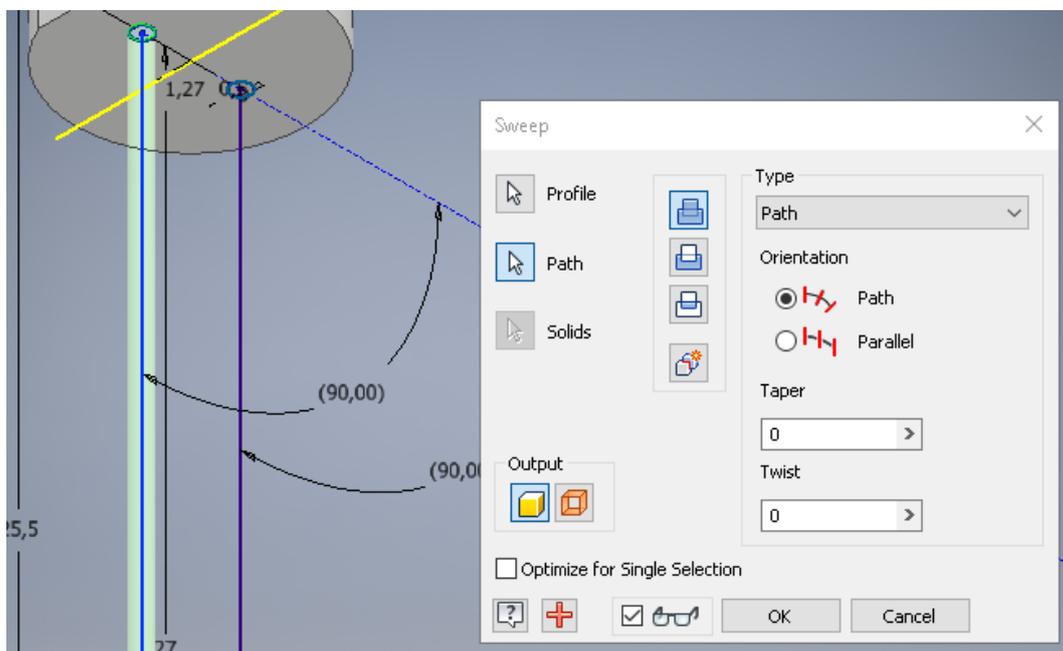


Fonte: Software Autodesk Inventor.

O comando de curva baseada em perfil (*sweep*), é utilizado para criação dos pinos do LED. Este comando requer a seleção de um perfil e um caminho pelo qual este perfil será reproduzido, que no exemplo é um caminho reto, mas também pode ser uma curva, e pode até ser feita num esboço 3D, funcionalidade que não será abordada a fundo neste trabalho, pois foge ao escopo, mas é semelhante ao esboço 2D, porém com a possibilidade de fazer desenhos nas 3 dimensões, como uma curva 3D. Para criação do pino negativo do LED, utilizam-se os esboços “pino negativo” como perfil e “caminho pino negativo” como caminho para este comando, obtendo o resultado mostrado na Figura 89. O pino positivo pode ser criado de forma análoga.

Além disso, assim como os comandos anteriores, existem parâmetros que podem ser ajustados, como o tipo de comando e outras características, como: orientação; seguindo estritamente o caminho ou paralelo a ele; grau de afunilamento (*taper*), que define se o perfil vai ser reproduzido sem mudanças ou se vai “engrossar” à medida que segue no caminho, ao fim ficando semelhante a um cone, onde 0 significa “sem afunilamento”; e grau de torção, que indica se o perfil será rotacionado a medida que segue no caminho, onde 0 significa “sem torção”.

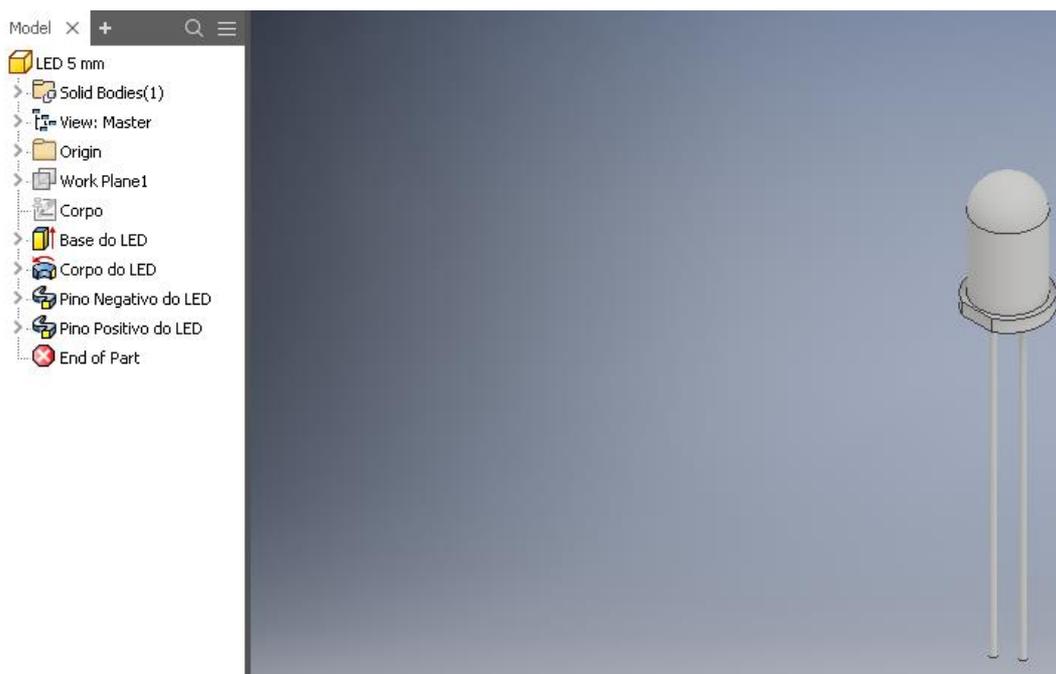
Figura 89 – Curva baseada em perfil do pino positivo do LED, utilizando os esboços “pino negativo” e “caminho pino negativo”.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Neste momento, o modelo 3D do LED está finalizado e conforme mostrado na Figura 90. É possível notar que a árvore de *design* está menor, pois todos os itens internos a outros foram recolhidos, mostrando apenas os itens básicos, o plano criado para o corpo do LED, o esboço não utilizado e invisível do corpo do LED e os comandos de modelo 3D nomeados. Embora não sejam necessários à construção do modelo 3D do LED utilizado como exemplo, existem outros comandos importantes que podem ser utilizados para modelagem de componentes eletrônicos ou invólucros de equipamentos, que serão discutidos nos próximos parágrafos.

Figura 90 – Modelo 3D final do LED e árvore de *design*.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

O comando de envelopamento (*loft*), permite a seleção de diversos perfis em esboços diferentes, criando um modelo 3D que intersecciona os esboços ao passar pelo plano ao qual o esboço pertence, “envelopando” os esboços. Pode ser utilizado para criar curvas ou superfícies mais irregulares, sendo mais preciso quantos mais esboços forem utilizados em sua criação. O comando de espiral (*coil*), usa um perfil e uma direção de um eixo para criação de um modelo 3D correspondente a uma espiral helicoidal do perfil na direção definida, podendo ser definidos diversos parâmetros. Pode ser utilizado para criação de molas, bobinas e enrolamentos diversos.

O comando de gravar em relevo (*emboss*), é utilizado para criar gravações com relevo em uma determinada face, seja positivo (acima do plano da face) ou negativo (abaixo do plano da face), de um determinado perfil. Pode ser utilizado para gravação de nomes, logos, figuras, dentre outros em faces de objetos. O comando de derivar (*derive*), cria na peça um objeto derivado de outra peça, podendo ser alteradas escala e outras características. O comando nervura (*rib*), cria nervuras de sustentação em uma peça, projetando perfis em uma determinada face da peça. É usado para melhorar a resistência de peças. O comando decalque (*decal*) é utilizado para aplicar uma imagem escolhida em uma face determinada de um objeto e possui função estética. E o comando de importar (*import*), importa um arquivo de outros sistemas de CAD num arquivo de peça do *Inventor*.

Do espaço de modificação, os comandos mais relevantes para este trabalho são: furo (*hole*), permite a criação de furos em peças a partir de pontos de trabalho ou circunferências presentes em um esboço 2D, podendo ser definidos diversos parâmetros, como tamanho do furo, tipo de furo e profundidade; arredondamento (*fillet*), semelhante ao comando análogo de esboços 2D, cria um arredondamento de raio definido entre duas faces; casca (*shell*), transforma a peça numa casca, criando uma região oca dentro, podendo ser definida a espessura e a remoção de uma ou mais faces; e *thread*, que cria um perfil helicoidal apenas visualmente em uma determinada superfície cilíndrica, dando o aspecto necessário a furos, parafusos, dentre outros, sem consumir muita memória.

Por fim, o espaço de características de trabalho possui os seguintes comandos: plano (*plane*), permite criar planos de trabalho com diversas condições, distância a outro plano, interseção com pontos, eixos, dentre outros; eixo (*axis*), permite criar eixos de trabalho em diversas condições, de forma semelhante ao comando anterior; ponto de trabalho (*work point*), permite a criação de pontos de trabalho em diversas condições; e sistemas de coordenadas do usuário (UCS ou *User Coordinate System*), que permite a criação pelo usuário de sistemas de coordenadas personalizados internos a peça.

2.2.2.3 Material e Aparência da Peça

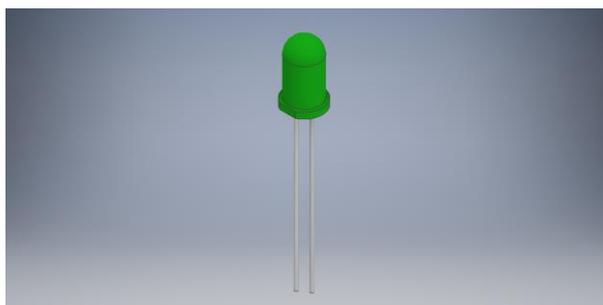
Essas duas funcionalidades permitem mudar a aparência da peça. A ferramenta de aparência (*appearance*) permite a seleção de uma ou mais faces ou características de uma



peça e adição de determinada aparência, que pode ser escolhida através de uma extensa lista disponibilizada pelo *software*, ou de outras listas, via *download*, ou até de perfis de aparência criados pelo usuário. O comando material (*material*) possui duas funções, visual e estrutural, pois pode dar aspecto mais metálico, cerâmico, ou até translúcido, como vidro ou plástico, a uma peça, mas também interfere em cálculos de análise por elementos finitos, pois é com o material que é definida a densidade da peça e outras propriedades físicas.

