AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA *PICK & PLACE* BASEADO EM SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS

CAMILA R. FERREIRA*, CARLOS E. V. NUNES†

**Rua Prof. Aristides Novis, 2*
Federação
Salvador, Bahia, Brasil

Emails: ribeirocamilaferreira@gmail.com, carlosevnunes@ufba.br

Abstract— In this paper is realized an automation of a system *Pick & Place* using the theory of Discrete Event Systems. The virtual plant, faithful to systems used in industries, it is automated by a real PLC using the conversion from automaton to Ladder Diagram.

Keywords— Discrete Event systems, PLC, *Ladder Diagram*, automata, Automation.

Resumo— Neste artigo é realizado a automação de um sistema *Pick & Place* usando a teoria de Sistemas a Eventos Discretos. A planta virtual *Pick & Place*, fiel aos sistemas utilizados na indústria, é automatizada por meio de um PLC real utilizando a conversão de autômato em Diagrama *Ladder*.

Palavras-chave— Sistemas a Eventos Discretos, PLC, Diagrama *Ladder*, Autômatos, Automação.

1 Introdução

Sistemas de manufatura são largamente utilizadas na indústria para executarem atividades repetitivas com precisão, a fim de minimizar custos, prejuízos e acidentes, além de maximizar a qualidade e a produção. Neste contexto, a automação do processo de manufatura permite maior confiabilidade e segurança para a indústria.

A automação de sistemas é realizada observando o comportamento do processo por meio de sensores, de modo que essas informações são enviadas a dispositivos especializados para, posteriormente, elementos conhecidos como atuadores serem acionados no sentido de executar a ação mais correta para o progresso da atividade. Os dispositivos de processamento de sinais mais utilizados na indústria são os PLCs (*Programmable Logic Controller*)(Music et al., 2005). O PLC é um computador projetado especialmente para o ambiente industrial, pois suporta altas temperaturas, impactos e vibrações, tem imunidade a ruídos elétricos e possui diversas entradas e saídas (Sung-Wook Choi et al., 2008). A dinâmica de funcionamento do PLC é determinado por um programa inserido no dispositivo que pode ser programado de acordo com o padrão IEC 61131 – 3 em cinco diferentes linguagens (ISO/IEC, 2001): Diagrama de Blocos (DB), Diagrama *Ladder* (LD), Texto estruturado (ST), Lista de Instruções (IL) e *Sequential Function Chart* (SFC). Entre estas linguagens, o Diagrama *Ladder* é o mais utilizado na indústria.

Apesar do Diagrama *Ladder* ser de fácil implementação para sistemas simples, ele se torna mais complicado para sistemas mais complexos, precisando assim de um método sistemático para implementá-lo. Alguns trabalhos mostram a implementação em *Ladder* utilizando sistemas mo-

delados em Sistemas a Eventos Discretos (Liu and Darabi, 2002; S.Peng and Zhou, 2004; Music et al., 2005; Moreira and Basilio, 2014).

Em (Liu and Darabi, 2002) e (?) os autores apresentam um algoritmo para converter modelos em autômato para Diagrama *Ladder*. Em (S.Peng and Zhou, 2004) e (Moreira and Basilio, 2014) os autores apresentam métodos para transformar modelos em Redes de Petri em *Ladder*. No entanto, estes trabalhos não apresentam uma implementação em um PLC real.

Neste trabalho, é proposto a automação de um sistema virtual *Pick & Place* utilizando a teoria de Sistemas a Eventos Discretos. O modelo do sistema em autômato Moore será convertido em Diagrama *Ladder* e, posteriormente carregado em um PLC real no sentido de controlar a planta virtual.

Este artigo está organizado como segue: na seção 2 é apresentado os principais conceitos sobre Sistemas a Eventos Discretos (SEDs) e sobre o sistema *Pick & Place*, na seção 3 é apresentado os modelos em autômato que compõe o sistema, na seção 4 é apresentado o Diagrama *Ladder* que controla o sistema, e finalmente na seção 5 são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 Preliminares

2.1 Sistemas a Eventos discretos: Definições e notações

Seja $G = \{X, \Sigma, f, \Gamma, x_0, X_m\}$ um autômato que modela um SED. O parâmetro X é o conjunto de estados, Σ é o conjunto de eventos, $f : X \times \Sigma \rightarrow X$ é a função de transição, $\Gamma : X \rightarrow 2^\Sigma$ é a função de eventos ativos, x_0 é o estado inicial do sistema e X_m é o conjunto de estados marcados (Cassandras and Lafortune, 2008). A linguagem gerada e marcada por G é denotada, respectivamente, por L e

L_m .

