$$\lambda_r = \begin{cases} 1- & \text{A rota } r \text{ sera percorrida por algum veiculo na solucao} \\ 0- & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

$$\gamma_{r'} = \begin{cases} 1- & \text{A rota } r' \text{ sera percorrida por algum veiculo na solucao} \\ 0- & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

$$\tau_{rr'} = \begin{cases} 1- & \text{O par de rotas } \{r, r'\} \text{ sera percorrido pelo mesmo veiculo na solucao} \\ 0- & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

$$\tau_i = \begin{cases} 1- & \text{A mercadoria } p_i \text{ foi coletada e entregue pelo mesmo veiculo} \\ 0- & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

Formulacao linear inteira para o VRPCD:

$$Min \sum_{r\in R} c_r\lambda_r + \sum_{r'\in R'} c_{r'}\gamma_{r'} + \sum_{p_i\in P} c_i\tau_i$$

$$\sum_{r\in R} \lambda_r = K \tag{1}$$

$$\sum_{r'\in R'} \gamma_{r'} = K \tag{2}$$

$$\sum_{r\in R} a_{ir}\lambda_r = 1 \qquad \forall i \in F \tag{3}$$

$$\sum_{r'\in R'} a_{ir'}\gamma_{r'} = 1 \qquad \forall i \in C \tag{4}$$

$$\lambda_r = \sum_{r'\in R'} \tau_{rr'} \qquad \forall r \in R \tag{5}$$

$$\gamma_{r'} = \sum_{r\in R} \tau_{rr'} \qquad \forall r' \in R' \tag{6}$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{r'\in R'} a_{ir}a_{ir'}\tau_{rr'} \geq \tau_i \qquad \forall p_i \in P \tag{7}$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{r'\in R'} \tau_{rr'} = K \tag{8}$$

$$\lambda_r, \gamma_{r'}, \tau_{rr'} \in \{0,1\} \tag{9}$$

Ao relaxar a integralidade das variaveis de decisao e considerar S e S' subconjuntos respectivamente de R e R', obtem-se o RLMP. Associa-se entao variaveis duais as restricoes RLMP, para obter a formulacao dual. Variaveis duais:

$$(1) \to \alpha \in \mathbb{R} \qquad (2) \to \beta \in \mathbb{R} \qquad (3) \to \theta \in \mathbb{R}^{|F|}$$

$$(4) \to \mu \in \mathbb{R}^{|C|} \qquad (5) \to \psi \in \mathbb{R}^{|S|} \qquad (6) \to \phi \in \mathbb{R}^{|S'|}$$

$$(7) \to \pi \in \mathbb{R}_+^{|P|} \qquad (8) \to \Delta \in \mathbb{R}$$

Formulacao dual:

$$\max\ K\alpha + K\beta + \sum_{i \in F} \theta_i + \sum_{i \in C} \mu_i + K\Delta$$

$$\alpha + \sum_{i \in F} a_{ir}\theta_i + \sum_{r \in S} \psi_r \leq c_r \qquad \forall r \in S \tag{10}$$

$$\beta + \sum_{i \in C} a_{ir'}\mu_i + \sum_{r' \in S'} \phi_{r'} \leq c_{r'} \qquad \forall r' \in S' \tag{11}$$

$$-\psi_r - \phi_{r'} + \Delta \leq t_{rr'} \qquad \forall r \in S, \forall r' \in S' \tag{12}$$