JCEC
THE JOURNAL OF ENGINEERING AND EXACT SCIENCES

OPEN ACCESS

The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC, Vol. 09 N. 02 (2023)
journal homepage: https://periodicos.ufv.br/jcec
eISSN: 2527-1075
ISSN: 2446-9416

Modeling a Groundwater Collection System Using Petri Nets

Modelagem de Sistema de Captação de Águas Subterrâneas Utilizando Redes de Petri

Article Info:
Article history: Received 2022-11-22 / Accepted 2023-01-01 / Available online 2023-01-26
doi: 10.18540/jcecvl9iss2pp15314-01e

Maria Clara Oliveira Durães
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8255-9515
UNIVASF, Brazil
E-mail: mariaclaraoduraes@gmail.com
Alexandre Akira Kida
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5172-2543
IFBA, Brazil
E-mail: alexandre.kida@ifba.edu.br
Ricardo Menezes Prates
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1580-9828
UNIVASF, Brazil
E-mail: ricardo.prates@univasf.edu.br

Resumo
A escassez de água é um problema que atinge as famílias em diversas regiões do país, em especial no nordeste do Brasil. Sistemas de captação de águas subterrâneas, como os poços artesianos, são uma alternativa para mitigar este problema. Neste trabalho, é proposta uma técnica alternativa de automação de sistemas de captação de água em poços artesianos. O problema da captação é formulado em eventos discretos, modelado matematicamente em Rede de Petri (RdP). Dois modelos em RdP são apresentados. O primeiro contempla a automação de dois poços. O segundo é genérico e abrange um número qualquer de poços. A RdP foi convertida para a linguagem *ladder*, visando a aplicação em controladores lógicos programáveis (CLPs). Os resultados obtidos indicam que os modelos propostos podem ser implementados para automatizar sistemas de irrigação de pequeno e grande porte. Com a RdP foi possível simular os principais estados que o sistema pode atingir, prevendo possíveis erros e falhas, apresentando desempenhos satisfatórios independente da conjuntura.
Palavras-chave: Redes de Petri. Poços Artesianos. Automação. Ladder. Captação de Água.

Abstract
Water scarcity is a problem that affects families in different regions of the country, especially in northeast Brazil. Groundwater collection systems, such as artesian wells, are an alternative to mitigate this problem. In this work, an alternative technique for automation of water capture systems in artesian wells is proposed. The uptake problem is formulated in discrete events, mathematically modeled in a Petri Net (RdP). Two models in RdP are presented. The first includes the automation of two wells. The second is generic and covers any number of wells. RdP was converted to ladder language, aiming at application in programmable logic controllers (PLCs). The results obtained indicate that the proposed models can be implemented to automate small and large irrigation systems. With RdP it was possible to simulate the main states that the system can reach, predicting possible errors and failures, presenting satisfactory performances regardless of the situation.
Keywords: Petri Nets. Artesian Wells. Automation. Ladder. Water Catchment.

1. Introdução

No interior nordestino, muitas famílias sobrevivem por meio da agricultura e da pecuária, geralmente, com baixa tecnologia e poucos recursos à disposição. Assim, a falta de água, devido à escassez das chuvas na região, é um fator que dificulta muito as atividades laborais e a subsistência dessas pessoas (BEZERRA, 2016). Sendo assim, a captação de águas subterrâneas, também conhecida como poços artesianos, muitas vezes, é a principal forma de se obter água potável, tanto para uso pessoal, quanto para utilização nas atividades laborais.

Dada a relevância do processo supracitado na vida de diversas famílias, é imperativo seu funcionamento adequado nas mais diversas condições, principalmente quando há múltiplos poços. Deste modo, este trabalho investiga como modelar o processo de captação de águas subterrâneas por meio de Redes de Petri (RdP).

Cardoso e Valette (1997) descrevem as RdP como uma ferramenta matemática e gráfica, proposta por Carl Adam Petri, em 1962, que serve para representar eventos dinâmicos e sistemas discretos. Atualmente, as RdP são amplamente utilizadas na modelagem de processos industriais, tais como produção sucroalcooleiras (YAMADA; PORTO; INAMASU, 2002), laminação siderúrgica (NASSAR; GARCIA; MIYAGI, 2008), transportador de passageiros (MONTEZANO, 2009) e produção em lotes de bebidas (MENDES et al, 2017), mas também são ferramentas de validação e simulação, como modelagem e análise formal de cenários de vídeo games (BARRETO, 2020) e também no caso da análise do algoritmo de purga para ensaio de motorfoguete com propelente líquido (BORTOLOTO et al., 2022).