Suponha uma linguagem ω definida sob Σ . Então, o fecho do prefixo de ω é denotado por $\bar{\omega}$. Se $\omega = \bar{\omega}$, então ω é dita prefixo fechada. O fecho de Kleene, denotado por Σ^* , é o conjunto de todas as seqüências finitas formadas pelos elementos de Σ , incluindo a seqüência vazia ε .

A parte acessível de G , denotada por $Ac(G)$ é o autômato obtido quando se elimina todos os estados de G que não são alcançados a partir de x_0 , assim como suas transições, ou seja, $Ac(G) := (X_{ac}, \Sigma, f_{ac}, x_0, X_{ac,m})$ em que $X_{ac} = \{x \in X : (\exists s \in \Sigma^*)[f(x_0, s) = x]\}$, $X_{ac,m} = X_m \cap X_{ac}$ e $f_{ac} = f|_{X_{ac} \times \Sigma \rightarrow X_{ac}}$ é a nova função de transição em que o domínio de f é restrito ao domínio dos estados acessíveis. A parte coacessível de G , denotado por $CoAc(G)$, é o autômato obtido quando se elimina todos os estados de G que, a partir destes estados, um estado marcado não é alcançado, ou seja, $CoAc(G) := (X_{coac}, \Sigma, f_{coac}, x_0, X_m)$, em que $X_{coac} = \{x \in X : (\exists s \in \Sigma^*)[f(x, s) \in X_m]\}$, $x_0, coac = x_0$ se $x_0 \in X_{coac}$ ou $x_0, coac$ é indefinido, caso contrário.

A operação de projeção $P : \Sigma_g^* \rightarrow \Sigma_p^*$, em que $\Sigma_p \subset \Sigma_g$ e a projeção inversa $P^{-1} : \Sigma_p^* \rightarrow 2^{\Sigma_g^*}$ são definidas de forma usual (Ramadge and Wonham, 1989).

Considere dois autômatos, G_1 e G_2 . A composição produto e a composição paralela são denotadas por $G_1 \times G_2$ e $G_1 || G_2$, respectivamente.

Há duas variações de autômatos: autômato Moore e autômato Mealy. No autômato Moore a saída é atribuída a cada estado do autômato, ou seja, as saídas são enviadas quando o autômato entra no estado. No autômato Mealy as saídas são enviadas junto com os eventos de transição do autômato. Na Figura 1 são apresentados os dois tipos de autômatos, note que as saídas são representados por A e B .

Figura 1: (a) autômato Moore, (b) autômato Mealy

2.2 Sistema Pick & Place: Funcionamento e dinâmica

O sistema *Pick & Place*, frequentemente utilizado em indústrias de manufatura, são sistemas que tem a função de transferir peças de um lugar para outro sem a intervenção humana. Assim, análises desses sistemas em plataformas virtuais são necessários para evitar danos e para executar uma correta e eficiente implementação.

O *ITS PLC (Interactive Training System for PLC) Professional Edition* é uma ferramenta virtual utilizada para educação e treino em PLC.

Utilizando gráficos 3D em tempo real e interatividade, esta ferramenta se torna um ambiente virtual muito próxima ao ambiente real. O *ITS PLC* oferece cinco diferentes plantas industriais, *Sorting*, *Batching*, Paletizador, *Pick & Place* e Armazém automático, com sensores e atuadores também virtuais para realizar a interação com um PLC real. Esta troca de informações é realizada entre uma placa de aquisição de dados (DAQ) com 32 canais I/O isolados e interface USB (<https://realgames.co/>).