Uma diferença fundamental entre esses dois comandos, além de um ser apenas visual (aparência) e outro visual e estrutural (*material*), é que uma mesma peça pode ter mais de uma aparência, determinada pelas faces, mas pode ter apenas um único material, comum a toda a peça. A funcionalidade de material é de suma importância na criação de montagens, que são explicadas na próxima seção, pois embora uma peça não possa ser formada por mais de um material, uma montagem pode ter peças de diferentes materiais, o que, novamente, pode ter função visual e estrutural. A Figura 91 mostra o modelo 3D de exemplo do LED após definição de aparências.

Figura 91 – Modelo 3D final do LED com aparências definidas.



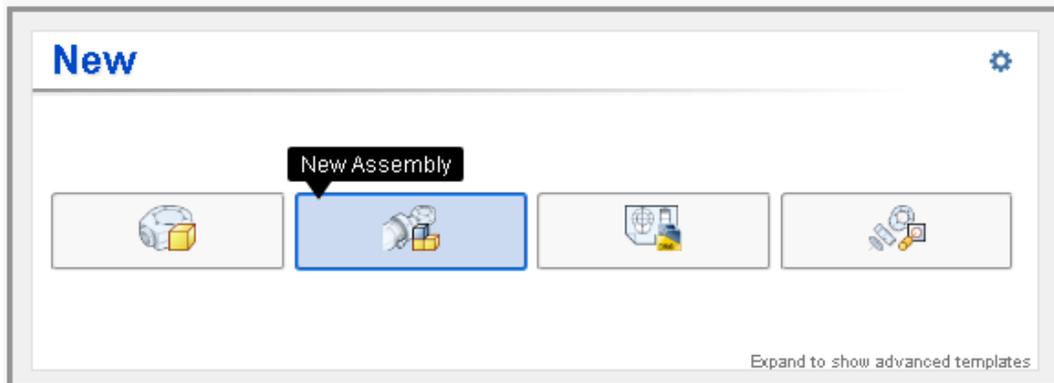
Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

2.2.3 Criação de Montagens

Nesta seção é abordada a criação de montagens, que pode ser feita através do menu de criação de arquivos novos, clicando em montagens (*assemblies*), conforme mostrado na Figura 92, ou apertando o botão novo (*new*) na barra de ferramentas superior e escolhendo o tipo de arquivo novo, conforme a Figura 93. Na Figura 93 é possível ver que existem dois tipos de montagens, padrão e por soldagem (*weldment*). A diferença é que as montagens do tipo padrão são feitas por união de peças por interferência,

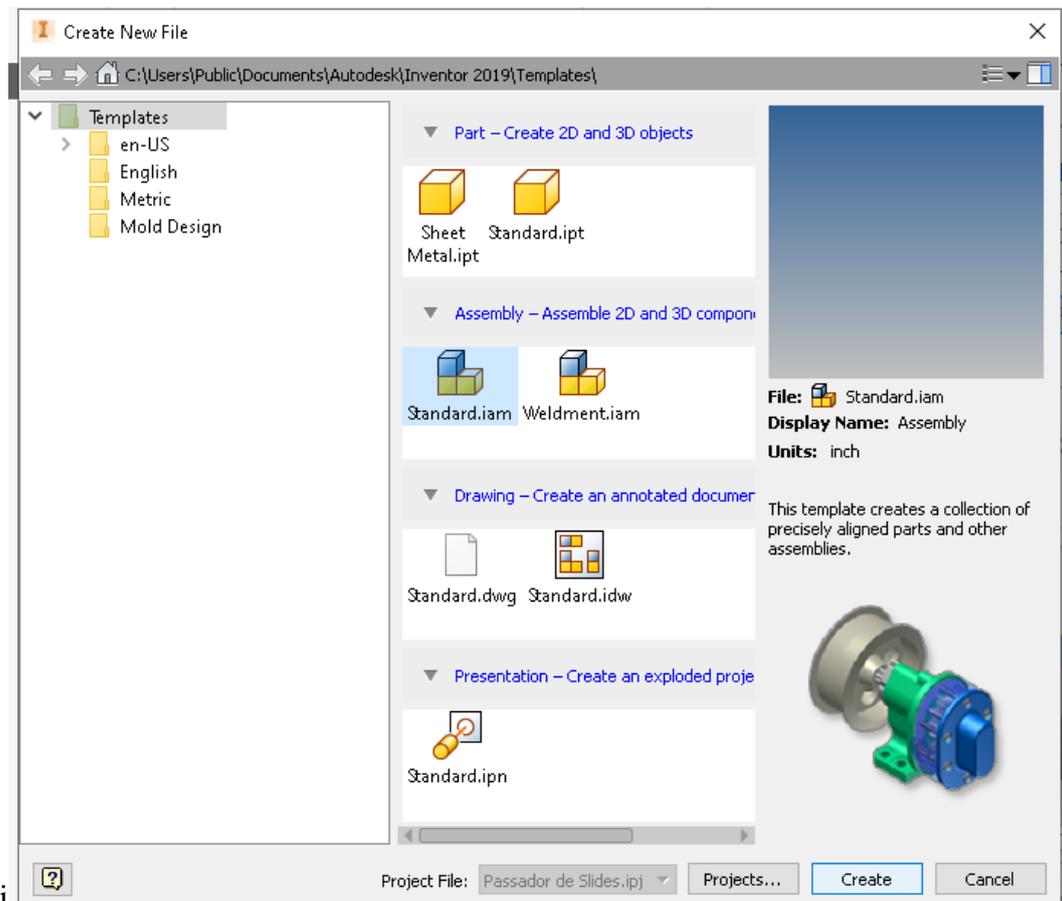
parafusos, pinos, ou métodos semelhantes, já as montagens por soldagem são feitas com união das peças através de solda.

Figura 92 – Criação de montagem através do menu de criação de arquivos novos.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

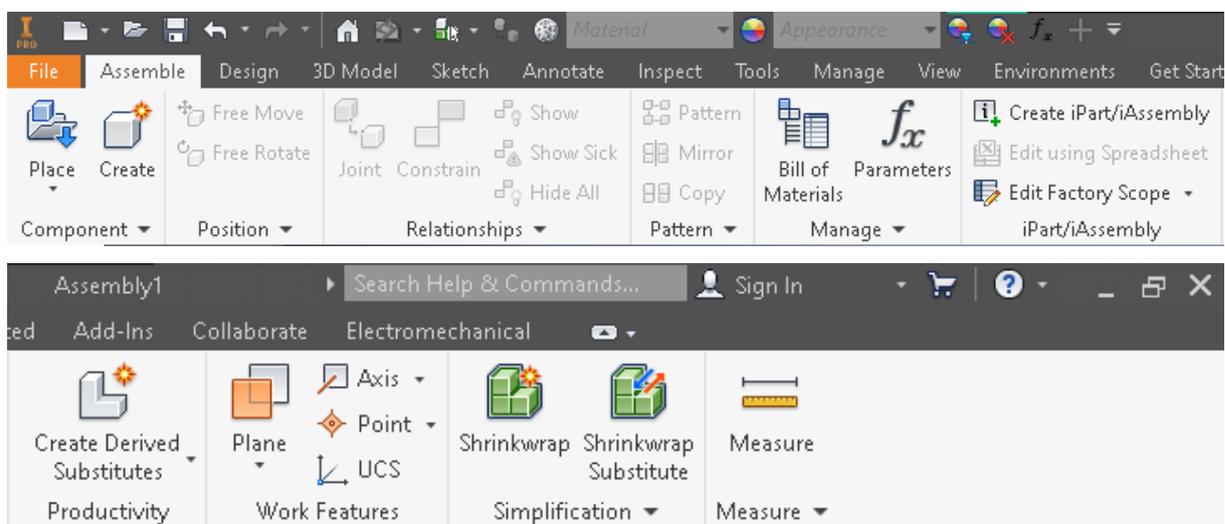
Figura 93 – Criação de montagem através da barra de ferramentas superior.



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Ao ser criado o arquivo de montagem, pode-se ver a barra de ferramentas superior deste arquivo, conforme a Figura 94, que possui novas abas em relação ao arquivo de peça, sendo essas, a aba de montar (*assemble*) e de *design*. A aba mais utilizada deste modo neste trabalho será a de montar, que permite o uso dos diversos comandos referentes a junção de peças, criando uma peça, ou equipamento, mais complexo.

Figura 94 – Barra de ferramentas superior de montagem.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

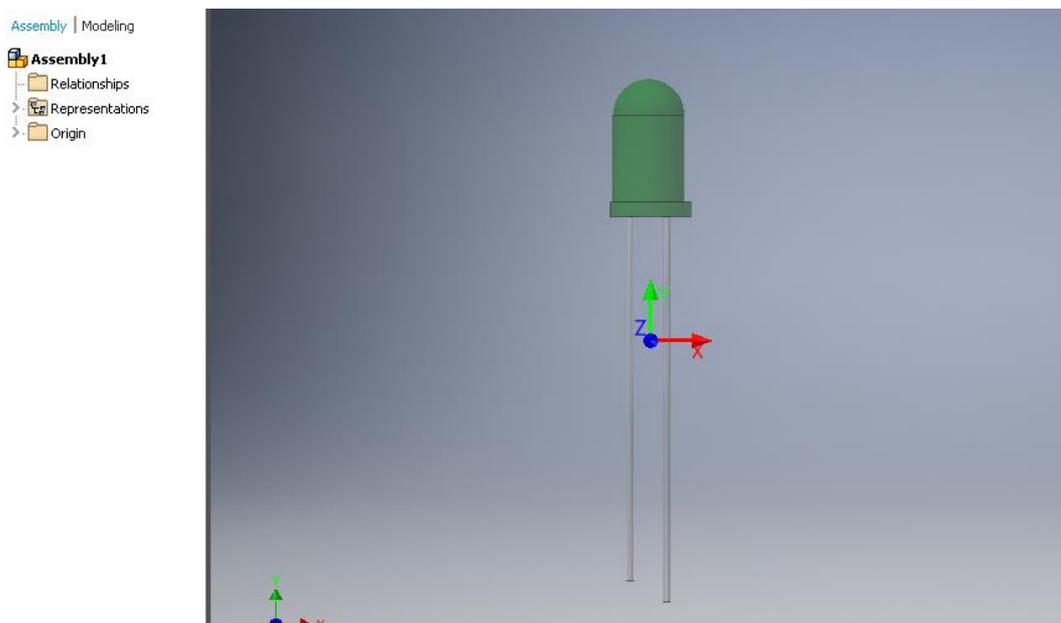
2.2.3.1 Comandos Básicos de Montagem

Conforme mencionado na seção anterior, a aba da Figura 94 que será utilizada e explicada é a aba de montar (*assemble*), dividida em 10 espaços, componente (*component*), posição (*position*), relações (*relationships*), padrões (*pattern*), administração (*manage*), *iPart/iAssembly*, produtividade (*productivity*), características de trabalho (*work features*), simplificação (*simplification*) e medidas (*measure*). Dessas, percebe-se que algumas já foram discutidas anteriormente, no caso, a de padrões e características de trabalho. Além delas, as principais e que são discutidas nesse trabalho são a de componente, relações e administração.