Segundo Francês (2003), a forma mais básica das RdP é composta por quatro elementos: posição (lugar), transição, ficha e arco, cujas simbologias são apresentadas na Figura 1. A posição, é uma condição associada a um estado; a transição representa a mudança de estado do sistema, sendo localizado entre duas posições; a ficha (ou *token*), é um apontador de verificação das posições, ele está situado no estado em que o processo se encontra; e por fim, o arco, é um indicador de caminho para as mudanças de estado, situado entre uma posição e uma transição. A combinação entre estes quatro elementos forma uma estrutura gráfica que facilita o entendimento e o processamento do sistema.

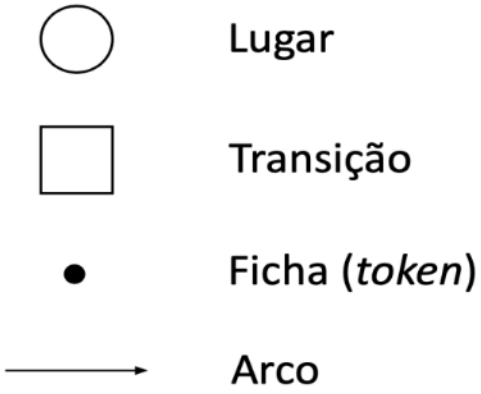

Figura 1 - Simbologias utilizadas na RdP.

Este trabalho visa desenvolver um modelo em RdP que permita visualizar todas as etapas e variáveis referentes à automação de um sistema de irrigação baseada em poços artesianos. Para solucionar o problema da extração de água em poços artesianos, são propostos dois modelos em RdP. O primeiro, visa atender dois poços (situação de uma pequena propriedade). O segundo, trata-se de um modelo genérico, capaz de atender um número qualquer (n) de poços, adequado para propriedades de qualquer tamanho. Ambos modelos serão traduzidos para *ladder*, a primeira linguagem desenvolvida para Controladores Lógicos Programáveis (CLP) que ainda hoje é usualmente utilizada (SILVESTRE, 2010), visando sua potencial aplicação em sistemas realistas.

2. Materiais e Métodos

A simulação e validação das RdP foram realizadas utilizando o programa Snoopy (versão 2017-12-13). Enquanto que o CLP utilizado foi o LOGO! Módulo básico 0BA6 da Siemens, que possui oito entradas e quatro saídas digitais. O programa em ladder foi desenvolvido utilizando o software LOGO! Soft Comfort V8. Os testes foram realizados em um computador portátil com as seguintes especificações: Intel Core i5-5350U, 8 gb de memória RAM, 128 gb de armazenamento e sistema operacional macOS 10.14.

O sistema de captação de água utilizado possui como entradas os seguintes sensores:
1. Sensor de pressão (pressostato) - responsável por monitorar qualquer obstrução no encanamento;
2. Sensor de nível - monitora os níveis (volumes) de água presente nos poços e reservatórios. O limite superior está relacionado com a capacidade máxima do reservatório, evitando que o tanque transborde. O limite inferior previne que as bombas submersas trabalhem a seco, tanto nos tanques quanto nos poços, evitando danificá-las.

As saídas são os atuadores compostos pelas bombas submersas, responsáveis por bombear água dos poços até o reservatório, e deste para o sistema de irrigação. Foram utilizados modelos genéricos de sensores (pressão e nível) e bombas. Ou seja, foram consideradas apenas suas funções básicas, não sendo restritas a fabricantes e modelos específicos.

O Quadro 1 apresenta as terminologias utilizadas neste trabalho para indicar as funções e os estados dos equipamentos utilizados.

Quadro 1 - Terminologias utilizadas no trabalho.