Para a proposta deste artigo, foi utilizado a planta *Pick & Place* do simulador *ITS PLC* que consiste em duas esteiras paralelas e um manipulador de três eixos, um eixo longitudinal, um eixo transversal e um eixo vertical, como mostrado na Figura 2 (Philippot, 2011). Na esteira (C), esteira de entrada, são transportados três tipos de peças aleatoriamente, peças tipo 1, tipo 2 e tipo 3, apresentado na Figura 3. Essas peças são identificadas por um conjunto de dois sensores instalados em (D), enquanto que na esteira (A) é transportado uma caixa quadrada vazia com nove lugares de mesma área, como mostrado na Figura 4, até a esteira (B). O objetivo do sistema é reconhecer o tipo de peça que está sendo transportado na esteira de entrada e transfiri-la para dentro da caixa, que estará parada na esteira (B), de modo que sejam transferidas três peças de cada tipo. As peças devem ser armazenadas na caixa da seguinte maneira: na primeira linha da caixa (L1) devem ser colocadas peças do tipo 1, na segunda linha da caixa (L2) devem ser colocadas peças do tipo 2 e na terceira linha (L3), peças do tipo 3.

Figura 2: Sistema Pick & Place

Figura 3: Tipos de peças transportados

Para fazer esta transferência, o manipulador é composto de três eixos: o eixo longitudinal (F), o eixo transversal (G) e o eixo vertical (H). Este último é equipado com um eletroímã (I) que é utilizado para recolher a peça. Caso a primeira linha

Figura 4: Caixa para alocação de peças na saída

da caixa esteja completa e a esteira (C) transporte uma peça do tipo 1, então o sistema deve descartá-la pela esteira (E). Da mesma maneira, caso as linhas 2 ou 3 da caixa estejam completas e a esteira (C) transporte peças do tipo 2 ou 3, respectivamente, o sistema deve descartar a peça pela esteira (E). Quando a caixa é completada, a esteira (B) transporta a caixa até a esteira (J), que por sua vez, transporta a caixa com as peças para a saída do sistema.

O sistema *Pick & Place* é equipado com nove sensores de presença, S_0 a S_8 e oito atuadores com retenção, A_0 a A_7 . Os sensores S_0 e S_1 estão instalados em (D) e atuam na identificação das peças. Se somente S_0 é ativado, indica passagem da peça do tipo 1, se somente S_1 é ativado, indica passagem da peça do tipo 2 e se S_0 e S_1 são ativados, indica a passagem da peça do tipo 3. O sensor S_2 está colocado no fim da esteira (C) e indica a chegada da peça na posição de coleta pelo manipulador. O sensor S_3 está alocada na esteira (B) e indica a presença da caixa na zona de preenchimento. O sensor S_4 está situado no trilho do eixo longitudinal acima da esteira (C) e indica a chegada do manipulador para a coleta da peça. O sensor S_5 está localizado no eixo transversal e indica a movimentação dos eixos longitudinal ou transversal. O sensor S_6 está alocado no eixo vertical e detecta o fim do curso superior do eixo indicando que o eletroímã está em cima. O sensor S_7 também está localizado no eixo vertical e detecta o fim do curso inferior do eixo indicando que o eletroímã está embaixo. O sensor S_8 está alocado no eletroímã e detecta a presença de peça no dispositivo.

O atuador A_0 tem a função de ligar e desligar a esteira (C), o atuador A_1 liga e desliga as esteiras (A) e (B) ao mesmo tempo, os atuadores A_2 e A_3 movimentam o eixo transversal para a direita e para a esquerda, respectivamente. É importante observar que o eixo transversal pode ocupar três posições: a primeira posição, que está mais a esquerda do eixo transversal, a segunda posição, em que o eletroímã fica exatamente no meio do eixo transversal e a terceira posição que se localiza mais a direita do eixo transversal. O atuador A_4 movimenta o eixo longitudinal em direção à esteira (C) e o atuador A_5 movimenta o eixo longitudinal em direção a esteira (B). Com relação ao eixo longitudinal, o manipulador pode ocupar quatro posições: a primeira posição está

localizada acima da esteira (C) e as outras três estão localizadas acima da esteira (B), de modo que a segunda posição fica mais a esquerda da esteira (B), equivalente a posição da coluna (C1) da caixa, a terceira fica no meio da esteira (B), equivalente a posição da coluna (C2) da caixa e a quarta fica mais a direita da esteira (B), equivalente a posição da coluna (C3) da caixa. O atuador A_6 ativa a descida e a subida do eixo vertical e o atuador A_7 aciona o eletroímã. Assim, a combinação da movimentação dos eixos longitudinal, transversal e vertical permite o armazenamento das peças nos nove espaços da caixa.