O primeiro espaço abordado é o de componente, pois também é o primeiro espaço que é utilizado durante a criação de uma montagem. Seus comandos são inserir (*place*) e criar (*create*). Como os nomes sugerem, o comando de inserir permite inserir peças ou outras montagens, através de arquivos, nessa montagem, e o comando de criar permite a

criação de peças ou montagens dentro dessa montagem, utilizando algum ponto já existente como referência. A Figura 95 mostra a inserção do modelo 3D do LED criado nas seções anteriores nesta montagem e a Figura 96 mostra a mudança que acontece na árvore de *design* desse arquivo de montagem ao ser adicionada uma peça, esta passa a ser um item da árvore. Ao estender o item do LED, percebe-se que as características mostradas não são todas as da peça, que ficam ocultas.

Figura 95 – Inserção do modelo 3D do LED na montagem (i).



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Figura 96 – Inserção do modelo 3D do LED na montagem (ii).

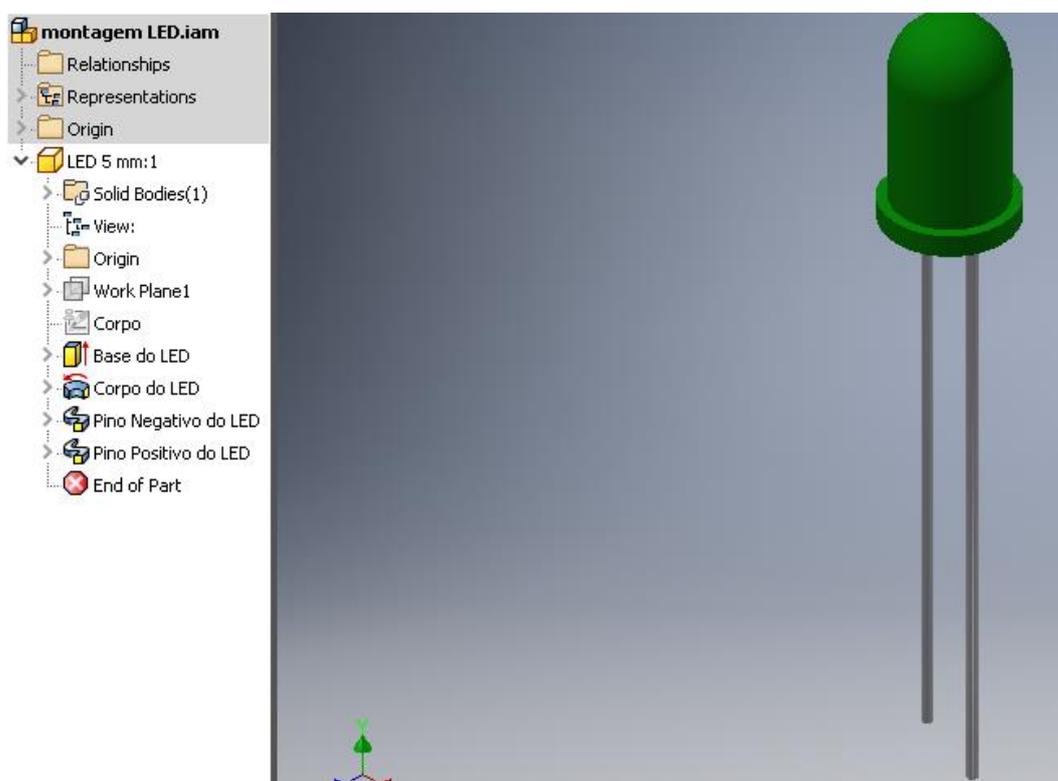


Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Com a peça inserida, é possível movê-la livremente, já que não há nada restringindo seu movimento. Caso desejado, pode-se clicar duas vezes na peça inserida na árvore de *design* da montagem para abrir a edição dela sem abrir um novo arquivo,

conforme a Figura 97. Nesse modo, percebe-se que a árvore de design da montagem fica toda cinza, menos a peça aberta, e a árvore de design da peça é estendida e mostra as características da peça, assim como a árvore de *design* de quando a peça é aberta em um arquivo próprio. Uma vantagem de utilizar essa funcionalidade é a possibilidade de interagir de forma adaptativa com outras peças da montagem, funcionalidade que é explicada numa seção mais adiante.

Figura 97 – Edição de uma peça dentro da montagem.

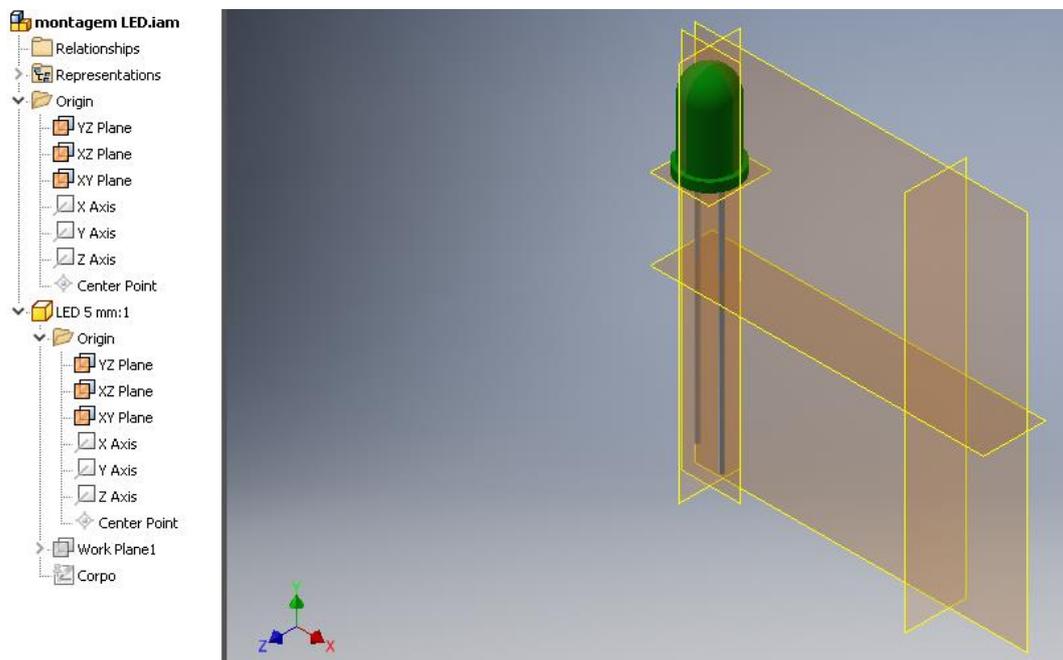


Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

Porém, numa montagem real, as peças não possuem liberdade total de movimento, as vezes possuem liberdade apenas em alguns eixos ou não possuem nenhuma liberdade. É para isso que serve o espaço de relações, que possui 2 comandos principais, junta (*joint*) e confinamento (*constraint*). O comando de junta permite criar relações móveis, com limites de movimento definido entre características de duas peças diferentes. Já o de confinamento, cria relações normalmente fixas, porém, às quais também pode ser dada uma certa liberdade de movimento, motivo pelo qual este comando é suficiente para satisfazer a maioria das necessidades do projetista, e é o que é discutido neste trabalho.

Uma boa prática de projetos é sempre deixar uma peça fixa e centralizada em relação a montagem. Normalmente isto é feito com a peça central de uma montagem, como por exemplo, uma base de um objeto que possui outras peças ligadas a esta base em comum, mas, a fim de exemplificação, será fixado o LED no centro da montagem. Isso também permitirá a demonstração de alguns comandos de confinamento. Primeiramente, para facilitar, deixam-se visíveis os planos básicos (XY, YZ e XZ), que podem ser acessados através do item origem (*origin*), da montagem e do LED. Isto pode ser feito clicando com o botão direito e selecionando a opção visibilidade (*visibility*), ou clicando no plano e usando o comando do teclado “*Alt+V*”. A Figura 98 mostra o resultado desta operação, sendo visíveis na montagem, 6 planos.

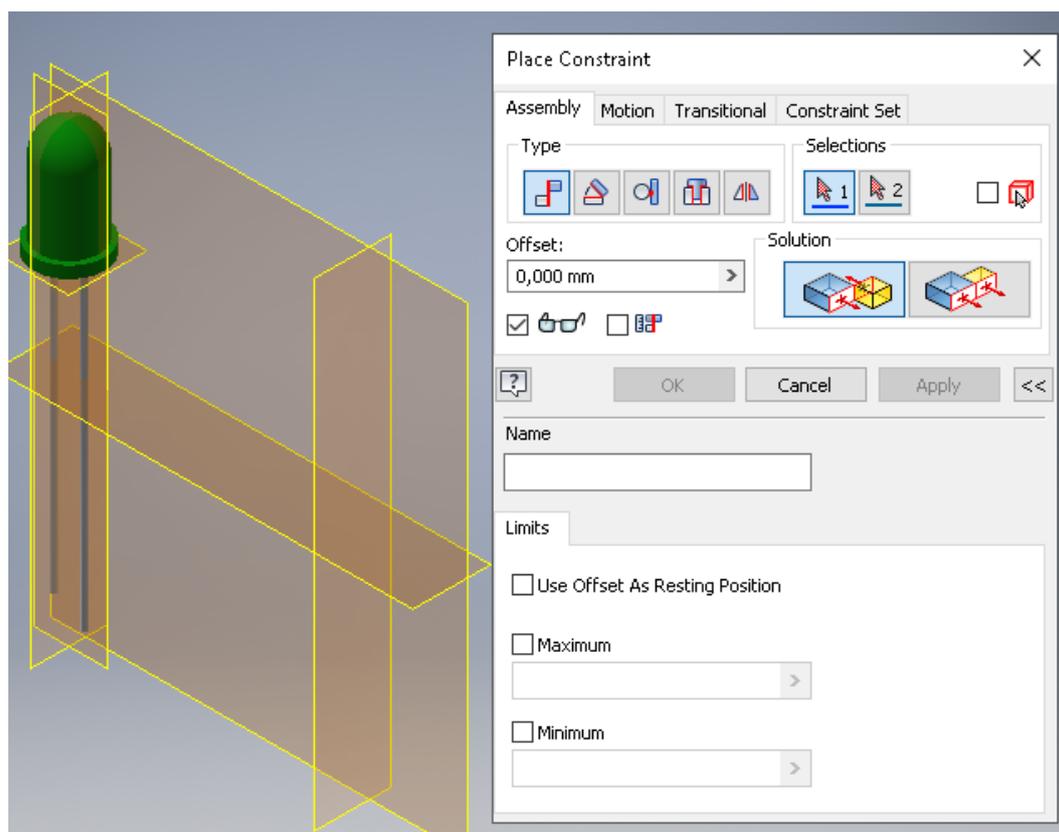
Figura 98 – Montagem com os planos básicos da montagem e do LED visíveis



Fonte: *Software Autodesk Inventor.*

Então, abre-se o menu do comando de confinamento, clicando nele, e pode-se ver a janela mostrada na Figura 99, na qual também é possível ver que este comando possui várias abas, montagem, movimento, transicional e conjunto de confinamentos. Porém, a aba utilizada e explicada neste trabalho, por ser suficiente, é a de montagem. A aba de montagem possui 5 tipos, mostrados em destaque na Figura 100.