Terminologia	Descrição
Bi_ON	Bomba do i-ésimo poço ligada
Bi_OFF	Bomba do i-ésimo poço desligada
B_Watering_ON	Bomba do sistema de irrigação ligada
B_Watering_OFF	Bomba do sistema de irrigação desligada
Control	Sistema de controle de irrigação
LSL_Wi	Sensor de nível (baixo) do i-ésimo poço
LSH_T	Sensor de nível (alto) do i-ésimo poço
PSH_Tub	Sensor de pressão (alto) da tubulação dos poços
PSH_Watering	Sensor de pressão (alto do sistema de irrigação
Start_Fill_Well	Início do processo

3. Resultados e discussão

Inicialmente, será apresentado o modelo em RdP para um sistema mais simples, com dois poços artesianos. Adicionalmente, será apresentado como traduzir de RdP para ladder para que seja possível a implementação do modelo em um CLP. Por fim, o modelo em RdP de dois poços será expandido para atender n poços, tornando-se um modelo genérico, sendo capaz de atender, assim, os mais diversos propósitos, desde pequenos agricultores, até grandes fazendas.

3.1 Modelo do sistema de controle de irrigação

A matriz de controle do modelo é responsável por transferir a água do reservatório ao sistema de irrigação. Este modelo em RdP é apresentado na Figura 2. A bomba do sistema de irrigação é ligada (B_Watering_ON) se as seguintes condições forem satisfeitas simultaneamente:
1. Deve haver presença de um sinal de controle para ligar a bomba (Control = 1);
2. Não pode ter obstrução na tubulação do sistema de irrigação (PSH_Watering= 0).

Estes requisitos são modelados como uma transição, conforme pode ser visualizado na Figura 2. A pressão na tubulação tende a subir caso a bomba encontre obstrução no escoamento do líquido. Para evitar danificar a bomba, esta deve ser desligada (B_Watering_OFF) se for detectada alguma obstrução na tubulação pelo pressostato (PSH_Watering = 1). A mesma não deverá ser acionada se não houver sinal de controle (Control = 0).

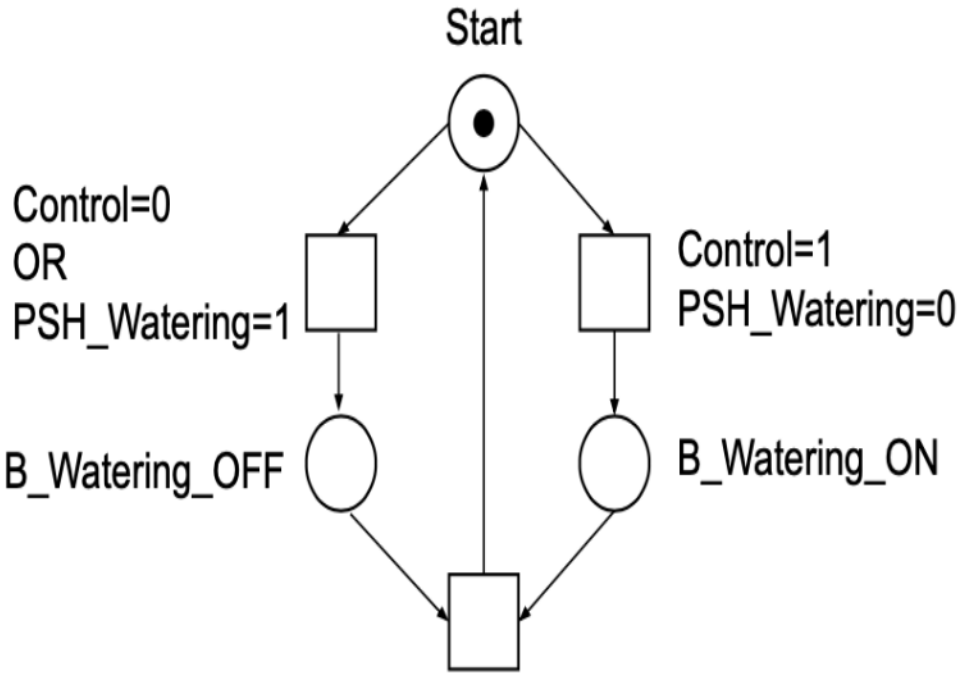

Figura 2 - Modelo em RdP do sistema de controle de irrigação.