O ciclo de funcionamento do sistema *Pick & Place* é realizado da seguinte maneira: o sistema é iniciado com as esteiras (A), (B) e (C) paradas, o eixo vertical do manipulador se encontra em cima, o eixo transversal está na posição mais a esquerda e o eixo longitudinal está na quarta posição. Assim que o sistema é ligado, as esteiras (A), (B) e (C) entram em funcionamento e o manipulador anda até a esteira (C), pronto para coletar a peça. Durante o transporte das peças pela esteira (C), elas são identificadas em (D) e chegam até o final da esteira sendo detectadas pelo sensor S_2 . A coleta da peça só será executada quando a presença da caixa na zona de preenchimento for detectada pelo sensor S_3 . Assim que a peça é coletada, a esteira (C) se mantém parada e o manipulador anda em direção a esteira (B) e coloca a peça na primeira coluna da caixa (C1), e dependendo da identificação da peça, uma das linhas, L1, L2 ou L3 é escolhida para guardar a peça. Se a peça identificada for do tipo 1, então a célula da caixa que vai ser preenchida será a célula (L1,C1), se for do tipo 2, então será preenchida a célula (L2,C1) e se for do tipo 3, a célula preenchida será (L3,C1). Depois que o manipulador preenche a célula, ele retorna para coletar outra peça e a esteira (C) volta a funcionar, transportando uma segunda peça. Assim, o manipulador coleta a segunda peça depois que esta for detectada pelo sensor S_2 . Se a segunda peça for do mesmo tipo da primeira, então esta é guardada na coluna 2 (C2) da caixa, caso contrário, será alocado na coluna 1 (C1). Esse ciclo se repete até que as nove células da caixa sejam preenchidas. Se três peças do mesmo tipo já foram guardadas na caixa, mas ela ainda não está completa, então as peças que não precisam ser coletadas são descartadas pela esteira (E). Quando a caixa está completamente preenchida, a esteira (B) volta a funcionar e leva a caixa para ser dispensada pela esteira (J).

3 Modelo em Sistemas a Eventos Discretos

Para obter o modelo do sistema *Pick & Place*, o sistema foi separado em três módulos menores, módulo da esteira (C), módulo do manipulador e módulo das esteiras (A) e (B). Os modelos desses

módulos são determinados pela observação comportamental do processo e são denotados por E_1 , M e E_2 , respectivamente, e o modelo completo do sistema é obtido pela operação paralelo entre os três módulos, no entanto, como o modelo completo possui 67 estados, ele não será apresentado neste trabalho devido a limitações de espaço.

Para auxiliar na construção do modelo em autômato do sistema, foram usados seis contadores, C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 e C_5 disponíveis do Diagrama *Ladder*, associados aos eventos c_0, c_1, c_2, c_3, c_4 e c_5 . Esses contadores são utilizados para contar quantas peças foram guardadas na caixa de modo que, para extrair esta informação, os contadores são utilizados em pares. Para as peças do tipo 1, são utilizados os contadores C_0 e C_3 , para as peças do tipo 2, os contadores C_1 e C_4 e para peças do tipo 3, os contadores C_3 e C_5 . Se o sistema guardou uma peça do tipo 1, os contadores C_0 e C_3 terão saídas booleanas iguais a zero, de modo que os eventos associados serão representados por $\overline{c_0}$ e $\overline{c_3}$, se for guardada duas peças do tipo um, a saída booleana de C_0 será zero e de C_3 será um, assim os eventos serão representados por $\overline{c_0}$ e c_3 e se for três peças, as saídas de C_0 e C_3 terão saídas iguais a um e são representados pelos eventos c_0 e c_3 . O modelo da esteira (C) é mostrado na Figura 5.