Figura 99 – Menu do comando de confinamento.



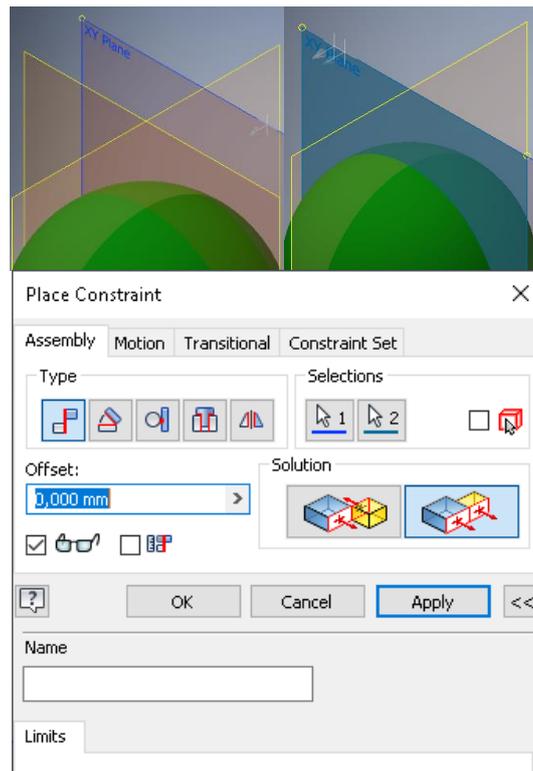
Fonte: Software Autodesk Inventor.

Figura 100 – Tipos de comandos de confinamento.



Fonte: Software Autodesk Inventor.

Da esquerda para a direita, respectivamente, os comandos são: conexão (*mate*), ângulo (*angle*), tangência (*tangent*), inserção (*insert*) e simetria (*symmetry*). O comando de conexão permite fazer a junção direta de dois planos ou dois eixos, selecionados um após o outro com o clique do *mouse* no plano ou eixo, com opções de direção, escolhidas na opção *solution* e possibilidade de deslocamento (*offset*), mostrado na Figura 101. Após selecionados os dois planos ou eixos, é mostrada uma prévia de visualização. O comando é finalizado após o clique no botão aplicar (*apply*).

Figura 101 – Comando de conexão (*mate*).

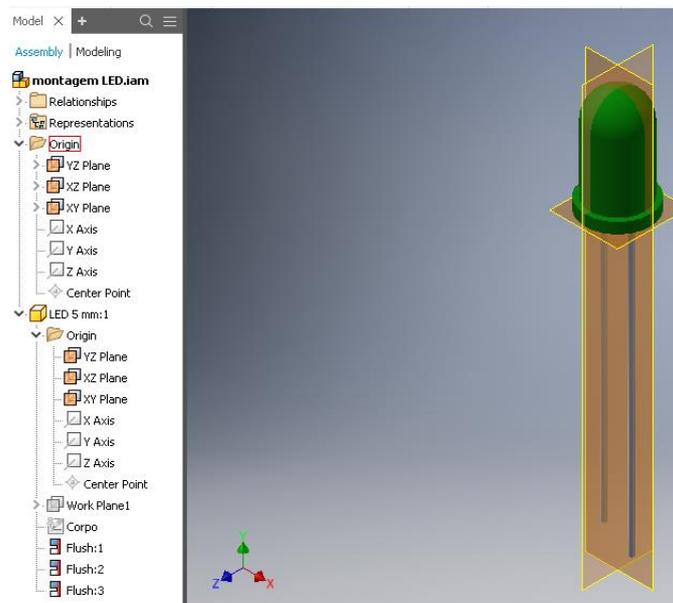
Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

O comando de ângulo permite a definição de um determinado ângulo entre duas características, sejam planos ou eixos. O comando de tangência permite a definição de conexão com tangência entre uma superfície arredondada e outra superfície, arredondada ou não. O comando de inserção é utilizado para inserção de peças, normalmente cilíndricas, como parafusos, pinos ou tubos, em furos. E o comando de simetria permite a definição de simetria entre duas superfícies e um plano de referência. Todos os comandos possuem opção de deslocamento (*offset*), no mínimo duas soluções possíveis, no mínimo duas seleções e possibilidade de nomear o comando.

Ao fim da conexão dos três planos básicos do LED com os 3 planos básicos da montagem, ele estará no centro da montagem, conforme a Figura 102, e os planos estarão coincidentes, parecendo ser apenas 3, em vez de 6. Na Figura 102 também é possível perceber que as relações de confinamento feitas agora aparecem na árvore de *design*, agrupadas abaixo do item com o qual foram feitas essas relações, no caso o LED. Além disso, os outros três comandos da aba de relações são: mostrar (*show*), que possibilita mostrar na montagem uma relação escolhida; mostrar problemas (*show sick*), que mostra

todas as relações que estejam com algum erro; e esconder todas (*hide all*), que esconde todas as relações mostradas.

Figura 102 – LED no centro da montagem.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

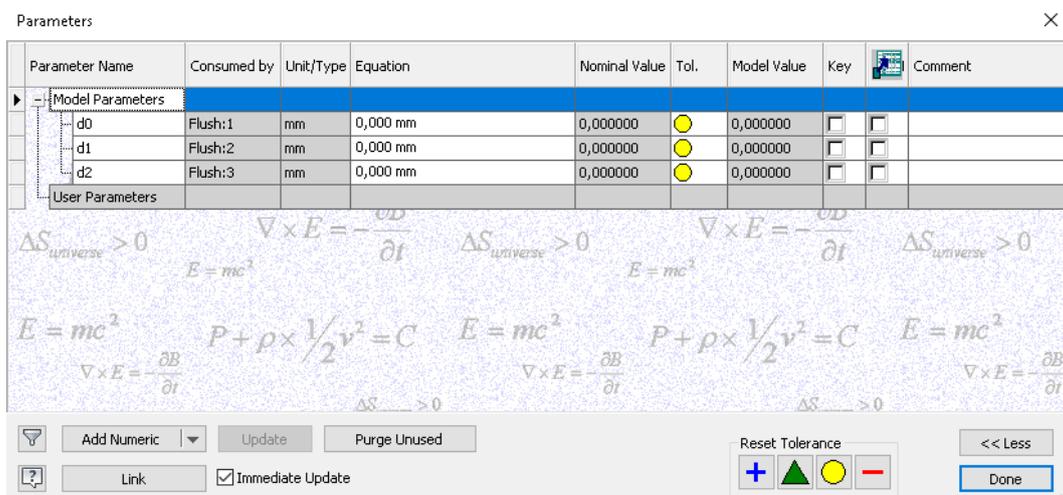
O outro espaço importante o de administração (*manage*) possui dois comandos. O de lista de materiais (*Bill of Material*, ou BOM), que permite exportar uma lista de materiais, na forma de uma planilha compatível com o *Excel*, que pode conter material das peças, descrição preço, dentre outras informações definidas pelo usuário. O comando de parâmetros (*parameters*) é explicado na seção seguinte.

2.2.3.2 Parâmetros

Ao clicar no comando de parâmetros, é aberto o menu mostrado na Figura 103, onde é possível ver todos os parâmetros de uma montagem e gerenciá-los, alterando, deletando ou adicionando mais parâmetros. A importância dos parâmetros é permitir uma alteração mais fácil de dimensões, deslocamentos de relações ou quaisquer medidas em gerais que possam ser definidas, tornando estas medidas funções de um parâmetro, ao qual pode ser dado um nome, e acessado e gerenciado facilmente no menu de parâmetros. Deste modo, ao ter por exemplo, várias peças distantes entre si de uma distância comum, pode-se criar um parâmetro e associar o nome dele ao definir a distância, no lugar de

números. Também é possível a utilização de equações em função destes parâmetros, aumentando enormemente as possibilidades do projetista.

Figura 103 – Menu de parâmetros.

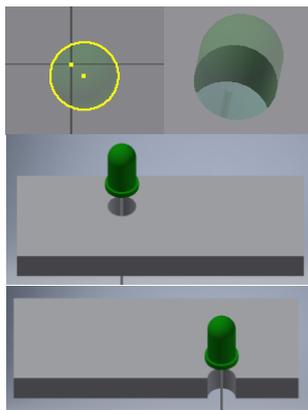


Fonte: Software Autodesk Inventor.

2.2.3.3 Adaptabilidade

A funcionalidade de adaptabilidade permite a criação de características em peças que sejam ditas adaptativas a características da mesma ou de outras peças. Ou seja, as características criadas dessa forma serão dinamicamente mutáveis em relação à característica ao qual elas são relacionadas. Por exemplo, o encaixe de uma peça um furo numa peça base, onde outra peça encaixa, pode ser adaptativo à posição da segunda peça, podendo-se alterar a posição da segunda peça sem se preocupar em precisar refazer o furo. A Figura 104 mostra um exemplo de adaptabilidade de um furo em uma peça para encaixe do LED. Saber utilizar as ferramentas de adaptabilidade associadas à projeção de geometria é uma ferramenta muito robusta para o projetista.

Figura 104 – Exemplo de adaptabilidade.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

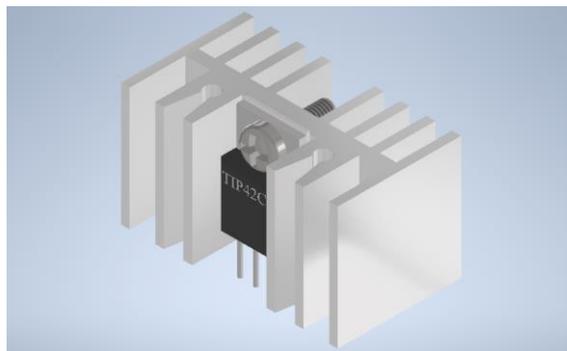
2.3 Simulação Térmica com o Inventor Nastran

Nesta seção é abordada a simulação térmica com a extensão *Inventor Nastran* para o *Autodesk Inventor*. O uso dessa funcionalidade permite analisar a variação da temperatura e do fluxo de calor em sistemas, utilizando cálculos por análise por elementos finitos. Isto é muito importante para o projetista eletrônico, pois, caso utilizada corretamente, possibilita ter uma noção se a dissipação de calor dos componentes de um sistema está adequada.