3.2 Modelo para dois poços

Na Figura 3, é apresentado o modelo em RdP para dois poços, que possui sete entradas (sensores) e três saídas (atuadores). O processo inicia-se em Start_Fill_Well, sendo representado como uma posição. Em seguida, as duas transições referem-se às condições necessárias para que haja a mudança para o próximo estado: acionamento da bomba B1_ON ou B2_ON. A critério de projeto, cada uma só pode ser acionada individualmente. De maneira adicional, são necessárias que as três situações a seguir sejam satisfeitas simultaneamente:

1. O nível do poço correspondente deve ser maior do que o mínimo (LSL_W1 = 0, por ex.);
2. O nível do reservatório deve ser menor do que o máximo (LSH_T = 0);
3. Não pode haver obstrução na tubulação (PSH_tub = 0).

Uma vez acionada, a bomba do poço só desligará (B1_OFF ou B2_OFF, dependendo do caso) se qualquer uma das seguintes conjunturas forem satisfeitas:

1. LSL_W1 = 1 (considerando B1);
2. LSH_T = 1;
3. PSH_tub = 1.

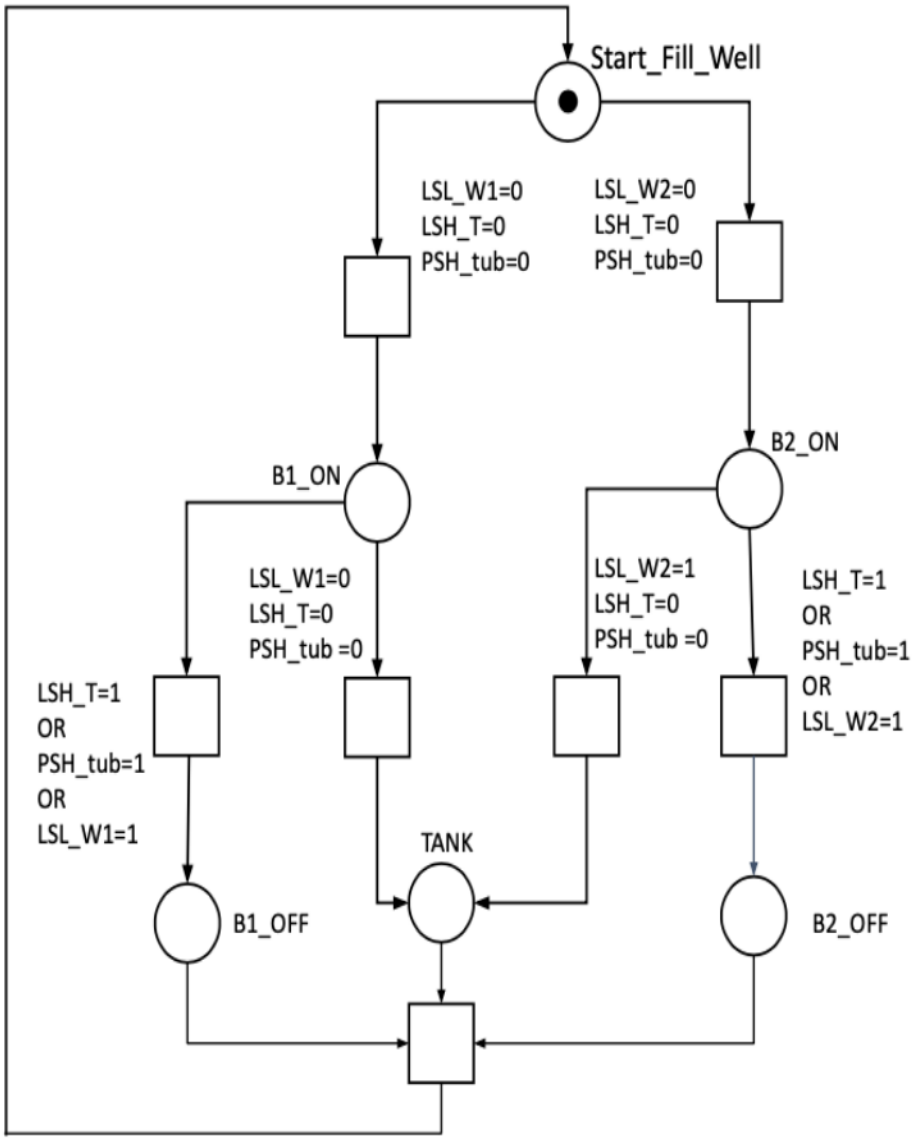

Figura 3 - Modelo em RdP para dois poços artesianos.