Figura 5: Modelo da esteira (C)

Neste modelo os eventos compostos por s_i , $i = 0, 1, 2, \dots, 8$, são eventos que representam a leitura dos sensores S_i , explicados na seção 2, de maneira que, o evento s_i indica que o sensor S_i identificou o objeto e $\overline{s_i}$ indica que não há objeto a ser identificado pelo sensor S_i . Os eventos formados pela leitura de mais de um sensor, como o evento $\{\overline{c_1}s_6s_8\} \in \Gamma(7)$, indica que a transição só ocorre se as três leituras forem verdadeiras, ou seja, se o sensor S_6 identifica presença, se o sensor S_8 não identifica presença e se o contador C_1 não identificar a quantidade de peças guardadas.

Os contadores foram utilizados como sensor virtual para identificar quantas peças foram coletadas pelo manipulador e, consequentemente, guardadas na caixa. Os eventos formados por mais de um contador como o evento $\overline{c_0}/\overline{c_1} \in \Gamma(12)$

indica que a transição ocorre se $\overline{c_0}$ ou $\overline{c_1}$ é verdadeiro. A saída do autômato é executada nos estados 0, 3, 7 e 11 ativando ou desativando o atuador A_0 representado pelo evento a_0 , que indica que a esteira (C) é ligada, e o evento $\overline{a_0}$ que indica que a esteira (C) é desligada.

Os estados do autômato E_1 representam o seguinte: o estado inicial, 0, indica que a esteira (C) está transportando peças aleatórias, o estado 1 indica que a peça do tipo 1 foi identificada, o estado 2 aponta que a peça do tipo 1 chegou na posição de coleta do manipulador, o estado 3 assinala que a esteira está esperando o manipulador coletar a peça e no estado 4 o sistema verifica se as peças do tipo 2 ou 3 já foram coletadas três vezes. Os estados 5, 6, 7 e 8 tem o mesmo significado dos estados 1, 2, 3 e 4, porém com relação a peças do tipo 2 e os estados 9, 10, 11 e 12 com relação às peças do tipo 3.

O modelo do manipulador contém 60 estados e não será possível apresentá-lo por completo neste artigo por falta de espaço. No entanto, é apresentado na Figura 6 a parte do autômato referente ao transporte de peças do tipo 3 da esteira (C) para a caixa na esteira (B). As partes do autômato ocultas são referentes às peças do tipo 1 e 2 e são semelhantes à parte apresentada.

autômato identifica a peça do tipo 3 e verifica se já pegou três peças deste tipo, no estado 7, 8 e 9 a peça é coletada, nos estados 10 e 11, o manipulador vai para a esteira (B) com a peça, nos estados 12, 13, 14 e 15, o autômato seleciona qual coluna da caixa a peça será guardada, nos estados 16, 17, 18 e 19, o manipulador vai até a linha três da caixa (L3), nos estados 20, 21 e 22, o manipulador guarda a peça na caixa, nos estados 23, 24, 25 e 26, o manipulador retorna para a posição da linha um (L1) da caixa e verifica se já pegou três peças do tipo 2 e 3 e, finalmente, nos estados 27, 28, 29 e 30, o manipulador retorna para a esteira (C) para pegar outra peça.

O autômato E_2 é mostrado na Figura 7 e seus estados representam o seguinte: no estado 0 inicia o sistema ligando a esteira (A) e (B), no estado 1 o autômato espera a caixa chegar na zona de preenchimento, no estado 2 a caixa chega na zona de preenchimento e a esteira desliga, no estado 3 o autômato verifica se a caixa está completa ou não e no estado 4 o autômato sabe que a caixa está incompleta e retorna para o estado 1.

Figura 7: Modelo da esteira (A) e (B)

4 Diagrama Ladder

O diagrama *Ladder* é definida na norma IEC 61131-3 e entre as diversas instruções fornecidas por esta linguagem, foi utilizado para este trabalho instruções como contadores normalmente aberto (NA), contadores normalmente fechado (NF), bobinas e contadores. Os contadores foram utilizadas para auxiliar na contagem de peças colocadas na caixa e possuem dois parâmetros: preset e acumulador. O preset deve ser configurado pelo programador e indica o limite de contagens que o contador irá executar e o acumulador mostra quantas contagens o contador já fez. Toda vez que a lógica da linha for verdadeira, a bobina de saída do contador, CU, se torna 1, caso contrário, se mantém em 0 e o acumulador incrementa uma unidade. Quando o acumulador alcança o valor de preset, outra saída do contador, DN, se torna 1 e esta se mantém até que alguma outra lógica reinicie o acumulador por uma bobina de reset.