Esta simulação pode evitar problemas de projeto que podem levar a danificação de componentes, visto que o aquecimento exagerado de componentes eletrônicos pode causar danos irreversíveis a estes. Para a simulação térmica, será utilizado um modelo de transistor TBJ PNP TIP42C, com um dissipador HS3520_20, que possui dimensões de 35 x 20 x 20 mm, modelo mostrado na

Figura 105. O material do dissipador é alumínio.

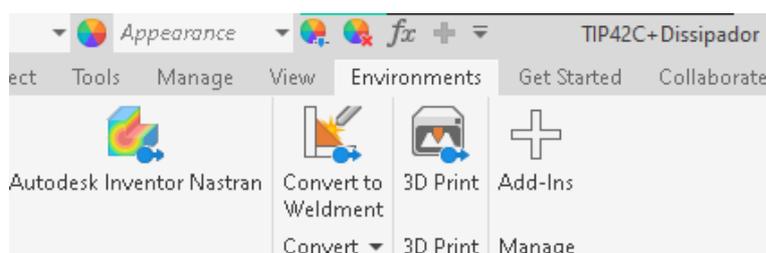
Figura 105 – TIP42C com dissipador HS3520_20.



Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor*.

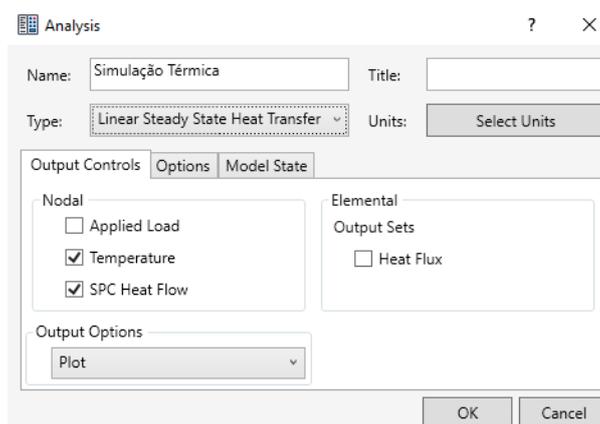
Primeiramente, deve-se abrir a extensão do *Nastran*, o que é feito através do menu de ambientes (*environments*), na parte superior do ambiente de trabalho, ilustrado na Figura 106. Em seguida, abrirá uma aba nova no menu anterior referente ao *Nastran*. Então, é possível criar uma nova análise, usando o comando novo (*new*), no menu superior, que abrirá uma janela, na qual seleciona-se o tipo (*type*) da simulação, escolhendo transferência de calor linear de estado permanente (*linear steady state heat transfer*), mostrado na Figura 107.

Figura 106 – Menu de ambientes (*environments*), mostrando a extensão *Autodesk Inventor Nastran*.



Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor*.

Figura 107 – Janela de criação de nova análise térmica.



Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor*.

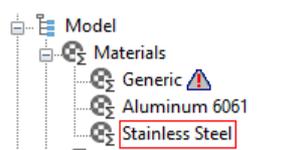
Em seguida, é necessário definir os materiais dos elementos do sistema. O transistor TIP42C foi dividido em 3 materiais, para melhorar os resultados. As considerações escolhidas para os materiais foram: *case* do TIP42C de epóxi; pinos (*leads*) e parte metálica de invar, uma liga de ferro e níquel comumente utilizada em *leads* de componentes, devido ao baixo coeficiente de dilatação térmica; *chip* interno de carbetto

de silício dopado (SiC); dissipador de alumínio 6061, liga comumente usada em dissipadores; parafuso M3x10mm de aço inoxidável; e isolante de alumina (óxido de alumínio), com melhores propriedades de isolamento elétrica e dissipação térmica do que a mica.

As características térmicas dos materiais podem ser obtidas no site MatWeb (MatWeb LLC, 2019), um repositório de informações sobre diversos materiais. Então, com as características térmicas dos materiais, é possível selecionar o material na lista de materiais ou criar um novo material, com as propriedades térmicas desejadas. O material do parafuso e do dissipador já existem na lista de materiais do *software*, não sendo necessário criar um novo material, apenas selecionando-os no menu de materiais, conforme explicado na seção 3.2.2.2.3. Já os outros 4 materiais, epóxi, invar, SiC e alumina, não existem na lista de materiais, sendo necessário criar um novo material e adicionar as propriedades físicas dele.

No caso, como as únicas propriedades importantes para esta análise são as térmicas, é necessário apenas inserir as propriedades térmicas dos materiais. Porém, caso desejado realizar outros tipos de análises, seriam necessárias outras propriedades, mas foge ao escopo deste trabalho. Na árvore de *design*, à esquerda, agrupado no item modelo (*model*), existe o subitem materiais (*materials*), mostrado na Figura 108, no qual é possível ver os materiais atualmente utilizados na análise. É possível ver que o material genérico (*generic*) está presente, e ao lado dele um indicador de erro, pois ele não deve ser utilizado, visto que não possui as características físicas definidas.

Figura 108 – Subitem materiais na árvore de *design*.

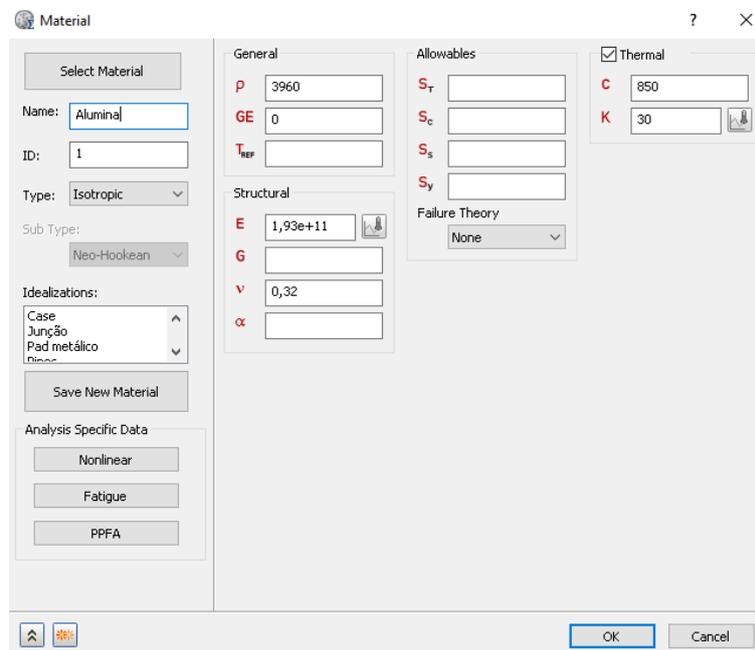


Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor*.

Para criar um novo material, clica-se com o botão direito no subitem materiais, e seleciona-se a opção novo (*new*), que abre a janela mostrada na Figura 109, onde já foi preenchido o nome e as características térmicas para criação do material do isolador, alumina. As características necessárias são a densidade de massa, condutividade térmica

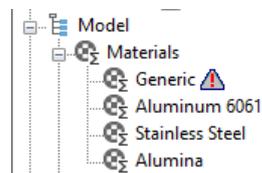
e o calor específico, abaixo da região térmica (*thermal*), que deve estar selecionada, como na Figura 109. As outras características não são importantes para esta análise e explicá-las foge ao escopo deste trabalho. Na opção idealizações (*idealizations*), é possível atribuir este material a um dos sólidos do modelo, caso já haja algum sólido criado. A Figura 110 mostra a árvore de *design* com o novo material criado.

Figura 109 – Criação de novo material.



Fonte: Software Autodesk Nastran Inventor.

Figura 110 – Subitem materiais na árvore de *design* com novo material criado.

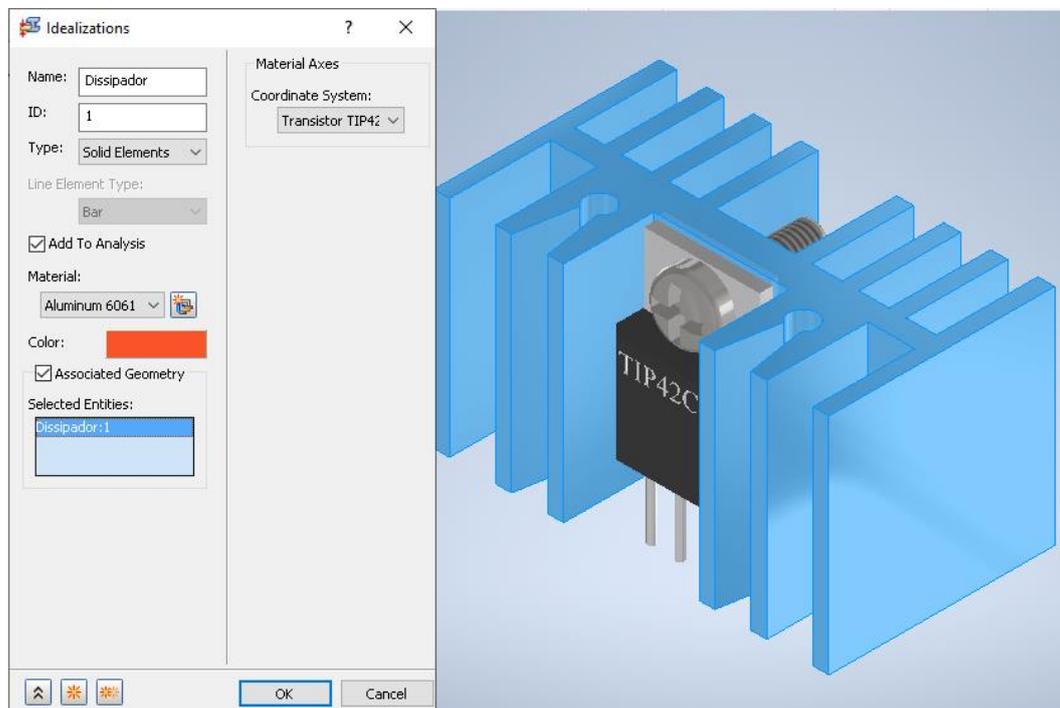


Fonte: Software Autodesk Nastran Inventor.

De forma análoga são criados todos os materiais necessários. Outro passo necessário é a criação dos sólidos do modelo, que é feita no subitem idealizações (*idealizations*) do item de modelo da árvore, clicando com o botão direito em sólidos (*solids*) e selecionando a opção novo (*new*), abrindo a janela mostrada na Figura 111, do lado esquerdo, na qual é possível dar um nome ao sólido, selecionar o material na lista de materiais criados no passo anterior. Além disso, marca-se a opção geometria associada (*associated geometry*) e clicando na caixa entidades selecionados (*selected entities*),

pode-se seleccionar no modelo o sólido desejado, como mostrado na Figura 111, ao lado direito.

Figura 111 – Criação de sólido.