A representação da RdP do modelo de dois poços para a linguagem *ladder*, é apresentada na Figura 4. A compatibilização dos sistemas foi realizada seguindo as seguintes diretrizes:

1. As transições que devem ser satisfeitas simultaneamente, são representadas por "condições E", de forma que as entradas são conectadas em série;
2. As que podem ser cumpridas de maneira individual, são representadas por "condições OU", de forma que suas entradas são conectadas em paralelo;
3. O sensor será representado como um contato normalmente aberto (NA) se a condição para acionar a saída for alta (1);
4. O sensor será representado como um contato normalmente fechado (NF) se a condição para acionar a saída for baixa (0);
5. É utilizado um pequeno atraso (*delay*) no acionamento de uma saída para estabelecer uma ordem de prioridade de acionamento das saídas, conforme verificado no diagrama da Figura 4;
6. Para que apenas uma bomba seja acionada por vez (critério de projeto), o estado da saída da outra bomba é utilizado na lógica do acionamento.

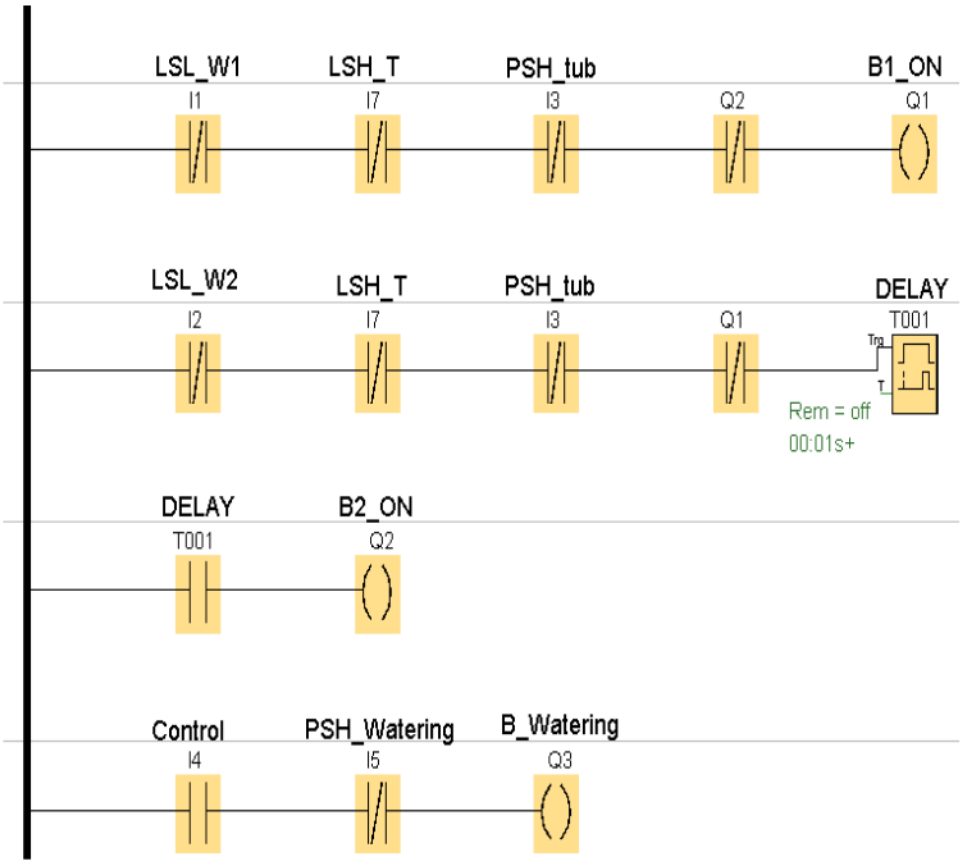

Figura 4 - Representação do modelo de dois poços artesianos em ladder.

3.3 Modelo genérico para n poços

O modelo genérico em RdP para n poços, é apresentado na Figura 5. Para cada poço adicionado, há duas posições e três transições. A situação inicial, é subdividida em três condições, que podem ser transformadas em enésimas, para atender as conjunturas, para que as bombas sejam acionadas. Em seguida, há duas transições relacionadas a cada posição Bn_ON, que podem, ou transportar a água para o reservatório principal, ou desligá-las. Em sequência, as fichas retornam ao ponto inicial, para que haja a varredura completa de novo.