A conversão do modelo em autômato para o Diagrama *Ladder* é feita de maneira direta e, na literatura, pode-se encontrar alguns métodos bem estabelecidos. Neste trabalho, será usado um método baseado em (Uzam et al., 2009) para converter autômato Moore em Diagrama *Ladder*. Nesta metodologia, variáveis são atribuídas aos estados

e às transições do autômato e está exemplificada na Figura 8.

Figura 8: Conversão de autômato para Diagrama Ladder

O Diagrama *Ladder* usado para controlar o sistema *Pick & Place* foi gerado a partir do modelo completo do sistema em autômato e foi carregado no PLC Allen Bradley da série Micrologix 1000 e é mostrado na Figura 9. Nesta figura, nas linhas L0 a L2 o sistema é iniciado ligando as esteiras (A), (B) e (C) e deslocando o manipulador para a esteira (C), na linha L3 as peças são identificadas.

Supõe-se que a primeira peça a ser identificada seja a peça do tipo 1. Na linha L4 a peça chega no final da esteira (B) e é detectada pelo sensor S_2 , nas linhas L5 e L6 é verificado se já existem três peças dos tipos 1, 2 e 3 na caixa, se tiver, os contadores são resetados, na linha L7 a caixa é identificada na zona de preenchimento, nas linhas L8 a L10 o manipulador pega a peça na esteira (C) e os contadores C_0 e C_3 incrementam a contagem em uma unidade, na linha L11 o manipulador retorna para a esteira (B) ocupando a posição acima da célula (L1,C1), na linha L12 o sistema verifica se já pegou uma, duas ou três peças do tipo 1. Se for a primeira peça, o *Ladder* vai para a linha L13, se for a segunda peça, o *Ladder* vai para a linha L19 e se for a terceira peça, o *Ladder* vai para a linha L21. Nas linhas L13, L14 e L15, o manipulador deixa a peça na caixa, na célula (L1,C1), e retorna para a esteira (C), além de verificar se já existem três peças do tipo 1 na caixa. Se existir três peças do tipo 1 na caixa, o contador C_3 é resetado e o *Ladder* segue para a linha L16, caso contrário segue para as linhas L66 e L67. As linhas L66 e L77 são equivalentes às linhas L1 e L2, porém mantendo as esteiras (A) e (B) paradas. Então o *Ladder* retorna à linha L3 e espera a segunda peça transportada ser identificada. Nas linhas L16 e L17 é verificado se já tem três peças do tipo 2 e do tipo 3, então o *Ladder* retorna para a linha L1 ou L3.

Supondo que a segunda peça a ser transportada também é do tipo 1, o *Ladder* percorre as linhas L4 até L11 como já explicado anteriormente. Na linha L12, é verificado que esta é a segunda

peça e o *Ladder* segue para as linhas *L19* e *L20* que faz o manipulador ir para a célula (*L1,C2*), para guardar a peça nesta célula o *Ladder* retorna às linhas *L13* à *L15*. Então o *Ladder* reinicia o ciclo na linha *L3*. Se a terceira peça for do tipo 1, o *Ladder* percorre as linhas *L4* à *L11* e na linha *L12* é verificado que é a terceira peça, então segue para as linhas *L21*, *L22*, *L19* e *L20* que leva o manipulador para a célula (*L1,C3*), então se repete as linhas *L13* até *L15*. Na linha *L15* é verificado que a caixa já tem três peças do tipo 1 e o contador *C₃* é resetado, na linha *L16* é verificado se já tem três peças do tipo 2 e na linha *L17* é verificado se já existem três peças do tipo 3 na caixa, assim, na linha *L18* é verificado se a caixa já está cheia. Se tiver cheia, o *Ladder* retorna para a linha *L0*, caso contrário retorna para a linha *L65* e então para a linha *L3*.