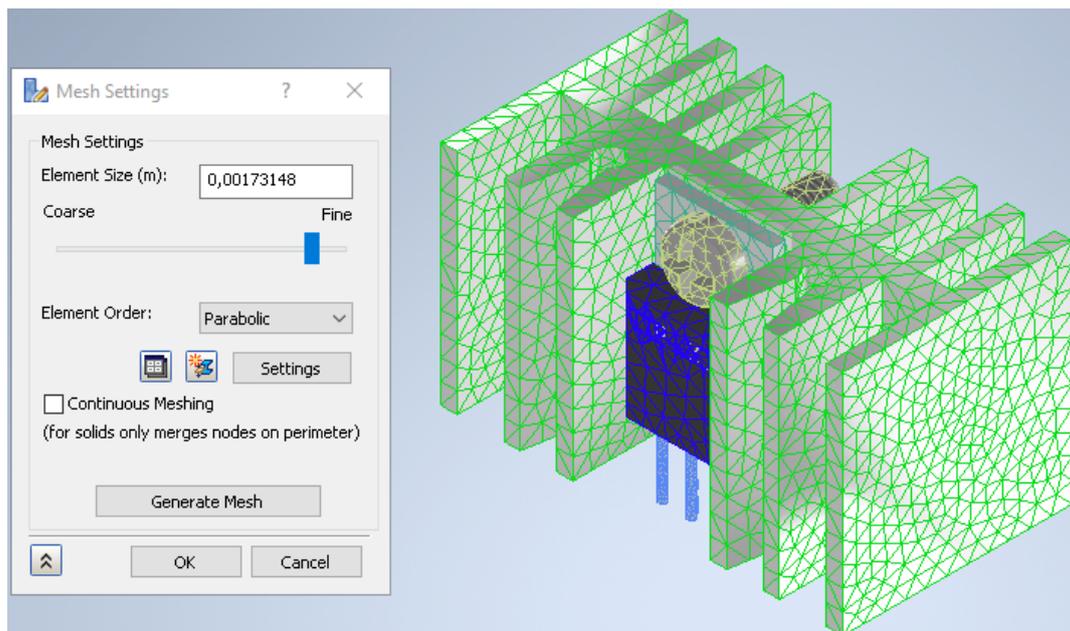


Fonte: Software Autodesk Nastran Inventor.

Analogamente, são criados todos os sólidos do modelo. Então, é possível criar a malha na opção opções de malha (*mesh settings*) no menu superior, no espaço de malha (*mesh*). É aberta a janela mostrada na Figura 112, no lado esquerdo, na qual clica-se no botão gerar malha (*generate mesh*). Também é possível escolher o tamanho do elemento da malha, refinando o cálculo ou tornando-o menos refinado. O resultado é mostrado no lado direito da Figura 112, onde é possível ver as malhas criada no modelo.

Em seguida, é necessário inserir as cargas (*loads*) da simulação, que numa simulação térmica podem ser: temperaturas, convecção, fluxo de calor, escoamento de calor, geração de calor, radiação e superfícies adiabáticas. É possível perceber a analogia que é comumente feita com circuitos elétricos, onde há uma fonte, seja de tensão ou corrente, que fornece potência, e os componentes, que dissipam ou utilizam essa potência para fins específicos.

Figura 112 – Criação de malhas.

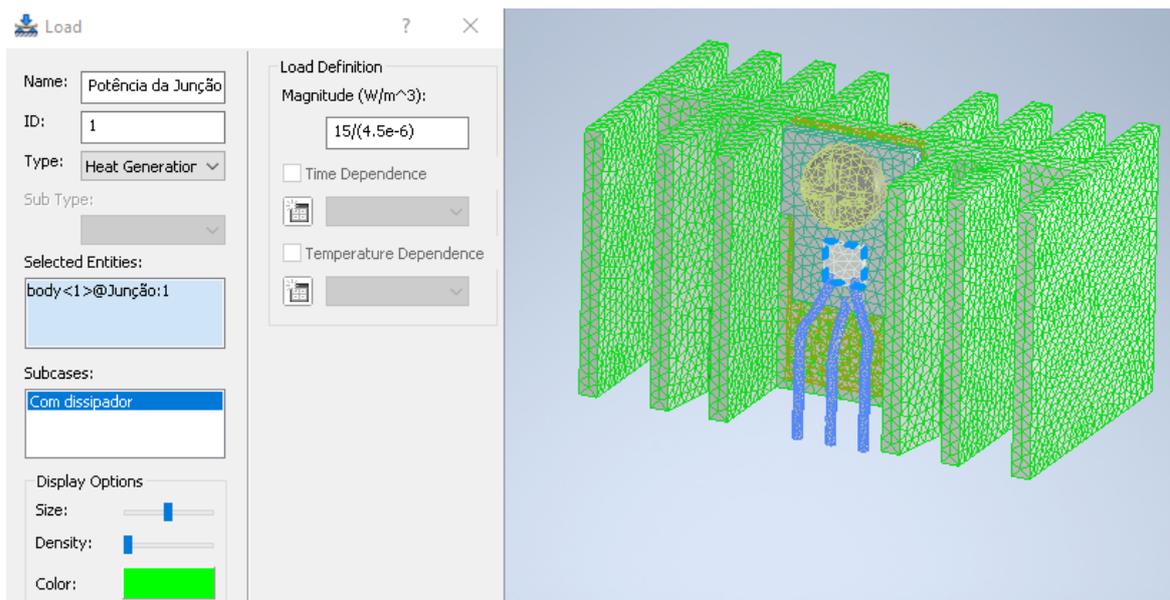


Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor.*

A criação de cargas é pode ser feita pela barra superior, no espaço configuração (*setup*), clicando em cargas (*loads*), ou através da árvore, no subitem subcasos (*subcases*), clicando com o botão direito em cargas e selecionando novo (*new*). A janela aberta é mostrada na Figura 113, à esquerda, onde seleciona-se o tipo como geração de calor (*heat generation*), pode-se nomear a carga e as entidade selecionadas, clicando no modelo, à direita, onde foi retirada a visibilidade da *case* temporariamente para conseguir selecionar a junção.

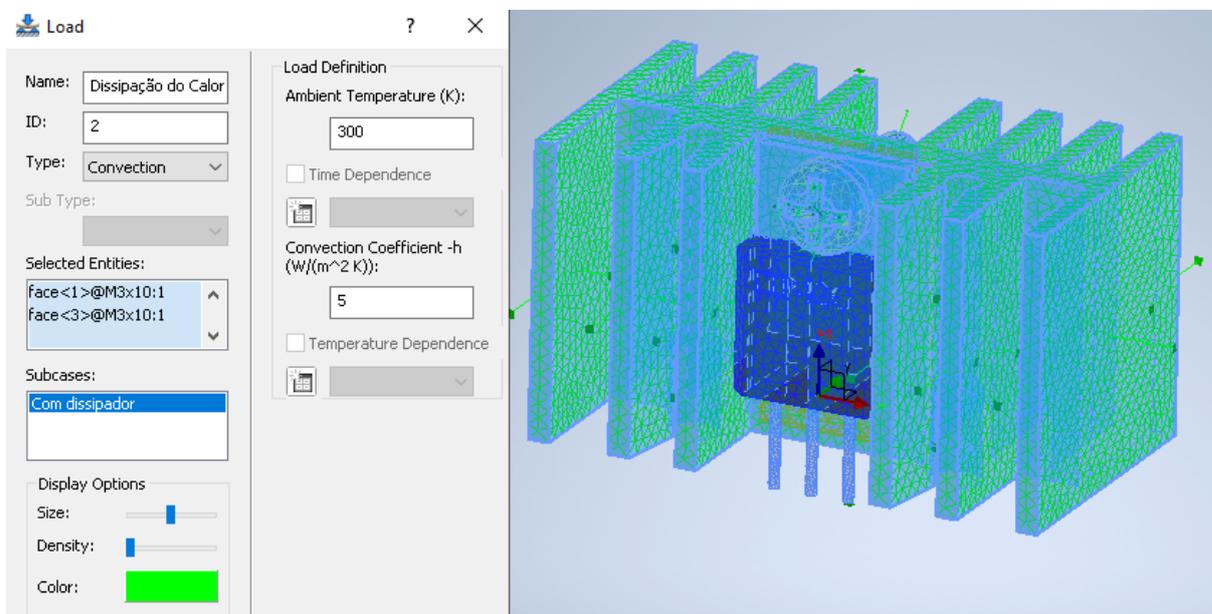
Além disso, é possível escolher a magnitude da potência do calor gerado, em W/m^3 . Como exemplo, são utilizados 15 W, e para conseguir inserir essa potência, pode-se inserir no campo de magnitude de potência, a divisão da potência de 15 W pelo volume da peça, no caso, 4.5 mm^3 , ou seja, $4.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, conforme mostrado na Figura 113. Analogamente, adiciona-se a carga de convecção, considerando a convecção do ar de 5 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ e a temperatura ambiente de 300 K (27 °C) e selecionando todas as faces metálicas do modelo que trocam calor com o ar, ou seja, toda a superfície do dissipador de calor, a chapa metálica e os pinos do componente. O resultado é mostrado na Figura 114, onde é possível veras cargas, representadas pelas setas verdes direcionadas do dissipador para o ar.

Figura 113 – Criação de carga de geração de calor.



Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor.*

Figura 114 – Criação de carga de convecção.

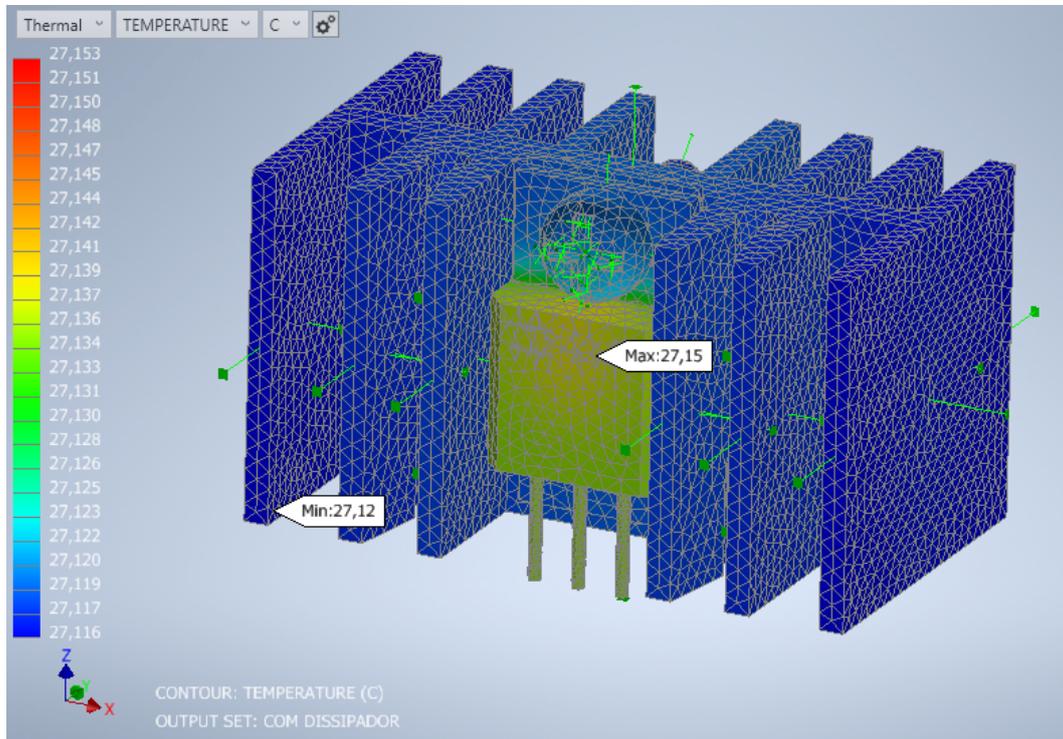


Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor.*

Com as cargas definidas, é possível rodar a simulação, clicando na opção rodar (*run*), no espaço resolver (*solve*) da barra superior. Enquanto o algoritmo é executado, na barra lateral esquerda do ambiente de trabalho, no lugar da árvore de *design* do *Nastran*, pode-se acompanhar os comandos do algoritmo. Ao terminar, automaticamente a barra lateral esquerda volta a mostrar a árvore, com um item novo dentro dos subcasos, de

resultados, com o item temperatura abaixo desse. Além disso, é possível visualizar os resultados de temperatura na própria peça, através de cores com uma legenda, conforme a Figura 115.