Dessa forma, o modelo genérico em *ladder* para o acionamento da i-ésima bomba é apresentado na Figura 6. O valor do *delay* escolhido deverá ser baixo, e de acordo com a ordem de acionamento desejado das bombas. A sequência de contatos NF referentes às saídas Qj até Qn (onde $j \neq i$) corresponde à condição de acionamento individual das bombas dos poços. As funções dos demais elementos do diagrama em *ladder* são as mesmas supracitadas no modelo para dois poços.

3.4 Discussões

A vantagem de se utilizar do modelo em RdP foi a possibilidade de simular diversos casos, para analisar o funcionamento adequado, sem entrar em um laço infinito (*dead loop*), ou mesmo travar em alguma posição onde não é possível satisfazer condição alguma. Ademais, a ferramenta permite visualizar e diferenciar os processos que ocorrem de forma paralela e sequencial.

Assim como a tradução para ladder das RdP foram feitas de maneira simples, bastando converter as condições lógicas E ou OU (da RdP) com suas respectivas conexões: contatos em série ou paralelo, respectivamente.

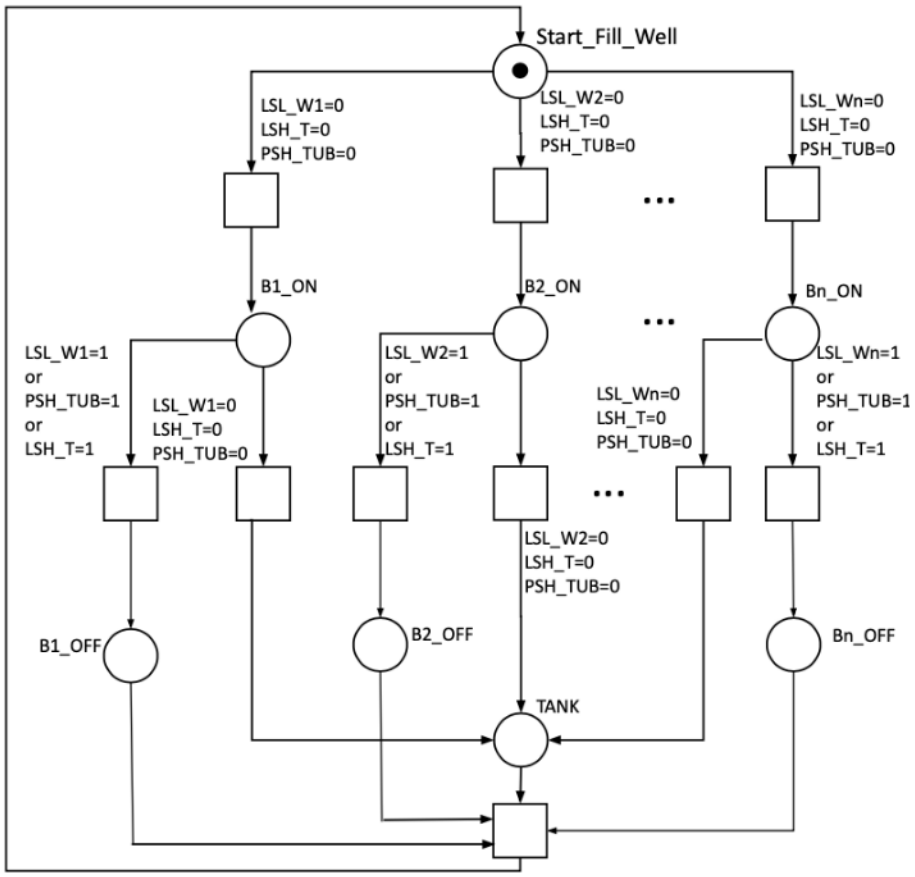

Figura 5 - Modelo em RdP genérico para n poços.