Se uma peça do tipo 2 for transportada pela esteira (*C*), ela será identificada na linha *L3* e o *Ladder* segue para a linha *L23*. As linhas *L23* à *L31* são equivalentes as linhas *L4* a *L12*. Se for a primeira peça do tipo 2 o *Ladder* segue para as linhas *L32* até *L36*, que faz o manipulador guardar a peça na célula (*L2,C1*), na linha *L37* o eixo transversal retorna para a primeira posição do eixo (mais a esquerda) e nas linhas *L38*, *L39*, *L16*, *L17* e *L18* é verificado se a caixa está cheia. Se estiver cheia, o ciclo recomeça na linha *L1*, caso contrário o ciclo recomeça na linha *L3*. Supondo a segunda peça do tipo 2, o *Ladder* segue o mesmo caminho anterior, porém da linha *L31* segue para as linhas *L40*, *L41*, *L32* até *L35* para guardar a peça na célula (*L2,C2*) e retorna para o início do ciclo como explicado anteriormente. Para a terceira peça do tipo 2, o *Ladder* segue o mesmo caminho das peças anteriores, porém ela é guardada na célula (*L2,C3*) utilizando as linhas *L42*, *L43*, *L40* e *L41* para alcançar a célula (*L2,C3*) e as linhas *L32* à *L36* para guardá-la.

Para as peças do tipo 3, o *Ladder* utiliza as linhas a partir de *L44*. As linhas *L44* à *L52* é semelhante às linhas *L4* à *L12*. Para a primeira peça do tipo 3, o *Ladder* segue para as linhas *L53* até *L56* e alcança a célula (*L3,C1*) e nas linhas *L57* até *L59* a peça é guardada. Nas linhas *L60*, *L61*, *L37* e *L38*, o eixo transversal retorna para a primeira posição do eixo. Para a segunda peça do tipo 3, nas linhas *L62* e *L63* o manipulador alcança a célula (*L3,C2*) e a peça é guardada como explicado anteriormente. Para a terceira peça do tipo 3, o *Ladder* utiliza as linhas *L64*, *L65*, *L62* e *L63* para o manipulador chegar na célula (*L3,C3*). Então o ciclo recomeça na linha *L1*.

5 Conclusões e trabalhos futuros

Neste trabalho foi realizado a automação de um sistema *Pick & Place* usando teoria de Sistemas a Eventos discretos. A automação foi realizado por um PLC real que, usando Diagrama *Ladder*, con-

trola o sistema em uma plataforma virtual. Assim, com este sistema controlado, é possível realizar outros estudos e ensaios relacionados ao tema de Sistemas a Eventos Discretos como diagnóstico de falhas, controle supervisão ou análise de atrasos de comunicação no sentido de realizar comparações para avaliar características de performance.

Referências

- Cassandras, C. G. and Lafortune, S. (2008). *Introduction to Discrete Event Systems*, 2° edn, Springer.
- ISO/IEC (2001). Programmable logic controllers, *IEC 61131-3*.
- Liu, J. and Darabi, H. (2002). Ladder logic implementation of ramadge-wonham supervisory controller, *Sixth International Workshop on Discrete Event Systems, 2002. Proceedings.*, pp. 383–389.
- Moreira, M. V. and Basilio, J. C. (2014). Bridging the gap between design and implementation of discrete-event controllers, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 11(1): 48–65.
- Music, G., Gradisar, D. and Matko, D. (2005). Iec 61131-3 compliant control code generation from discrete event models, *Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation Intelligent Control, 2005.*, pp. 346–351.
- Philippot, A. (2011). Survey on diagnosis of a pick and place benchmark: Special session on diagnosis of discrete event systems: Application on a benchmark, *2011 3rd International Workshop on Dependable Control of Discrete Systems*, pp. 25–28.
- Ramadge, P. J. G. and Wonham, W. M. (1989). The control of discrete event systems, *Proceedings of the IEEE* 77(1): 81–98.
- S.Peng, S. and Zhou, M. Z. (2004). Ladder diagram and petri-net-based discrete-event control design methods, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 34(4): 523–531.
- Sung-Wook Choi, Kang-Gu Lee, Lock-Jo Koo, Chang-Mok Park, Park, S. and Gi-Nam Wang (2008). Ladder diagram generation using generic model of discrete event system, *2008 7th IEEE International Conference on Cybernetic Intelligent Systems*, pp. 1–4.
- Uzam, M., Gelen, G. and Dalci, R. (2009). Timed transition automata and their ladder logic implementation, *2009 XXII International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies*, pp. 1–8.

Figura 9: Diagrama *Ladder* para controle do sistema *Pick & place*