Figura 115 – Resultado da simulação térmica com dissipador de calor.



Fonte: *Software Autodesk Nastran Inventor.*

Além disso, a fim de comparação, é feita uma outra simulação térmica, seguindo os mesmos passos descritos nesta seção e com todos os parâmetros iguais, mas sem a presença de um dissipador de calor conectado ao componente. Os resultados desta simulação são mostrados na Figura 116, e permitem a comparação com os resultados obtidos na simulação com dissipador, mostrada na Figura 115. Através da comparação entre as duas figuras, é possível perceber a diferença entre a simulação com e sem a presença do dissipador de calor, verificando a importância deste e o funcionamento da simulação térmica.

3 INTERATIVIDADE MCAD E ECAD

Esta seção explica a interatividade entre MCAD e ECAD, buscando discutir quais os pontos insuficientes dos *softwares* ECAD que são supridos por *softwares* MCAD, reiterando o que está apresentado em seções anteriores. Além disso, essa seção explica sucintamente o uso dos *softwares* a fim de realizar a interatividade, fornecendo explicações com passo a passo e exemplos para esclarecer a metodologia.

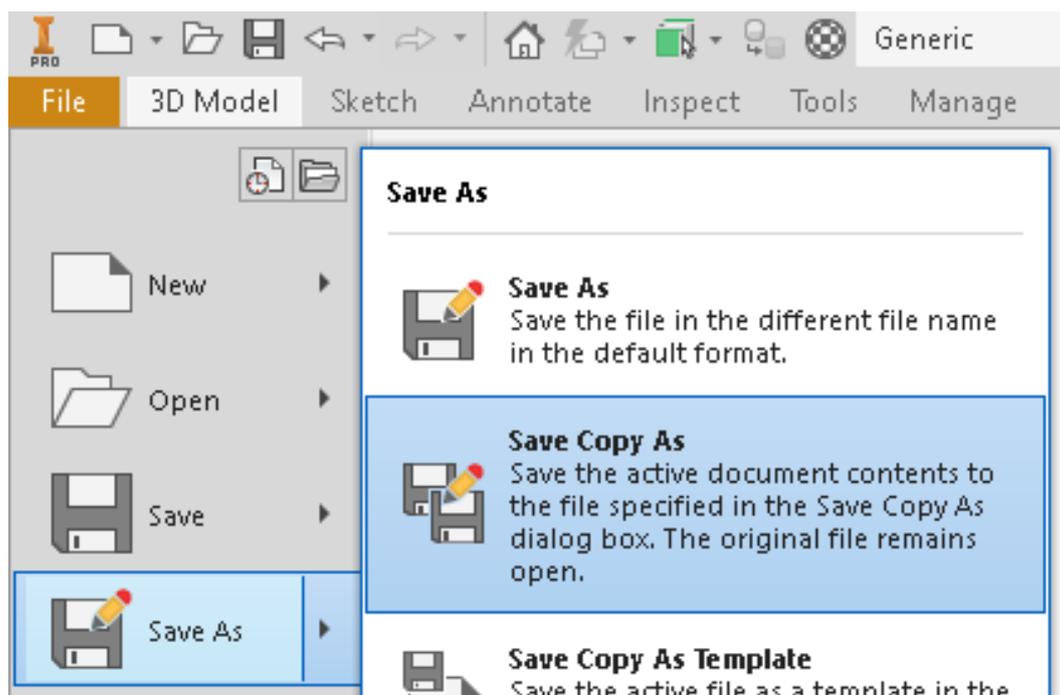
3.1 Complementariedade Entre os Softwares

Como apresentado nas seções anteriores, há características do *Altium Designer* que são insuficientes para um projeto mais bem elaborado, inclusive quanto a componentes mecânicos, pois sua possibilidade de criação e interação com modelos 3D, embora exista, é bem limitada. E quanto à possibilidade de simulação térmica, o *Altium Designer* não possui. Por isso, essas são funcionalidades que são muito bem supridas pelo *Autodesk Inventor* e *Inventor Nastran*, como é demonstrado nas seções adiante.

3.1.1 Exportação de Modelos 3D para o *Altium Designer*

Primeiramente, após a criação de modelos 3D no *software* MCAD *Autodesk Inventor*, é necessária a exportação desses arquivos para os arquivos de biblioteca de PCI do *Altium Designer*, começando a interação MCAD e ECAD. O primeiro passo desse processo envolve a exportação do modelo 3D, seja peça ou montagem, no formato que o *Altium Designer* reconhece, os formatos “universais” .step ou .stp. Esse processo, mostrado na Figura 117, é feito através do menu de arquivo (*file*) da barra de navegação superior, clicando na seta ao lado da opção salvar como (*save as*) e em salvar cópia como (*save copy as*), processo mostrado na Figura 117. Seleciona-se o formato do arquivo como .step ou .stp e escolhe-se onde salvar, usando o sistema de arquivos do *Windows*.

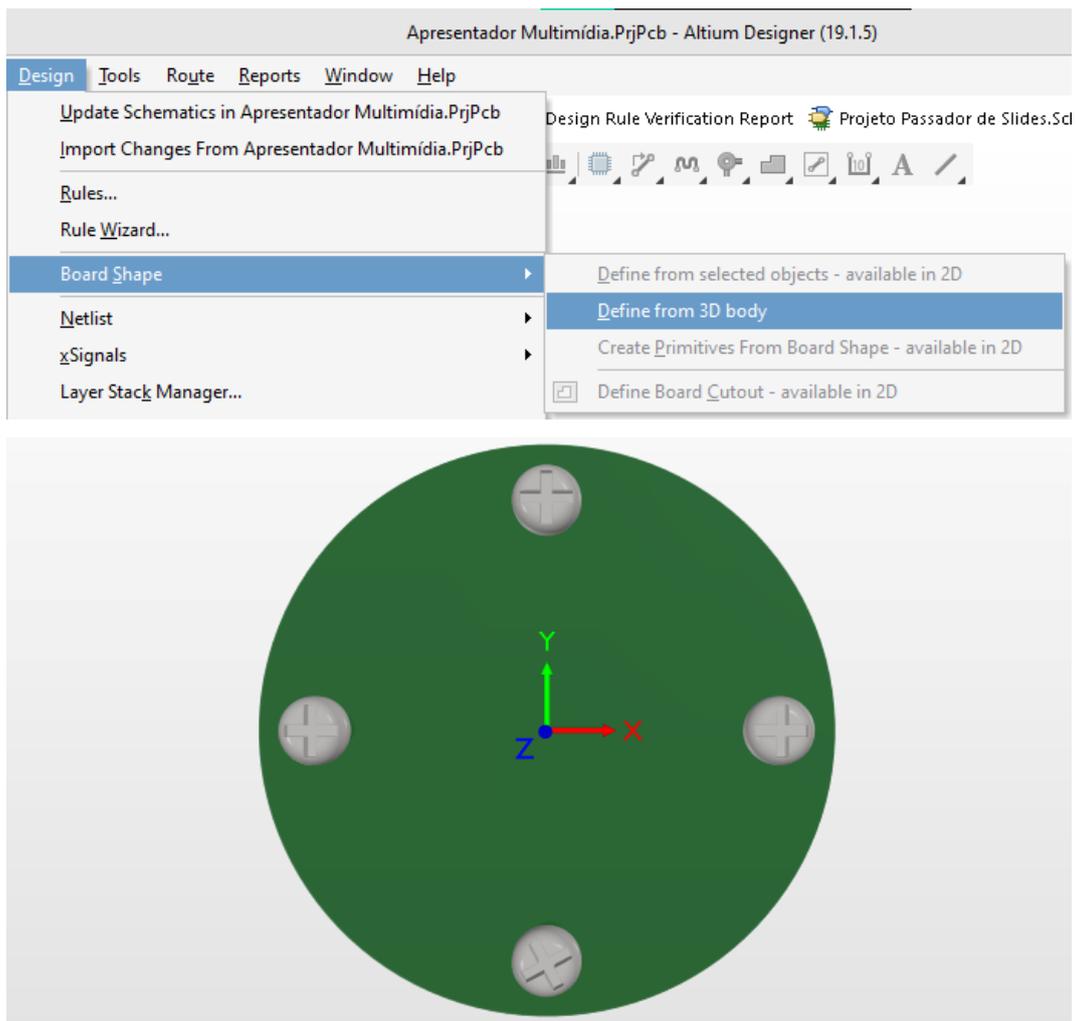


Figura 117 – Exportação de um arquivo do *Inventor* em *.step*.

Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

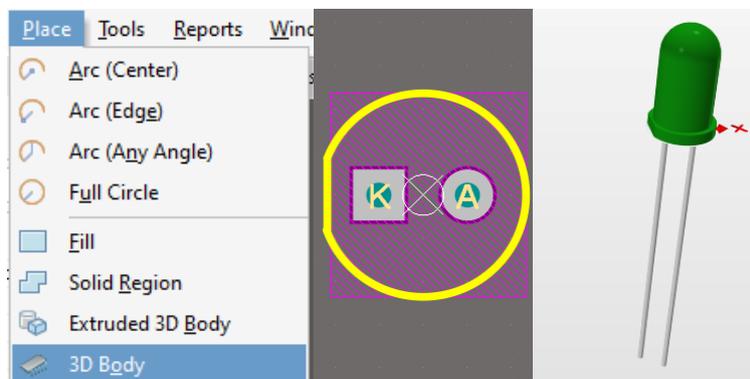
No *Altium Designer*, é possível importar arquivos *.step* para dois ambientes diferentes, através do mesmo menu de inserir (*place*), na opção de objeto 3D (*3D body*). Pode-se importar o arquivo *.step* do modelo 3D de uma PCI sem componentes direto para o ambiente de criação de PCI, para importar o formato desta PCI para a PCI criada no *Altium*, possibilitando a criação de PCIs em qualquer formato, através do modo de visualização 3D, no menu de *design*, em formato da placa (*board shape*), definir a partir de um objeto 3D (*define from 3D body*), processo ilustrado na Figura 118. Além disso, também é possível a importação do arquivo *.step* de um componente para a biblioteca de PCI deste componente, a fim de associar o modelo 3D ao componente, e sempre que este for utilizado, o modelo 3D será automaticamente colocado junto com o componente, conforme a Figura 119.