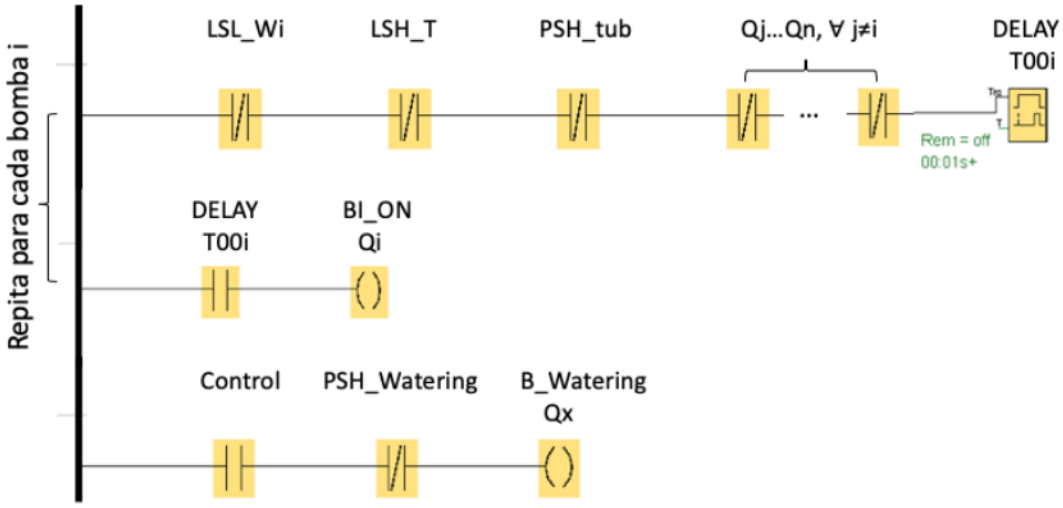

Figura 6 - Diagrama em *ladder* genérico para n poços.

4. Conclusão

Assim, este trabalho apresentou uma sistematização do processo de captação de águas subterrâneas, muito útil em atividades de agricultura e pecuária. Devido à generalidade dos modelos desenvolvidos, estes podem ser aplicados às situações de pequenos agricultores, fazendas e empresas.

As RdP mostraram-se adequadas para a modelagem de sistemas em eventos discretos, como o controle da extração de água de poços artesianos. Com esta ferramenta, foi possível uma melhor compreensão e visualização das etapas do processo, diferenciando as atividades concorrentes das sequenciais.

Uma outra vantagem obtida ao modelar o problema em RdP, foi a capacidade de simular, e antecipar, diversas situações no conjunto, solucionando qualquer eventual transtorno, evitando falhas durante o processamento do sistema físico. Finalmente, a simples tradução do modelo em RdP para a linguagem ladder faz com que sua aplicação em sistemas com microcontroladores, como os CLPs, seja facilitada.

Referências

BARRETO, F. M. (2020). Uma abordagem baseada em Redes de Petri para Modelagem, Análise e Simulação de Cenários de Vídeo Games Singleplayer e Multiplayer. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - *Universidade Federal de Uberlândia*, Uberlândia, 2020. http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.754.

BEZERRA, J. (2016). A seca no Nordeste brasileiro: uma leitura do Jornal Folha de São Paulo. *Revista Temática*, v. XII, n. 08.

BORTOLOTO, E. R., BIZARRIA, F. C. P., & BIZARRIA, J. W. P. (2022). Redes de petri aplicadas na análise de algoritmo de purga para ensaio de motor-foguete com propelente líquido. *XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.* https://doi.org/10.5944/bicim2022.009

CARDOSO, J., & VALETTE, R. (1997). Redes de petri (p. 220). Florianópolis: Editora da UFSC.

FRANCÊS, C. R. L. (2003). Introdução às Redes de Petri. *Universidade Federal do Pará.*

MENDES, C. E. S. et al. (2018). Aplicação do nível de coordenação de um sistema de produção em lotes a partir da modelagem da Rede de Petri. *CONEM X: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica.*

MONTEZANO, A. F. M. (2009). Modelo em rede de petri de um sistema de automação de elevador de passageiros. Trabalho de conclusão de curso, *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro - RJ.

NASSAR, M. G. V., GARCIA, J. I. & MIYAGI, P. E. (2008). Modelagem E Análise De Uma Linha De Decapagem Através De Rede De Petri. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, v. 5, n. 1, 22–27.

SILVESTRE, R. P. (2010). Implementação em ladder de sistemas de automação descritos por redes de petri interpretadas para controle. *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 29

YAMADA, M. C., PORTO, A. J. V. & INAMASU, R. Y. (2002) Aplicação dos conceitos de modelagem e de redes de Petri na análise do processo produtivo da indústria sucroalcooleira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 6, 809–820.