Figura 118 – Importação de um modelo 3D das dimensões e formato de uma PCI.



Fonte: Software Altium Designer.

Figura 119 – Exportação de um modelo 3D de um componente.

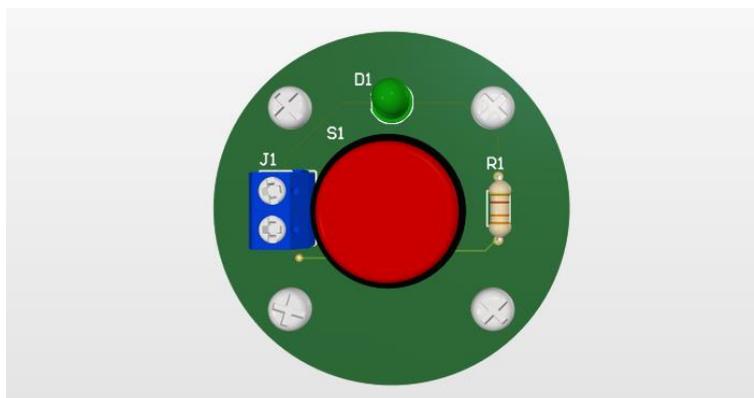


Fonte: Software Altium Designer.

3.1.2 Montagem de PCI e Exportação para o Autodesk Inventor

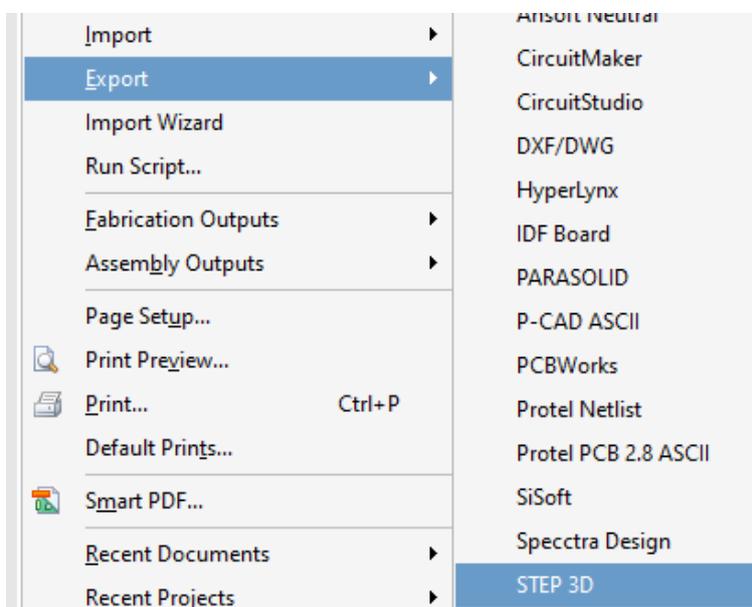
Após a importação do modelo 3D de todos os componentes a ser utilizados e do formato da placa, se for o caso, é feita a montagem da PCI normalmente, conforme os passos descritos em seções anteriores. Ao fim da montagem da PCI, é possível visualizar o modelo 3D da PCI com todos os componentes no *Altium Designer*, mostrado na Figura 120, e exportar esse modelo 3D com todos os componentes no formato .step, para abrir no *Autodesk Inventor*, conforme mostrado na Figura 121, através do menu de arquivo (*file*), na opção exportar (*export*) e step 3D

Figura 120 – PCI montada no *Altium Designer*.



Fonte: *Software Altium Designer*.

Figura 121 – Exportação de um modelo 3D de uma PCI em .step no *Altium Designer*.

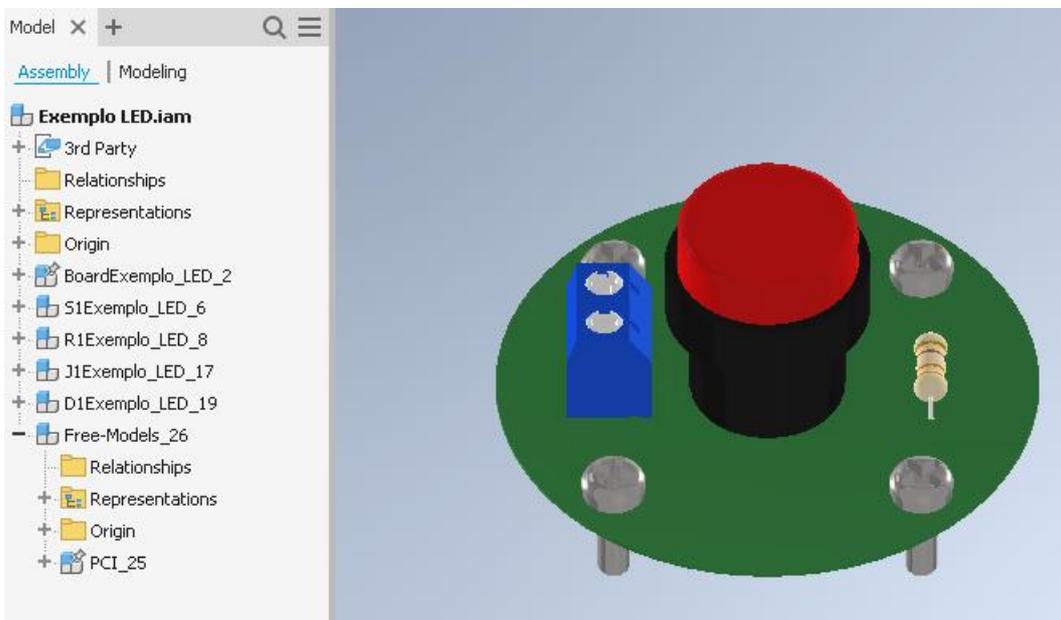


Fonte: *Software Altium Designer*.

3.1.3 Adequação dos Componentes via Análise Espacial

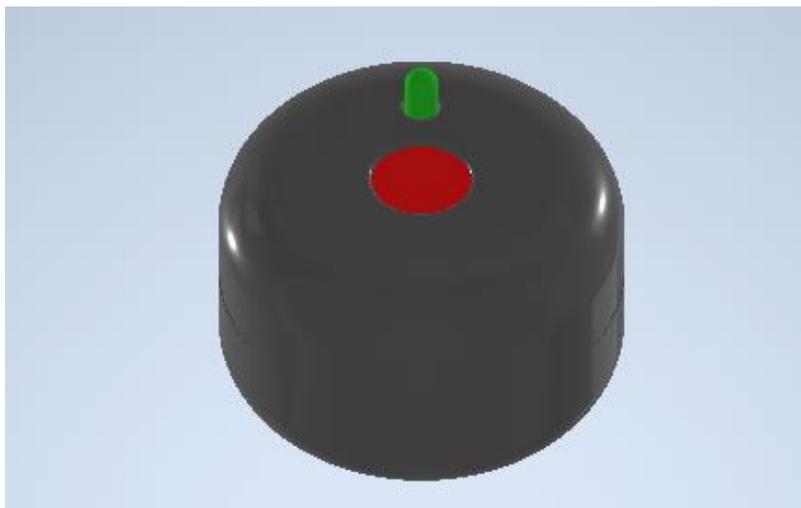
Com o arquivo .step exportado, é possível abri-lo normalmente no *Autodesk Inventor*, no qual é possível ter acesso a placa, com todos os componentes importados e separados na árvore de *design*, e fazer as análises e modificações necessárias, conforme a Figura 122. Nessa etapa, é possível readequar posições de componentes, furos, e outros com maior controle do que no *Altium*, além de ser possível adequar a placa a invólucros (ou *cases*), com posições adequadas de conectores, botões, LEDs, dentre outros. Bem como é possível, se desejado, fazer simulações térmicas e simulações de comportamentos mecânicos em geral, com análise por elementos finitos. Como exemplo, adequa-se a PCI feita a um invólucro feito para exemplificar esta situação, mostrado na Figura 123.

Figura 122 – Importação da PCI com os componentes para o *Autodesk Inventor*.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

Figura 123 – *Case* com PCI de exemplo encaixada.



Fonte: *Software Autodesk Inventor*.

3.1.4 Alterações de Posições de Componentes no Altium Designer

No exemplo utilizado não houve necessidade, mas, em muitos casos reais, é necessário mudar as posições planejadas no esboço inicial feito no *Altium Designer* após as readequações de posicionamento realizadas no *Autodesk Inventor*. Para este fim, é possível medir as distâncias no *Inventor* com relação ao sistema de coordenadas, para modificação no *Altium*, visto que a modificação é mais precisa se utilizado este método. Além disso, existem casos em que pode ser necessária até mudança de determinados componentes por não se adequarem ao projeto mecânico. Ou caso seja realizada uma simulação térmica e esta não seja satisfatória, é melhor mudar ou mesmo refazer o projeto eletrônico, para não correr o risco de queimar componentes devido a uma dissipação de calor não satisfatória.

3.2 Vantagens do Uso Complementar dos Softwares

Na seção anterior é possível ver como utilizar os dois *softwares* de forma interativa, obtendo o melhor de cada um e suprimindo os requisitos que um não satisfaz com o uso de outro. Também é possível incrementar mais ainda a interatividade e melhorar o projeto através da inclusão de *softwares* ECAD de simulação eletrônica, verificando o funcionamento adequado do circuito e obtendo as potências dissipadas, o que permitiria

uma simulação térmica mais realista no *software* MCAD, porém foge ao escopo planejado neste trabalho.

Ao aplicar este método, é possível ver como o *Autodesk Inventor* é bem mais adequado à criação e manipulação de modelos 3D, otimizando a utilização desses modelos para criação de projetos eletrônicos, uma funcionalidade que o *Altium* apenas introduz e permite limitada exploração do potencial desta. Portanto, conforme já mencionado em seções anteriores, é possível verificar como a utilização deste método traz substancial melhora ao desenvolvimento de projetos eletrônicos, com a utilização e manipulação de modelos 3D, adequação espacial dos componentes de acordo com a necessidade do projeto mecânico e possibilidade de simulações térmicas e dentre outras, através do método dos elementos finitos.



REFERÊNCIAS

The LED Datasheet | All About LEDs | Adafruit Learning System Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/all-about-leds/the-led-datasheet/>>. Acesso em: 1 de novembro de 2019.